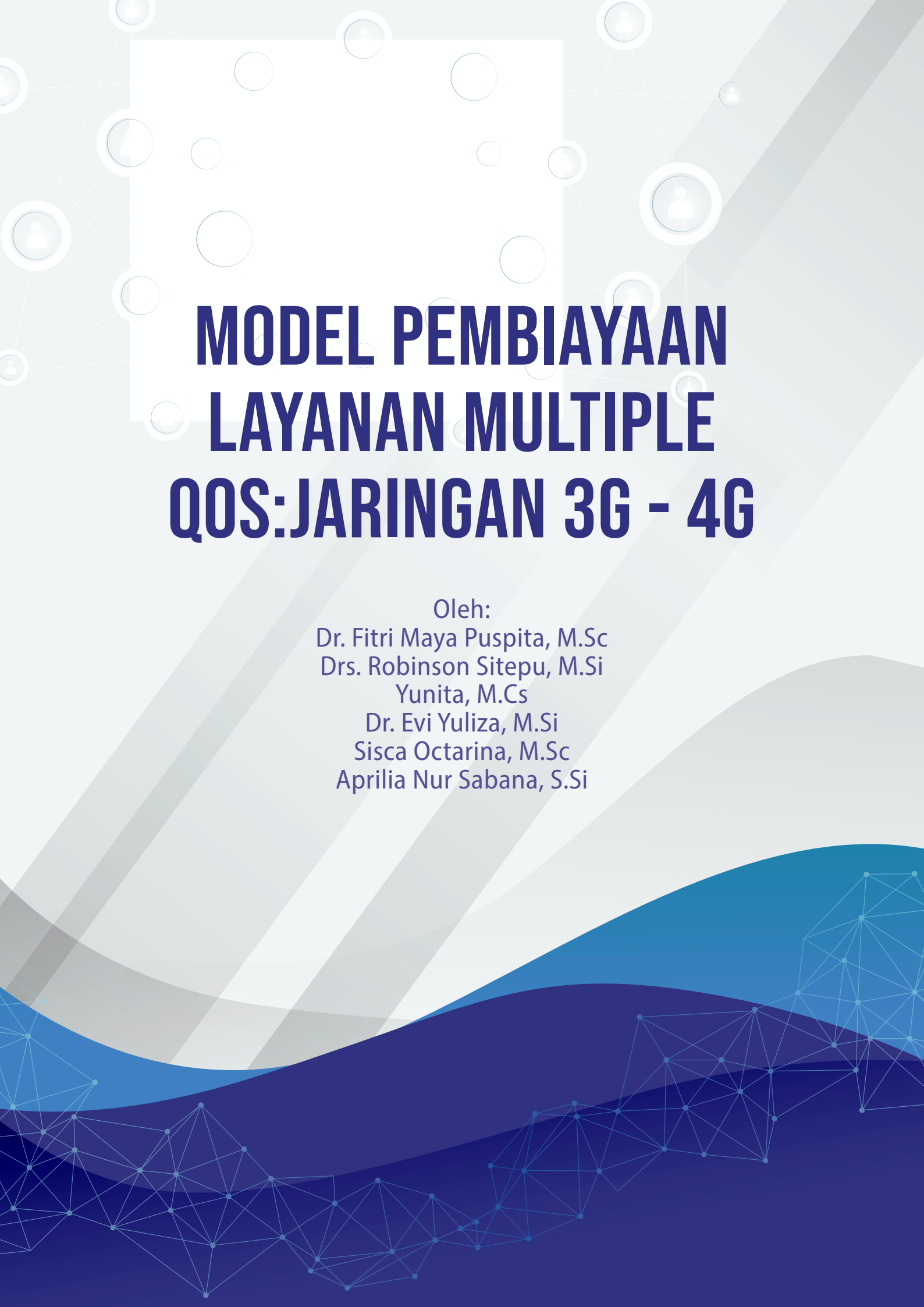


The background features a light gray field with a network of white circles and lines. Some circles contain white icons of people. Overlaid on this are several large, semi-transparent geometric shapes: a white rectangle at the top center, and various shades of blue and gray wavy bands at the bottom. A dark blue network pattern of lines and dots is visible in the bottom right corner.

MODEL PEMBIAYAAN LAYANAN MULTIPLE QOS: JARINGAN 3G - 4G

Oleh:

Dr. Fitri Maya Puspita, M.Sc

Drs. Robinson Sitepu, M.Si

Yunita, M.Cs

Dr. Evi Yuliza, M.Si

Sisca Octarina, M.Sc

Aprilia Nur Sabana, S.Si

MODEL PEMBIAYAAN LAYANAN MULTIPLE QoS: JARINGAN 3G-4G

Dr. Fitri Maya Puspita, M. Sc
Drs. Robinson Sitepu, M.Si
Yunita, M.Cs
Dr. Evi Yuliza, M. Si
Sisca Octarina, M. Sc
Aprilia Nur Sabana, S.Si

Model Pembiayaan Layanan Multiple QoS: Jaringan 3g-4g
copyright © September 2022

Penulis : Dr. Fitri Maya Puspita, M. Sc
Drs. Robinson Sitepu, M.Si
Yunita, M.Cs
Dr. Evi Yuliza, M. Si
Sisca Octarina, M. Sc
Aprilia Nur Sabana, S.Si
Setting Dan Layout : Anya Bunga Fakhriyah
Desain Cover : Armita Mukromah, S.Pd

Hak Penerbitan ada pada © Bening media Publishing 2022 dan bekerja sama dengan FMIPA Universitas Sriwijaya
Anggota IKAPI No. 019/SMS/20

Hakcipta © 2022 pada penulis
Isi diluar tanggung jawab percetakan

Ukuran 16,25 cm x 25 cm
Halaman : x + 359 hlm

Hak cipta dilindungi Undang-undang
Dilarang mengutip, memperbanyak dan menerjemahkan sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Bening media Publishing

Cetakan I, September 2022



Jl. Padat Karya
Palembang – Indonesia
Telp. 0823 7200 8910
E-mail : bening.mediapublishing@gmail.com
Website: www.bening-mediapublishing.com

ISBN :978-623-8006-13-7

KATA PENGANTAR

Puji syukur selalu dipanjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat, hidayah dan kesempatan-Nya, Tim Penyusun dapat menerbitkan Buku Referensi mengenai Model Pembiayaan Layanan *Multiple QoS*: Jaringan 3G-4G ini. Buku Referensi ini disusun guna sebagai salah satu acuan bagi mahasiswa terkhusus Jurusan Matematika Fakultas Matematika Universitas Sriwijaya dan para dosen dalam pembuatan tugas akhir

Penyusunan buku referensi ini bertujuan sebagai acuan mahasiswa dalam meningkatkan motivasi dalam pembuatan tugas akhir. Mengembangkan ide-ide mahasiswa dalam mencari topik guna penyelesaian tugas akhir. Oleh karena itu setelah adanya buku referensi ini diharapkan bermunculannya ide-ide serta karya-karya mahasiswa terkhusus tugas akhir.

Pada buku referensi ini dibahas berbagai topik mengenai model pembiayaan layanan. Terdapat 7 topik pembahasan dalam buku referensi ini. Yaitu model dan solusi optimal skema pembiayaan internet link tunggal pada jaringan *Multi* layanan (*Multi service network*) dan jaringan *Multi* kelas QoS (*Multi class QoS network*), model skema pembiayaan internet link tunggal pada jaringan *Multi* layanan (*Multi service network*) dan jaringan *Multi* kelas (*Multi class network*), Aplikasi *the improved models* untuk skema pembiayaan internet link tunggal pada jaringan *Multi* layanan (*Multi service networks*) dan jaringan *Multi* kelas QoS (*Multi class QoS networks*), Model skema pembiayaan internet link *Multipel* pada jaringan *Multi* kelas (*Multi class network*) dan jaringan *Multi* layanan (*Multi service network*), Model modifikasi skema pembiayaan internet *Multi* link bottleneck pada jaringan *Multi* layanan (*Multi service network*) dan *Multi* kelas QoS (*Multi class QoS network*), *The new improved models* untuk skema pembiayaan internet *Multi link bottleneck* pada jaringan *Multi* layanan QoS (*Multi service network*), Model skema pembiayaan internet nirkabel dalam melayani jaringan *Multipel Quality of Service* (QoS).

Buku ini dapat selesai tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Aprilia Nur Sabana, S.Si yang telah membantu dalam proses editing. Ucapan terima kasih kepada Universitas Sriwijaya yang telah membiayai publikasi buku referensi ini

melalui : Anggaran DIPA Badan Layanan Umum Universitas Sriwijaya Tahun anggaran 2021. Nomor SP DIPA-023.172.677515/2021, tanggal 23 November 2020. Sesuai dengan SK Rektor 0010/UN9/SK.LP2M.PT/2021 tanggal 28 April 2021

Indralaya, 22 April 2022

Tim Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	xviii
DAFTAR GAMBAR	xx

BAB I

MODEL DAN SOLUSI OPTIMAL SKEMA PEMBIAYAAN INTERNET LINK TUNGGAL PADA JARINGAN <i>MULTI</i> LAYANAN (<i>MULTI SERVICE NETWORK</i>) DAN JARINGAN <i>MULTI</i> KELAS QoS (<i>MULTI CLASS QoS NETWORK</i>)	1
1.1 Latar Belakang Masalah Model Dan Solusi Optimal Skema Pembiayaan Internet Link Tunggal Pada Jaringan <i>Multi</i> Layanan (<i>Multi Services Network</i>) Dan Jaringan <i>Multi</i> Kelas Qos (<i>Multi Class Qos Network</i>).....	1
Rumusan Masalah.....	3
Pembatas Masalah	3
Tujuan.....	3
Manfaat.....	3
1.2 TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Jaringan <i>Multi</i> Layanan	4
2.2 Skema Pembiayaan pada Jaringan <i>Multi</i> Layanan	5
2.3 Skema Pembiayaan pada Jaringan <i>Multi</i> Kelas QoS.....	8
1.3 PEMBAHASAN.....	11
3.1 Data Server Lokal.....	11
3.2 Pendefinisian Parameter dan Variabel untuk Model Jaringan <i>Multi</i> Layanan	18
3.3 Pemodelan Skema Pembiayaan Internet Menurut Jaringan <i>Multi</i> Layanan Kasus 1	20
3.3.1 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$	22
3.3.1.1 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$	22
3.3.1.2 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$	23

3.3.1.3 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i >$ I_{i-1}	25
3.3.2 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$	26
3.3.2.1 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i =$ I_{i-1}	26
3.3.2.2 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$..	27
3.3.2.3 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$..	28
3.3.3 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$	29
3.3.3.1 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i =$ I_{i-1}	30
3.3.3.2 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$	30
3.3.3.3 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$	31
3.3.4 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$	32
3.3.4.1 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$	32
3.3.4.2 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$	33
3.3.4.3 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$	34
3.3.5 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$	35
3.3.5.1 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i =$ I_{i-1}	35
3.3.5.2 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i >$ I_{i-1}	36
3.3.5.3 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$	37
3.3.6 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$	39
3.3.6.1 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$	39
3.3.6.2 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$	39
3.3.6.3 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$	41
3.3.7 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$	43
3.3.7.1 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$	43
3.3.7.2 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$	44
3.3.7.3 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$	45
3.3.8 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$	46
3.3.8.1 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i =$ I_{i-1}	46
3.3.8.2 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i >$ I_{i-1}	47
3.3.8.3 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i <$ I_{i-1}	48

3.3.9 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$	49
3.3.9.1 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$	49
3.3.9.2 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$	49
3.3.9.3 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$	50
3.3.10 Rekapitulasi Solusi Optimal pada Kasus 1	50
3.4 Pemodelan Skema Pembiayaan Internet Menurut Jaringan Multi Layanan Kasus 2	51
3.4.1 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta	53
3.4.1.1 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$	53
3.4.1.2 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$	54
3.4.1.3 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i < I_{i-1}$	55
3.4.2 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta	56
3.4.2.1 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$	56
3.4.2.2 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$	57
3.4.2.3 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i < I_{i-1}$	58
3.4.3 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta	60
3.4.3.1 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$	60
3.4.3.2 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$	60
3.4.3.3 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i < I_{i-1}$	61
3.4.4 Rekapitulasi Solusi Optimal pada Kasus 2	62
3.5 Pendefinisian Parameter dan Variabel untuk Model Jaringan Multi Kelas QoS	63
3.6 Pemodelan Skema Pembiayaan Internet Menurut Jaringan Multi Kelas QoS	65
3.7 Pemodelan Skema Pembiayaan Internet Menurut Jaringan Multi Kelas QoS Kasus 3	68
3.8 Pemodelan Skema Pembiayaan Internet Menurut Jaringan Multi Kelas QoS Kasus 4	71

3.9 Rekapitulasi Solusi Optimal Jaringan <i>Multi</i> Kelas QoS	75
3.10 Skema Pembiayaan pada Jaringan <i>Multi</i> Layanan dan Jaringan <i>Multi</i> Kelas QoS	77
1.4 KESIMPULAN DAN SARAN.....	77
Kesimpulan	77
Saran	78
1.5 DAFTAR PUSTAKA	79

BAB II

MODEL SKEMA PEMBIAYAAN INTERNET LINK TUNGGAL PADA JARINGAN MULTI LAYANAN (MULTI SERVICE NETWORK) DAN JARINGAN MULTI KELAS (MULTI CLASS NETWORK)..... 81

2.1 LATAR BELAKANG MASALAH MODEL SKEMA PEMBIAYAAN INTERNET LINK TUNGGAL PADA JARINGAN MULTI LAYANAN (<i>MULTI SERVICE NETWORK</i>) DAN JARINGAN <i>MULTI</i> KELAS (<i>MULTI CLASS NETWORK</i>)	81
Perumusan Masalah	82
Pembatasan Masalah.....	82
Tujuan	83
Manfaat	83
2.2 PEMBAHASAN	83
2.1 Data <i>Traffic</i> yang Digunakan.....	83
2.2 Formulasi Jaringan <i>Multi</i> Layanan (<i>Multi Service Network</i>).....	89
2.2.1 Bentuk MINLP Model Jaringan <i>Multi</i> Layanan pada Kasus α, β Konstanta (α, β fixed)	92
2.2.2 Bentuk MINLP Model Jaringan <i>Multi</i> Layanan pada Kasus α Konstanta, β Variabel.....	94
2.3 Solusi Model Jaringan <i>Multi</i> Layanan dengan Program Lingo pada Kasus α, β Konstanta	96
2.3.1 Kasus α, β Konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$	96
2.3.2 Kasus α, β Konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$	99
2.3.3 Kasus α, β Konstanta untuk $I_i < I_{i-1}$	101
2.4 Solusi Model Jaringan <i>Multi</i> Layanan dengan Program	

Lingo pada Kasus α Konstanta, β Variabel.....	103
2.4.1 Kasus α Konstanta, β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$	103
2.4.2 Kasus α Konstanta, β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$	105
2.4.3 Kasus α Konstanta, β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$	107
2.4.4 Kasus α Konstanta, β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$	107
2.4.5 Kasus α Konstanta, β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$	110
2.4.6 Kasus α Konstanta, β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$	112
2.4.7 Kasus α Konstanta, β sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$	114
2.4.8 Kasus α Konstanta, β sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$	114
2.4.9 Kasus α Konstanta, β sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$	116
2.5 Rekapitulasi Perbandingan Total Pendapatan pada Jaringan <i>Multi</i> Layanan	116
2.6 Perumusan Parameter dan Variabel dalam Jaringan <i>Multi</i> Kelas.....	118
2.7 Formulasi Bentuk MINLP Model Jaringan <i>Multi</i> Kelas pada Kasus Model Original	120
2.8 Formulasi Bentuk MINLP Model Jaringan <i>Multi</i> Kelas pada Kasus Model Modifikasi	122
2.8.1 Bentuk MINLP Model Modifikasi untuk W_j sebagai Parameter dan $\mathbf{W}_{ij}$ sebagai Parameter	122
2.8.2 Bentuk MINLP Model Modifikasi untuk W_j sebagai Parameter dan $\mathbf{W}_{ij}$ sebagai Variabel.....	123
2.8.3 Bentuk MINLP Model Modifikasi untuk W_j sebagai Variabel dan $\mathbf{W}_{ij}$ sebagai Parameter	124
2.9 Formulasi Bentuk MINLP Model Jaringan <i>Multi</i> Kelas pada Kasus Model Modifikasi 1	125
2.9.1 Bentuk MINLP Model Modifikasi 1 untuk W_j sebagai Parameter dan $\mathbf{W}_{ij}$ sebagai Parameter	125

2.9.2 Bentuk MINLP Model Modifikasi 1 untuk W_j sebagai Parameter dan W_{ij} sebagai Variabel	125
2.9.3 Bentuk MINLP Model Modifikasi 1 untuk W_j sebagai Variabel dan W_{ij} sebagai Parameter	126
2.10 Solusi Model Jaringan <i>Multi</i> Kelas dengan Program Lingo pada Model Original.....	126
2.11 Solusi Model Jaringan <i>Multi</i> Kelas dengan Program Lingo pada Model Modifikasi	128
2.12 Solusi Model Jaringan <i>Multi</i> Kelas dengan Program Lingo pada Model Modifikasi 1	130
2.3 KESIMPULAN DAN SARAN.....	133
Kesimpulan	133
Saran	134
2.4 DAFTAR PUSTAKA	134

BAB III

APLIKASI THE IMPROVED MODELS UNTUK SKEMA PEMBIAYAAN INTERNET LINK TUNGGAL PADA JARINGAN <i>MULTI</i> LAYANAN (<i>MULTI SERVICE NETWORKS</i>) DAN JARINGAN <i>MULTI</i> KELAS QOS (<i>MULTI CLASS QOS NETWORKS</i>).....	137
3.1 LATAR BELAKANG MASALAH APLIKASI <i>THE IMPROVED MODELS UNTUK SKEMA PEMBIAYAAN INTERNET LINK TUNGGAL PADA JARINGAN <i>MULTI</i> LAYANAN (<i>MULTI SERVICE NETWORKS</i>) DAN JARINGAN <i>MULTI</i> KELAS QOS (<i>MULTI CLASS QOS NETWORKS</i>).....</i>	137
Perumusan Masalah	138
Pembatasan Masalah.....	139
Tujuan	139
Manfaat	139
3.2 TINJAUAN PUSTAKA	139
2.1 Jaringan <i>Multi</i> Layanan (<i>Multi Service Networks</i>)	139
2.2 Jaringan <i>Multi</i> Kelas QoS (<i>Multiple Class QoS Networks</i>).....	145
3.3 PEMBAHASAN	151
3.1 Pendeskripsian Data <i>Traffic</i>	152

3.2	Pendefinisian Parameter dan Variabel Keputusan pada Model Jaringan <i>Multi</i> Layanan	155
3.3	Penggunaan Model pada Jaringan <i>Multi</i> Layanan untuk Kasus 1 : α dan β sebagai Konstanta	157
3.4	Penggunaan Model pada Jaringan <i>Multi</i> Layanan untuk Kasus 2 : α Konstanta dan β Variabel.....	159
3.5	Penggunaan Model pada Jaringan <i>Multi</i> Layanan untuk Kasus 3 : α dan β sebagai Variabel.....	161
3.6	Penggunaan Model pada Jaringan <i>Multi</i> Layanan untuk Kasus 4 : α sebagai Variabel dan β sebagai Konstanta.....	162
3.7	Solusi Model pada Jaringan <i>Multi</i> Layanan dengan Program LINGO untuk Kasus 1 : α dan β sebagai Konstanta 3	164
3.8	Solusi Model pada Jaringan Multi Layanan dengan Program LINGO untuk Kasus 2 : α Konstanta dan β Variabel.....	166
3.9	Solusi Model pada Jaringan Multi Layanan dengan Program LINGO untuk Kasus 3 : α dan β sebagai Variabel..	168
3.10	Solusi Model pada Jaringan <i>Multi</i> Layanan dengan Program LINGO untuk Kasus 4 : α Variabel dan β Konstanta.....	171
3.11	Rekapitulasi Solusi Penggunaan Model pada Jaringan <i>Multi</i> Layanan.....	174
3.12	Pendefinisian Parameter dan Variabel Keputusan pada Model Jaringan <i>Multi</i> Kelas QoS	175
3.13	Penggunaan Model pada Jaringan <i>Multi</i> Kelas QoS	178
3.13.1	Model 1 Original	178
3.13.2	Model 1 Modifikasi 1 dengan α dan β sebagai Konstanta	181
3.13.3	Model 1 Modifikasi 2 dengan α Konstanta dan β Variabel.....	182
3.13.4	Model 2 Original.....	184
3.13.5	Model 2 Modifikasi 1 dengan α Variabel dan β Konstanta	185
3.13.6	Model 2 Modifikasi 2 dengan α dan β sebagai Variabel.....	186
3.14	Solusi Model pada Jaringan Multi Kelas QoS dengan Program LINGO.....	188

3.14.1 Solusi Model 1 Original	188
3.14.2 Solusi Model 1 Modifikasi 1 dengan α dan β sebagai Konstanta	189
3.14.3 Solusi Model 1 Modifikasi 2 dengan α Konstanta dan β Variabel	191
3.14.4 Solusi Model 2 Original	194
3.14.5 Solusi Model 2 Modifikasi 1 dengan α Variabel dan β Konstanta	195
3.14.6 Solusi Model 2 Modifikasi 2 dengan α dan β sebagai Variabel.....	198
3.4 KESIMPULAN DAN SARAN.....	201
Kesimpulan	201
Saran	201
3.5 DAFTAR PUSTAKA	202

BAB IV

MODEL SKEMA PEMBIAYAAN INTERNET LINK MULTIPEL PADA JARINGAN MULTI KELAS (MULTI CLASS NETWORK) DAN JARINGAN MULTI LAYANAN (MULTI SERVICE NETWORK)	205
4.1 LATAR BELAKANG MASALAH MODEL SKEMA PEMBIAYAAN INTERNET LINK <i>MULTIPEL</i> PADA JARINGAN <i>MULTI</i> KELAS (<i>MULTI CLASS NETWORK</i>) DAN JARINGAN <i>MULTI</i> LAYANAN (<i>MULTI SERVICE NETWORK</i>).....	205
Perumusan Masalah	206
Pembatasan Masalah.....	207
Tujuan	207
Manfaat	207
4.2 PEMBAHASAN	208
2.1 Data <i>Traffic</i> yang Digunakan.....	208
2.2 Perumusan Parameter dan Variabel dalam Jaringan <i>Multi</i> Kelas.....	214
2.3 Formulasi Bentuk MINLP Model Jaringan <i>Multi</i> Kelas pada Kasus Model Original	216
2.4 Formulasi Bentuk MINLP Model Jaringan <i>Multi</i> Kelas pada Kasus Model Modifikasi	218

2.4.1	Bentuk MINLP Model Modifikasi untuk W_{ij} sebagai Parameter dan W_j sebagai Variabel.....	218
2.4.2	Bentuk MINLP Model Modifikasi untuk W_{ij} sebagai Variabel dan W_j sebagai Parameter.....	219
2.5	Formulasi Bentuk MINLP Model Jaringan <i>Multi</i> Kelas pada Kasus Model Modifikasi 1	220
2.5.1	Bentuk MINLP Model Modifikasi 1 untuk W_{ij} sebagai Parameter dan W_j sebagai Variabel.....	220
2.5.2	Bentuk MINLP Model Modifikasi 1 untuk W_{ij} sebagai Variabel dan W_j sebagai Parameter.....	220
2.6	Solusi Model Jaringan <i>Multi</i> Kelas dengan Program Lingo pada Model Original.....	221
2.7	Solusi Model Jaringan <i>Multi</i> Kelas dengan Program Lingo pada Model Modifikasi	222
2.8	Solusi Model Jaringan <i>Multi</i> Kelas dengan Program Lingo pada Model Modifikasi 1	224
2.9	Rekapitulasi Perbandingan Total Keuntungan pada Jaringan <i>Multi</i> Kelas	226
2.10	Formulasi Jaringan <i>Multi</i> Layanan (<i>Multi Service Network</i>).....	227
2.10.1	Bentuk MINLP Model Jaringan <i>Multi</i> Layanan pada Kasus α, β Konstanta (α, β fixed)	229
2.10.2	Bentuk MINLP Model Jaringan <i>Multi</i> Layanan pada Kasus α Konstanta, β Variabel	231
2.11	Solusi Model Jaringan <i>Multi</i> Layanan dengan Program Lingo pada Kasus α, β Konstanta	235
2.11.1	Kasus α, β Konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$	235
2.11.2	Kasus α, β Konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$	237
2.11.3	Kasus α, β Konstanta untuk $I_i < I_{i-1}$	239
2.12	Solusi Model Jaringan <i>Multi</i> Layanan dengan Program Lingo pada Kasus α Konstanta, β Variabel	241
2.12.1	Kasus α Konstanta, β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$	241
2.12.2	Kasus α Konstanta, β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$	244
2.12.3	Kasus α dan β yang Tidak Memiliki Solusi	246

2.13 Rekapitulasi Perbandingan Total Keuntungan pada Jaringan <i>Multi Layanan</i>	247
4.3 KESIMPULAN DAN SARAN.....	247
Kesimpulan	247
Saran	248

BAB V

MODEL MODIFIKASI SKEMA PEMBIAYAAN INTERNET <i>MULTI LINK BOTTLENECK</i> PADA JARINGAN <i>MULTI LAYANAN (MULTI SERVICE NETWORK)</i> DAN <i>MULTI KELAS QoS (MULTI CLASS QoS NETWORK)</i>	249
5.1 LATAR BELAKANG MASALAH MODEL MODIFIKASI SKEMA PEMBIAYAAN INTERNET <i>MULTI LINK BOTTLENECK</i> PADA JARINGAN <i>MULTI LAYANAN (MULTI SERVICE NETWORK)</i> DAN <i>MULTI KELAS QoS (MULTI CLASS QoS NETWORK)</i>	249
Perumusan Masalah	251
Pembatasan Masalah.....	251
Tujuan	252
Manfaat	252
5.2 TINJAUAN PUSTAKA	252
2.1 Jaringan <i>Multi Layanan (Multi Service Network)</i>	252
2.2 Jaringan <i>Multi Kelas QoS (Multi Class QoS Network)</i> ...	255
5.3 PEMBAHASAN	260
3.1 Pendeskripsian Data.....	260
3.2 Pendefinisian Parameter dan Variabel Keputusan Pada Model Jaringan <i>Multi Layanan</i>	267
3.3 Pemodelan Skema Pembiayaan Internet Menurut Jaringan <i>Multi Layanan</i>	268
3.3.1 Penggunaan Model Skema Pembiayaan Pada Kasus 1(α dan β sebagai Variabel)	268
3.3.2 Penggunaan Model Skema Pembiayaan pada Kasus 2 (α sebagai Variabel dan β sebagai Konstanta).....	271

3.4 Solusi Model pada Jaringan <i>Multi</i> Layanan dengan Program LINGO 11.0 untuk Kasus 1 : α dan β sebagai Variabel.....	273
3.5 Solusi Model pada Jaringan <i>Multi</i> Layanan dengan Program LINGO 11.0 untuk Kasus 2 : α sebagai Variabel dan β sebagai Konstanta.....	276
3.6 Rekapitulasi Solusi Penggunaan Model Pada <i>Multi</i> Layanan.....	279
3.7 Pendefinisian Parameter dan Variabel Keputusan pada Model Jaringan <i>Multi</i> Kelas QoS.....	279
3.8 Penggunaan Model pada Jaringan <i>Multi</i> Kelas QoS.....	282
3.8.1 Model Original.....	282
3.8.2 Model Modifikasi 1 dengan β_j sebagai Konstanta	284
3.8.3 Model Modifikasi 2 dengan β_j sebagai Variabel	286
3.9 Solusi Model Jaringan <i>Multi</i> Kelas QoS dengan Program LINGO 11.0	287
3.9.1 Model Original.....	287
3.9.2 Solusi Model Modifikasi 1 dengan β_j sebagai Konstanta.....	288
3.9.3 Solusi Model Modifikasi 2 dengan β_j sebagai Variabel	290
3.10. Rekapitulasi Solusi Model Original dan Model Modifikasi.....	292
5.4 KESIMPULAN DAN SARAN.....	293
Kesimpulan	293
Saran	294
5.5 DAFTAR PUSTAKA	294

BAB VI

THE NEW IMPROVED MODELS UNTUK SKEMA PEMBIAYAAN INTERNET MULTI LINK BOTTLENEC PADA JARINGAN MULTI LAYANAN QoS (MULTI SERVICE NETWORK)

297

6.1 LATAR BELAKANG MASALAH THE NEW IMPROVED MODELS UNTUK SKEMA PEMBIAYAAN INTERNET

<i>MULTI LINK BOTTLENEC PADA JARINGAN MULTI LAYANAN QoS (MULTI SERVICE NETWORK)</i>	297
Identifikasi Masalah.....	299
Batasan Masalah	299
Perumusan Masalah	299
Tujuan	299
Manfaat	300
6.2 TINJAUAN PUSTAKA	300
2.1 Jaringan <i>Multi Layanan (Multi Service Network)</i>	300
6.3 PEMBAHASAN	305
3.1 Data <i>Traffic</i> yang Digunakan.....	305
3.2 Pendefinisian Parameter dan Variabel Keputusan Pada Model Jaringan <i>Multi Layanan</i>	315
3.3 Pemodelan Skema Pembiayaan Internet Menurut Jaringan Multi Layanan	317
3.3.1 Penggunaan Model Skema Pembiayaan Internet Pada Kasus 1 (α dan β konstanta)	317
3.3.2 Penggunaan Model Skema Pembiayaan Internet Pada Kasus 2 (α konstanta dan β variabel).....	321
3.3.3 Penggunaan Model Skema Pembiayaan Internet Pada Kasus 3 (α dan β variabel).....	325
3.3.4 Penggunaan Model Skema Pembiayaan Internet Pada Kasus 4 (α variabel dan β konstanta).....	329
3.4 Solusi Model pada Jaringan Multi Layanan dengan Program LINGO.....	332
3.5 Perbandingan Model Modifikasi Multi Layanan.....	352
6.4 KESIMPULAN DAN SARAN.....	353
Kesimpulan	353
Saran	354
6.5 DAFTAR PUSTAKA	355

BAB VII

MODEL SKEMA PEMBIAYAAN INTERNET NIRKABEL DALAM MELAYANI JARINGAN <i>MULTIPEL QUALITY OF SERVICE (QoS)</i>	359

7.1 LATAR BELAKANG MASALAH MODEL SKEMA PEMBIAYAAN INTERNET NIRKABEL DALAM	

MELAYANI JARINGAN <i>MULTIPEL QUALITY OF SERVICE (QOS)</i>	359
Perumusan Masalah	360
Pembatasan Masalah.....	360
Tujuan	361
Manfaat	361
7.2 TINJAUAN PUSTAKA	361
2.1 Jaringan <i>Multipel QoS (QoS Multiple Network)</i>	361
2.1.1 Model Original	362
7.3 PEMBAHASAN	372
3.1 Pendeskripsian Data <i>Traffic</i>	372
3.2 Perumusan Parameter dan Variabel	375
3.3 Model Skema Pembiayaan Internet Nirkabel pada Model Original.....	378
3.3.1 Model Original pada Atribut QoS <i>Bandwidth</i>	378
3.3.2 Model Original pada Atribut QoS <i>End-to-end delay</i>	380
3.3.3 Model Original pada Atribut QoS BER	382
3.4 Model Skema Pembiayaan Internet Nirkabel pada Model Modifikasi	383
3.4.1 Model Modifikasi pada Atribut QoS <i>Bandwidth</i> ...	383
3.4.2 Model Modifikasi pada Atribut QoS <i>End-to-end delay</i>	387
3.4.3 Model Modifikasi pada Atribut QoS BER	390
3.5 Solusi Model Original Skema Pembiayaan Internet Nirkabel pada Jaringan <i>Multipel QoS</i> dengan Program LINGO	393
3.5.1 Solusi Model Original pada Atribut QoS <i>Bandwidth</i> ...	393
3.5.2 Solusi Model Original pada Atribut QoS <i>End-to-end delay</i>	395
4.5.3 Solusi Model Original pada Atribut QoS BER	396
3.6 Solusi Model Modifikasi Skema Pembiayaan <i>Internet Nirkabel</i> pada Jaringan <i>Multipel QoS</i> dengan Program LINGO	398
3.6.1 Solusi Model Modifikasi pada Atribut QoS <i>Bandwidth</i>	398
3.6.2 Solusi Model Modifikasi pada Atribut QoS <i>End-to-end delay</i>	401

3.6.3 Solusi Model Modifikasi pada Atribut QoS BER	403
3.7 Perbandingan Solusi Model Original dan Model Modifikasi	405
3.7.1 Perbandingan Solusi Kedua Model pada Atribut QoS <i>Bandwidth</i>	405
3.7.2 Perbandingan Solusi Kedua Model pada Atribut QoS <i>End-to-end delay</i>	406
3.7.3 Perbandingan Solusi Kedua Model pada Atribut QoS BER	407
7.4 KESIMPULAN DAN SARAN.....	408
Kesimpulan	408
Saran	409
7.5 DAFTAR PUSTAKA	410
INDEKS	411

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1. Data Traffic Mail untuk Jaringan Multi Layanan	11
Tabel 4. 2. Data Traffic File untuk Jaringan Multi Layanan	12
Tabel 4. 3. Data Traffic Web untuk Jaringan Multi Layanan	13
Tabel 4. 4. Data Traffic File untuk Jaringan Multi Kelas QoS	15
Tabel 4. 5. Data Traffic Mail untuk Jaringan Multi Kelas QoS	16
Tabel 4. 6. Data Traffic Web untuk Jaringan Multi Kelas QoS	17
Tabel 4.7. Nilai-nilai parameter dalam jaringan Multi layanan	
Untuk kasus 1	20
Tabel 4. 8. Solusi Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$	23
Tabel 4. 9. Solusi Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$	24
Tabel 4. 10. Rekapitulasi Solusi Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$	25
Tabel 4. 11 Solusi Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$	27
Tabel 4. 12. Solusi Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$	28
Tabel 4. 13. Rekapitulasi Solusi Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$	29
Tabel 4. 14. Solusi Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$	30
Tabel 4. 15. Rekapitulasi Solusi Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$	31
Tabel 4. 16. Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$	32
Tabel 4. 17. Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$	33
Tabel 4. 18. Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$	34
Tabel 4. 19. Rekapitulasi Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$	35
Tabel 4. 20. Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$	36
Tabel 4. 21. Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$	37
Tabel 4. 22. Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$	38
Tabel 4. 23. Rekapitulasi Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$	39
Tabel 4. 24. Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$	40
Tabel 4. 25. Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$	41
Tabel 4. 26. Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$	42
Tabel 4. 27. Rekapitulasi Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$	42
Tabel 4. 28. Solusi Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$..	44
Tabel 4. 29. Rekapitulasi Solusi Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$	45
Tabel 4. 30. Solusi Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$	46
Tabel 4. 31. Solusi Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$	47
Tabel 4. 32. Rekapitulasi Solusi Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$	48
Tabel 4. 33. Rekapitulasi Solusi Kasus 1	50
Tabel 4.34. Nilai-Nilai Parameter dalam Jaringan Multi Layanan	

Kasus 2	52
Tabel 4. 35. Solusi Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$	53
Tabel 4. 36. Solusi Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$	54
Tabel 4. 37. Rekapitulasi Solusi Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β konstanta	55
Tabel 4. 38. Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$	56
Tabel 4. 39. Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$	57
Tabel 4. 40. Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i < I_{i-1}$	58
Tabel 4. 41. Rekapitulasi Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta	59
Tabel 4. 42. Solusi Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$	61
Tabel 4. 43. Rekapitulasi Solusi Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta	62
Tabel 4. 44. Rekapitulasi Solusi Kasus 2.....	62
Tabel 4. 45. Nilai-Nilai Parameter dalam Jaringan Multi Kelas QoS Kasus 3.....	65
Tabel 4. 46. Solusi Optimal Model Original.....	67
Tabel 4. 47. Solusi Optimal Kasus 3 dengan Modifikasi Wij Parameter dan W_j Variabel	68
Tabel 4. 48. Solusi Optimal Kasus 3 dengan Modifikasi Wij Parameter dan W_j Parameter.....	69
Tabel 4. 49. Solusi Optimal Kasus 3 dengan Wij Parameter dan Wij Parameter.....	70
Tabel 4. 50. Rekapitulasi Solusi Kasus 3.....	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Jaringan <i>Multi</i> Layanan.....	4

1.1 LATAR BELAKANG MASALAH MODEL DAN SOLUSI OPTIMAL SKEMA PEMBIAYAAN INTERNET LINK TUNGGAL PADA JARINGAN *MULTI* LAYANAN (*MULTI* *SERVICE NETWORK*) DAN JARINGAN *MULTI* KELAS QoS (*MULTI CLASS QoS NETWORK*)

Perkembangan teknologi di masa sekarang berkembang dengan sangat pesat terutama dalam hal perkembangan internet. Internet mempunyai peranan penting dalam perkembangan ekonomi global. Internet merupakan suatu sarana teknologi yang digunakan untuk berbagai macam kebutuhan informasi yang dibutuhkan masyarakat. Hampir seluruh lapisan masyarakat sudah menggunakan layanan jasa internet. Penyedia Layanan *Internet Internet Service Provider* (atau disingkat ISP) berusaha memberikan kualitas yang terbaik bagi pengguna internet dan juga memperoleh pendapatan maksimum dari layanan tersebut. Cara yang dapat digunakan untuk memperoleh laba maksimum yaitu dengan menyediakan kualitas layanan (*Quality of Service* atau disingkat QoS). Cara ini dapat membantu pengguna internet menggunakan koneksi internet sesuai dengan layanan yang telah disediakan. Dengan memberikan tingkat layanan yang berbeda, ISP dapat mengembangkan sumber-sumber baru keuntungannya serta dapat mengembangkan produk digital baru dan layanan yang layak dari jaringan usaha terbaik sebelumnya (Byun dan Chatterjee, 2004).

Pembiayaan internet merupakan suatu masalah yang sudah tidak asing lagi dalam masalah ekonomi global. Penetapan harga suatu produk atau jasa adalah tugas yang sulit namun penting bagi suatu organisasi. Dengan harga yang tepat, perusahaan dapat memperoleh pelanggan, mempertahankan, dan membuat keuntungan (Byun dan Chatterjee, 2004). Pada dasarnya skema pembiayaan internet yaitu berdasarkan pembiayaan kecepatan tetap (*flat rate*) dan pembiayaan

atas dasar pemakaian (*usage based*). Pembiayaan kecepatan tetap (*flat rate*) cukup banyak digunakan oleh pelanggan karena skema tersebut sederhana dan cukup menguntungkan. Pelanggan dapat mengakses semua koneksi internet hanya dengan membayar setiap bulannya, tetapi skema pembiayaan ini kurang menguntungkan bagi ISP karena laba yang diperoleh sedikit. Sedangkan pada pembiayaan atas dasar pemakaian (*usage based*), pengguna hanya membayar sesuai yang mereka gunakan.

Pembiayaan yang tepat menjadi tugas besar bagi ISP dalam memberikan layanan terbaik yang dapat mempengaruhi pengguna menggunakan produk jasa yang diberikan. ISP menawarkan beberapa kualitas layanan yang dapat dipilih sesuai dengan kebutuhan dan biaya yang dimiliki pelanggan. Pelanggan akan mendapatkan QoS yang terbaik dengan membayar dengan harga yang tinggi, begitu pula sebaliknya. Adanya skema pembiayaan internet yang baik dan tepat dengan menggunakan QoS dapat membantu ISP dalam memperoleh pendapatan maksimum dan mempengaruhi pengguna untuk menerapkan skema yang ditawarkan oleh ISP.

Puspita, et al., (2012) telah meneliti tentang pembiayaan internet berdasarkan QoS. Pada penelitian ini formulasi pembiayaan terdahulu akan diperbaiki untuk mendapatkan pendapatan yang maksimum. Skema pembiayaan baru yang diperbaiki berdasarkan atas biaya dasar, kualitas premium, dan jaringan QoS. Skema tersebut dibentuk berdasarkan jaringan *multi* layanan (*multi service network*) dan jaringan *multi* kelas QoS (*multi class QoS*). Jaringan *multi* layanan memiliki beberapa layanan yang berbeda dengan masing-masing layanan memiliki kapasitas dan harga yang berbeda pula. Pada layanan tertentu pengguna dapat mengakses link pada layanan tersebut sesuai dengan kapasitas yang telah disediakan dan kebutuhan pengguna. Jaringan *multi* kelas QoS (*multi class QoS network*) memiliki beberapa kelas yang memiliki kapasitas masing-masing. Skema yang digunakan untuk memaksimalkan pendapatan ISP yaitu dari penelitian skema pembiayaan terdahulu menurut jaringan *multi* layanan dan *multi* kelas QoS. Solusi optimal dari model yang diperbaiki dapat diperoleh dengan menggunakan software aplikasi LINGO 11.0. Selanjutnya hasil yang diperoleh diuji terhadap model yang dibentuk.

Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. Bentuk model skema pembiayaan internet yang dapat memaksimumkan pendapatan ISP menurut jaringan *multi* layanan (*multi service network*) dan jaringan *multi* kelas QoS (*multi class QoS network*).
2. Solusi optimal untuk skema pembiayaan internet menurut jaringan *multi* layanan (*multi service network*) dan jaringan *multi* kelas QoS (*multi class QoS network*).

Pembatasan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini dibatasi pada pembiayaan internet berdasarkan kecepatan tetap (*flat rate*) pada jaringan berkabel (*wired network*) untuk link tunggal (*single link*) dengan data yang diperoleh dari suatu *server* lokal. Formulasi model didasarkan pada harga dasar sebagai variabel dan kualitas premium layanan sebagai variabel maupun konstanta.

Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memformulasikan model skema pembiayaan internet yang dapat memaksimumkan pendapatan ISP menurut jaringan *multi* layanan (*multi service network*) dan jaringan *multi* kelas QoS (*multi class QoS network*).
2. Menentukan solusi optimal skema pembiayaan internet bagi ISP jaringan *multi* layanan (*multi service network*) dan jaringan *multi* kelas QoS (*multi class QoS network*).

Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah dapat dibentuk skema pembiayaan internet yang dimodifikasi yang dapat memberikan pilihan pengaturan biaya internet bagi pengguna sesuai dengan tujuan yang dikehendaki ISP yaitu untuk memaksimumkan pendapatan.

1.2 TINJAUAN PUSTAKA

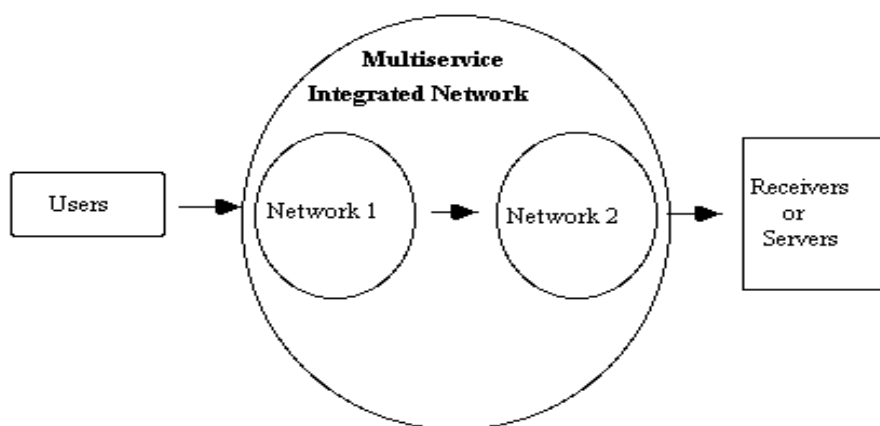
Kebutuhan masyarakat terhadap internet semakin bertambah dengan berkembangnya teknologi. Penyedia layanan internet (*Internet*

Service Provider atau disingkat ISP) bersaing dalam memberikan kualitas layanan terbaik bagi pengguna. Masalah besar yang dihadapi oleh ISP saat ini yaitu dalam memaksimumkan pendapatan. Dalam memaksimumkan pendapatan, ISP harus mempunyai skema tersendiri dalam membentuk model untuk memaksimumkan pendapatannya. Pada bab ini akan diuraikan tentang skema pembiayaan internet yang diperlukan ISP untuk memaksimumkan pendapatan dengan kualitas layanan yang diberikan.

2.1 Jaringan *Multi Layanan*

Saat ini, layanan telekomunikasi yang berbeda disediakan oleh berbagai jenis jaringan komunikasi. Kemampuan komputer untuk mentransfer setiap jenis data dalam bentuk digital dan kemudian mengirimkan atau menerimanya telah menyebabkan berbagai layanan yang ditawarkan atau diuji melalui jaringan komputer umum. Dalam beberapa tahun ke depan dapat dilihat bahwa arsitektur jaringan tunggal mungkin dapat menangani berbagai jenis kebutuhan komunikasi data yang dikenakan oleh layanan yang berbeda.

Gambar 1 menunjukkan konseptual seperti jaringan, dengan *user* (pengguna) pada *server* sendiri dan dapat mengakses layanan pada *server* lain atau memberikan jasa kepada *server* lain atau pengguna (Gupta, et al., 1995) .



Gambar 1. Jaringan *Multi Layanan*

Banyak kelas yang berbeda dan beberapa jenis aplikasi dapat mengalir pada saat yang sama ke lokasi yang berbeda. Jaringan *multi layanan* ini mampu mendukung dan menyediakan berbagai macam

aplikasi dari *eMail* sederhana sampai aplikasi yang lebih kompleks seperti *Voice over Internet Protocol (VoIP)*, *Video on Demand (VoD)*, *Media Streaming* atau *Video Conferencing*. Jaringan *multi* layanan dimaksudkan untuk membawa berbagai layanan dan aplikasi dengan karakteristik yang berbeda, yang mungkin berbeda dalam waktu, dukungan dan koneksi, dengan kualitas yang berbeda dari kualitas layanan(Sain dan Herper, 2003).

Kelas layanan yang berbeda memiliki harga yang berbeda pula. Pengguna memiliki pilihan untuk memilih saluran dan harga yang harus dibayar. Layanan yang pengguna dapatkan sesuai dengan harga yang akan mereka bayar. Skema ini pada dasarnya memanfaatkan pengguna untuk dipartisi ke dalam kelas-kelas dan pindah ke kelas lain, menemukan layanan yang sama dari kelas lain dengan harga satuan yang lebih rendah.Berdasarkan(Puspita, et al., 2012) skema pembiayaanterdahuluterutama pembiayaan yang responsifhanya mengenakan biaya ekstra ketika kongesti jaringan menunjukkan pengguna mengalami degradasi QoS, dengan besarnya perubahan yang berkaitan dengan tingkat *Traffic* (kemacetan).

Quality of Service (QoS) merupakan metode pengukuran tentang seberapa baik jaringan dan merupakan suatu usaha untuk mendefinisikan karakteristik dan sifat dari satu layanan. QoS membantu jaringan dalam menghadapi *Traffic* yang sering terjadi dalam koneksi dengan menawarkan layanan yang lebih baik bagi pengguna internet.

2.2 Skema Pembiayaan pada Jaringan *Multi* Layanan

Sain dan Herpers (2003) menyelidiki pembiayaan jaringan *multi* layanan dengan mempertimbangkan harga, alokasi kapasitas, dan QoS dalam memaksimalkan pendapatan ISP.Model optimasi dasar ini untuk menentukan solusi optimal untuk variabel alokasi kapasitas, level QoS untuk masing-masing kelas, dan maksimum *user* (pengguna) untuk setiap layanan. Model yang diformulasikan disebut OPCQP (*Optimal Pricing, Capacity Allocation and QoS Problem*). Parameter-parameter yang digunakan adalah sebagai berikut :

C : kapasitas total

d_i : kapasitas yang dibutuhkan untuk menyediakan QoS dari layanan i

m_i : level terendah dari QoS yang dibutuhkan untuk layanan i
 n_i : jumlah pengguna maksimum pada layanan i
 p_i : *sensitivitas* harga pengguna dari layanan i
 S : banyaknya layanan

Sedangkan variabel-variabel keputusan yang digunakan, meliputi :

a_i : jumlah cadangan dari total kapasitas untuk layanan i
 I_i : level QoS untuk layanan i
 x_i : banyak pengguna pada layanan i .

Berikut ini adalah model optimasi untuk jaringan *multi* layanan link tunggal:

$$\text{maks } R = \sum_{i=1}^S (\alpha_i + \beta_i * I_i) * p_i * x_i \quad (2.1)$$

dengan kendala :

$$I_i * d_i * x_i \leq a_i * C \quad (2.2)$$

$$\sum_{i=1}^S I_i * d_i * x_i \leq C \quad (2.3)$$

$$\sum_{i=1}^S a_i = 1 \quad (2.4)$$

$$0 \leq a_i \leq 1 \quad (2.5)$$

$$m_i \leq I_i \leq n_i \quad (2.6)$$

$$0 \leq x_i \leq n_i \quad (2.7)$$

$$i = 1, 2, \dots, S.$$

$$a_i + \beta_i * I_i \geq a_{i-1} + \beta_{i-1} * I_{i-1} ; i > 1 \quad (2.8)$$

(Puspita, et al., 2012)

Berikut adalah deskripsi dari model-model di atas :

1. Fungsi tujuan (2.1) menjelaskan bahwa ISP ingin memperoleh pendapatan maksimum dengan mengatur harga dasar dan kualitas premium untuk persaingan pasar. Jika ada kesempatan, ISP juga dapat mempromosikan layanan tertentu untuk jumlah pengguna dari semua layanan. Harga dasar dan kualitas premium dapat dijadikan variabel maupun konstanta sesuai dengan target ISP.
2. Kendala (2.2) menjelaskan bahwa kapasitas yang dibutuhkan layanan tertentu tidak lebih besar dari kapasitas jaringan yang disediakan untuk masing-masing layanan dengan jumlah pengguna tertentu.

3. Kendala (2.3) menjelaskan bahwa kapasitas dibutuhkan dengan masing-masing level QoS dengan banyak pengguna tertentu tidak akan melebihi total kapasitas yang telah disediakan layanan.
4. Kendala (2.4) menjelaskan bahwa jumlah cadangan total dari kapasitas untuk semua layanan bernilai 1.
5. Kendala (2.5) menjelaskan bahwa jumlah cadangan *bandwidth* dari total kapasitas layanan bernilai antara 0 dan 1.
6. Kendala (2.6) menjelaskan bahwa level QoS berada diantara level terendah dari QoS yang dibutuhkan untuk layanan *S* dan tidak akan lebih dari 1.
7. Kendala (2.7) menjelaskan bahwa jumlah pengguna secara bersamaan untuk setiap layanan lebih besar sama dengan nol dan tidak melebihi jumlah maksimum pengguna untuk setiap layanan.
8. Kendala (2.8) menjelaskan bahwa nilai harga dasar, kualitas premium, dan level QoS untuk layanan yang lebih tinggi bernilai lebih besar dari layanan di bawahnya dan bernilai lebih atau sama dengan 1.

Pembentukan skema pembiayaan internet jaringan *multipel* yang berawal dari jaringan tunggal dengan mempertimbangkan parameter lainnya termasuk kualitas premium dan index performance kelas layanan tersebut. Menurut Byun dan Chatterjee (2004), ISP mempunyai target sendiri dalam skema pembiayaan internet dengan memandang biaya dasar dan kualitas premium sebagai konstanta dan sebagai variabel. Formulasi ditetapkan dengan mempertimbangkan 4 kasus, yaitu :

- i. Penetapan biaya dasar dan kualitas premium sebagai konstanta jika ISP bermaksud mendapatkan kembali biaya yang ISP keluarkan dan pengguna dapat memilih kelas yang sesuai dengan kebutuhan mereka.
- ii. Penetapan biaya dasar sebagai konstanta dan kualitas premium sebagai variabel keputusan jika ISP bermaksud mendapatkan kembali biaya yang ISP keluarkan dan ISP juga dapat mempromosikan penggunaan layanan QoS tertentu yang lebih tinggi kepada pengguna.
- iii. Penetapan biaya dasar sebagai variabel keputusan dan kualitas premium sebagai konstanta jika ISP bermaksud melakukan

kompetisi pasar dalam persaingan mendapatkan minat pelanggan karena pelanggan dapat memilih kelas layanan yang sesuai dengan anggaran pelanggan.

- iv. Penetapan biaya dasar dan kualitas premium sebagai variabel keputusan jika ISP bermaksud melakukan kompetisi pasar dalam persaingan mendapatkan minat pelanggan dan sekaligus ISP dapat mempromosikan penggunaan layanan kelas dengan QoS yang lebih tinggi.

2.3 Skema Pembiayaan pada Jaringan *Multi KelasQoS*

ISP saat ini menangani permintaan yang tinggi untuk mempromosikan informasi yang berkualitas baik. Namun, skema baru untuk mengembangkan harga baru yang melibatkan jaringan QoS hanya sedikit. Untuk mendapatkan skema pembiayaan baru dengan menemukan model optimasi dapat diperoleh dengan membandingkan dua model di beberapa jaringan QoS. Yang (2004) memformulasikan model pembiayaan internet pada jaringan *multi* QoS dan menyelesaikannya dengan menggunakan algoritma lelang. Model yang diformulasikan dari link tunggal hingga *multiple* bottleneck links. Ada dua formulasi pada link tunggal yaitu dengan menetapkan kualitas premium sebagai konstanta dan sebagai variabel. Parameter-parameter dan variabel keputusan yang digunakan adalah sebagai berikut :

Parameter-parameter, meliputi :

Q : jumlah *bandwidth*

V_i : *bandwidth* minimum yang dibutuhkan pengguna i

c : nilai batas atas *sensitivitas* harga pengguna i pada kelas j

Variabel-variabel keputusan, meliputi :

$Z_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{jika pengguna } i \text{ diterima ke kelas } j \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases}$

X_{ij} : *bandwidth* akhir yang diperoleh pengguna i untuk kelas j

L_{mj} : *bandwidth* minimum untuk kelas j

W_j : *sensitivitas* harga untuk kelas j

X_j : *bandwidth* untuk setiap pengguna pada kelas j

W_{ij} : *sensitivitas* harga untuk pengguna i di kelas j

α_j : harga dasar untuk kelas j

Model yang menetapkan harga dasar sebagai variabel diformulasikan sebagai berikut :

$$\text{Maks } R = \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^n (\alpha_j + \beta W_j \log \frac{X_{ij}}{L_{mj}}) * Z_{ij} \quad (2.9)$$

dengan kendala-kendala :

$$\sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^n X_{ij} \leq Q \quad (2.10)$$

$$X_{ij} \geq L_{mj} - (1 - Z_{ij}) \quad (2.11)$$

$$W_j \leq W_{ij} + (1 - Z_{ij}) \quad (2.12)$$

$$X_{ij} \geq V_i - (1 - Z_{ij}) \quad (2.13)$$

$$X_{ij} \geq X_j - (1 - Z_{ij}) \quad (2.14)$$

$$X_{ij} \geq 0 + (1 - Z_{ij}) \quad (2.15)$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad (2.16)$$

$$L_{mj} \geq 0 \quad (2.17)$$

$$W_j \geq 0 \quad (2.18)$$

$$X_{ij} \leq X_j \quad (2.19)$$

$$Z_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{jika pengguna } i \text{ diterima ke kelas } j \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} \quad (2.20)$$

$$0 \leq W_j \leq c; c \in [0, 1] \quad (2.21)$$

Kendala tambahan yang digunakan sebagai berikut :

$$a \leq \alpha_j \leq b; [a, b] \subseteq [0, 1] \quad (2.22)$$

$$\alpha_j \geq \alpha_{j-1}, j > 1 \quad (2.23)$$

$$i = 1, \dots, n; j = 1, 2. \quad (\text{Puspita, et al., 2012})$$

Berikut adalah deskripsi dari model-model di atas :

1. Fungsi tujuan (2.9) menjelaskan bahwa ISP ingin mencapai targetnya yaitu memperoleh pendapatan maksimum dari mengatur harga dasar dengan mempertimbangkan *sensitivitas* harga untuk kelas tertentu, perbandingan *bandwidth* akhir yang diperoleh pengguna ke-i pada kelas tertentu dengan *bandwidth* minimum pada kelas layanan tertentu pada semua kelas yang telah disediakan yaitu sebanyak 2 kelas.
2. Kendala (2.10) menjelaskan bahwa *bandwidth* akhir yang diperoleh pengguna pada kelas layanan nilainya tidak lebih besar atau sama dengan jumlah *bandwidth*.

3. Kendala (2.11) menjelaskan bahwa *bandwidth* akhir yang diperoleh pengguna i pada kelas j bernilai tidak kurang dari atau sama dengan *bandwidth* minimum pada kelas j .
4. Kendala (2.12) menjelaskan bahwa *sensitivitas* harga pada kelas j tidak lebih atau sama dengan *sensitivitas* harga pengguna i pada kelas j .
5. Kendala (2.13) menjelaskan bahwa *bandwidth* akhir yang diperoleh pengguna i pada kelas j bernilai tidak kurang dari atau sama dengan *bandwidth* minimum yang dibutuhkan pengguna i .
6. Kendala (2.14) menjelaskan bahwa *bandwidth* akhir yang diperoleh pengguna i pada kelas j bernilai lebih besar atau sama dengan *bandwidth* untuk setiap pengguna pada kelas j .
7. Kendala (2.15) menjelaskan bahwa nilai *bandwidth* akhir yang diperoleh pengguna i pada kelas j bernilai lebih besar atau sama dengan nilai 0 atau 1.
8. Kendala (2.16) menjelaskan bahwa nilai *bandwidth* akhir yang diperoleh pengguna i pada kelas j bernilai lebih besar atau sama dengan nol.
9. Kendala (2.17) menjelaskan bahwa *bandwidth* minimum untuk kelas j bernilai lebih besar atau sama dengan nol.
10. Kendala (2.18) menjelaskan bahwa *sensitivitas* harga untuk kelas j bernilai lebih besar atau sama dengan nol.
11. Kendala (2.19) menjelaskan bahwa *bandwidth* akhir yang diperoleh pengguna i pada kelas j tidak lebih dari atau sama dengan *bandwidth* individu pada kelas j .
12. Kendala (2.20) menjelaskan bahwa Z_{ij} bernilai satu jika pengguna i diakui ke kelas j dan bernilai 0 untuk yang lainnya.
13. Kendala (2.21) menjelaskan bahwa nilai *sensitivitas* harga pada kelas j terletak antara 0 dan nilai batas atas *sensitivitas* harga pengguna i pada kelas j .
14. Kendala (2.22) menjelaskan bahwa harga dasar untuk kelas j berada antara 0 dan 1 dengan j sebanyak 2.
15. Kendala (2.23) menjelaskan bahwa harga dasar untuk kelas j tertinggi lebih besar atau sama dengan harga dasar untuk kelas di bawahnya

1.3 PEMBAHASAN

Pada bab ini dibahas pembentukan model skema pembiayaan internet link tunggal. Model yang dibentuk berdasarkan pada data suatu server lokal. Data ini diambil untuk periode waktu masing-masing 1 bulan yaitu untuk *multi* layanan dari 8 Agustus 2013 sampai 7 September 2013 dan untuk *multi* kelas QoS dari tanggal 17 Agustus 2013 sampai 17 September 2013.

3.1 Data Server Lokal

Analisis permasalahan optimasi skema pembiayaan internet memerlukan data untuk mendapatkan hasil yang optimal yang diperoleh dari server lokal. Data tersebut diambil dari beberapa aplikasi seperti *Mail*, file, dan web. Tabel 4.1, Tabel 4.2, dan Tabel 4.3 menunjukkan kinerja contoh beberapa aplikasi untuk jaringan *multi* layanan.

Tabel 4. 1. Data Traffic Mail untuk Jaringan Multi Layanan

No	Waktu	Traffic (dalam bit per second)	
		Sent	Received
1	8 Agustus 2013	543.717,4	106.918,2
2	9 Agustus 2013	520.483,8	201.273,0
3	10 Agustus 2013	537.160,0	148.010,6
4	11 Agustus 2013	545.022,1	97.822,2
5	12 Agustus 2013	757.564,8	390.240,1
6	13 Agustus 2013	1.376.481,1	865.565,5
7	14 Agustus 2013	1.796.384,4	1.528.362,4
8	15 Agustus 2013	635.425,4	382.077,1
9	16 Agustus 2013	898.339,3	332.387,5
10	17 Agustus 2013	912.088,4	212.556,9
11	18 Agustus 2013	578.592,5	92.283,9
12	19 Agustus 2013	982.749,0	780.649,6
13	20 Agustus 2013	1.554.564,5	771.848,7
14	21 Agustus 2013	1.694.196,6	760.999,9
15	22 Agustus 2013	1.022.799,6	1.269.450,7
16	23 Agustus 2013	1.413.572,8	471.705,3
17	24 Agustus 2013	1.719.839,6	1.142.686,0
18	25 Agustus 2013	1.749.112,0	271.750,5
19	26 Agustus 2013	1.102.734,3	589.974,0
20	27 Agustus 2013	1.358.248,7	1.143.905,4

21	28 Agustus 2013	1.287.029,5	838.464,7
22	29 Agustus 2013	658.146,8	365.346,9
23	30 Agustus 2013	782.409,0	365.046,8
24	31 Agustus 2013	637.064,7	904.205,7
25	1 September 2013	588.871,2	98.290,4
26	2 September 2013	1.083.827,0	290.881,8
27	3 September 2013	660.625,9	214.975,6
28	4 September 2013	737.140,3	203.512,2
29	5 September 2013	1.350.533,9	924.058,4
30	6 September 2013	1.508.627,6	418.621,6
31	7 September 2013	677.869,2	731.028,7
<i>Demand</i>		1.021.652,3	545.641,9
<i>Demand per bulan</i>		783.647,1	
<i>Demand byte per second</i>		97.955,9	
<i>Demand kilo byte per second (kbps)</i>		95,7	

Tabel 4. 2. Data *Traffic* File untuk Jaringan *Multi Layanan*

No	Waktu	<i>Traffic</i> (dalam bit per second)	
		<i>Sent</i>	<i>Received</i>
1	8 Agustus 2013	0	0
2	9 Agustus 2013	0	0
3	10 Agustus 2013	0	0
4	11 Agustus 2013	0	0
5	12 Agustus 2013	1.132.902,6	51.786.565,6
6	13 Agustus 2013	48.364.170,1	145.828.597,6
7	14 Agustus 2013	9.449.085,4	338.718.411,6
8	15 Agustus 2013	7.153.298,2	238.454.340,1
9	16 Agustus 2013	9.644.959,8	259.488.859,9
10	17 Agustus 2013	3.375.236,6	154.854.625,4
11	18 Agustus 2013	405.312,6	12.467.746,2
12	19 Agustus 2013	7.442.144,1	232.142.969,3
13	20 Agustus 2013	4.407.890,7	203.053.690,3
14	21 Agustus 2013	4.558.565,7	208.783.749,5
15	22 Agustus 2013	189.429.854,4	331.033.300,2
16	23 Agustus 2013	35.850.714,6	232.267.440,5
17	24 Agustus 2013	6.861.609,8	322.231.305,4
18	25 Agustus 2013	8.486.421,4	124.493.959,2

19	26 Agustus 2013	39.014.663,7	292.350.767,9
20	27 Agustus 2013	6.201.190,0	280.510.234,6
21	28 Agustus 2013	9.342.386,6	299.057.879,6
22	29 Agustus 2013	26.474.597,1	179.848.054,4
23	30 Agustus 2013	61.917.177,8	223.999.747,1
24	31 Agustus 2013	10.712.177,1	335.630.188,4
25	1 September 2013	7.733.688,4	147.304.063,7
26	2 September 2013	5.070.779,9	2.551.427,4
27	3 September 2013	7.815.921,2	345.257.890,6
28	4 September 2013	5.628.214,3	55.260.116,9
29	5 September 2013	97.657.979,1	299.499.014,7
30	6 September 2013	24.030.877,4	299.411.620,1
31	7 September 2013	8.883.549,1	2.454.710,7
<i>Demand</i>		20.872.431,2	197.237.062,3
<i>Demand per bulan</i>		109.054.746,7	
<i>Demand byte per second</i>		13.631.843,3	
<i>Demand kilo byte per second (kbps)</i>		13.312,3	

Tabel 4. 3. Data Traffic Web untuk Jaringan Multi Layanan

No	Waktu	<i>Traffic</i> (dalam bit per <i>second</i>)	
		<i>Sent</i>	<i>Received</i>
1	8 Agustus 2013	148.596,7	6.574.188,6
2	9 Agustus 2013	1.519.417,2	7.544.693,8
3	10 Agustus 2013	798.387,2	4.653.409,6
4	11 Agustus 2013	751.037,8	4.530.179,9
5	12 Agustus 2013	639.343,9	2.742.548,2
6	13 Agustus 2013	95.917,7	2.992.027,9
7	14 Agustus 2013	285.159,8	3.418.520,6
8	15 Agustus 2013	593.859,4	1.688.255,1
9	16 Agustus 2013	936.609,6	2.345.168,3
10	17 Agustus 2013	523.208,9	3.333.904,4
11	18 Agustus 2013	565.980,6	1.606.764,1
12	19 Agustus 2013	839.124,9	4.466.820,1
13	20 Agustus 2013	757.146,0	4.999.164,8
14	21 Agustus 2013	1.010.381,6	12.054.184,8
15	22 Agustus 2013	1.132.330,6	19.104.354,5
16	23 Agustus 2013	802.191,8	9.425.728,1
17	24 Agustus 2013	509.068,8	4.325.607,2

18	25 Agustus 2013	692.080,6	3.066.134,9
19	26 Agustus 2013	1.112.688,9	5.062.171,6
20	27 Agustus 2013	940.927,5	4.195.724,5
21	28 Agustus 2013	1.341.170,6	5.958.610,5
22	29 Agustus 2013	1.417.190,8	8.448.636,4
23	30 Agustus 2013	1.352.304,7	5.943.353,1
24	31 Agustus 2013	1.716.686,6	5.292.422,3
25	1 September 2013	1.518.350,8	4.192.110,9
26	2 September 2013	1.515.721,8	3.761.703,8
27	3 September 2013	1.435.173,9	4.282.435,7
28	4 September 2013	1.113.709,6	2.601.579,0
29	5 September 2013	1.289.614,8	5.994.592,2
30	6 September 2013	1.092.666,2	3.334.806,5
31	7 September 2013	1.219.579,8	3.980.389,7
<i>Demand</i>		968.843,7	5.060.005,9
<i>Demand per bulan</i>		3.014.424,9	
<i>Demand byte per second</i>		376.803,1	
<i>Demand kilo byte per second (kbps)</i>		367,9	

Pada jaringan *multi* layanan, data *Traffic* yang digunakan meliputi 3 aplikasi yaitu *Mail*, *file*, dan *web*. Berdasarkan ketiga aplikasi tersebut diperoleh masing-masing *Demand* pada setiap aplikasi pada Tabel 4.1. sampai Tabel 4.3. *Demand* tersebut didapat dari *Traffic* yang tercatat oleh *server* lokal dengan menghitung nilai *Sent* dan *received* untuk setiap bulannya. *Demand* per bulan lalu dikonversikan ke dalam satuan *byte per second* dan *kilobyte per second*. Pada setiap aplikasi diperoleh nilai *Sent* dan *received* selama satu bulan. Jumlah *Demand* per bulan diperoleh dari rata-rata nilai *Sent* dan *received* per bulan.

Pada Tabel 4.1. sampai Tabel 4.3., dapat dilihat perbandingan nilai *Sent* dan *received* pada setiap aplikasi. Nilai *Sent* adalah transmisi bit yang dibutuhkan dalam mengakses atau mengirim perintah ke suatu aplikasi dan *received* adalah transmisi bit dalam menerima perintah yang dilakukan. Pada aplikasi *Mail*, jumlah *Sent* lebih besar dari *received* sedangkan pada aplikasi *file* dan *web*, jumlah *received* lebih besar dari *Sent*. Jumlah *Demand* yang paling besar yaitu pada aplikasi *file* sebesar 13.312,3 kbps lalu aplikasi *web* sebesar 367,9 kbps dan pada aplikasi *Mail* sebesar 95,7 kbps.

Tabel 4.4. menampilkan data *Traffic* pada aplikasi file yang diperoleh dengan jaringan *multi* kelas QoS.

Tabel 4. 4.Data *Traffic* File untuk Jaringan *Multi* Kelas QoS

No	Waktu	<i>Traffic</i> (dalam bit per second)	
		<i>Sent</i>	<i>Received</i>
1	17 Agustus 2013	18.199.957,3	516.745.826,6
2	18 Agustus 2013	405.312,5	12.807.169,7
3	19 Agustus 2013	7.442.144,1	236.814.866,6
4	20 Agustus 2013	4.407.890,6	203.053.690,3
5	21 Agustus 2013	4.558.565,6	208.783.749,5
6	22 Agustus 2013	189.429.854,4	331.033.300,2
7	23 Agustus 2013	37.923.485,9	232.267.440,5
8	24 Agustus 2013	6.861.609,7	322.231.305,4
9	25 Agustus 2013	8.486.421,3	118.356.352,8
10	26 Agustus 2013	39.014.663,6	292.350.767,9
11	27 Agustus 2013	6.201.190,0	280.510.234,6
12	28 Agustus 2013	9.342.386,5	299.057.879,6
13	29 Agustus 2013	26.474.597,1	179.848.054,4
14	30 Agustus 2013	61.917.177,8	229.272.592,3
15	31 Agustus 2013	10.712.177,1	335.630.188,4
16	1 September 2013	7.733.688,4	147.304.063,7
17	2 September 2013	5.070.779,9	26.457.888,7
18	3 September 2013	7.815.921,1	345.257.890,6
19	4 September 2013	5.628.214,2	55.260.116,9
20	5 September 2013	97.657.979,1	299.499.014,7
21	6 September 2013	24.030.877,4	299.411.620,1
22	7 September 2013	8.883.549,1	24.547.108,7
23	8 September 2013	2.221.278,4	113.270.153,9
24	9 September 2013	12.489.326,1	581.312.861,1
25	10 September 2013	16.975.829,0	534.622.731,3
26	11 September 2013	16.005.087,6	494.009.872,5
27	12 September 2013	11.325.673,4	562.913.036,4
29	13 September 2013	18.894.762,6	671.744.197,1
30	14 September 2013	2.690.942,4	132.369.935,4
31	15 September 2013	2.522.505,5	107.531.782,3
32	16 September 2013	10.516.938,6	527.807.814,3
<i>Demand</i>		21.994.864,1	296.165.434,9
<i>Demand</i> untuk Mail sebulan		159.080.149,5.	

<i>Demand byte per second</i>	19.885.018,69
<i>Demand kilo byte per second (kbps)</i>	19.418,96

Tabel 4.5. menampilkan data *Traffic* pada aplikasi *Mail* yang diperoleh dengan jaringan *multi* kelas QoS.

Tabel 4. 5.Data *Traffic Mail* untuk Jaringan *Multi Kelas QoS*

No	Waktu	<i>Traffic</i> (dalam bit per second)	
		<i>Sent</i>	<i>Received</i>
1	17 Agustus 2013	7.261,1	9.703,9
2	18 Agustus 2013	578.592,5	92.283,9
3	19 Agustus 2013	982.749,0	780.649,6
4	20 Agustus 2013	1.554.564,5	771.848,7
5	21 Agustus 2013	1.694.196,6	760.999,9
6	22 Agustus 2013	1.022.799,6	1.269.450,8
7	23 Agustus 2013	1.413.572,8	471.705,3
8	24 Agustus 2013	1.719.839,6	1.142.686,1
9	25 Agustus 2013	1.749.112,1	271.750,5
10	26 Agustus 2013	1.102.734,3	589.974,0
11	27 Agustus 2013	1.358.248,7	1.143.905,4
12	28 Agustus 2013	1.287.029,5	838.464,7
13	29 Agustus 2013	658.146,8	365.346,9
14	30 Agustus 2013	782.409,0	365.046,8
15	31 Agustus 2013	637.064,7	904.205,7
16	1 September 2013	588.871,2	98.290,4
17	2 September 2013	1.083.827,0	290.881,8
18	3 September 2013	660.625,9	214.975,6
19	4 September 2013	737.140,3	203.512,2
20	5 September 2013	1.350.533,9	924.058,4
21	6 September 2013	1.508.627,6	418.621,6
22	7 September 2013	686.971,4	749.972,3
23	8 September 2013	598.425,7	190.010,5
24	9 September 2013	1.317.325,4	528.363,1
25	10 September 2013	785.991,8	579.881,5
26	11 September 2013	640.243,0	938.519,1
27	12 September 2013	1.661.027,9	1.083.996,4
28	13 September 2013	695.967,9	896.997,2
29	14 September 2013	709.699,2	386.609,6
30	15 September 2013	592.235,5	203.756,5

31	16 September 2013	1.042.430,9	698.326,8
32	17 September 2013	1.338.286,1	854.311,7
<i>Demand</i>		1.017.079,7	594.972,1
<i>Demand</i> untuk Mail sebulan		806.025,9	
<i>Demand</i> byte per second		100.753,2	
<i>Demand</i> kilo byte per second (kbps)		98,4	

Tabel 4.6. menampilkan data *Traffic* pada aplikasi web yang diperoleh dengan jaringan *multi* kelas QoS

Tabel 4. 6. Data *Traffic* Web untuk Jaringan *Multi* Kelas QoS

No	Waktu	<i>Traffic</i> (dalam bit per second)	
		<i>Sent</i>	<i>Received</i>
1	17 Agustus 2013	8.596,9	93.922,5
2	18 Agustus 2013	565.980,6	1.606.764,1
3	19 Agustus 2013	839.124,9	4.466.820,1
4	20 Agustus 2013	757.146,0	4.999.164,8
5	21 Agustus 2013	1.010.381,6	12.054.184,8
6	22 Agustus 2013	1.132.330,6	19.104.354,5
7	23 Agustus 2013	802.191,8	9.425.728,1
8	24 Agustus 2013	509.068,8	4.325.607,2
9	25 Agustus 2013	692.080,6	3.066.134,9
10	26 Agustus 2013	1.112.688,9	5.062.171,6
11	27 Agustus 2013	940.927,5	4.195.724,5
12	28 Agustus 2013	1.341.170,6	5.958.610,5
13	29 Agustus 2013	1.417.190,8	8.448.636,4
14	30 Agustus 2013	1.252.304,7	5.943.353,1
15	31 Agustus 2013	1.716.686,6	5.292.422,3
16	1 September 2013	1.518.350,8	1.518.350,8
17	2 September 2013	1.515.721,8	1.515.721,8
18	3 September 2013	1.435.173,9	1.435.173,9
19	4 September 2013	1.113.709,6	1.113.709,6
20	5 September 2013	1.289.614,8	1.289.614,8
21	6 September 2013	1.092.666,2	1.092.666,2
22	7 September 2013	1.219.579,9	1.219.579,9
23	8 September 2013	1.225.583,1	2.981.451,3

24	9 September 2013	1.443.933,7	5.895.905,7
25	10 September 2013	1.431.779,2	6.335.132,2
26	11 September 2013	1.320.347,5	6.518.225,5
27	12 September 2013	1.303.253,4	5.513.072,8
28	13 September 2013	1.226.197,7	7.073.290,9
29	14 September 2013	1.735.677,8	11.141.929,1
30	15 September 2013	913.826,2	3.896.931,8
31	16 September 2013	1.275.177,3	6.956.998,2
32	17 September 2013	1.196.940,3	14.000.068,5
<i>Demand</i>		1.136.106,4	5.423.169,4
<i>Demand</i> untuk web sebulan		3.279.637,9	
<i>Demand</i> byte per second		409.954,7	
<i>Demand</i> kilo byte per second (kbps)		400,3	

Sama halnya dengan *Demand* pada jaringan *multi* layanan, pada jaringan *multi* kelas QoS juga diperoleh *Demand* dengan cara yang sama yaitu sesuai dengan data *Traffic* yang tercatat pada *server* lokal dalam kurun waktu satu bulan.

Data *Traffic* untuk jaringan *multi* kelas QoS hanya meliputi 2 aplikasi yaitu *Mail* dan *web*. Pada data *Traffic* kedua aplikasi yaitu *Mail* and *web* dapat dilihat bahwa nilai *received* lebih besar dari *Sent*. Jumlah *Demand* pada aplikasi *web* sebesar 400,3 kbps lebih besardari aplikasi *Mail* sebesar 98,4 kbps.

3.2 Pendefinisian Parameter dan Variabel untuk Model Jaringan *Multi Layanan*

Dalam skema pembiayaan internet link tunggal untuk jaringan *multi* layanan ada beberapa parameter dan variabel yang diketahui. Pada jaringan *multi* layanan ada dua kasus yang dibahas yaitu kasus 1 dan kasus 2. Kedua kasus ini didasarkan pada nilai harga dasar (α) dan kualitas premium (β). Kasus 1: α dan β sebagai variabel dan kasus 2: α sebagai variabel β sebagai konstanta. Pada kedua kasus ini , α sebagai harga dasar yaitu harga yang ditetapkan oleh ISP untuk transmisi bit jika layanan berada pada level terendah yaitu 0 dan β sebagai kualitas premium untuk setiap layanan ketika layanan memiliki kualitas yang berbeda. Berikut dijelaskan beberapa parameter dan variabel keputusan

yang digunakan untuk memaksimumkan pendapatan ISP. Berikut adalah parameter-parameter yang digunakan pada kasus 1 dan kasus 2.

Parameter untuk kasus 1 adalah :

- C : kapasitas total
- d_i : kapasitas yang dibutuhkan untuk menyediakan QoS dari layanan i
- m_i : level terendah dari QoS yang dibutuhkan untuk layanan i
- n_i : jumlah pengguna maksimum pada layanan i
- p_i : *sensitivitas* harga pengguna dari layanan i
- S : banyaknya layanan
- i : layanan

Parameter untuk kasus 2 adalah :

- C : kapasitas total
- d_i : kapasitas yang dibutuhkan untuk menyediakan QoS dari layanan i
- m_i : level terendah dari QoS yang dibutuhkan untuk layanan i
- n_i : jumlah pengguna maksimum pada layanan i
- p_i : *sensitivitas* harga pengguna dari layanan i
- S : banyaknya layanan
- i : layanan
- β : kualitas premium

Sedangkan variabel-variabel yang digunakan adalah sebagai berikut :

Variabel untuk kasus 1 adalah :

- a_i : jumlah cadangan dari total kapasitas untuk layanan i
- I_i : level QoS untuk layanan i
- x_i : banyak pengguna pada layanan i
- α_i : harga dasar layanan jaringan
- β_i : kualitas premium layanan

Variabel untuk kasus 2 adalah :

- a_i : jumlah cadangan dari total kapasitas untuk layanan i
- I_i : level QoS untuk layanan i
- x_i : banyak pengguna pada layanan i
- α_i : harga dasar layanan jaringan
- β_i : kualitas premium layanan

Setelah merumuskan parameter dan variabel untuk jaringan *multi* layanan maka didapatkan model untuk memaksimalkan pendapatan ISP pada masing-masing jaringan dan kendala-kendalanya. Pada jaringan *multi* layanan terdapat kasus 1 dan kasus 2 yang dimodifikasi berdasarkan index *quality*, harga dasar (base price), dan kualitas premium per layanan. Ketiga modifikasi tersebut dikombinasikan untuk mendapatkan pendapatan maksimum yang ditargetkan oleh ISP dan diselesaikan dengan bantuan program LINGO 11.0.

3.3 Pemodelan Skema Pembiayaan Internet Menurut Jaringan *Multi* Layanan Kasus 1

Pada kasus 1 yaitu α dan β sebagai variabel ada beberapa nilai yang dimodifikasi untuk memenuhi tujuan ISP yaitu memaksimalkan pendapatan. Ada beberapa parameter yang digunakan pada kasus ini. Tabel 4.7 menjelaskan nilai-nilai parameter yang digunakan untuk kasus 1. Kapasitas total (*C*) diperoleh dari *Demand* masing-masing aplikasi yaitu *Mail*, *file*, dan *web* yang dapat dilihat pada Tabel 4.1 sampai Tabel 4.3. Kapasitas yang dibutuhkan (*d*) diperoleh dari kebutuhan minimum pengguna dalam mengakses aplikasi dan jumlah pengguna maksimum (*n*) diasumsikan 10. *Sensitivitas* harga pengguna (*p*) merupakan kemampuan pengguna dalam membayar layanan yang disediakan. Makin besar kapasitas yang disediakan maka makin besar nilai *p*.

Tabel 4. 7. Nilai-Nilai Parameter dalam Jaringan *Multi* Layanan untuk Kasus 1

Parameter	Layanan (i)		
	1 (<i>Mail</i>)	2 (<i>file</i>)	3 (<i>web</i>)
Kapasitas total (<i>C</i>)	95,7kbps	13312,3kbps	367,9kbps
Kapasitas yang dibutuhkan (<i>d</i>)	60kbps	45 kbps	750 kbps
Jumlah pengguna maksimum (<i>n</i>)	10	10	10
<i>Sensitivitas</i> harga pengguna (<i>p</i>)	3	45	15

Model persamaan umum untuk kasus 1 menggunakan fungsi tujuan dan kendala seperti pada Persamaan (2.1) sampai (2.8) dengan

memasukkan nilai parameter pada Tabel 4.7. dengan banyaknya layanan (S) adalah 3 yaitu *Mail*, *file*, dan *web*.

Fungsi tujuan (2.1) pada model jaringan *multi* layanan kasus 1 menjelaskan bahwa dengan penetapan biaya dasar dan kualitas premium sebagaivariabel keputusan maka ISP bermaksud melakukan kompetisi pasar dalam persaingan mendapatkan minat pelanggan dan sekaligus ISP dapat mempromosikan penggunaan layanan kelas dengan QoS yang lebih tinggi.

Pada kasus 1, index *quality per service* dimodifikasi sehingga mempunyai 3 solusi yaitu: solusi pertama $I_i = I_{i-1}$, solusi kedua $I_i > I_{i-1}$, dan solusi ketiga $I_i < I_{i-1}$. Begitu pula dengan harga dasar (*base price*, α) yaitu : solusi pertama $\alpha_i = \alpha_{i-1}$, solusi kedua $\alpha_i > \alpha_{i-1}$, dan solusi ketiga $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ serta kualitas premium (β) yaitu : solusi pertama $\beta_i = \beta_{i-1}$, solusi kedua $\beta_i > \beta_{i-1}$, dan solusi ketiga $\beta_i < \beta_{i-1}$.

Berikut model persamaan dan kendala-kendala yang digunakan kasus 1 :

$$\text{maks } R = (\alpha_1 + \beta_1 * I_1) * p_1 * x_1 + (\alpha_2 + \beta_2 * I_2) * p_2 * x_2 + (\alpha_3 + \beta_3 * I_3) * p_3 * x_3 \quad (4.1)$$

dengan kendala :

$$I_1 * d_1 * x_1 \leq a_1 * C \quad (4.2)$$

$$I_2 * d_2 * x_2 \leq a_2 * C \quad (4.3)$$

$$I_3 * d_3 * x_3 \leq a_3 * C \quad (4.4)$$

$$I_1 * d_1 * x_1 + I_2 * d_2 * x_2 + I_3 * d_3 * x_3 \leq C \quad (4.5)$$

$$a_1 + a_2 + a_3 = 1 \quad (4.6)$$

$$0 \leq a_1 \leq 1 \quad (4.7)$$

$$0 \leq a_2 \leq 1 \quad (4.8)$$

$$0 \leq a_3 \leq 1 \quad (4.9)$$

$$0,8 \leq I_1 \leq 1 \quad (4.10)$$

$$0,8 \leq I_2 \leq 1 \quad (4.11)$$

$$0,5 \leq I_3 \leq 1 \quad (4.12)$$

$$0 \leq x_1 \leq 10 \quad (4.13)$$

$$0 \leq x_2 \leq 10 \quad (4.14)$$

$$0 \leq x_3 \leq 10 \quad (4.15)$$

$$\alpha_2 + \beta_2 * I_2 \geq \alpha_1 + \beta_1 * I_1 \quad (4.16)$$

$$\alpha_3 + \beta_3 * I_3 \geq \alpha_2 + \beta_2 * I_2 \quad (4.17)$$

$$0 \leq \alpha_1 \leq 0,5 \quad (4.18)$$

$$0 \leq \alpha_2 \leq 0,7 \quad (4.19)$$

$$0 \leq \alpha_3 \leq 0,6 \quad (4.20)$$

$$0,05 \leq \beta_1 \leq 0,8 \quad (4.21)$$

$$0,02 \leq \beta_2 \leq 0,5 \quad (4.22)$$

$$0,01 \leq \beta_3 \leq 0,3 \quad (4.23)$$

3.3.1 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$

Pada kasus ini dimodifikasi nilai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ dengan 3 bentuk modifikasi untuk index *quality* yaitu pertama $I_i = I_{i-1}$, kedua $I_i > I_{i-1}$, dan ketiga $I_i < I_{i-1}$. Ketiga modifikasi tersebut digunakan untuk menyelesaikan model yang ada pada kasus ini. Persamaan yang digunakan untuk kasus ini yaitu Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.23) dan kendala tambahan pada Persamaan (4.24) sampai dengan Persamaan (4.32) sebagai berikut :

$$I_3 - I_2 = 0 \quad (4.24)$$

$$I_2 - I_1 = 0 \quad (4.25)$$

$$I_3 - I_2 > 0 \quad (4.26)$$

$$I_2 - I_1 > 0 \quad (4.27)$$

$$I_3 - I_2 < 0 \quad (4.28)$$

$$I_2 - I_1 < 0 \quad (4.29)$$

$$\alpha_3 - \alpha_2 = 0 \quad (4.30)$$

$$\alpha_2 - \alpha_1 = 0 \quad (4.31)$$

$$\beta_3 - \beta_2 = 0 \quad (4.32)$$

$$\beta_2 - \beta_1 = 0 \quad (4.33)$$

3.3.1.1 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$

Pada kasus ini, akan dimodifikasi index *quality* untuk $I_i = I_{i-1}$. Modifikasi ini menggunakan Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.23) dengan kendala-kendala tambahan pada Persamaan (4.24), Persamaan (4.25), dan Persamaan (4.30) sampai Persamaan (4.33). Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 dan dapat dilihat pada Lampiran 1. Hasil solusi dari modifikasi tersebut dapat dilihat seperti pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8. Solusi Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$

Modifikasi	$I_i = I_{i-1}$		
Layanan	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,5	0,5	0,5
Kualitas premium	0,3	0,3	0,3
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3
QoS level	1	1	1
Jumlah pengguna	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	600	450	7.500
Total kapasitas	8.550		
Pendapatan	24	360	120
Total pendapatan	504		

Keterangan : Nilai-nilai solusi dari variabel merupakan hasil simulasi dari program LINGO 11.0, yang didasarkan pada kendala-kendala yang digunakan.

Tabel 4.8. menampilkan hasil solusi yang diperoleh dengan modifikasi $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$ yang diperoleh dengan program LINGO 11.0. Total pendapatan yang diperoleh dari model yang dimodifikasi sebesar 504. Total kapasitas yang digunakan sebesar 8.550 kbps atau 8,35% dari total kapasitas yang disediakan (C) sebesar 102.400 kbps dengan jumlah pengguna 10 *user*. Pendapatan paling besar diperoleh pada layanan 2 (file) sebesar 360. Total kapasitas yang paling banyak digunakan yaitu pada layanan 3 (*Mail*) sebesar 7.500 kbps.

3.3.1.2 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Pada kasus ini, dimodifikasi index *quality* untuk $I_i > I_{i-1}$. Modifikasi ini menggunakan Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.23) akan tetapi karena memodifikasi nilai $I_i > I_{i-1}$ maka Persamaan (4.10) sampai Persamaan (4.12) diganti menjadi Persamaan (4.34) sampai Persamaan (4.36) sebagai berikut :

$$0,5 \leq I_1 \leq 0,6 \quad (4.34)$$

$$0,7 \leq I_2 \leq 0,8 \quad (4.35)$$

$$0,9 \leq I_3 \leq 1 \quad (4.36)$$

Nilai yang ada pada kendala Persamaan (4.34) sampai Persamaan (4.36) diambil untuk memenuhi modifikasi $I_i > I_{i-1}$. Kendala tambahan yang digunakan pada kasus ini dengan modifikasi $I_i > I_{i-1}$ yaitu Persamaan (4.26), Persamaan (4.27), dan Persamaan (4.30) sampai Persamaan (4.33). Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan hasil solusi optimal dan dapat dilihat pada Lampiran 2. Hasil solusi dari modifikasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.9.

**Tabel 4. 9. Solusi Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$
untuk $I_i > I_{i-1}$**

Modifikasi	$I_i > I_{i-1}$		
Layanan	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,5	0,5	0,5
Kualitas premium	0,3	0,3	0,3
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3
QoS level	0,6	0,8	1
Jumlah pengguna	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	360	360	7.500
Total kapasitas	8.220		
Pendapatan	20,4	333	120
Total pendapatan	473,4		

Pada Tabel 4.9 ditampilkan hasil penyelesaian dari kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$. Hasil solusi optimal dari modifikasi tersebut memperoleh total pendapatan sebesar 473,4 dengan pendapatan paling besar diperoleh pada layanan 2 (file) sebesar 333. Total kapasitas yang digunakan sebesar 8.220 kbps atau 8,02 % dari total layanan yang disediakan (C) dengan jumlah pengguna sebanyak 10 user. Kapasitas yang paling banyak digunakan yaitu pada layanan 3 (web) sebesar 7.500 kbps.

3.3.1.3 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$

Kasus ini memodifikasi index *quality* untuk $I_i < I_{i-1}$. Modifikasi ini menggunakan Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.23) akan tetapi karena memodifikasi $I_i < I_{i-1}$ maka Persamaan (4.10) sampai Persamaan (4.12) diganti dengan Persamaan (4.37) sampai Persamaan (4.39) sebagai berikut :

$$0,9 \leq I_1 \leq 1 \quad (4.37)$$

$$0,7 \leq I_2 \leq 0,8 \quad (4.38)$$

$$0,5 \leq I_3 \leq 0,6 \quad (4.39)$$

Nilai yang ada pada kendala Persamaan (4.37) sampai Persamaan (4.39) diambil untuk memenuhi modifikasi $I_i < I_{i-1}$. Kendala tambahan yang digunakan yaitu Persamaan (4.28) sampai Persamaan (4.33). Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk memperoleh hasil solusi optimal. Setelah diselesaikan dengan program LINGO 11.0 tidak diperoleh hasil solusi optimal untuk modifikasi tersebut.

Tabel 4. 10. Rekapitulasi Solusi Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$

Modifikasi	$I_i = I_{i-1}$			$I_i > I_{i-1}$		
	$i=1$	$i=2$	$i=3$	$i=1$	$i=2$	$i=3$
Harga dasar	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Kualitas premium	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
QoS level	1	1	1	0,6	0,8	1
Jumlah pengguna	10	10	10	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	600	450	7.500	360	360	7.500
PerSentase kapasitas yang digunakan	8,35%			8,02%		
Total kapasitas	8.550			8.220		
Pendapatan	24	360	120	20,4	333	120
Total pendapatan	504			473,4		

Pada Tabel 4.10 dapat dilihat hasil solusi optimal dari kedua modifikasi untuk kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$. Total pendapatan maksimum diperoleh pada modifikasi pertama $I_i = I_{i-1}$ sebesar 504. Pendapatan paling besar yang diperoleh pada modifikasi pertama yaitu sebesar 360 pada layanan 2 (file). Kapasitas yang banyak digunakan pada modifikasi pertama sebesar 8.550 kbps atau sebesar 8,35% dari total kapasitas yang disediakan. Jadi, untuk kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$, pendapatan maksimum yang diperoleh yaitu pada modifikasi pertama $I_i = I_{i-1}$ sebesar 504 dengan menggunakan kapasitas layanan sebesar 8.550 kbps.

3.3.2 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$

Kasus ini juga memodifikasi nilai α dan β ke dalam 3 bentuk modifikasi index *quality* yaitu $I_i = I_{i-1}$, $I_i > I_{i-1}$, dan $I_i < I_{i-1}$. Pada kasus ini, nilai $\beta_i > \beta_{i-1}$ maka Persamaan (4.21) sampai Persamaan (4.23) diganti menjadi Persamaan (4.40) sampai Persamaan (4.42) seperti berikut :

$$0,01 \leq \beta_1 \leq 0,6 \quad (4.40)$$

$$0,02 \leq \beta_2 \leq 0,7 \quad (4.41)$$

$$0,05 \leq \beta_3 \leq 0,8 \quad (4.42)$$

dengan kendala tambahan :

$$\beta_3 - \beta_2 > 0 \quad (4.43)$$

$$\beta_2 - \beta_1 > 0 \quad (4.44)$$

3.3.2.1 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$

Modifikasi ini menggunakan Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.20), Persamaan (4.40) sampai Persamaan (4.42) dengan kendala tambahan pada Persamaan (4.24), Persamaan (4.25), Persamaan (4.30), Persamaan (4.31), Persamaan (4.43), dan Persamaan (4.44). Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan solusi optimal dan dapat dilihat pada Lampiran 3.

Tabel 4. 11 Solusi Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$

Modifikasi	$I_i = I_{i-1}$		
Layanan	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,5	0,5	0,5
Kualitas premium	0,6	0,7	0,8
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3
QoS level	1	1	1
Jumlah pengguna	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	600	450	7.500
Total kapasitas	8.550		
Pendapatan	33	540	195
Total pendapatan	768		

Tabel 4.11 menampilkan hasil solusi optimal yang diperoleh dengan modifikasi $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$. Total pendapatan yang diperoleh yaitu sebesar 768. Total kapasitas yang digunakan sebesar 8.550 kbps atau 8,35% dari total kapasitas yang disediakan (C) dengan jumlah pengguna 10 user. Pendapatan paling besar diperoleh pada layanan 2 (file) sebesar 540 dengan kapasitas yang digunakan sebesar 450 kbps. Kapasitas yang paling banyak digunakan yaitu pada layanan 3 (web) sebanyak 7.500 kbps.

3.3.2.2 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Pada kasus ini, dimodifikasi index *quality* untuk $I_i > I_{i-1}$. Modifikasi ini menggunakan Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.9), Persamaan (4.13) sampai Persamaan (4.20), Persamaan (4.26), Persamaan (4.27), Persamaan (4.30), Persamaan (4.31), Persamaan (4.34) sampai Persamaan (4.36), dan Persamaan (4.40) sampai Persamaan (4.44).

Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan solusi optimal dan dapat dilihat pada Lampiran 4. Hasil solusi dari modifikasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4. 12. Solusi Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Modifikasi	$I_i > I_{i-1}$		
	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,5	0,5	0,5
Kualitas premium	0,6	0,7	0,8
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3
QoS level	0,6	0,8	1
Jumlah pengguna	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	360	360	7.500
Total kapasitas	8.220		
Pendapatan	25,8	477	195
Total pendapatan	697,8		

Pada Tabel 4.12 dapat dilihat total pendapatan yang diperoleh sebesar 697,8 dengan pendapatan paling besar diperoleh pada layanan 2 (file) sebesar 477. Total kapasitas yang digunakan sebesar 8.220 kbps atau 8,02% dari total layanan yang disediakan (C) sebesar 102.400 kbps dengan jumlah pengguna sebanyak 10 user. Kapasitas yang paling banyak digunakan yaitu pada layanan 3 (web) sebesar 7.500 kbps.

3.3.2.3 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$

Kasus ini memodifikasi index *quality* untuk $I_i < I_{i-1}$. Modifikasi ini menggunakan Persamaan (4.1) sampai (4.9), Persamaan (4.13) sampai dengan Persamaan (4.20), Persamaan (4.28) sampai Persamaan (4.31), dan Persamaan (4.37) sampai Persamaan (4.44). Setelah persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0, ternyata tidak diperoleh hasil solusi optimal. Jadi, model untuk modifikasi ini tidak digunakan untuk memperoleh pendapatan maksimum ISP. Rekapitulasi solusi kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4. 13. Rekapitulasi Solusi Kasus $\alpha_i=\alpha_{i-1}$ dan $\beta_i>\beta_{i-1}$

Modifikasi Layanan	$I_i=I_{i-1}$			$I_i>I_{i-1}$		
	i=1	i=2	i=3	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Kualitas premium	0,6	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
QoS level	1	1	1	0,6	0,8	1
Jumlah pengguna	10	10	10	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	600	450	7.500	360	360	7.500
Total kapasitas	8.550			8.220		
PerSentase kapasitas yang digunakan	8,35			8,02		
Pendapatan	33	540	195	25,8	477	195
Total pendapatan	768			697,8		

Tabel 4.13 menunjukkan hasil solusi optimal dari kasus $\alpha_i=\alpha_{i-1}$ dan $\beta_i>\beta_{i-1}$ untuk modifikasi index *quality* pada modifikasi $I_i=I_{i-1}$ dan $I_i>I_{i-1}$ yang memperoleh solusi optimal. Total pendapatan maksimum diperoleh pada modifikasi pertama yaitu sebesar 768. Pendapatan paling besar pada modifikasi pertama diperoleh layanan 2 (file) sebesar 540. Total kapasitas yang digunakan untuk modifikasi pertama yaitu sebesar 8.550 kbps atau 8,35%, dari total kapasitas layanan yang disediakan (C). Kapasitas paling banyak yang digunakan pada layanan 3 (web) sebesar 7.500 kbps. Jadi, pendapatan maksimum yang diperoleh kasus ini pada untuk modifikasi pertama $I_i = I_{i-1}$ sebesar 768.

3.3.3 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i<\beta_{i-1}$

Kasus ini memodifikasi nilai α dan β ke dalam 3 bentuk modifikasi index *quality* yaitu $I_i=I_{i-1}$, $I_i>I_{i-1}$, dan $I_i<I_{i-1}$. Pada kasus ini, dimodifikasi nilai $\beta_i<\beta_{i-1}$ maka persamaan yang digunakan yaitu Persamaan (4.1) sampai (4.23), Persamaan (4.30), dan Persamaan (4.31) dengan kendala tambahan untuk kasus $\beta_i<\beta_{i-1}$ sebagai berikut :

$$\beta_3 - \beta_2 < 0 \tag{4.45}$$

$$\beta_2 - \beta_1 < 0 \tag{4.46}$$

3.3.3.1 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$

Modifikasi kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$ ini menggunakan Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.25), Persamaan (4.30), Persamaan (4.31), Persamaan (4.45), dan Persamaan (4.46). Setelah persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0, hasil solusi optimal yang diinginkan tidak diperoleh. Jadi, modifikasi ini tidak dapat digunakan dalam memaksimumkan pendapatan ISP.

3.3.3.2 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Pada modifikasi ini digunakan Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.9), Persamaan (4.13) sampai Persamaan (4.20), Persamaan (4.26), Persamaan (4.27), Persamaan (4.30), Persamaan (4.31), Persamaan (4.34) sampai Persamaan (4.36), Persamaan (4.45), dan Persamaan (4.46). Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 dan dapat dilihat pada Lampiran 5. Hasil solusi dari modifikasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4. 14. Solusi Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Modifikasi	$I_i > I_{i-1}$		
	i=1	i=2	i=3
Layanan			
Harga dasar	0,5	0,5	0,5
Kualitas premium	0,6	0,4	0,3
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3
QoS level	0,5	0,7	1
Jumlah pengguna	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	300	315	7.500
Total kapasitas	8.415		
Pendapatan	24	360	120
Total pendapatan	504		

Hasil solusi yang diperoleh dari modifikasi tersebut memperoleh total pendapatan sebesar 504 dengan pendapatan paling besar diperoleh pada layanan 2 (file) sebesar 360. Total kapasitas yang digunakan sebesar 8.415 kbps atau 8,21% dari total layanan yang disediakan (C) dengan jumlah pengguna

sebanyak 10 *user*. Kapasitas yang paling banyak digunakan yaitu pada layanan 3 (web) sebesar 7.500 kbps.

3.3.3.3 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$

Kasus ini memodifikasi index *quality* untuk $I_i < I_{i-1}$. Modifikasi ini menggunakan Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.9), Persamaan (4.13) sampai Persamaan (4.20), Persamaan (4.28) sampai Persamaan (4.31), Persamaan (4.37) sampai Persamaan (4.42), Persamaan (4.45), dan Persamaan (4.46). Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 dan setelah diselesaikan dengan LINGO 11.0 hasil solusi optimal tidak diperoleh. Jadi, modifikasi ini tidak dapat digunakan untuk memperoleh pendapatan maksimum ISP.

Rekapitulasi solusi kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4. 15. Rekapitulasi Solusi Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$

Modifikasi	$I_i > I_{i-1}$		
Layanan	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,5	0,5	0,5
Kualitas premium	0,6	0,4	0,3
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3
QoS level	0,5	0,7	1
Jumlah pengguna	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	300	315	7.500
Total kapasitas	8.415		
PerSentase kapasitas yang digunakan	8,21%		
Pendapatan	24	360	120
Total pendapatan	504		

Tabel 4.15 menunjukkan solusi optimal yang diperoleh dari kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ dengan modifikasi index *quality*. Hanya satu modifikasi yaitu pada modifikasi $I_i > I_{i-1}$ yang memperoleh solusi optimal. Total pendapatan maksimum yang diperoleh yaitu sebesar 504. Pendapatan paling besar diperoleh pada layanan 2 (file) yaitu sebesar 360. Total kapasitas yang digunakan sebesar 8.415 kbps atau 8,21% dari kapasitas total yang disediakan (C). Jadi, pendapatan maksimum yang diperoleh pada kasus ini yaitu dengan memodifikasi $I_i > I_{i-1}$ sebesar 504.

3.3.4 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$

Index *quality* juga dimodifikasi pada kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$. Ketiga modifikasi tersebut menggunakan Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.23), Persamaan (4.32), dan Persamaan (4.33). Akan tetapi Persamaan (4.18) sampai Persamaan (4.20) diganti menjadi Persamaan (4.47) sampai Persamaan (4.49) karena pada kasus ini nilai harga dasar dimodifikasi yaitu $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ sebagai berikut :

$$0 \leq \alpha_1 \leq 0,5 \quad (4.47)$$

$$0 \leq \alpha_2 \leq 0,6 \quad (4.48)$$

$$0 \leq \alpha_3 \leq 0,7 \quad (4.49)$$

dengan kendala tambahan :

$$\alpha_3 - \alpha_2 > 0 \quad (4.50)$$

$$\alpha_2 - \alpha_1 > 0 \quad (4.51)$$

3.3.4.1 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$

Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$ in imenggunakan Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.17), Persamaan (4.21) sampai Persamaan (4.25), Persamaan (4.32), Persamaan (4.33), dan Persamaan (4.47) sampai Persamaan (4.51). Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan solusi optimal dan dapat dilihat pada Lampiran 6. Hasil solusi optimal dari modifikasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4. 16. Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$

Modifikasi	$I_i = I_{i-1}$		
Layanan	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,5	0,6	0,7
Kualitas premium	0,3	0,3	0,3
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3
QoS level	1	1	1
Jumlah pengguna	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	600	450	7.500
Total kapasitas	8.550		
Pendapatan	24	405	150
Total pendapatan	579		

Tabel 4.16 menampilkan hasil solusi optimal yang diperoleh dengan modifikasi $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$. Total pendapatan yang diperoleh yaitu sebesar 579. Total kapasitas yang digunakan sebesar 8.550 kbps atau 8,35% dari total kapasitas yang disediakan (C) dengan jumlah pengguna 10 user. Pendapatan paling besar diperoleh pada layanan 2 (file) sebesar 450. Kapasitas yang paling banyak digunakan yaitu pada layanan 3 (web) sebesar 7.500 kbps.

3.3.4.2 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Pada modifikasi kedua yaitu $I_i > I_{i-1}$ menggunakan Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.9), Persamaan (4.13) sampai Persamaan (4.17), Persamaan (4.21) sampai Persamaan (4.23), Persamaan (4.26), Persamaan (4.27), Persamaan (4.32) sampai Persamaan (4.36), dan Persamaan (4.47) sampai Persamaan (4.51). Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk memperoleh solusi optimal dan dapat dilihat pada Lampiran 7. Hasil solusi dari modifikasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4. 17. Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Modifikasi	$I_i > I_{i-1}$		
Layanan	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,5	0,6	0,7
Kualitas premium	0,3	0,3	0,3
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3
QoS level	0,6	0,8	1
Jumlah pengguna	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	360	360	7.500
Total kapasitas	8.220		
Pendapatan	20,4	378	150
Total pendapatan	548,4		

Tabel 4.17 menampilkan hasil solusi optimal yang diperoleh dengan modifikasi $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$. Total pendapatan maksimum yang diperoleh sebesar 548,4. Total

kapasitas yang digunakan sebesar 8.220 kbps atau sebesar 8,02% dari total kapasitas yang disediakan (C) dengan jumlah pengguna 10 user. Pendapatan paling besar diperoleh pada layanan 2 (file) sebesar 378. Kapasitas yang paling banyak digunakan sebesar 7.500kbps pada layanan 3 (web).

3.3.4.3 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$

Modifikasi pada kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$ ini menggunakan Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.9), Persamaan (4.13) sampai Persamaan (4.17), Persamaan (4.21) sampai Persamaan (4.23), Persamaan (4.28), Persamaan (4.29), Persamaan (4.32), Persamaan (4.33), Persamaan (4.37) sampai Persamaan (4.39), dan Persamaan (4.47) sampai Persamaan (4.51). Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan hasil solusi optimal. Hasil penyelesaian dengan program LINGO dapat dilihat pada Lampiran 8. Hasil solusi dari modifikasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4. 18. Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$

Modifikasi	$I_i < I_{i-1}$		
	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,5	0,6	0,7
Kualitas premium	0,3	0,3	0,3
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3
QoS level	1	0,8	0,6
Jumlah pengguna	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	600	360	4.500
Total kapasitas	5.460		
Pendapatan	24	378	132
Total pendapatan	534		

Berdasarkan Tabel 4.18 diperoleh solusi untuk kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$. Total pendapatan diperoleh sebesar 534 dengan total kapasitas yang digunakan sebesar 5.460 kbps atau 5,33% dari total kapasitas yang disediakan (C) dengan jumlah pengguna 10 user. Pendapatan paling besar diperoleh pada

layanan 2 (file) sebesar 378. Kapasitas yang paling banyak digunakan sebesar 4.500 kbps pada layanan 3 (web).

Tabel 4. 19. Rekapitulasi Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$

Modifikasi	$I_i = I_{i-1}$			$I_i > I_{i-1}$			$I_i < I_{i-1}$		
Layanan	i=1	i=2	i=3	i=1	i=2	i=3	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7
Kualitas premium	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
QoS level	1	1	1	0,6	0,8	1	1	0,8	0,6
Jumlah pengguna	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	60	45	7.500	360	36	7.500	60	36	4.50
	0	0			0		0	0	0
Total kapasitas	8.550			8.220			5.460		
PerSentase kapasitas yang digunakan	8,35			8,02			5,33		
Pendapatan	24	40	150	20,4	37	150	24	37	132
		5			8			8	
Total pendapatan	579			548,4			534		

Total pendapatan maksimum yang diperoleh sebesar 579 pada modifikasi pertama. Pendapatan yang paling besar pada layanan 2 (file) sebesar 405. Total kapasitas yang digunakan pada modifikasi pertama sebesar 8.550 kbps atau 8,35%. Jadi, total pendapatan maksimum yang diperoleh sebesar 579 pada modifikasi pertama $I_i = I_{i-1}$ dengan total kapasitas yang digunakan sebesar 8.550 kbps.

3.3.5 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$

Pada kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ ini menggunakan persamaan-persamaan yaitu Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.17), Persamaan (4.40) sampai Persamaan (4.44), dan Persamaan (4.47) sampai Persamaan (4.51).

3.3.5.1 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$

Persamaan yang digunakan pada modifikasi ini yaitu persamaan umum seperti disebutkan pada Sub Bab 4.3.5 dengan kendala tambahan Persamaan (4.24) dan Persamaan (4.25).

Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 dan dapat dilihat pada Lampiran 9.

Tabel 4. 20. Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$

Modifikasi	$I_i = I_{i-1}$		
	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,5	0,6	0.7
Kualitas premium	0,6	0,7	0,8
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3
QoS level	1	1	1
Jumlah pengguna	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	600	450	7.500
Total kapasitas	8.550		
Pendapatan	33	585	225
Total pendapatan	843		

Tabel 4.20 menampilkan hasil solusi optimal yang diperoleh dengan modifikasi $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$. Total pendapatan yang diperoleh pada modifikasi ini sebesar 843. Total kapasitas yang digunakan sebesar 8.550 kbps atau sebesar 8,35% dari total kapasitas yang disediakan (C) dengan jumlah pengguna 10 user. Pendapatan paling besar diperoleh pada layanan 2 (file) sebesar 450. Kapasitas yang paling banyak digunakan sebesar 7.500 kbps pada layanan 3 (web).

3.3.5.2 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Persamaan yang digunakan pada modifikasi ini yaitu Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.17), Persamaan (4.26), Persamaan (4.27), Persamaan (4.40) sampai Persamaan (4.44), dan Persamaan (4.47) sampai Persamaan (4.51). Pada Persamaan (4.10) sampai Persamaan (4.12) diganti menjadi Persamaan (4.34) sampai Persamaan (4.36). Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 dan dapat dilihat pada Lampiran 10.

Tabel 4. 21. Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Modifikasi	$I_i > I_{i-1}$		
Layanan	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,5	0,6	0,7
Kualitas premium	0,6	0,7	0,8
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3
QoS level	0,6	0,8	1
Jumlah pengguna	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	360	360	7.500
Total kapasitas	8.220		
Pendapatan	25,8	522	225
Total pendapatan	772,8		

Tabel 4.21 menampilkan hasil solusi optimal yang diperoleh dengan modifikasi $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$. Total pendapatan yang diperoleh pada modifikasi ini sebesar 772,8. Total kapasitas yang digunakan sebesar 8.220 kbps atau sebesar 8,02% dari total kapasitas yang disediakan (C) dengan jumlah pengguna 10 user. Pendapatan paling besar diperoleh pada layanan 2 (file) sebesar 552. Kapasitas yang paling banyak digunakan sebesar 7.500 kbps pada layanan 3 (web).

3.3.5.3 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$

Pada modifikasi ini, persamaan yang digunakan yaitu Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.17), Persamaan (4.28), Persamaan (4.29), Persamaan (4.40) sampai Persamaan (4.44), dan Persamaan (4.47) sampai Persamaan (4.51). Pada Persamaan (4.10) sampai Persamaan (4.12) diganti menjadi Persamaan (4.37) sampai Persamaan (4.39). Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan solusi optimal dan dapat dilihat pada Lampiran 11. Tabel 4.22 menampilkan solusi yang diperoleh dari modifikasi tersebut.

Tabel 4. 22. Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$

Modifikasi	$I_i < I_{i-1}$		
Layanan	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,5	0,6	0,7
Kualitas premium	0,6	0,7	0,8
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3
QoS level	1	0,8	0,6
Jumlah pengguna	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	600	360	4.500
Total kapasitas	5.460		
Pendapatan	33	522	177
Total pendapatan	732		

Tabel 4.22 menampilkan hasil solusi optimal yang diperoleh dengan modifikasi $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$. Total pendapatan yang diperoleh pada modifikasi ini sebesar 732. Total kapasitas yang digunakan sebesar 5.460 kbps atau sebesar 5,33% dari total kapasitas yang disediakan (C) dengan jumlah pengguna 10 user. Pendapatan paling besar diperoleh pada layanan 2 (file) sebesar 522. Kapasitas yang paling banyak digunakan sebesar 4.500 kbps pada layanan 3 (web).

Berdasarkan ketiga modifikasi untuk index *quality* pada kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ diperoleh solusi optimal untuk masing-masing modifikasi. Tabel 4.23 menampilkan hasil rekapitulasi pendapatan pada masing-masing modifikasi untuk kasus ini.

Tabel 4. 23. Rekapitulasi Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$

Modifikasi	$I_i = I_{i-1}$			$I_i > I_{i-1}$			$I_i < I_{i-1}$		
Layanan	i=1	i=2	i=3	i=1	i=2	i=3	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7
Kualitas premium	0,6	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
QoS level	1	1	1	0,6	0,	1	1	0,	0,6

					8			8	
Jumlah pengguna	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	600	450	7.500	360	360	7.500	600	360	4.500
Total kapasitas	8.550			8.220			5.460		
Pendapatan	33	585	225	25,8	522	225	33	522	177
Total pendapatan	843			772,8			732		

Pada Tabel 4.23 ditampilkan solusi optimal dari kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$. Total pendapatan maksimum diperoleh pada modifikasi pertama $I_i = I_{i-1}$ sebesar 843. Pendapatan yang paling besar pada modifikasi pertama diperoleh pada layanan 2 (file) sebesar 585. Total kapasitas yang digunakan pada modifikasi pertama yaitu sebesar 8.550 kbps atau 8,35%, dari total kapasitas yang disediakan (C) yaitu sebesar 102.400 kbps. Jadi, pendapatan maksimum dari kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ diperoleh pada modifikasi pertama $I_i = I_{i-1}$ sebesar 843 dan total kapasitas yang digunakan sebesar 8.550 kbps atau 8,35% dari total kapasitas yang disediakan (C).

3.3.6 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$

Kasus ini dengan memodifikasi $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ juga mempunyai 3 bentuk modifikasi untuk index *quality*. Persamaan umum yang digunakan untuk kasus ini yaitu Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.17), Persamaan (4.21) sampai Persamaan (4.23) dan Persamaan (4.45) sampai Persamaan (4.51).

3.3.6.1 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$

Persamaan yang digunakan pada modifikasi ini yaitu Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.17), Persamaan (4.21) sampai Persamaan (4.23) dan Persamaan (4.45) sampai Persamaan (4.51). Kendala tambahan yang digunakan yaitu Persamaan (4.24) dan Persamaan (4.25). Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 dan dapat dilihat pada Lampiran 12.

Tabel 4. 24. Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$

Modifikasi	$I_i = I_{i-1}$		
Layanan	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,2	0,6	0,7
Kualitas premium	0,8	0,4	0,3
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3
QoS level	1	1	1
Jumlah pengguna	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	600	450	7.500
Total kapasitas	8.550		
Pendapatan	30	450	150
Total pendapatan	630		

Tabel 4.24 menampilkan hasil solusi optimal yang diperoleh dengan modifikasi $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$. Total pendapatan yang diperoleh pada modifikasi ini sebesar 630. Total kapasitas yang digunakan sebesar 8.550 kbps atau sebesar 8,35% dari total kapasitas yang disediakan (C) dengan jumlah pengguna 10 user. Pendapatan paling besar diperoleh pada layanan 2 (file) sebesar 450. Kapasitas yang paling banyak digunakan sebesar 7.500 kbps pada layanan 3 (web).

3.3.6.2 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Persamaan yang digunakan pada modifikasi ini yaitu Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.17), Persamaan (4.21) sampai Persamaan (4.23) dan Persamaan (4.45) sampai Persamaan (4.51). Kendala tambahan yang digunakan yaitu Persamaan (4.26) dan Persamaan (4.27). Akan tetapi karena pada kasus ini $I_i > I_{i-1}$, maka Persamaan (4.10) sampai Persamaan (4.12) diganti menjadi Persamaan (4.34) sampai Persamaan (4.36). Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 dan dapat dilihat pada Lampiran 13.

Tabel 4. 25. Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Modifikasi	$I_i > I_{i-1}$		
Layanan	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,5	0,6	0,7
Kualitas premium	0,8	0,5	0,3
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3
QoS level	0,6	0,8	1
Jumlah pengguna	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	360	360	4.500
Total kapasitas	5.220		
Pendapatan	29.4	450	150
Total pendapatan	629,4		

Tabel 4.25 menampilkan hasil solusi yang diperoleh. Total pendapatan yang diperoleh sebesar 629,4. Total kapasitas yang digunakan sebesar 5.220 kbps atau sebesar 5,09% dari total kapasitas yang disediakan (C) dengan jumlah pengguna 10 user. Pendapatan paling besar diperoleh pada layanan 2 (file) sebesar 450. Kapasitas yang paling banyak digunakan sebesar 4.500 kbps pada layanan 3 (web).

3.3.6.3 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$

Persamaan yang digunakan pada modifikasi ini yaitu Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.17), Persamaan (4.21) sampai Persamaan (4.23) dan Persamaan (4.45) sampai Persamaan (4.51). Kendala tambahan yang digunakan yaitu Persamaan (4.28) dan Persamaan (4.29). Akan tetapi karena pada kasus ini $I_i < I_{i-1}$, maka Persamaan (4.10) sampai Persamaan (4.12) diganti menjadi (4.37) sampai Persamaan (4.39). Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 dan dapat dilihat pada Lampiran 14.

Tabel 4. 26. Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$

Modifikasi	$I_i < I_{i-1}$		
Layanan	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,2	0,5	0,7
Kualitas premium	0,7	0,5	0,3
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3
QoS level	0,9	0,7	0,6
Jumlah pengguna	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	540	315	4.500
Total kapasitas	5.355		
Pendapatan	21,9	382,5	150
Total pendapatan	554,4		

Tabel 4.26 menampilkan hasil solusi optimal yang diperoleh dengan modifikasi $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$. Total pendapatan yang diperoleh pada modifikasi inisebesar 554,4. Total kapasitas yang digunakan sebesar 5.355 kbps atau sebesar 5,22% dari total kapasitas yang disediakan (C) yaitu sebesar 102.400 kbps dengan jumlah pengguna 10 *user*. Pendapatan paling besar diperoleh pada layanan 2 (file) sebesar 382,5. Kapasitas yang paling banyak digunakan sebesar 4.500 kbps pada layanan 3 (web).

Berdasarkan ketiga modifikasi untuk index *quality* pada kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ maka diperoleh pendapatan pada masing-masing modifikasi seperti pada Tabel 4.27.

Tabel 4. 27. Rekapitulasi Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$

Modifikasi	$I_i = I_{i-1}$			$I_i > I_{i-1}$			$I_i < I_{i-1}$		
Layanan	i=1	i=2	i=3	i=1	i=2	i=3	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,2	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,2	0,5	0,7
Kualitas premium	0,8	0,4	0,3	0,8	0,5	0,3	0,7	0,5	0,3
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
QoS level	1	1	1	0,6	0,8	1	0,9	0,7	0,6
Jumlah pengguna	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	60	45	7.50	360	36	4.50	540	315	4.50
	0	0	0		0	0			0

Total kapasitas	8.550			5.220			5.355		
Pendapatan	30	45 0	150	29, 4	45 0	150	21,9	382, 5	150
Total pendapatan	630			629,4			554,4		

Pada Tabel 4.27 dapat dilihat total pendapatan maksimum yang diperoleh sebesar 630 pada modifikasi pertama $I_i=I_{i-1}$. Pendapatan yang paling banyak diperoleh pada layanan 2 (file) yaitu sebesar 450. Total kapasitas yang digunakan sebesar 8.550 kbps atau 8,35% dari total kapasitas yang disediakan (C) dengan jumlah pengguna sebanyak 10 *user*. Jadi, pada kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ ini, pendapatan maksimum diperoleh dari modifikasi pertama $I_i = I_{i-1}$ sebesar 630 dengan menggunakan kapasitas sebesar 8.550 kbps.

3.3.7 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$

Kasus ini memodifikasi nilai $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ yang mempunyai tiga bentuk modifikasi untuk index *quality*. Persamaan yang digunakan pada kasus ini yaitu Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.17), Persamaan (4.21) sampai Persamaan (4.23), Persamaan (4.32) dan Persamaan (4.33). Persamaan (4.18) sampai Persamaan (4.20) diganti karena pada kasus ini nilai $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan diperlukan kendala tambahan sebagai berikut :

$$0 \leq \alpha_1 \leq 0,7 \quad (4.52)$$

$$0 \leq \alpha_2 \leq 0,6 \quad (4.53)$$

$$0 \leq \alpha_3 \leq 0,5 \quad (4.54)$$

dengan kendala tambahan :

$$\alpha_3 - \alpha_2 < 0 \quad (4.55)$$

$$\alpha_2 - \alpha_1 < 0 \quad (4.56)$$

3.3.7.1 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$

Persamaan yang digunakan pada modifikasi ini yaitu Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.17), Persamaan (4.21) sampai Persamaan (4.23), Persamaan (4.24), Persamaan (4.25), Persamaan (4.32), Persamaan (4.33), dan Persamaan (4.52) sampai Persamaan (4.56). Persamaan-persamaan tersebut

diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan hasil solusi optimal. Setelah diselesaikan dengan program LINGO 11.0, hasil solusi optimal yang diinginkan tidak diperoleh. Oleh karena itu, modifikasi ini tidak dapat digunakan untuk memperoleh pendapatan maksimum yang diinginkan ISP.

3.3.7.2 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Pada modifikasi untuk kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$, persamaan yang digunakan adalah Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.9), Persamaan (4.13) sampai Persamaan (4.17), Persamaan (4.21) sampai Persamaan (4.23), Persamaan (4.26), Persamaan (4.27), Persamaan (4.32) sampai Persamaan (4.36), dan Persamaan (4.52) sampai Persamaan (4.56). Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan hasil solusi optimal. Penyelesaian persamaan-persamaan tersebut dapat dilihat pada Lampiran 15 dan Tabel 4.28 menampilkan hasil solusi optimal dari modifikasi.

Tabel 4. 28. Solusi Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Modifikasi	$I_i > I_{i-1}$		
Layanan	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,65	0,575	0,5
Kualitas premium	0,3	0,3	0,3
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3
QoS level	0,5	0,75	1
Jumlah pengguna	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	300	337,5	7.500
Total kapasitas	8.137,5		
Pendapatan	24	360	120
Total pendapatan	504		

Tabel 4.28 menampilkan hasil solusi optimal yang diperoleh dengan modifikasi $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$. Total pendapatan yang diperoleh pada modifikasi ini sebesar 504. Total kapasitas yang digunakan sebesar 8.137,5 kbps atau sebesar 7,94% dari total kapasitas yang disediakan (C) dengan jumlah pengguna 10 user. Pendapatan paling besar diperoleh pada

layanan 2 (file) sebesar 360. Kapasitas yang paling banyak digunakan sebesar 7.500 kbps pada layanan 3 (web).

3.3.7.3 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$

Persamaan yang digunakan pada kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ ini yaitu Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.9), Persamaan (4.13) sampai Persamaan (4.17), Persamaan (4.21) sampai Persamaan (4.23), Persamaan (4.28), Persamaan (4.29), Persamaan (4.32), Persamaan (4.33), Persamaan (4.37) sampai Persamaan (4.39), dan Persamaan (4.52) sampai Persamaan (4.56). Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 dan setelah diselesaikan dengan program LINGO 11.0 hasil solusi optimal tidak diperoleh dari modifikasi ini. Oleh karena itu, jika ISP ingin memaksimumkan pendapatan, modifikasi ini tidak bisa digunakan.

Berdasarkan modifikasi untuk kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ diperoleh solusi optimal yang ditampilkan pada Tabel 4.29.

Tabel 4. 29. Rekapitulasi Solusi Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$

Modifikasi	$I_i > I_{i-1}$		
Layanan	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,65	0,575	0,5
Kualitas premium	0,3	0,3	0,3
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3
QoS level	0,5	0,75	1
Jumlah pengguna	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	300	337,5	7.500
Total kapasitas	8.137,5		
PerSentase kapasitas yang digunakan	7,94		
Pendapatan	24	360	120
Total pendapatan	504		

Pada Tabel 4.29 dapat dilihat total pendapatan maksimum yang diperoleh dari modifikasi. Hanya pada modifikasi kedua yaitu $I_i > I_{i-1}$ yang memperoleh solusi optimal. Total pendapatan yang diperoleh yaitu sebesar 504 pada modifikasi kedua. Pendapatan yang paling banyak diperoleh yaitu pada layanan 2

(file) sebesar 360. Total kapasitas yang digunakan sebesar 8.137,5 kbps atau 7,94% dari kapasitas yang disediakan (C) dengan jumlah pengguna sebanyak 10 *user*. Jadi, pendapatan maksimum yang diperoleh pada kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ sebesar 504 pada modifikasi kedua $I_i > I_{i-1}$ dengan menggunakan kapasitas sebesar 8.137,5 kbps.

3.3.8 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$

Pada kasus ini dimodifikasi nilai $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ dengan ketiga modifikasi untuk index *quality* yaitu $I_i = I_{i-1}$, $I_i > I_{i-1}$, dan $I_i < I_{i-1}$. Persamaan yang digunakan pada kasus ini yaitu Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.17), Persamaan (4.40) sampai Persamaan (4.44), dan Persamaan (4.52) sampai Persamaan (4.56).

3.3.8.1 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$

Persamaan yang digunakan pada modifikasi ini yaitu Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.17), Persamaan (4.24), Persamaan (4.25), Persamaan (4.40) sampai Persamaan (4.44), dan Persamaan (4.52) sampai Persamaan (4.56). Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan hasil solusi optimal dan dapat dilihat pada Lampiran 16. Tabel 4.30 menampilkan hasil solusi dari modifikasi.

Tabel 4. 30. Solusi Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$

Modifikasi	$I_i = I_{i-1}$		
Layanan	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,7	0,6	0,5
Kualitas premium	0,6	0,7	0,8
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3
QoS level	1	1	1
Jumlah pengguna	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	600	450	7.500
Total kapasitas	8.550		
Pendapatan	39	585	195
Total pendapatan	819		

Tabel 4.30 menampilkan hasil solusi optimal yang diperoleh dengan modifikasi $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$. Total pendapatan yang diperoleh pada modifikasi ini sebesar 819. Total kapasitas yang digunakan sebesar 8.550 kbps atau sebesar 8,35% dari total kapasitas yang disediakan (C) dengan jumlah pengguna 10 user. Pendapatan paling besar diperoleh pada layanan 2 (file) sebesar 585. Kapasitas yang paling banyak digunakan sebesar 7.500 kbps pada layanan 3 (web).

3.3.8.2 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Pada kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$, persamaan yang digunakan pada modifikasi ini yaitu Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.17), Persamaan (4.26), Persamaan (4.27), Persamaan (4.40) sampai Persamaan (4.44), dan Persamaan (4.52) sampai Persamaan (4.56). Persamaan (4.10) sampai Persamaan (4.12) diganti menjadi Persamaan (4.34) sampai Persamaan (4.36) karena nilai $I_i > I_{i-1}$. Persamaan- persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan hasil solusi optimal dan dapat dilihat pada Lampiran 17. Tabel 4.31 menampilkan hasil solusi dari modifikasi.

Tabel 4. 31. Solusi Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Modifikasi	$I_i > I_{i-1}$		
Layanan	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,7	0,6	0,5
Kualitas premium	0,6	0,7	0,8
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3
QoS level	0,6	0,8	1
Jumlah pengguna	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	360	360	7.500
Total kapasitas	8.220		
Pendapatan	31,8	522	195
Total pendapatan	748,8		

Tabel 4.31 menampilkan total pendapatan yang diperoleh sebesar 748,8. Total kapasitas yang digunakan sebesar 8.220 kbps

atau 8,02% dari total kapasitas yang disediakan (C) dengan jumlah pengguna 10 *user*. Pendapatan paling besar diperoleh pada layanan 2 (file) sebesar 522. Kapasitas yang paling banyak digunakan yaitu sebesar 7.500 kbps pada layanan 3 (web).

3.3.8.3 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$

Persamaan yang digunakan pada modifikasi ini yaitu Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.17), Persamaan (4.28), Persamaan (4.29), Persamaan (4.40) sampai Persamaan (4.44), dan Persamaan (4.52) sampai Persamaan (4.56). Pada Persamaan (4.10) sampai Persamaan (4.12) diganti menjadi Persamaan (4.37) sampai Persamaan (4.39) karena $I_i < I_{i-1}$. Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan solusi optimal. Setelah diselesaikan dengan LINGO 11.0 hasil solusi optimal tidak diperoleh, maka modifikasi ini tidak dapat digunakan dalam memaksimumkan pendapatan ISP.

Tabel 4. 32. Rekapitulasi Solusi Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$

Modifikasi Layanan	$I_i = I_{i-1}$			$I_i > I_{i-1}$		
	i=1	i=2	i=3	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,7	0,6	0,5	0,7	0,6	0,5
Kualitas premium	0,6	0,7	0,8	0,6	0,7	0,8
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
QoS level	1	1	1	0,6	0,8	1
Jumlah pengguna	10	10	10	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	600	45 0	7.500	360	36 0	7.50 0
Total kapasitas	8.550			8.220		
PerSentase kapasitas yang digunakan	8,35			8,02		
Pendapatan	39	58 5	195	31,8	52 2	195
Total pendapatan	819			748,8		

Berdasarkan modifikasi pada kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ maka diperoleh masing-masing solusi optimal seperti pada Tabel 4.32. Total pendapatan maksimum yang diperoleh yaitu pada modifikasi pertama yaitu $I_i = I_{i-1}$ sebesar 819. Pendapatan paling

besar diperoleh pada layanan 2 (file) sebesar 585. Total kapasitas yang digunakan modifikasi pertama sebesar 8.550 kbps atau 8,35% dari total kapasitas yang disediakan (C) dengan jumlah pengguna maksimum 10 *user*. Jadi, pada kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ ini, pendapatan maksimum diperoleh pada modifikasi pertama yaitu $I_i = I_{i-1}$ sebesar 819 dengan menggunakan kapasitas sebesar 8.550 kbps atau sebesar 8,35% dari total kapasitas layanan yang disediakan.

3.3.9 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$

Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ ini merupakan kasus terakhir pada modifikasi harga dasar (α) dan kualitas premium (β) sebagai variabel. Pada modifikasi kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ juga memodifikasi index *quality*. Persamaan yang digunakan untuk memperoleh hasil solusi optimal pada kasus ini yaitu Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.17), Persamaan (4.21) sampai Persamaan (4.23), Persamaan (4.45), Persamaan (4.46), dan Persamaan (4.52) sampai Persamaan (4.56) yang diselesaikan dengan program LINGO 11.0.

3.3.9.1 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$

Persamaan yang digunakan yaitu Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.17), Persamaan (4.21) sampai Persamaan (4.23), Persamaan (4.24), Persamaan (4.25), Persamaan (4.45), Persamaan (4.46), dan Persamaan (4.52) sampai Persamaan (4.56). Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan hasil solusi optimal. Setelah diselesaikan, ternyata hasil solusi optimal tidak diperoleh. Jadi, jika ISP ingin memaksimalkan pendapatan maka ISP tidak dapat menggunakan modifikasi model pada kasus ini karena tidak menghasilkan solusi optimal.

3.3.9.2 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Pada kasus ini persamaan yang digunakan yaitu Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.17), Persamaan (4.21) sampai Persamaan (4.23), Persamaan (4.26), Persamaan (4.27), Persamaan (4.45), Persamaan (4.46), dan Persamaan (4.52) sampai Persamaan (4.56). Persamaan (4.10) sampai Persamaan

(4.12) diganti menjadi Persamaan (4.34) sampai Persamaan (4.36) karena $I_i > I_{i-1}$. Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan hasil solusi optimal dan setelah diselesaikan dengan LINGO 11.0, tidak diperoleh solusi optimal. Jadi, modifikasi ini tidak bisa digunakan untuk memperoleh pendapatan maksimum bagi ISP.

3.3.9.3 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Pada kasusini persamaan yang digunakan yaitu Persamaan (4.1) sampai Persamaan (4.17), Persamaan (4.21) sampai Persamaan (4.23), Persamaan (4.28), Persamaan (4.29), Persamaan (4.45), Persamaan (4.46), dan Persamaan (4.52) sampai Persamaan (4.56). Persamaan (4.10) sampai Persamaan (4.12) diganti menjadi Persamaan (4.37) sampai Persamaan (4.39) karena $I_i < I_{i-1}$ untuk memenuhi modifikasi yang diinginkan. Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 dan setelah diselesaikan dengan menggunakan program LINGO 11.0 tidak diperoleh hasil solusi optimal. Jadi, modifikasi ini tidak bisa digunakan untuk memperoleh pendapatan maksimum bagi ISP.

3.3.10 Rekapitulasi Solusi Optimal pada Kasus 1

Tabel 4.33 menampilkan rekapitulasi solusi dari 27 modifikasi pada kasus 1.

Tabel 4. 33. Rekapitulasi Solusi Kasus 1

Modifikasi	Total kapasitas (kbps)	PerSentase total kapasitas	Pendapatan
$\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$	8.550	8,35	504
$\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$	8.220	8,02	473,4
$\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$	-	-	-
$\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$	8.550	8,35	768
$\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$	8.220	8,02	697,8
$\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$	-	-	-
$\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$	-	-	-
$\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$	8.415	8,21	504
$\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$	-	-	-

$\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$	8.550	8,35	579
$\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$	8.220	8,02	548,4
$\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$	5.460	5,33	534
$\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$	8.550	8,35	843
$\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$	8.220	8,02	772,8
$\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$	5.460	5,33	732
$\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$	8.550	8,35	630
$\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$	5.220	5,09	629,4
$\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$	5.355	5,22	554,4
$\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$	-	-	-
$\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$	8.137,5	7,94	504
$\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$	-	-	-
$\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$	8.550	8,35	819
$\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$	8.220	8,02	748,8
$\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$	-	-	-
$\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$	-	-	-
$\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$	-	-	-
$\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$	-	-	-

Berdasarkan kasus 1 yaitu α dan β variabel dengan memodifikasi index *quality* menjadi tiga yaitu pertama $I_i = I_{i-1}$, kedua $I_i > I_{i-1}$, dan ketiga $I_i < I_{i-1}$ maka didapatkan 27 modifikasi model dengan kasus 1 untuk index *quality*. Akan tetapi, tidak semua modifikasi memperoleh solusi optimal.

Berdasarkan Tabel 4.33 dapat dilihat pendapatan yang diperoleh dari setiap modifikasi pada kasus 1. Berdasarkan 27 modifikasi yang ada pada kasus 1, pendapatan maksimum diperoleh pada modifikasi $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$ dengan total pendapatan sebesar 843. Total kapasitas yang digunakan pada modifikasi ini sebesar 8.550 kbps atau 8,35 % dari kapasitas total yang disediakan oleh layanan. Jadi, ISP sebaiknya menggunakan modifikasi pada kasus 1 dengan $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$ untuk memaksimalkan pendapatannya.

3.4 Pemodelan Skema Pembiayaan Internet Menurut Jaringan Multi Layanan Kasus 2

Kasus 2 yaitu dengan menetapkan harga dasar (α) sebagai variabel dan kualitas premium (β) sebagai konstanta juga dimodifikasi

seperti pada kasus 1 untuk nilai index *quality*. Akan tetapi, pada kasus 2 kualitas premium (β) bernilai sebagai konstanta maka yang dimodifikasi hanya index *quality* dan harga dasar (base price). Ada beberapa parameter yang digunakan pada kasus 2 ini. Kapasitas total (C) diperoleh dari *Demand* pada masing- masing aplikasi yaitu *Mail*, file, dan web yang dapat dilihat pada Tabel 4.1 sampai Tabel 4.3. Kapasitas yang dibutuhkan (d) diperoleh dari kebutuhan minimum pengguna dalam mengakses aplikasi dan jumlah pengguna maksimum (n) diasumsikan 10. *Sensitivitas* harga pengguna (p) merupakan kemampuan pengguna dalam membayar layanan yang disediakan. Makin besar kapasitas yang disediakan maka makin besar nilai p. Nilai kualitas premium (β) berupa konstanta maka diambil nilai 0,2. Tabel 4.34 menampilkan nilai-nilai parameter yang digunakan untuk kasus 2.

Tabel 4. 34. Nilai-Nilai Parameter dalam Jaringan *Multi Layanan* Kasus 2

Parameter	Layanan		
	1 (<i>Mail</i>)	2 (file)	3 (web)
Kapasitas total (C)	95,7kbps	13312,3kbps	367,9kbps
Kapasitas yang dibutuhkan (d)	60kbps	45 kbps	750 kbps
Jumlah pengguna maksimum (n)	10	10	10
<i>Sensitivitas</i> harga pengguna (p)	3	45	15
Kualitas premium layanan (β)	0,2	0,2	0,2

Pada kasus 2 fungsi tujuan yang digunakan berbeda dengan kasus 1, kendala yang digunakan yaitu Persamaan (4.2) sampai (4.15), Persamaan (4.18) sampai Persamaan (4.20), dan ada beberapa kendala tambahan yang digunakan. Berikut adalah fungsi tujuan dan kendala tambahan untuk kasus 2 :

$$maks\ R = (\alpha_1 + \beta * I_1) * p_1 * x_1 + (\alpha_2 + \beta * I_2) * p_2 * x_2 + (\alpha_3 + \beta * I_3) * p_3 * x_3 \tag{4.57}$$

dengan kendala tambahan :

$$\alpha_2 + I_2 \geq \alpha_1 + I_1 \tag{4.58}$$

$$\alpha_3 + I_3 \geq \alpha_2 + I_2 \tag{4.59}$$

Fungsi tujuan (4.57) menjelaskan bahwa penetapan biaya dasar sebagai variabel keputusan dan kualitas premium sebagai konstanta

maka ISP bermaksud melakukan kompetisi pasar dalam persaingan mendapatkan minat pelanggan karena pelanggan dapat memilih kelas layanan yang sesuai dengan anggaran pelanggan.

3.4.1 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta

Pada kasus ini $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β konstanta juga akan memodifikasi index *quality* yaitu $I_i = I_{i-1}$, $I_i > I_{i-1}$, dan $I_i < I_{i-1}$. Persamaan yang digunakan yaitu fungsi tujuan pada Persamaan (4.57), kendala-kendala pada Persamaan (4.2) sampai Persamaan (4.15), Persamaan (4.18) sampai Persamaan (4.20), Persamaan (4.30), Persamaan (4.31), Persamaan (4.58), dan Persamaan (4.59). Persamaan-persamaan tersebut digunakan untuk mendapatkan hasil solusi optimal yang dikerjakan dengan bantuan program LINGO 11.0.

3.4.1.1 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$

Persamaan yang digunakan pada modifikasi ini yaitu fungsi tujuan pada Persamaan (4.57), kendala-kendala pada Persamaan (4.2) sampai Persamaan (4.15), Persamaan (4.18) sampai Persamaan (4.20), Persamaan (4.24), Persamaan (4.25), Persamaan (4.30), Persamaan (4.31), Persamaan (4.58), dan Persamaan (4.59). Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan hasil solusi optimal dan dapat dilihat pada Lampiran 18. Tabel 4.35 menampilkan hasil penyelesaian dari model yang digunakan.

Tabel 4. 35. Solusi Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$

Modifikasi	$I_i = I_{i-1}$		
Layanan	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,5	0,5	0,5
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3
QoS level	1	1	1
Jumlah pengguna	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	600	450	7.500
Total kapasitas	8.550		
Pendapatan	21	315	105
Total pendapatan	441		

Tabel 4.35 menampilkan hasil solusi optimal yang diperoleh. Total pendapatan yang diperoleh sebesar 441. Total kapasitas yang digunakan sebesar 8.550 kbps atau 8,35% dari total kapasitas yang disediakan (C) dengan jumlah pengguna 10 *user*. Pendapatan paling besar diperoleh pada layanan 2 (file) yaitu sebesar 315. Kapasitas yang paling banyak digunakan sebesar 7.500 kbps pada layanan 3 (web).

3.4.1.2 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$

Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$ menggunakan fungsi tujuan pada Persamaan (4.57), kendala-kendala pada Persamaan (4.2) sampai Persamaan (4.15), Persamaan (4.18) sampai Persamaan (4.20), Persamaan (4.26), Persamaan (4.27), Persamaan (4.30), Persamaan (4.31), Persamaan (4.58), dan Persamaan (4.59). Akan tetapi, Persamaan (4.10) sampai Persamaan (4.12) diganti dengan Persamaan (4.34) sampai Persamaan (4.36) karena nilai untuk $I_i > I_{i-1}$. Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan hasil solusi optimal dan dapat dilihat pada Lampiran 19.

Tabel 4. 36. Solusi Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$

Modifikasi	$I_i > I_{i-1}$		
Layanan	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,5	0,5	0,5
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3
QoS level	0,6	0,8	1
Jumlah pengguna	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	360	360	7.500
Total kapasitas	8.220		
Pendapatan	18,6	297	105
Total pendapatan	420,6		

Tabel 4.36 menampilkan hasil solusi optimal yang diperoleh dengan program LINGO 11.0 dengan modifikasi $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$. Total pendapatan yang diperoleh sebesar 420,6. Total kapasitas yang digunakan yaitu sebesar 8.220

kbps atau 8,02% dari total kapasitas yang disediakan layanan (C) sebesar 102.400 kbps dengan jumlah pengguna maksimum 10 *user*. Pendapatan paling besar diperoleh pada layanan 2 (file) sebesar 297. Kapasitas yang paling banyak digunakan sebesar 6.000 kbps pada layanan 3 (web).

3.4.1.3 Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i < I_{i-1}$

Persamaan yang digunakan yaitu fungsi tujuan pada Persamaan (4.57), dan kendala-kendala pada Persamaan (4.2) sampai Persamaan (4.15), Persamaan (4.18) sampai Persamaan (4.20), Persamaan (4.28) sampai Persamaan (4.31), Persamaan (4.58), dan Persamaan (4.59). Akan tetapi, pada Persamaan (4.10) sampai Persamaan (4.12) diganti dengan Persamaan (4.37) sampai Persamaan (4.39) karena nilai untuk $I_i < I_{i-1}$. Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan hasil solusi optimal dan setelah diselesaikan hasil solusi optimal tidak diperoleh. Jadi, modifikasi ini tidak bisa digunakan untuk memaksimumkan pendapatan ISP.

Berdasarkan modifikasi yang ada maka diperoleh rekapitulasi hasil solusi optimal untuk kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β konstanta. Pada kasus ini, hanya pada modifikasi nilai $I_i = I_{i-1}$ dan $I_i > I_{i-1}$ yang memperoleh hasil solusi optimal. Tabel 4.37 menampilkan rekapitulasi hasil solusi optimal yang diperoleh.

Tabel 4. 37. Rekapitulasi Solusi Kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β konstanta

Modifikasi	$I_i = I_{i-1}$			$I_i > I_{i-1}$		
Layanan	i=1	i=2	i=3	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
QoS level	1	1	1	0,6	0,8	1
Jumlah pengguna	10	10	10	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	600	450	7.500	360	360	7.500
Total kapasitas	8.550			8.220		
PerSentase kapasitas yang digunakan	8,35			8,02		
Pendapatan	21	315	105	18,6	297	105
Total pendapatan	441			420,6		

Berdasarkan Tabel 4.37 dapat dilihat total pendapatan maksimum yang diperoleh yaitu pada modifikasi pertama $I_i=I_{i-1}$ sebesar 441. Pendapatan paling besar diperoleh pada layanan 2 (file) yaitu sebesar 315. Total kapasitas yang digunakan pada modifikasi pertama sebesar 8.550 kbps atau 8,35% dari total layanan yang disediakan. Kapasitas yang paling banyak digunakan pada layanan 3 (web) yaitu sebesar 7.500 kbps. Jadi, untuk kasus $\alpha_i=\alpha_{i-1}$ dan β konstanta diperoleh total pendapatan maksimum sebesar 441 pada modifikasi pertama $I_i= I_{i-1}$ dengan kapasitas yang digunakan sebesar 8.550 kbps.

3.4.2 Kasus $\alpha_i>\alpha_{i-1}$ dan β Konstanta

Pada kasus $\alpha_i>\alpha_{i-1}$ dan β konstanta ini juga memodifikasi nilai index *quality* seperti pada kasus sebelumnya. Persamaan yang digunakan pada kasus ini yaitu fungsi tujuan pada Persamaan (4.57) dan kendala-kendala pada Persamaan (4.2) sampai Persamaan (4.15), dan Persamaan (4.47) sampai Persamaan (4.51), Persamaan (4.58), dan Persamaan (4.59).

3.4.2.1 Kasus $\alpha_i>\alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i=I_{i-1}$

Persamaan yang digunakan pada modifikasi ini yaitu fungsi tujuan pada Persamaan (4.57), kendala-kendala pada Persamaan (4.2) sampai Persamaan (4.15), Persamaan (4.24), Persamaan (4.25), Persamaan (4.47) sampai Persamaan (4.51), Persamaan (4.58) dan Persamaan (4.59). Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan hasil solusi optimal dan dapat dilihat pada Lampiran 20.

Tabel 4. 38. Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$

Modifikasi	$I_i = I_{i-1}$		
	$i=1$	$i=2$	$i=3$
Harga dasar	0,5	0,6	0,7
Kapasitas cadangan	0,5	0,4	0
QoS level	1	1	1
Jumlah pengguna	10	10	10

Kapasitas yang digunakan	600	450	7.500
Total kapasitas	8.550		
Pendapatan	21	360	135
Total pendapatan	516		

Tabel 4.38 menampilkan hasil solusi optimal yang diperoleh dengan modifikasi $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$ dengan program LINGO 11.0. Total pendapatan yang diperoleh sebesar 516. Total kapasitas yang digunakan yaitu 8.550 kbps atau sebesar 8,35% dari total kapasitas yang disediakan layanan (C) yaitu sebesar 102.400 kbps dengan jumlah pengguna 10 user. Pendapatan paling besar diperoleh pada layanan 2 (file) sebesar 360. Kapasitas yang paling banyak digunakan sebesar 7.500 kbps pada layanan 3 (web).

3.4.2.2 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$

Persamaan yang digunakan pada modifikasi ini yaitu fungsi tujuan pada Persamaan (4.57), kendala-kendala pada Persamaan (4.2) sampai Persamaan (4.15), Persamaan (4.26), Persamaan (4.27), Persamaan (4.47) sampai Persamaan (4.51), Persamaan (4.58), dan Persamaan (4.59). Akan tetapi, pada Persamaan (4.10) sampai Persamaan (4.12) diganti dengan Persamaan (4.34) sampai Persamaan (4.36) karena nilai untuk $I_i > I_{i-1}$. Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan hasil solusi optimal dan dapat dilihat pada Lampiran 21.

Tabel 4. 39. Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$

Modifikasi	$I_i > I_{i-1}$		
Layanan	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,5	0,6	0,7
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3
QoS level	0,6	0,8	1
Jumlah pengguna	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	360	360	7.500
Total kapasitas	8.220		

Pendapatan	18,6	342	135
Total pendapatan	495,6		

Tabel 4.39 menampilkan hasil solusi optimal yang diperoleh dengan program LINGO 11.0 dengan modifikasi $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$. Total pendapatan yang diperoleh sebesar 495,6. Total kapasitas yang digunakan yaitu sebesar 8.220 kbps atau 8,02% dari total kapasitas yang disediakan (C) dengan jumlah pengguna 10 user. Pendapatan paling besar diperoleh pada layanan 2 (file) sebesar 342. Kapasitas yang paling banyak digunakan sebesar 7.500 kbps pada layanan 3 (web).

3.4.2.3 Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i < I_{i-1}$

Persamaan yang digunakan pada modifikasi kasus ini yaitu fungsi tujuan pada Persamaan (4.57) dan kendala-kendala pada Persamaan (4.2) sampai Persamaan (4.15), Persamaan (4.28), Persamaan (4.29), Persamaan (4.47) sampai Persamaan (4.51), Persamaan (4.58), dan Persamaan (4.59). Akan tetapi, pada Persamaan (4.10) sampai Persamaan (4.12) diganti dengan Persamaan (4.37) sampai Persamaan (4.39) karena nilai untuk $I_i < I_{i-1}$. Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan hasil solusi optimal dan dapat dilihat pada Lampiran 22.

Tabel 4. 40. Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i < I_{i-1}$

Modifikasi	$I_i < I_{i-1}$		
Layanan	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,4	0,6	0,7
Kapasitas cadangan	0,3	0,3	0,3
QoS level	0,9	0,7	0,6
Jumlah pengguna	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	540	315	4.500
Total kapasitas	5.355		
Pendapatan	17,4	333	123
Total pendapatan	473,4		

Tabel 4.40 menampilkan hasil solusi optimal yang diperoleh dengan program LINGO 11.0 dengan modifikasi $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β konstanta untuk $I_i < I_{i-1}$. Total pendapatan yang diperoleh sebesar 473,4. Total kapasitas yang digunakan yaitu sebesar 5.355 kbps atau 5,22% dari total kapasitas yang disediakan (C) dengan jumlah pengguna 10 user. Pendapatan paling besar diperoleh pada layanan 2 (file) sebesar 333. Kapasitas yang paling banyak digunakan sebesar 4.500 kbps pada layanan 3 (web).

Berdasarkan ketiga modifikasi untuk kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β konstanta maka diperoleh rekapitulasi hasil solusi optimal seperti pada Tabel 4.41.

Tabel 4. 41. Rekapitulasi Solusi Kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta

Modifikasi	$I_i = I_{i-1}$			$I_i > I_{i-1}$			$I_i < I_{i-1}$		
Layanan	i=1	i=2	i=3	i=1	i=2	i=3	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,5	0,6	0,7	0,5	0,6	0,7	0,4	0,6	0,7
Kapasitas cadangan	0,5	0,4	0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
QoS level	1	1	1	0,6	0,8	1	0,9	0,7	0,6
Jumlah pengguna	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	600	45 0	7.50 0	36 0	36 0	7.50 0	54 0	31 5	4.50 0
Total kapasitas	8.550			8.220			5.355		
Pendapatan	21	36 0	135	18, 6	34 2	135	17, 4	33 3	123
Total pendapatan	516			495,6			473,4		

Tabel 4.41 menampilkan hasil solusi optimal dari modifikasi kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β konstanta. Total pendapatan maksimum yang diperoleh yaitu pada modifikasi pertama $I_i = I_{i-1}$ sebesar 516. Pendapatan paling besar diperoleh pada layanan 2 (file) sebesar 360. Total kapasitas yang digunakan untuk modifikasi pertama sebesar 8.550 kbps atau 8,35% dari total kapasitas yang disediakan (C) dengan jumlah pengguna sebanyak 10 user. Jadi, untuk kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β konstanta pendapatan maksimum yang diperoleh sebesar 516 pada modifikasi pertama yaitu $I_i = I_{i-1}$.

3.4.3 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta

Modifikasi pada kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β konstanta juga mempunyai 3 bentuk modifikasi untuk index *quality*. Modifikasi pertama $I_i = I_{i-1}$, kedua $I_i > I_{i-1}$, dan modifikasi ketiga $I_i > I_{i-1}$. Persamaan yang digunakan pada kasus ini yaitu fungsi tujuan pada Persamaan (4.57) dan kendala-kendala pada Persamaan (4.2) sampai Persamaan (4.15), Persamaan (4.52) sampai Persamaan (4.56), Persamaan (4.58), dan Persamaan (4.59). Model yang dimodifikasi tersebut diselesaikan dengan bantuan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan solusi optimal.

3.4.3.1 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$

Persamaan yang digunakan pada modifikasi ini yaitu fungsi tujuan pada Persamaan (4.57) dan kendala-kendala pada Persamaan (4.2) sampai dengan Persamaan (4.15), Persamaan (4.24), Persamaan (4.25), Persamaan (4.52) sampai Persamaan (4.56), Persamaan (4.58), dan Persamaan (4.59). Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan hasil solusi optimal dan setelah diselesaikan tidak diperoleh solusi optimal. Jadi, jika ISP ingin memaksimumkan pendapatan maka modifikasi ini tidak bisa digunakan.

3.4.3.2 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$

Persamaan yang digunakan pada modifikasi ini yaitu fungsi tujuan pada Persamaan (4.57) dan kendala-kendala pada Persamaan (4.2) sampai dengan Persamaan (4.15), Persamaan (4.26), Persamaan (4.27), Persamaan (4.52) sampai Persamaan (4.56), Persamaan (4.58), dan Persamaan (4.59). Akan tetapi, pada Persamaan (4.10) sampai Persamaan (4.12) diganti dengan Persamaan (4.34) sampai Persamaan (4.36) karena untuk memenuhi nilai untuk $I_i > I_{i-1}$. Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan bantuan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan hasil solusi optimal dan dapat dilihat pada Lampiran 23. Tabel 4.42 menampilkan hasil solusi optimal yang diperoleh.

Tabel 4. 42. Solusi Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$

Modifikasi	$I_i > I_{i-1}$		
Layanan	i=1	i=2	i=3
Harga dasar	0,7	0,6	0,5
Kapasitas cadangan	0,2	0,4	0,4
QoS level	0,6	0,8	1
Jumlah pengguna	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	360	360	7.500
Total kapasitas	8.220		
Pendapatan	24,6	342	105
Total pendapatan	471,6		

Tabel 4.42 menampilkan total pendapatan yang diperoleh sebesar 471,6 pada kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$. Total kapasitas yang digunakan yaitu sebesar 8.220 kbps atau sebesar 8,02% dari total kapasitas yang disediakan (C) sebesar 102.400 kbps dengan jumlah pengguna 10 user. Pendapatan paling besar diperoleh pada layanan 2 (file) sebesar 342. Kapasitas yang paling banyak digunakan sebesar 7.500 kbps pada layanan 3 (web).

3.4.3.3 Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta untuk $I_i < I_{i-1}$

Persamaan yang digunakan pada modifikasi ini yaitu fungsi tujuan pada Persamaan (4.57) dan kendala-kendala pada Persamaan (4.2) sampai dengan Persamaan (4.15), Persamaan (4.28), Persamaan (4.29), Persamaan (4.52) sampai Persamaan (4.56), Persamaan (4.58), dan Persamaan (4.59). Akan tetapi, pada Persamaan (4.10) sampai Persamaan (4.12) diganti dengan Persamaan (4.37) sampai Persamaan (4.39) untuk memenuhi nilai $I_i < I_{i-1}$. Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan hasil solusi optimal dan setelah diselesaikan tidak diperoleh solusi optimal. Jadi, jika ISP ingin memaksimalkan pendapatan maka modifikasi ini tidak bisa digunakan.

Tabel 4. 43. Rekapitulasi Solusi Kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β Konstanta

Modifikasi	$I_i > I_{i-1}$		
Layanan	$i=1$	$i=2$	$i=3$
Harga dasar	0,7	0,6	0,5
Kapasitas cadangan	0,2	0,4	0,4
QoS level	0,6	0,8	1
Jumlah pengguna	10	10	10
Kapasitas yang digunakan	360	360	7.500
Total kapasitas	8.220		
PerSentase kapasitas yang digunakan	8,02		
Pendapatan	24,6	342	105
Total pendapatan	471,6		

Tabel 4.43 menampilkan solusi dari modifikasi kasus $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β konstanta. Total pendapatan maksimum yang diperoleh pada modifikasi kedua sebesar 471,6 karena modifikasi yang lainnya tidak memperoleh solusi optimal. Pendapatan paling besar yang diperoleh yaitu pada layanan 2 (file) sebesar 342. Total kapasitas yang digunakan sebesar 8.220 kbps atau 8,02% dari total kapasitas yang disediakan (C) dengan jumlah pengguna sebanyak 10 user. Jadi, untuk kasus $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β konstanta pendapatan maksimum yang diperoleh sebesar 471,6 pada modifikasi kedua yaitu $I_i > I_{i-1}$.

3.4.4 Rekapitulasi Solusi Optimal pada Kasus 2

Berdasarkan modifikasi pada kasus 2 yaitu harga dasar (α) sebagai variabel dan kualitas premium (β) sebagai konstanta maka diperoleh hasil solusi optimal untuk beberapa modifikasi. Hasil tersebut ditampilkan pada Tabel 4.44.

Tabel 4. 44. Rekapitulasi Solusi Kasus 2

Modifikasi	Total kapasitas (kbps)	PerSentase Total Kapasitas	Pendapatan
$\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$	8.550	8,35	441
$\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$	8.220	8,02	420,6

$\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β konstanta untuk $I_i < I_{i-1}$	-	-	
$\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$	8.550	8,35	516
$\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$	8.220	8,02	495,6
$\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β konstanta untuk $I_i < I_{i-1}$	5.355	5,22	473,4
$\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$	-	-	-
$\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$	8.220	8,02	471,6
$\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β konstanta untuk $I_i < I_{i-1}$	-	-	-

Berdasarkan Tabel 4.44 dapat dilihat pendapatan maksimum yang diperoleh dari setiap modifikasi pada kasus 2. Ada beberapa modifikasi yang tidak mendapatkan solusi optimal. Berdasarkan 9 modifikasi yang ada pada kasus 2, pendapatan maksimum diperoleh pada modifikasi $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$ dengan total pendapatan sebesar 516. Total kapasitas yang digunakan sebesar 8.550 kbps atau sebesar 8,35% dari kapasitas yang disediakan oleh layanan.

3.5 Pendefinisian Parameter dan Variabel untuk Model Jaringan *Multi* Kelas QoS.

Pada skema pembiayaan internet link tunggal untuk jaringan *multi* kelas QoS ada beberapa parameter dan variabel keputusan yang digunakan. Untuk jaringan *multi* kelas QoS terdapat dua kasus yaitu kasus 3 : α_j sebagai variabel dan β_j sebagai konstanta dan kasus 4 : α_j dan β_j sebagai variabel.

Pada penelitian ini, jumlah kelas QoS yang digunakan ada 2, yaitu $j = 1$ (untuk *Mail*) dan $j = 2$ (untuk *web*). Pada masing-masing kasus dimodifikasi nilai *sensitivitas* harga pengguna ke- i pada kelas j (W_{ij}) dan *sensitivitas* harga pengguna pada kelas j (W_j). Modifikasi pertama yaitu W_{ij} sebagai parameter dan W_j variabel, modifikasi kedua yaitu W_{ij} sebagai variabel dan W_j sebagai parameter dan modifikasi ketiga yaitu W_{ij} dan W_j parameter. Selain kasus 3 dan kasus 4 juga terdapat model original dan selanjutnya dibandingkan dengan ketiga model

tersebut. Berikut dijelaskan beberapa parameter dan variabel yang digunakan untuk memaksimumkan pendapatan ISP.

Parameter kasus 3 adalah :

- Q : jumlah *bandwidth*
- V_i : *bandwidth* minimum yang dibutuhkan pengguna ke- i
- W_j : *sensitivitas* harga untuk kelas j
- W_{ij} : *sensitivitas* harga untuk pengguna i di kelas j
- β : kualitas premium

Parameter kasus 4 adalah :

- Q : jumlah *bandwidth*
- V_i : *bandwidth* minimum yang dibutuhkan pengguna ke- i
- W_j : *sensitivitas* harga untuk kelas j
- W_{ij} : *sensitivitas* harga untuk pengguna i di kelas j

Sedangkan variabel-variabel yang digunakan adalah sebagai berikut :

Variabel untuk kasus 3 adalah :

- $Z_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{jika pengguna } i \text{ dibutuhkan di kelas } j \\ 0, & \text{yang lainnya} \end{cases}$
- X_{ij} : *bandwidth* akhir yang diperoleh pengguna i untuk kelas j
- L_{m_j} : *bandwidth* minimum untuk kelas j
- X_j : *bandwidth* untuk setiap pengguna pada kelas j
- I_j : level QoS untuk layanan i
- α_j : harga dasar untuk kelas j

Variabel untuk kasus 4 adalah :

- $Z_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{jika pengguna } i \text{ dibutuhkan di kelas } j \\ 0, & \text{yang lainnya} \end{cases}$
- X_{ij} : *bandwidth* akhir yang diperoleh pengguna i untuk kelas j
- L_{m_j} : *bandwidth* minimum untuk kelas j
- X_j : *bandwidth* untuk setiap pengguna pada kelas j
- I_j : level QoS untuk layanan i
- α_j : harga dasar untuk kelas j
- β_j : kualitas premium untuk kelas j

Setelah merumuskan parameter dan variabel untuk jaringan *multi* kelas QoS maka didapatkan model untuk memaksimumkan pendapatan ISP. Modifikasi pada masing-masing kasus tersebut diselesaikan untuk mendapatkan pendapatan maksimum dengan bantuan program LINGO 11.0.

3.6 Pemodelan Skema Pembiayaan Internet Menurut Jaringan *Multi* Kelas QoS.

Pada jaringan *multi* kelas QoS data *Traffic* yang digunakan berupa data *Mail* pada Tabel 4.5 dan data *web* pada Tabel 4.6. Beberapa parameter dan variabel-variabel yang digunakan untuk menyelesaikan masalah jaringan *multikelas* QoS seperti pada Sub Bab 4.5.

Model original menggunakan Persamaan (2.9) sampai (2.23) dengan memasukkan nilai parameter pada Tabel 4.45.

Tabel 4. 45. Nilai-Nilai Parameter dalam Jaringan *Multi* Kelas QoS Kasus 3

Parameter	Kelas	
	1 (<i>Mail</i>)	2 (<i>web</i>)
Kapasitas total (Q)	30720kbps	
Kapasitas yang dibutuhkan (V)	98,4kbps	400,3kbps
<i>Sensitivitas</i> Harga(W_j)	0,6	0,8
<i>Sensitivitas</i> Harga Pengguna(W_{ij})	0,5 ; 0,7	0,6 ; 0,9
Kualitas premium (β)	0,01	0,02

Fungsi tujuan dan kendala-kendala yang digunakan pada model original untuk jaringan *multi* kelas QoS :

$$\begin{aligned} \text{Maks } R = & ((\alpha_1 + \beta_1 * I_1) + W_1 \log(\frac{X_{11}}{L_{m1}})) * Z_{11} + (\alpha_1 + \beta_1 * I_1) + \\ & W_1 \log(\frac{X_{21}}{L_{m1}})) * Z_{21} + (\alpha_2 + \beta_2 * I_2) + W_2 \log(\frac{X_{12}}{L_{m2}})) * Z_{12} + (\alpha_2 + \\ & \beta_2 * I_2) + W_2 \log(\frac{X_{22}}{L_{m2}})) * Z_{22} \end{aligned} \tag{4.60}$$

dengan kendala :

$$X_{11} + X_{12} + X_{21} + X_{22} \leq Q \tag{4.61}$$

$$X_{11} \geq L_{m1} - (1 - Z_{11}) \tag{4.62}$$

$$X_{21} \geq L_{m1} - (1 - Z_{21}) \tag{4.63}$$

$$\begin{aligned}
X_{12} &\geq L_{m_2} - (1 - Z_{12}) & (4.64) \\
X_{22} &\geq L_{m_2} - (1 - Z_{22}) & (4.65) \\
W_1 &\leq W_{11} + (1 - Z_{11}) & (4.66) \\
W_1 &\leq W_{21} + (1 - Z_{21}) & (4.67) \\
W_2 &\leq W_{12} + (1 - Z_{12}) & (4.68) \\
W_2 &\leq W_{22} + (1 - Z_{22}) & (4.69) \\
X_{11} &\geq V_1 - (1 - Z_{11}) & (4.70) \\
X_{21} &\geq V_2 - (1 - Z_{21}) & (4.71) \\
X_{12} &\geq V_1 - (1 - Z_{12}) & (4.72) \\
X_{22} &\geq V_2 - (1 - Z_{22}) & (4.73) \\
X_{11} &\geq X_1 - (1 - Z_{11}) & (4.74) \\
X_{21} &\geq X_1 - (1 - Z_{21}) & (4.75) \\
X_{12} &\geq X_2 - (1 - Z_{12}) & (4.76) \\
X_{22} &\geq X_2 - (1 - Z_{22}) & (4.77) \\
X_{11} &\geq Z_{11} & (4.78) \\
X_{21} &\geq Z_{21} & (4.79) \\
X_{12} &\geq Z_{12} & (4.80) \\
X_{22} &\geq Z_{22} & (4.81) \\
X_{11} &\geq 0 & (4.82) \\
X_{21} &\geq 0 & (4.83) \\
X_{12} &\geq 0 & (4.84) \\
X_{22} &\geq 0 & (4.85) \\
L_{m_1} &\geq 0,01 & (4.86) \\
L_{m_2} &\geq 0,01 & (4.87) \\
W_1 &\geq 0 & (4.88) \\
W_2 &\geq 0 & (4.89) \\
X_{11} &\leq X_1 & (4.90) \\
X_{21} &\leq X_1 & (4.91) \\
X_{12} &\leq X_2 & (4.92) \\
X_{22} &\leq X_2 & (4.93) \\
\alpha_2 &\geq \alpha_1 & (4.94) \\
0,1 &\leq \alpha_1 \leq 0,4 & (4.95) \\
0,2 &\leq \alpha_2 \leq 0,3 & (4.96) \\
W_{11} &\geq 0 & (4.97) \\
W_{12} &\geq 0 & (4.98) \\
W_{21} &\geq 0 & (4.99)
\end{aligned}$$

$$W_{22} \geq 0$$

$$(\alpha_2 + \beta_2 * I_2) \geq (\alpha_1 + \beta_1 * I_1)$$

$$V_1 \geq 0$$

$$V_2 \geq 0$$

$$0 \leq I_1 \leq 0,9$$

$$0 \leq I_2 \leq 0,8$$

(4.100)

(4.101)

(4.102)

(4.103)

(4.104)

(4.105)

Berdasarkan model original yang dimodifikasi tersebut diperoleh hasil solusi optimal yang diselesaikan dengan program LINGO 11.0. Fungsi tujuan dan kendala yang digunakan yaitu pada Persamaan (4.60) sampai Persamaan (4.105) dan diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk model original jaringan *multi* kelas QoS dan dapat dilihat pada Lampiran 24. Tabel 4.46 menampilkan hasil solusi optimal yang diperoleh dari model original

Tabel 4. 46. Solusi Optimal Model Original

Solver Status	
Model Class	MINLP
State	Local Optimal
Objective	39,17
Infeasibility	0
Iterations	19
Extended Solver Status	
Solver Type	Branch and Bound
Best Objective	39,17
Objective Bound	39,17
Steps	0
Update Interval	2
Generated Memory Used(K)	27
Elapsed Time(S)	0

Solver status pada Tabel 4.46 menunjukkan model yang digunakan yaitu Mixed Integer Non Linier Programming (MINLP) dengan solusi optimal yang diperoleh sebesar 39,17. Hasil tersebut diperoleh dari 19 iterasi dengan infeasibility bernilai 0. Extended solver status menunjukkan metode penyelesaian yang digunakan yaitu Branch and Bound dengan nilai objektif sebesar 39,17. *Generated Memory Used* sebesar 27 dan elapsed time yaitu 0 detik.

3.7 Pemodelan Skema Pembiayaan Internet Menurut Jaringan *Multi Kelas QoS Kasus 3.*

Pada kasus 3 ini terdapat 3 modifikasi. Modifikasi pertama yaitu *sensitivitas* harga pengguna ke-i pada kelas j (W_{ij}) sebagai parameter dan *sensitivitas* harga pengguna pada kelas j (W_j) sebagai variabel. Model dan kendala yang digunakan untuk kasus 3 modifikasi pertama yaitu Persamaan (4.60) sampai Persamaan (4.105) dengan memasukkan nilai parameter seperti pada Tabel 4.45 pada Persamaan (4.97) sampai Persamaan (4.100), Persamaan (4.102), dan Persamaan (4.103). Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan bantuan program LINGO 11.0 dan dapat dilihat pada Lampiran 25. Tabel 4.47 menampilkan hasil solusi dari model yang dimodifikasi.

Tabel 4. 47. Solusi Optimal Kasus 3 dengan Modifikasi W_{ij} Parameter dan W_j Variabel

Solver Status	
Model Class	MINLP
State	Local Optimal
Objective	31,07
Infeasibility	$3,63 \times 10^{-12}$
Iterations	231
Extended Solver Status	
Solver Type	Branch and Bound
Best Objective	31,07
Objective Bound	31,07
Steps	4
Update Interval	2
Generated Memory Used(K)	29
Elapsed Time(S)	1

Solver status pada Tabel 4.47 menunjukkan model yang digunakan yaitu Mixed Integer Non Linier Programming (MINLP) dengan solusi optimal yang diperoleh sebesar 31,07. Hasil tersebut diperoleh dari 231 iterasi dengan infeasibility bernilai $3,63 \times 10^{-12}$. Extended solver status menunjukkan metode penyelesaian yang digunakan yaitu Branch and Bound dengan nilai objektif sebesar 31,07. *Generated Memory Used* sebesar 29 dan elapsed time yaitu 1 detik

Kasus 3 dengan modifikasi kedua yaitu *sensitivitas* harga pengguna ke-*i* pada kelas *j* (W_{ij}) sebagai variabel dan *sensitivitas* harga pengguna pada kelas *j* (W_j) sebagai parameter menggunakan persamaan yang sama dengan modifikasi 1 yaitu Persamaan (4.60) sampai Persamaan (4.105) dengan $i=1,2$ dan $j=1,2$, hanya berbeda pada nilai *sensitivitas* harga pengguna pada kelas *j* (W_j) yang menjadi parameter yang nilainya dapat dilihat pada Tabel 4.43. Persamaan-persamaan yang digunakan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 yang dapat dilihat pada Lampiran 26. Tabel 4.48 menunjukkan solusi dari kasus 3 modifikasi 2.

**Tabel 4. 48. Solusi Optimal Kasus 3 dengan Modifikasi W_{ij}
Parameter dan W_j Parameter**

Solver Status	
Model Class	MINLP
State	Local Optimal
Objective	39,22
Infeasibility	$3,63 \times 10^{-12}$
Iterations	24
Extended Solver Status	
Solver Type	Branch and Bound
Best Objective	39,22
Objective Bound	39,22
Steps	0
Update Interval	2
Generated Memory Used(K)	30
Elapsed Time(S)	0

Tabel 4.48 menunjukkan hasil solusi optimal yang diperoleh dari modifikasi nilai W_{ij} sebagai variabel dan W_j sebagai parameter yaitu sebesar 39,22. Hasil tersebut diperoleh dari 24 iterasi dengan infeasibility bernilai $3,63 \times 10^{-12}$.

Kasus 3 dengan modifikasi ketiga yaitu *sensitivitas* harga pengguna ke-*i* pada kelas *j* (W_{ij}) dan *sensitivitas* harga pengguna pada kelas *j* (W_j) sebagai parameter menggunakan persamaan yang sama dengan modifikasi 1 yaitu Persamaan (4.60) sampai (4.105) dengan $i=1,2$ dan $j=1,2$. Hanya berbeda pada Persamaan (4.88), Persamaan (4.89), dan Persamaan (4.97) sampai Persamaan (4.100) yang nilainya

diubah sesuai pada Tabel 4.60. Fungsi tujuan dan kendala yang digunakan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan hasil solusi optimal yang dapat dilihat pada Lampiran 27.

Tabel 4. 49. Solusi Optimal Kasus 3 dengan W_{ij} Parameter dan W_j Parameter

Solver Status	
Model Class	MINLP
State	Local Optimal
Objective	19,61
Infeasibility	0
Iterations	15
Extended Solver Status	
Solver Type	Branch and Bound
Best Objective	19,61
Objective Bound	19,61
Steps	0
Update Interval	2
Generated Memory Used(K)	29
Elapsed Time(S)	0

Tabel 4.49 menunjukkan hasil solusi optimal yang diperoleh dari modifikasi nilai W_{ij} dan W_j sebagai parameter sebesar 19,61. Hasil tersebut diperoleh dari 15 iterasi dengan infeasibility bernilai 0.

Berdasarkan Tabel 4.47, Tabel 4.48, dan Tabel 4.49 dapat disimpulkan bahwa hasil solusi optimal yang diperoleh masing-masing modifikasi sebesar 31,07, 39,22 dan 19,61. Hasil tersebut dapat direkap seperti pada Tabel 4.50. Pendapatan maksimum yang diperoleh terdapat pada modifikasi 2 yaitu *sensitivitas* harga pengguna ke- i pada kelas j (W_{ij}) sebagai variabel dan *sensitivitas* harga pengguna pada kelas j (W_j) sebagai parameter sebesar 39,22. Jika ISP ingin memaksimalkan pendapatan dengan kasus 3 maka sebaiknya ISP memilih skema pembiayaan dengan modifikasi 2 yaitu *sensitivitas* harga pengguna ke- i pada kelas j (W_{ij}) sebagai variabel dan *sensitivitas* harga pengguna pada kelas j (W_j) sebagai parameter.

Tabel 4. 50. Rekapitulasi Solusi Kasus 3

Solver Status	Modifikasi 1	Modifikasi 2	Modifikasi 3
Model Class	MINLP	MINLP	MINLP
State	Local Optimal	Local Optimal	Local Optimal
Objective	31,07	39,22	19,61
Infeasibility	$3,63 \times 10^{-12}$	$3,63 \times 10^{-12}$	0
Iterations	231	24	15
Extended Solver Status			
Solver Type	Branch and Bound	Branch and Bound	Branch and Bound
Best Objective	31,07	39,22	19,61
Objective Bound	31,07	39,22	19,61
Steps	4	0	0
Update Interval	2	2	2
Generated Memory Used(K)	29	30	29
Elapsed Time(S)	1	0	0

3.8 Pemodelan Skema Pembiayaan Internet Menurut Jaringan

Multi Kelas QoS Kasus 4.

Kasus 4 yaitu α_j dan β_j sebagai variabel juga terdapat 3 modifikasi yang sama seperti pada kasus 3 yaitu modifikasi pertama dengan *sensitivitas* harga pengguna ke-i pada kelas j (W_{ij}) sebagai parameter dan *sensitivitas* harga pengguna pada kelas j (W_j) sebagai variabel, modifikasi kedua dengan *sensitivitas* harga pengguna ke-i pada kelas j (W_{ij}) sebagai variabel dan *sensitivitas* harga pengguna pada kelas j (W_j) sebagai parameter dan modifikasi ketiga dengan *sensitivitas* harga pengguna ke-i pada kelas j (W_{ij}) dan *sensitivitas* harga pengguna pada kelas j (W_j) sebagai parameter.

Model dan kendala yang digunakan juga sama seperti pada kasus 3, perbedaannya terletak pada nilai β_j karena β_j pada kasus 4 merupakan variabel seperti pada persamaan di bawah ini :

$$0,01 \leq \beta_1 \leq 0,04 \quad (4.106)$$

$$0,02 \leq \beta_2 \leq 0,03 \quad (4.107)$$

Nilai-nilai parameter untuk kasus 4 pada jaringan *multi* kelas QoS dapat dilihat pada Tabel 4.51.

Tabel 4. 51. Nilai-Nilai Parameter dalam Jaringan *Multi* Kelas QoS Kasus 4

Parameter	Kelas	
	1 (<i>Mail</i>)	2 (<i>web</i>)
Kapasitas total (Q)	30720kbps	
Kapasitas yang dibutuhkan (V)	98,4kbps	400,3kbps
<i>Sensitivitas</i> Harga(W_j)	0,6	0,8
<i>Sensitivitas</i> Harga Pengguna(W_{ij})	0,5 ; 0,7	0,6 ; 0,9

Untuk modifikasi pertama pada kasus 4, fungsi tujuan dan kendala yang digunakan sama dengan modifikasi pertama pada kasus 3, hanya berbeda pada nilai β_j . Nilai β_j yang digunakan seperti Persamaan (4.106) dan Persamaan (4.107).Persamaan-persamaan yang digunakan diselesaikan dengan program LINGO 11.0 yang dapat dilihat pada Lampiran 28 dan Tabel 4.52 merupakan hasil dari penyelesaian masalah jaringan *multi* kelas QoS kasus 4 modifikasi 1.

Tabel 4. 52. Solusi Optimal Kasus 4 dengan Modifikasi W_{ij} Parameter dan W_j Variabel

Solver Status	
Model Class	MINLP
State	Local Optimal
Objective	31,11
Infeasibility	$5,55 \times 10^{-17}$
Iterations	225
Extended Solver Status	
Solver Type	Branch and Bound
Best Objective	31,11
Objective Bound	31,11
Steps	4
Update Interval	2
Generated Memory Used(K)	30
Elapsed Time(S)	0

Tabel 4.52 menunjukkan hasil penyelesaian dengan program LINGO 11.0 untuk kasus 4 modifikasi pertama. Pada solver statusditunjukkanmodel yang digunakan yaitu Mixed Integer Non

Linier Programming (MINLP) dengan solusi optimal yang diperoleh sebesar 31,11. Hasil tersebut diperoleh dari 225 iterasi dengan infeasibility bernilai $5,55 \times 10^{-17}$. Extended solver status menunjukkan metode penyelesaian yang digunakan yaitu Branch and Bound dengan nilai objektif yaitu sebesar 31,11. *Generated Memory Used* sebesar 30 dan elapsed time yaitu 0 detik.

Kasus 4 dengan modifikasi kedua yaitu dengan *sensitivitas* harga pengguna ke-i pada kelas j (W_{ij}) sebagai variabel dan *sensitivitas* harga pengguna pada kelas j (W_j) sebagai parameter menggunakan persamaan yang sama dengan modifikasi 2 pada kasus 3, hanya berbeda pada nilai β_j . Nilai β_j yang digunakan seperti pada Persamaan (4.106) dan Persamaan (4.107). Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan hasil solusi optimal yang dapat dilihat pada Lampiran 29.

Tabel 4. 53. Solusi Optimal Kasus 4 dengan Modifikasi W_{ij} Parameter dan W_j Variabel

Solver Status	
Model Class	MINLP
State	Local Optimal
Objective	39,26
Infeasibility	$3,63 \times 10^{-12}$
Iterations	21
Extended Solver Status	
Solver Type	Branch and Bound
Best Objective	39,26
Objective Bound	39,26
Steps	0
Update Interval	2
Generated Memory Used(K)	31
Elapsed Time(S)	0

Tabel 4.53 menunjukkan hasil solusi optimal dari modifikasi W_{ij} sebagai variabel dan W_j sebagai parameter yang diperoleh sebesar 39,26. Hasil tersebut diperoleh dari 21 iterasi dengan infeasibility bernilai $3,63 \times 10^{-12}$.

Kasus 4 dengan modifikasi ketiga yaitu *sensitivitas* harga pengguna ke-i pada kelas j (W_{ij}) dan *sensitivitas* harga pengguna pada

kelas $j(W_j)$ sebagai parameter menggunakan persamaan yang sama dengan kasus 3 modifikasi ketiga, hanya berbeda pada nilai β_j . Nilai β_j yang digunakan seperti pada Persamaan (4.106) dan Persamaan (4.107). Persamaan-persamaan tersebut diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan hasil solusi optimal yang dapat dilihat pada Lampiran 30.

Tabel 4. 54. Solusi Optimal Kasus 4 dengan Modifikasi W_{ij} dan W_j
Parameter

Solver Status	
Model Class	MINLP
State	Local Optimal
Objective	19,63
Infeasibility	0
Iterations	15
Extended Solver Status	
Solver Type	Branch and Bound
Best Objective	19,63
Objective Bound	19,63
Steps	0
Update Interval	2
Generated Memory Used(K)	30
Elapsed Time(S)	0

Tabel 4.54 menunjukkan hasil solusi optimal dari modifikasi W_{ij} dan W_j sebagai parameter yang diperoleh sebesar 19,63. Hasil tersebut diperoleh dari 15 iterasi dengan infeasibility bernilai 0.

Berdasarkan Tabel 4.52, Tabel 4.53, dan Tabel 4.54 dapat disimpulkan bahwa solusi optimal yang diperoleh masing-masing modifikasi untuk kasus 4 sebesar 31,11 pada modifikasi pertama, 39,26 pada modifikasi kedua dan 19,63 pada modifikasi ketiga. Pendapatan maksimum yang diperoleh dari modifikasi kasus 4 terdapat pada modifikasi 2 yaitu *sensitivitas* harga pengguna ke-i pada kelas $j(W_{ij})$ sebagai variabel dan *sensitivitas* harga pengguna pada kelas $j(W_j)$ sebagai parameter sebesar 39,26. Berdasarkan ketiga modifikasi pada kasus 4 tersebut diperoleh masing-masing pendapatan maksimum yang dapat dilihat pada Tabel 4.55.

Tabel 4. 55. Rekapitulasi Solusi Kasus 4

Solver Status	Modifikasi 1	Modifikasi 2	Modifikasi 3
Model Class	MINLP	MINLP	MINLP
State	Local Optimal	Local Optimal	Local Optimal
Objective	31,11	39,26	19,63
Infeasibility	$5,55 \times 10^{-17}$	$3,63 \times 10^{-12}$	0
Iterations	225	21	15
Extended Solver Status			
Solver Type	Branch and Bound	Branch and Bound	Branch and Bound
Best Objective	31,11	39,26	19,63
Objective Bound	31,11	39,26	19,63
Steps	4	0	0
Update Interval	2	2	2
Generated Memory Used(K)	30	31	30
Elapsed Time(S)	0	0	0

3.9 Rekapitulasi Solusi Optimal Jaringan *Multi* Kelas QoS

Berdasarkan modifikasi pada jaringan *multi* kelas QoS, kasus 3 dan kasus 4 memiliki masing-masing pendapatan maksimum yang diperoleh dari masing-masing modifikasi dan juga pada model original.

Rekapitulasi nilai variabel untuk semua model pada jaringan *multi* kelas QoS dapat dilihat pada Tabel 4.56.

Tabel 4. 56. ekapitulasi Nilai Variabel Jaringan *Multi* Kelas QoS

Variabel	Original	Kasus 3			Kasus 4		
		$W_{ij}P_a$	$W_{ij}V_a$	$W_{ij}P_a$	$W_{ij}P_a$	$W_{ij}V_a$	$W_{ij}P_a$
		W_jVar	W_jPar	W_jPar	W_jVar	W_jPar	W_jPar
α_1	0,3	0,3	0,3	0,3	0,28	0,28	0,28
α_2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
β_1	-	0,01	0,01	0,01	0,04	0,04	0,04
β_2	-	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03
Z_{11}	1	1	1	0	1	1	0
Z_{12}	1	1	1	0	1	1	0
Z_{21}	1	1	1	1	1	1	1
Z_{22}	1	1	1	1	1	1	1
W_1	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6
W_2	0,8	0,6	0,8	0,8	0,6	0,8	0,8
X_{11}	6.582,8	6.582,8	6.582,8	6.582,2	6.582,8	6.582,8	6.582,2
X_{12}	8.777,1	8.777,1	8.777,1	8.776,7	8.777,1	8.777,1	8.776,7
X_{21}	6.582,8	6.582,8	6.582,8	6.583,2	6.582,7	6.582,7	6.583,2
X_{22}	8.777,1	8.777,1	8.777,1	8.777,7	8.777,1	8.777,1	8.777,7
L_1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
L_2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
X_1	6.582,8	6.582,8	6.582,8	6.583,2	6.582,8	6.582,8	6.583,2
X_2	8.777,1	8.777,1	8.777,1	8.777,7	8.777,1	8.777,1	8.777,7
I_1	-	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
I_2	-	0,8	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8

Keterangan : Par menyatakan parameter dan var menyatakan variabel

Berdasarkan ketujuh model yang ada, maka diperoleh solusi optimal pada masing- masing model yang diselesaikan dengan bantuan program LINGO 11.0. Total pendapatan maksimum untuk jaringan *multi* kelas QoS terdapat pada model kasus 4 modifikasi pertama yaitu *sensitivitas* harga pengguna ke-i pada kelas j (W_{ij}) sebagai variabel dan

sensitivitas harga pengguna pada kelas $j(W_j)$ sebagai parameter sebesar 39,26. Jika ISP ingin mencapai targetnya yaitu memperoleh pendapatan maksimum dengan jaringan *multi* kelas QoS, maka ISP sebaiknya menggunakan skema pembiayaan pada kasus 4 dengan modifikasi pertama.

3.10 Skema Pembiayaan pada Jaringan *Multi* Layanan dan Jaringan *Multi* Kelas QoS

Jaringan *multi* layanan dan jaringan *multi* kelas QoS telah dimodifikasi untuk memperoleh pendapatan maksimum bagi ISP. Pada jaringan *multi* layanan, kasus 1 dan kasus 2 memperoleh pendapatan maksimum dari setiap modifikasi. Pendapatan maksimum yang diperoleh pada jaringan *multi* layanan didapat dengan memodifikasi $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$ pada kasus 1 yaitu α dan β sebagai variabel yaitu sebesar 843. Sedangkan pada jaringan *multi* kelas QoS diperoleh pendapatan maksimum dengan memodifikasi *sensitivitas* harga pengguna ke- i pada kelas $j(W_{ij})$ sebagai variabel dan *sensitivitas* harga pengguna pada kelas $j(W_j)$ sebagai parameter pada kasus 4 sebesar 39,26.

Agar tujuan ISP terpenuhi yaitu ingin memaksimumkan pendapatan, sebaiknya menggunakan modifikasi $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$ pada kasus 1 yaitu α dan β sebagai variabel untuk jaringan *multi* layanan (*multi service network*) dan memodifikasi *sensitivitas* harga pengguna ke- i pada kelas $j(W_{ij})$ sebagai variabel dan *sensitivitas* harga pengguna pada kelas $j(W_j)$ sebagai parameter pada kasus 4 yaitu α_j dan β_j sebagai variabel untuk jaringan *multi* kelas QoS (*multi class QoS*).

1.4 KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pengolahan data yang telah dilakukan pada skema pembiayaan internet yang dapat memaksimumkan pendapatan ISP menurut jaringan *multi* layanan dan *multi* kelas QoS dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu :

1. Pada model jaringan *multi* layanan, ISP memperoleh pendapatan maksimum sebesar 843 jika menggunakan modifikasi kasus 1 yaitu menetapkan base price (α) dan kualitas premium (β)

sebagai variabel dengan memodifikasi nilai $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$.

2. Pada jaringan *multi* kelas QoS, ISP memperoleh pendapatan maksimum sebesar 39,26 jika menggunakan modifikasi kasus 4 yaitu α_j dan β_j sebagai variabel dengan $j = 1, 2$ dengan memodifikasi nilai *sensitivitas* harga pengguna ke- i pada kelas j (W_{ij}) sebagai variabel dan *sensitivitas* harga pengguna pada kelas j (W_j) sebagai parameter.

Saran

Saran yang dapat diberikan bagi penyedia layanan internet dan peneliti selanjutnya yaitu :

1. Penyedia layanan internet dapat menggunakan skema pembiayaan internet berdasarkan modifikasi pada penelitian ini yaitu menurut jaringan *multi* layanan (*multi service network*) dan jaringan *multi* kelas QoS (*multi class QoS network*) untuk memperoleh pendapatan maksimum.
2. Bagi peneliti selanjutnya, dapat meneliti pembiayaan internet pada jaringan nirkabel untuk link tunggal (*single link*) dengan lebih banyak layanan dan lebih banyak kelas QoS.

1.5 DAFTAR PUSTAKA

- Byun, J., & Chatterjee, S. 2004. A strategic pricing for *quality of service (QoS) network* business. Proceedings of the Tenth Americas Conference on Information Systems: 2561-2572. New York, August 2004.
- Gupta, A., Stahl, D. O., & Whinston, A. B. 1995. A priority pricing approach to manage *multi-service class networks* in real-time. The Journal of Electronic Publishing(JEP), Vol 1, No.1 & 2, Januari 1995.
- Puspita, F. M., Seman, K., & Taib, B. M. 2011. A comparison of optimization of charging scheme in *multiple QoS network*.International Conference AYRC X3 : Malaysia, 2012.
- Puspita, F. M., Seman, K., Taib, B. M., & Shafii, Z. 2012. An improved optimization model of internet charging scheme in *multi service networks*.Telkomnika, Vol.10, No.3 : 592-598, July 2012.
- Puspita, F. M., Seman, K., Taib, B. M., & Shafii, Z. 2012. Models of internet charging scheme under *multiple QoS networks*.International Conference ICMSCE : Malaysia, 2012.
- Sain, S., & Herpers, S. 2003. Profit Maximisation in *Multi Service Networks – An Optimisation Model*.Proceedings of the 11th European Conference on Information Systems ECIS: Naples, Italy 2003.
- Yang, W. 2004. Pricing *Network Resources in Differentiated Service Networks* [tesis]. Georgia : School of Electrical and Computer Engineering Georgia Institute of Technology.

2.1. LATAR BELAKANG MASALAH MODEL SKEMA PEMBIAYAAN INTERNET LINK TUNGGAL PADA JARINGAN *MULTI* LAYANAN (*MULTI SERVICE NETWORK*) DAN JARINGAN *MULTI* KELAS (*MULTI CLASS NETWORK*)

Internet (kependekan dari *interconnection-networking*) adalah seluruh jaringan komputer yang saling terhubung menggunakan standar sistem global *Transmission Control Protocol/Internet Protocol Suite* (TCP/IP) sebagai protokol pertukaran paket (*packet switching communication protocol*) untuk melayani miliaran pengguna di seluruh dunia. Perkembangan internet juga telah mempengaruhi perkembangan ekonomi.

Internet merupakan sarana teknologi yang digunakan untuk berbagai macam kebutuhan informasi yang dibutuhkan masyarakat. Hampir seluruh lapisan masyarakat sudah menggunakan layanan jasa internet. Penyedia layanan internet (*Internet Service Provider*, ISP) berusaha memberikan kualitas yang terbaik bagi pengguna internet dan juga memperoleh pendapatan maksimum yaitu dengan menyediakan kualitas layanan (*Quality of Service*, QoS). Pembiayaan internet merupakan suatu masalah ekonomi global. Penetapan harga suatu produk atau jasa merupakan tugas yang sulit namun penting bagi suatu organisasi. Perusahaan dapat memperoleh pelanggan, mempertahankan pelanggan, dan membuat pendapatan dengan harga yang tepat (Byun & Chatterjee, 2004).

Byun & Chatterjee (2004) membahas mengenai model pembiayaan bagi layanan internet berdasarkan tingkatan kualitas yang berbeda dengan memfokuskan pada skema pembiayaan atas dasar pemakaian karena skema tersebut menyatakan level kongesti (gangguan) secara mendalam.

Skema pembiayaan terkini didasarkan atas pembiayaan kecepatan tetap (*flat rate*) dan pembiayaan atas dasar pemakaian (*usage based*). Pelanggan memiliki kecenderungan menggunakan pembiayaan *flat rate* karena skema tersebut sederhana. Pelanggan hanya membayar biaya langganan setiap bulan dan pelanggan akan mendapatkan semua koneksi internet, akan tetapi skema pembiayaan ini pada dasarnya memiliki kerugian karena tidak menyelesaikan permasalahan kongesti.

Bagi perusahaan telekomunikasi (telcos), skema kecepatan tetap memiliki efek yang buruk untuk memaksimalkan laba dan ketidakmampuan skema tersebut dalam menghindari kongesti. Pembiayaan internet terkini yang didasarkan atas *flat rate* ternyata tidak cukup tepat bagi telcos. Mereka telah menyebarkan jaringan banyak QoS untuk memberikan banyak pilihan pada pelanggan dalam menggunakan layanan. Jika pelanggan ingin mendapatkan kualitas layanan terbaik, maka pelanggan harus membayar dengan biaya yang tinggi. Jika pelanggan tidak peduli dengan kualitas, maka pembiayaan *flat rate* yang dipilih adalah kualitas layanan yang rendah. Telco seperti halnya Telkom Indonesia mengalami kesulitan dalam mencari skema pembiayaan yang tepat sehubungan dengan jaringan QoS *multipel*. Hal ini menyebabkan pengguna akan berpindah dari satu QoS ke QoS lainnya. Pengoptimalan pembiayaan internet diperlukan dengan mempertimbangkan jaringan QoS yang *multipel* yang meliputi jaringan *multi* layanan dan jaringan *multi* kelas. Skema pembiayaan internet menjadi permasalahan kritis dan memerlukan solusi tepat yang dapat menguntungkan ISP dan pengguna.

Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas pada penelitian ini yaitu bagaimana membentuk model skema pembiayaan internet yang optimal menurut jaringan *multi* layanan dan jaringan *multi* kelas.

Pembatasan Masalah

Permasalahan pada penelitian ini dibatasi pada penggunaan link tunggal dengan 2 kelas layanan dan 3 pengguna layanan. Model diaplikasikan pada data *Traffic Mail*, file, dan web dari salah satu server lokal. Model jaringan *multi* layanan yang dibahas adalah pada kasus harga dasar dan kualitas premium sebagai konstanta (α, β fixed)

dan kasus harga dasar sebagai konstanta dan kualitas premium sebagai variabel (α fixed, β vary), sedangkan untuk model jaringan *multi* kelas yang dibahas adalah pada kasus model original, model modifikasi (α , β fixed), dan model modifikasi 1 (α fixed, β vary).

Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah untuk membentuk model skema pembiayaan internet yang optimal menurut jaringan *multi* layanan dan jaringan *multi* kelas.

Manfaat

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah

1. Dapat membuat formulasi baru dalam skema pembiayaan internet yang dapat menguntungkan telco serta menarik peminat pengguna untuk menggunakan skema tersebut.
2. Dapat memberikan pilihan pengaturan biaya internet pada ISP sesuai dengan tujuan yang dikehendaki ISP.

2.2 PEMBAHASAN

Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data sekunder yaitu data yang di dalamnya memiliki 2 komponen yaitu: dikirim(*Sent*) dan diterima (*received*) dalam byte per *second* (bps). Data ini merupakan data dari *server* lokal di Palembang, yang diambil dari tanggal 8 Agustus 2013 sampai 7 September 2013 untuk *Traffic multi* layanan dan tanggal 17 Agustus 2013 sampai 17 September 2013 untuk *Traffic multi* kelas.

2.1 Data *Traffic* yang Digunakan

Tabel-tabel berikut merupakan data *Traffic* untuk *multi* layanan (data *Mail*, file, dan web) dan *multi* kelas (file dan web).

Tabel 4 1 Data *Traffic* pada *Mail* untuk *Multi Layanan*

Waktu	<i>Traffic</i> (dalam byte per second)	
	<i>Sent</i>	<i>Received</i>
8 Agustus 2013	543.717,4	106.918,2
9 Agustus 2013	520.483,8	201.273,0
10 Agustus 2013	537.160,0	148.010,6
11 Agustus 2013	545.022,1	97.822,2
12 Agustus 2013	757.564,8	390.240,1
13 Agustus 2013	1.376.481,1	865.565,5
14 Agustus 2013	1.796.384,4	1.528.362,4
15 Agustus 2013	635.425,4	382.077,1
16 Agustus 2013	898.339,3	332.387,5
17 Agustus 2013	912.088,4	212.556,9
18 Agustus 2013	578.592,5	92.283,9
19 Agustus 2013	982.749,0	780.649,6
20 Agustus 2013	1.554.564,5	771.848,7
21 Agustus 2013	1.694.196,6	760.999,9
22 Agustus 2013	1.022.799,6	1.269.450,7
23 Agustus 2013	1.413.572,8	471.705,3
24 Agustus 2013	1.719.839,6	1.142.686,0
25 Agustus 2013	1.749.112,0	271.750,5
26 Agustus 2013	1.102.734,3	589.974,0
27 Agustus 2013	1.358.248,7	1.143.905,4
28 Agustus 2013	1.287.029,5	838.464,7
29 Agustus 2013	658.146,8	365.346,9
30 Agustus 2013	782.409,0	365.046,8
31 Agustus 2013	637.064,7	904.205,7
1 September 2013	588.871,2	98.290,4
2 September 2013	1.083.827,0	290.881,8
3 September 2013	660.625,9	214.975,6
4 September 2013	737.140,3	203.512,2
5 September 2013	1.350.533,9	924.058,4
6 September 2013	1.508.627,6	418.621,6
7 September 2013	677.869,2	731.028,7
<i>Demand</i>	1.021.652,3	545.641,9
<i>Demand per bulan</i>	783.647,1	
<i>Demandbyte per second(bps)</i>	97.955,9	
<i>Demandkilo byte per second (kbps)</i>	95,7	

Keterangan :

Sent : dikirim
Received : diterima
Demand : permintaan
Byte per second : byte per detik

Tabel 4 2. Data Traffic pada File untuk Multi Layanan

Waktu	Traffic (dalam byte per second)	
	<i>Sent</i>	<i>Received</i>
8 Agustus 2013	0	0
9 Agustus 2013	0	0
10 Agustus 2013	0	0
11 Agustus 2013	0	0
12 Agustus 2013	1.132.902,6	51.786.565,6
13 Agustus 2013	48.364.170,1	145.828.597,6
14 Agustus 2013	9.449.085,4	338.718.411,6
15 Agustus 2013	7.153.298,2	238.454.340,1
16 Agustus 2013	9.644.959,8	259.488.859,9
17 Agustus 2013	3.375.236,6	154.854.625,4
18 Agustus 2013	405.312,6	12.467.746,2
19 Agustus 2013	7.442.144,1	232.142.969,3
20 Agustus 2013	4.407.890,7	203.053.690,3
21 Agustus 2013	4.558.565,7	208.783.749,5
22 Agustus 2013	189.429.854,4	331.033.300,2
23 Agustus 2013	35.850.714,6	232.267.440,5
24 Agustus 2013	6.861.609,8	322.231.305,4
25 Agustus 2013	8.486.421,4	124.493.959,2
26 Agustus 2013	39.014.663,7	292.350.767,9
27 Agustus 2013	6.201.190,0	280.510.234,6
28 Agustus 2013	9.342.386,6	299.057.879,6
29 Agustus 2013	26.474.597,1	179.848.054,4
30 Agustus 2013	61.917.177,8	223.999.747,1
31 Agustus 2013	10.712.177,1	335.630.188,4
1 September 2013	7.733.688,4	147.304.063,7
2 September 2013	5.070.779,9	255.142.704
3 September 2013	7.815.921,2	345.257.890,6
4 September 2013	5.628.214,3	55.260.116,9
5 September 2013	97.657.979,1	299.499.014,7
6 September 2013	24.030.877,4	299.411.620,1
7 September 2013	8.883.549,1	245.471.087
<i>Demand</i>	20.872.431,2	197.237.062,3
<i>Demand per bulan</i>	109.054.746,7	
<i>Demandbyte per second(bps)</i>	13.631.843,3	
<i>Demandkilo byte per second (kbps)</i>	13.312,3	

Tabel 4 3. Data *Traffic* pada Web untuk *Multi Layanan*

Waktu	<i>Traffic</i> (dalam byte per second)	
	<i>Sent</i>	<i>Received</i>
8 Agustus 2013	1.485.967	6.574.188,6
9 Agustus 2013	1.519.417,2	7.544.693,8
10 Agustus 2013	798.387,2	4.653.409,6
11 Agustus 2013	751.037,8	4.530.179,9
12 Agustus 2013	639.343,9	2.742.548,2
13 Agustus 2013	95.917,7	2.992.027,9
14 Agustus 2013	285.159,8	3.418.520,6
15 Agustus 2013	593.859,4	1.688.255,1
16 Agustus 2013	936.609,6	2.345.168,3
17 Agustus 2013	523.208,9	3.333.904,4
18 Agustus 2013	565.980,6	1.606.764,1
19 Agustus 2013	839.124,9	4.466.820,1
20 Agustus 2013	757.146,0	4.999.164,8
21 Agustus 2013	1.010.381,6	12.054.184,8
22 Agustus 2013	1.132.330,6	19.104.354,5
23 Agustus 2013	802.191,8	9.425.728,1
24 Agustus 2013	509.068,8	4.325.607,2
25 Agustus 2013	692.080,6	3.066.134,9
26 Agustus 2013	1.112.688,9	5.062.171,6
27 Agustus 2013	940.927,5	4.195.724,5
28 Agustus 2013	1.341.170,6	5.958.610,5
29 Agustus 2013	1.417.190,8	8.448.636,4
30 Agustus 2013	1.352.304,7	5.943.353,1
31 Agustus 2013	1.716.686,6	5.292.422,3
1 September 2013	1.518.350,8	4.192.110,9
2 September 2013	1.515.721,8	3.761.703,8
3 September 2013	1.435.173,9	4.282.435,7
4 September 2013	1.113.709,6	2.601.579,0
5 September 2013	1.289.614,8	5.994.592,2
6 September 2013	1.092.666,2	3.334.806,5
7 September 2013	1.219.579,8	3.980.389,7
<i>Demand</i>	968.843,7	5.060.005,9
<i>Demand per bulan</i>	3.014.424,9	
<i>Demandbyte per second(bps)</i>	376.803,1	
<i>Demandkilo byte per second (kbps)</i>	367,9	

Tabel 4 4. Data *Traffic* pada File untuk *Multi Kelas*

Waktu	<i>Traffic</i> (dalam byte per second)	
	<i>Sent</i>	<i>Received</i>
17 Agustus 2013	299.571,8	7.159.544,4
18 Agustus 2013	405.312,5538	12.807.169,72
19 Agustus 2013	7.442.144,101	236.814.866,6
20 Agustus 2013	4.407.890,686	203.053.690,3
21 Agustus 2013	4.558.565,679	208.783.749,5
22 Agustus 2013	189.429.854,4	331.033.300,2
23 Agustus 2013	37.923.485,91	232.267.440,5
24 Agustus 2013	6.861.609,778	322.231.305,4
25 Agustus 2013	8.486.421,357	118.356.352,8
26 Agustus 2013	39.014.663,67	292.350.767,9
27 Agustus 2013	6.201.190,023	280.510.234,6
28 Agustus 2013	9.342.386,573	299.057.879,6
29 Agustus 2013	26.474.597,16	179.848.054,4
30 Agustus 2013	61.917.177,83	229.272.592,3
31 Agustus 2013	10.712.177,11	335.630.188,4
01 September 2013	7.733.688,4	147.304.063,7
02 September 2013	5.070.779,979	264.578.887
03 September 2013	7.815.921,181	345.257.890,6
04 September 2013	5.628.214,28	55.260.116,9
05 September 2013	97.657.979,1	299.499.014,7
06 September 2013	24.030.877,41	299.411.620,1
07 September 2013	8.883.549,111	245.471.087
08 September 2013	2.221.278,457	113.270.153,9
09 September 2013	12.489.326,09	581.312.861,1
10 September 2013	16.975.829,02	534.622.731,3
11 September 2013	16.005.087,66	494.009.872,5
12 September 2013	11.325.673,47	562.913.036,4
13 September 2013	18.894.762,66	671.744.197,1
14 September 2013	2.690.942,467	132.369.935,4
15 September 2013	2.522.505,538	107.531.782,3
16 September 2013	10.516.938,66	527.807.814,3
17 September 2013	17.900.385,54	509.586.282,2
<i>Demand</i>	21.994.864,12	296.165.434,9
<i>Demand per bulan</i>	159.080.149,5	
<i>Demandbyte per second(bps)</i>	19.885.018,69	
<i>Demandkilo byte per second (kbps)</i>	19.418,96	

Tabel 4 5. Data Traffic pada Web untuk Multi Kelas

Waktu	Traffic (dalam byte per second)	
	<i>Sent</i>	<i>Received</i>
17 Agustus 2013	8.596,949234	93.922,52089
18 Agustus 2013	565.980,6406	1.606.764,078
19 Agustus 2013	839.124,8983	4.466.820,065
20 Agustus 2013	757.146,0274	4.999.164,839
21 Agustus 2013	1.010.381,57	12.054.184,79
22 Agustus 2013	1.132.330,623	19.104.354,46
23 Agustus 2013	802.191,7597	9.425.728,147
24 Agustus 2013	509.068,8009	4.325.607,158
25 Agustus 2013	692.080,5917	3.066.134,88
26 Agustus 2013	1.112.688,983	5.062.171,588
27 Agustus 2013	940.927,5264	4.195.724,514
28 Agustus 2013	1.341.170,565	5.958.610,546
29 Agustus 2013	1.417.190,803	8.448.636,368
30 Agustus 2013	1.252.304,72	5.943.353,112
31 Agustus 2013	1.716.686,63	5.292.422,318
01 September 2013	1.518.350,838	1.518.350,838
02 September 2013	1.515.721,831	1.515.721,831
03 September 2013	1.435.173,96	1.435.173,96
04 September 2013	1.113.709,567	1.113.709,567
05 September 2013	1.289.614,766	1.289.614,766
06 September 2013	1.092.666,227	1.092.666,227
07 September 2013	1.219.579,861	1.219.579,861
08 September 2013	1.225.583,061	2.981.451,329
09 September 2013	1.443.933,674	5.895.905,711
10 September 2013	1.431.779,233	6.335.132,208
11 September 2013	1.320.347,48	6.518.225,467
12 September 2013	1.303.253,401	5.513.072,756
13 September 2013	1.226.197,679	7.073.290,856
14 September 2013	1.735.677,845	11.141.929,08
15 September 2013	913.826,2027	3.896.931,8
16 September 2013	1.275.177,341	6.956.998,208
17 September 2013	1.196.940,254	14.000.068,51
<i>Demand</i>	1.136.106,385	5.423.169,449
<i>Demand per bulan</i>	3.279.637,917	
<i>Demandbyte per second(bps)</i>	409.954,7396	
<i>Demandkilo byte per second (kbps)</i>	400,346	

Berdasarkan Tabel 4 1 sampai Tabel 4 3, untuk tiga jenis layanan (*Mail*, *file* dan *web*) rata-rata *Traffic* untuk *received* lebih tinggi daripada *Traffic* untuk *Sent* pada data *file* dan *web*, sedangkan pada data *Mail*, *Traffic* untuk *Sent* lebih tinggi daripada *Traffic* untuk *received* . Pemakaian untuk *file* (13.312,3 kbps) lebih tinggi dibanding dengan pemakaian untuk *web* (367,9 kbps) dan untuk *Mail* (95,7 kbps).

Berdasarkan Tabel 4 4 dan Tabel 4 5, untuk kedua jenis layanan (*file* dan *web*) rata-rata *Traffic* untuk *received* lebih tinggi daripada *Traffic* untuk *Sent*. Pemakaian untuk *file* (19.418,96 kbps) lebih tinggi dibanding dengan pemakaian untuk *web* (400,346 kbps).

2.2 Formulasi Jaringan *Multi Layanan (Multi Service Network)*

Parameter yang digunakan untuk mengoptimalkan pembiayaan internet link tunggal menggunakan jaringan *multi* layanan pada tipe α , β konstanta (kasus α , β *fixed*) dan tipe α konstanta, β variabel (kasus α *fixed*, β *vary*) yang dapat dilihat pada Tabel 4 1, Tabel 4 2, dan Tabel 4 3 dengan memakai Persamaan (1), Persamaan (9), dan Kendala (2) sampai Kendala (11).

Tabel 4 6. Parameter yang Digunakan pada Model Internet Jaringan *Multi Layanan Link Tunggal*

Parameter untuk α, β konstanta		
C	:	Total kapasitas (kbps)
m_i	:	Minimum QoS untuk layanan i (kbps)
n_i	:	Jumlah pengguna layanan i
p_i	:	Harga pengguna layanan i
α	:	Harga dasar untuk setiap layanan (rupiah)
β	:	Kualitas premium untuk setiap layanan (rupiah/kbps)
S	:	Jumlah layanan
Parameter untuk α konstanta, β variabel		
C	:	Total kapasitas (kbps)
m_i	:	Minimum QoS untuk layanan i (kbps)

n_i	:	Jumlah pengguna layanan i
p_i	:	Harga pengguna layanan i
α	:	Harga dasar untuk setiap layanan (rupiah)
S	:	Jumlah layanan
l_i	:	Minimum kualitas premium untuk layanan i (rupiah/kbps)
b_i	:	Maksimum kualitas premium untuk layanan i (rupiah/kbps)

Variabel keputusan menggambarkan jumlah yang akan ditentukan untuk memecahkan masalah model penentuan harga internet. Variabel keputusan untuk jaringan *multi* layanan link tunggal dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut:

Tabel 4.7. Variabel Keputusan yang Digunakan pada Formulasi Model Harga Internet untuk Jaringan *Multi* Layanan

Variabel jika α, β konstanta		
a_i	:	Total kapasitas untuk layanan i (kbps)
I_i	:	Indeks kualitas layanan i
x_i	:	Jumlah pengguna yang menggunakan layanan i
Variabel jika α konstanta, β variabel		
a_i	:	Total kapasitas untuk layanan i (kbps)
I_i	:	Indeks kualitas layanan i
x_i	:	Jumlah pengguna yang menggunakan layanan i
β_i	:	Kualitas premium untuk layanan i (rupiah/kbps)

Kemudian untuk kasus α , β konstanta ditambah dengan Kendala (30) sampai Kendala (35) berikut:

Jika $I_i = I_{i-1}$, maka ditambah kendala:

$$I_2 - I_1 = 0 \quad (30)$$

$$I_3 - I_2 = 0 \quad (31)$$

Jika $I_i > I_{i-1}$, maka ditambah kendala:

$$I_2 - I_1 > 0 \quad (32)$$

$$I_3 - I_2 > 0 \quad (33)$$

Jika $I_i < I_{i-1}$, maka ditambah kendala:

$$I_2 - I_1 < 0 \quad (34)$$

$$I_3 - I_2 < 0 \quad (35)$$

dengan cara yang sama seperti Kendala (30) sampai Kendala (35), untuk kasus α konstanta, β variabel juga ditambah kendala sebagai berikut:

Jika $\beta_i = \beta_{i-1}$, maka ditambah kendala:

$$\beta_2 - \beta_1 = 0 \quad (36)$$

$$\beta_3 - \beta_2 = 0 \quad (37)$$

Jika $\beta_i > \beta_{i-1}$, maka ditambah kendala:

$$\beta_2 - \beta_1 > 0 \quad (38)$$

$$\beta_3 - \beta_2 > 0 \quad (39)$$

Jika $\beta_i < \beta_{i-1}$, maka ditambah kendala:

$$\beta_2 - \beta_1 < 0 \quad (40)$$

$$\beta_3 - \beta_2 < 0 \quad (41)$$

Pada jaringan *multi* layanan, data *server* lokal digunakan sebagai kapasitas yang dibutuhkan untuk layanan i (d_i). Nilai-nilai parameter yang digunakan untuk jaringan *multi* layanan disajikan pada Tabel 4.8 berikut:

Tabel 4.8. Nilai – Nilai Parameter untuk *Multi* Layanan

Layanan i	1 (Mail)	2 (File)	3 (Web)
Total Kapasitas (C)	102.400	102.400	102.400
Kapasitas yang dibutuhkan (d_i)	95,7	13312,3	367,9
Jumlah pengguna maksimum (n)	10	10	10
Harga pengguna layanan i (p_i)	3	45	15

2.2.1 Bentuk MINLP Model Jaringan *Multi* Layanan pada Kasus α, β Konstanta (α, β fixed)

Formulasi model jaringan *multi* layanan pada kasus α, β konstanta didasarkan pada Persamaan (1), Kendala (2) sampai Kendala (11), dan Kendala (30) sampai Kendala (35). Jumlah layanan adalah $S = 3$, dalam hal ini $i = 1, 2, 3$.

Nilai I_i (indeks kualitas layanan i) merupakan variabel, sehingga untuk $i = 1, 2, 3$ ada 3 kasus, yaitu $I_i = I_{i-1}$, $I_i > I_{i-1}$, dan $I_i < I_{i-1}$. Nilai parameter yang digunakan untuk α, β konstanta pada data file dan web yang disajikan pada Tabel 4 9 berikut:

Tabel 4 9. Nilai-Nilai Parameter yang Digunakan untuk α, β Konstanta

Parameter	$I_i = I_{i-1}$	$I_i > I_{i-1}$	$I_i < I_{i-1}$
α	0,1	0,1	0,1
β	0,5	0,5	0,5
p_1	3	3	3
p_2	45	45	45
p_3	15	15	15
d_1	95,7	95,7	95,7
d_2	13.312,3	13.312,3	13.312,3
d_3	367,9	367,9	367,9
m_1	0	0	0
m_2	0	0	0
m_3	0	0	0
n_1	10	10	10
n_2	10	10	10
n_3	10	10	10
C	102.400	102.400	102.400

Berdasarkan Tabel 4 9 nilai-nilai parameter untuk ketiga kasus bernilai sama, maka akan dibuat bentuk MINLP (mixed integer non linear programs) untuk salah satu kasus dengan menggunakan Persamaan (1), Kendala (2) sampai Kendala (17), dan Kendala (30) sampai Kendala (35) seperti dibawah ini:

Berdasarkan Persamaan (1) maka didapat:

Maks R

$$\begin{aligned}
 &= (0,1 + 0,5 I_1)3 x_1 \\
 &+ (0,1 + 0,5 I_2)45 x_2 \\
 &+ (0,1 + 0,5 I_3)15 x_3 \\
 \\
 &= 0,3x_1 + 1,5I_1x_1 + 4,5x_2 + 22,5I_2x_2 \\
 &+ 1,5x_3 + 7,5I_3x_3
 \end{aligned}$$

dengan Kendala (2) maka didapat:

$$\begin{aligned}
 95,7 I_1 x_1 &\leq 102.400 a_1 \\
 13.312,3 I_2 x_2 &\leq 102.400 a_2 \\
 367,9 I_3 x_3 &\leq 102.400 a_3
 \end{aligned}$$

dengan Kendala (3) maka didapat:

$$95,7 I_1 x_1 + 13.312,3 I_2 x_2 + 367,9 I_3 x_3 \leq 102.400$$

dengan Kendala (4) maka didapat:

$$a_1 + a_2 + a_3 = 1$$

dengan Kendala (5) maka didapat:

$$\begin{aligned}
 0 &\leq a_1 \leq 1 \\
 0 &\leq a_2 \leq 1 \\
 0 &\leq a_3 \leq 1
 \end{aligned}$$

dengan Kendala (6) maka didapat:

$$\begin{aligned}
 0 &\leq I_1 \leq 1 \\
 0 &\leq I_2 \leq 1 \\
 0 &\leq I_3 \leq 1
 \end{aligned}$$

dengan Kendala (7) maka didapat:

$$\begin{aligned}
 0 &\leq x_1 \leq 10 \\
 0 &\leq x_2 \leq 10 \\
 0 &\leq x_3 \leq 10
 \end{aligned}$$

dengan Kendala (8) maka didapat:

$$\{x_1, x_2, x_3\} \text{integer}$$

Jika $I_i = I_{i-1}$, maka ditambah kendala:

$$I_2 - I_1 = 0 \quad (30)$$

$$I_3 - I_2 = 0 \quad (31)$$

Jika $I_i > I_{i-1}$, maka ditambah kendala:

$$I_2 - I_1 > 0 \quad (32)$$

$$I_3 - I_2 > 0 \quad (33)$$

Jika $I_i < I_{i-1}$, maka ditambah kendala:

$$I_2 - I_1 < 0 \tag{34}$$

$$I_3 - I_2 < 0 \tag{35}$$

2.2.2 Bentuk MINLP Model Jaringan *Multi* Layanan pada Kasus α Konstanta, β Variabel

Formulasi model jaringan *multi* layanan pada kasus α konstanta, β variabel didasarkan pada Persamaan (9) dan Kendala (2) sampai Kendala (11), juga ditambah dengan Kendala (30) sampai Kendala (41). Jumlah layanan $S = 3$.

Karena β dan I_i merupakan variabel, maka untuk setiap layanan i , terdapat 3 kasus berdasarkan indeks kualitas (I_i) dan 3 kasus berdasarkan kualitas premium (β_i). Dalam hal ini dapat dibentuk 9 model sebagai berikut:

Tabel 4 10. Nilai-Nilai Parameter yang Digunakan jika α Konstanta, β Variabel

	$\beta_i = \beta_{i-1}$			$\beta_i > \beta_{i-1}$			$\beta_i < \beta_{i-1}$		
	$I_i = I_{i-1}$	$I_i > I_{i-1}$	$I_i < I_{i-1}$	$I_i = I_{i-1}$	$I_i > I_{i-1}$	$I_i < I_{i-1}$	$I_i = I_{i-1}$	$I_i > I_{i-1}$	$I_i < I_{i-1}$
α	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
β_1	0,5	0,5	0,5	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	0,5
β_2	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2
β_3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,1	0,1	0,1
p_1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
p_2	45	45	45	45	45	45	45	45	45
p_3	15	15	15	15	15	15	15	15	15
d_1	95,7	95,7	95,7	95,7	95,7	95,7	95,7	95,7	95,7
d_2	13.31 2,3	13.31 2,3	13.31 2,3	13.31 2,3	13.31 2,3	13.312, 3	13.31 2,3	13.312,3	13.31 2,3
d_3	367,9	367,9	367,9	367,9	367,9	367,9	367,9	367,9	367,9
m_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
m_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
m_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
n_1	10	10	10	10	10	10	10	10	10
n_2	10	10	10	10	10	10	10	10	10
n_3	10	10	10	10	10	10	10	10	10
C	102.4 00	102.4 00	102.4 00	102.4 00	102.4 00	102.40 0	102.4 00	102.400	102.4 00

Berdasarkan Tabel 4 10 nilai-nilai parameter untuk 9 model di atas bernilai sama untuk setiap kasus $\beta_i = \beta_{i-1}$, $\beta_i > \beta_{i-1}$, dan $\beta_i < \beta_{i-1}$, maka akan dibuat bentuk MINLP untuk salah satu kasus dengan menggunakan Persamaan (9) dan Kendala (2) sampai Kendala (11), juga ditambah dengan Kendala (30) sampai Kendala (41) berikut:

Berdasarkan Persamaan (9) maka didapat:

$$\begin{aligned} \text{Maks} &= (0,5 + 0,5 I_1)3 x_1 + (0,5 + 0,5 I_2)45 x_2 \\ &\quad + (0,5 + 0,5 I_3)15 x_3 \\ &= 1,5x_1 + 1,5I_1x_1 + 22,5x_2 + 22,5I_2x_2 + 7,5x_3 + \\ &\quad 7,5I_3x_3 \end{aligned}$$

dengan Kendala (2) maka didapat:

$$95,7 I_1 x_1 \leq 102.400 a_1$$

$$13.312,3 I_2 x_2 \leq 102.400 a_2$$

$$367,9 I_3 x_3 \leq 102.400 a_3$$

dengan Kendala (3) maka didapat:

$$95,7 I_1 x_1 + 13.312,3 I_2 x_2 + 367,9 I_3 x_3 \leq 102.400$$

dengan Kendala (4) maka didapat:

$$a_1 + a_2 + a_3 = 1$$

dengan Kendala (5) maka didapat:

$$0 \leq a_1 \leq 1$$

$$0 \leq a_2 \leq 1$$

$$0 \leq a_3 \leq 1$$

dengan Kendala (6) maka didapat:

$$0 \leq I_1 \leq 1$$

$$0 \leq I_2 \leq 1$$

$$0 \leq I_3 \leq 1$$

dengan Kendala (7) maka didapat:

$$0 \leq x_1 \leq 10$$

$$0 \leq x_2 \leq 10$$

$$0 \leq x_3 \leq 10$$

dengan Kendala (8) maka didapat:

$$\{x_1, x_2, x_3\} \text{integer}$$

Jika $I_i = I_{i-1}$, maka ditambah kendala:

$$I_2 - I_1 = 0 \quad (30)$$

$$I_3 - I_2 = 0 \quad (31)$$

Jika $I_i > I_{i-1}$, maka ditambah kendala:

$$I_2 - I_1 > 0 \quad (32)$$

$$I_3 - I_2 > 0 \quad (33)$$

Jika $I_i < I_{i-1}$, maka ditambah kendala:

$$I_2 - I_1 < 0 \quad (34)$$

$$I_3 - I_2 < 0 \quad (35)$$

dengan Kendala (10) maka didapat:

$$0,3 I_2 \geq I_1$$

$$0,3 I_3 \geq I_2$$

dengan Kendala (11) maka didapat:

$$I_1 \leq 1 \leq b_1$$

$$I_2 \leq 1 \leq b_2$$

$$I_3 \leq 1 \leq b_3$$

Jika $\beta_i = \beta_{i-1}$, maka ditambah kendala:

$$\beta_2 - \beta_1 = 0 \quad (36)$$

$$\beta_3 - \beta_2 = 0 \quad (37)$$

Jika $\beta_i > \beta_{i-1}$, maka ditambah kendala:

$$\beta_2 - \beta_1 > 0 \quad (38)$$

$$\beta_3 - \beta_2 > 0 \quad (39)$$

Jika $\beta_i < \beta_{i-1}$, maka ditambah kendala:

$$\beta_2 - \beta_1 < 0 \quad (40)$$

$$\beta_3 - \beta_2 < 0 \quad (41)$$

2.3 Solusi Model Jaringan *Multi* Layanan dengan Program Lingo pada Kasus α, β Konstanta

2.3.1 Kasus α, β Konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$

Tabel 4 11 sampai Tabel 4 13 berikut ini menjelaskan solusi model yang diperbaiki untuk jaringan *multi* layanan sehingga dapat menentukan apakah dalam skema pembiayaan tersebut skema yang menawarkan pembiayaan yang lebih baik yang dapat menguntungkan telco serta menarik minat pengguna untuk menggunakan skema tersebut.

Tabel 4 11. Solusi Model yang Diperbaiki dalam Jaringan *Multi Layanan* α, β Konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$

Solver Status	
Model Class	MINLP
State	Local optimal
Objective	302, 78
Infeasibility	$1,45519 \cdot 10^{-11}$
Iterations	43
Extended Solver Status	
Solver Type	Branch and Bound
Best Objective	302, 78
Objective bound	302, 78
Steps	2
Update interval	2
Active	0
GMU (K)	24
ER (sec)	0

Pada Tabel 4 11, nilai maksimum dari fungsi objektif pada saat $I_i=I_{i-1}$ adalah 302,78 rupiah dengan 43 iterasi. Total waktu untuk menghasilkan model adalah 0 detik.

Tabel 4 12. Nilai-Nilai Variabel pada Jaringan *Multi Layanan* α, β Konstanta

Variabel	Nilai	Variabel	Nilai
α	0,1	β	0,5
I_1	0,9214	p_1	3
I_2	0,9214	p_2	45
I_3	0,9214	p_3	15
x_1	10	d_1	95,7
x_2	8	d_2	13.312,3
x_3	10	d_3	367,9

Tabel 4 13. ndeks Kualitas per Layanan pada $I_i=I_{i-1}$ dengan α, β Konstanta

Layanan i	1	2	3
Kualitas premium(β_i)	0,5	0,5	0,5
Harga dasar(α_i)	0,1	0,1	0,1
Tingkat QoS (I_i)	0,9214	0,9214	0,9214
Jumlah pengguna layanan (x_i)	10	8	10
Kapasitas pengguna per layanan ($I_i \cdot d_i \cdot x_i$)	881,78	98.127,626	3.389,83
Total kapasitas yang digunakan ($\sum_{i=1}^3 I_i \cdot d_i \cdot x_i$)	102.399,236		
Pendapatan per layanan ($((\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_i \cdot x_i)$)	16,821	201,852	84,105
Total pendapatan ($\sum_{i=1}^3 ((\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_i \cdot x_i))$)	302,78		

ISP menawarkan 3 layanan ($S = 3$). Setiap layanan i ; $i = 1, 2, 3$ merupakan tingkat layanan yang tersedia pada jaringan sebesar 92,14%; dengan jumlah pengguna layanan 1 dan layanan 3 ada 10 orang, serta layanan 2 ada 8 orang. Kapasitas pengguna pada layanan 1 sebesar 881,78 kbps atau sebesar $\frac{881,78}{102.399,236} \times 100\% = 0,86\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Kapasitas pengguna pada layanan 2 sebesar 98.127,626 kbps atau sebesar $\frac{98.127,626}{102.399,236} \times 100\% = 95,83\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Kapasitas pengguna pada layanan 3 sebesar 3.389,83kbps atau sebesar $\frac{3.389,83}{102.399,236} \times 100\% = 3,31\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Jika ISP menargetkan dapat mengembalikan biaya pengguna layanan dan juga dapat memungkinkan pengguna untuk memilih layanan berdasarkan anggaran dan preferensi pengguna layanan, maka total pendapatan sebesar 302,78 rupiah. Pendapatan ini diperoleh dengan menjumlahkan semua pendapatan setiap layanan dan total kapasitas yang digunakan sebesar 102.399,236 kbps.

2.3.2 Kasus α, β Konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$

Tabel 4 14 sampai Tabel 4 16 berikut ini menjelaskan solusi model yang diperbaiki untuk jaringan *multi* layanan sehingga dapat menentukan apakah dalam skema pembiayaan tersebut skema yang menawarkan pembiayaan yang lebih baik yang dapat menguntungkan telco serta menarik minat pengguna untuk menggunakan skema tersebut.

Tabel 4 14. Solusi Model yang Diperbaiki dalam Jaringan *Multi* Layanan α, β Konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$

Solver Status	
Model Class	MINLP
State	Local optimal
Objective	301,5
Infeasibility	$1,38778e \cdot 10^{-17}$
Iterations	13
Extended Solver Status	
Solver Type	Branch and Bound
Best Objective	301,5
Objective bound	301,5
Steps	0
Update interval	2
Active	0
GMU (K)	24
ER (sec)	0

Pada Tabel 4 14, nilai maksimum dari fungsi objektif pada saat $I_i > I_{i-1}$ adalah 301,5 rupiah dengan 13 iterasi. Total waktu untuk menghasilkan model adalah 0 detik.

Tabel 4 15. Nilai-Nilai Variabel pada Jaringan *Multi Layanan* α , β Konstanta

Variabel	Nilai	Variabel	Nilai
α	0,1	β	0,5
I_1	0,4	p_1	3
I_2	0,7	p_2	45
I_3	1	p_3	15
x_1	10	d_1	95,7
x_2	10	d_2	13.312,3
x_3	10	d_3	367,9

Tabel 4 16. Indeks Kualitas per Layanan pada $I_i > I_{i-1}$ dengan α , β Konstanta

Layanan i	1	2	3
Kualitas premium(β_i)	0,5	0,5	0,5
Harga dasar(α_i)	0,1	0,1	0,1
Tingkat QoS (I_i)	0,4	0,7	1
Jumlah pengguna layanan (x_i)	10	10	10
Kapasitas pengguna per layanan ($I_i \cdot d_i \cdot x_i$)	382,8	93.186,1	3.679
Total kapasitas yang digunakan ($\sum_{i=1}^3 I_i \cdot d_i \cdot x_i$)	97.247,9		
Pendapatan per layanan ($((\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_i \cdot x_i)$)	9	202,5	90
Total pendapatan ($\sum_{i=1}^3 ((\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_i \cdot x_i))$)	301,5		

ISP menawarkan 3 layanan ($S = 3$). Setiap layanan i ; $i = 1, 2, 3$ merupakan tingkat layanan yang tersedia pada jaringan sebesar 40% untuk layanan 1, 70% untuk layanan 2, dan 100% untuk layanan 3. Jumlah pengguna layanan 1, layanan 2, dan layanan 3 ada 10 orang. Kapasitas pengguna pada layanan 1 sebesar 382,8 kbps atau sebesar $\frac{382,8}{97.247,9} \times 100\% = 0,39\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Kapasitas pengguna pada layanan 2 sebesar 93.186,1 kbps atau sebesar $\frac{93.186,1}{97.247,9} \times 100\% = 95,82\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Kapasitas pengguna pada layanan 3 sebesar 3.679 kbps atau sebesar $\frac{3.679}{97.247,9} \times 100\% = 3,78\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Jika ISP menargetkan dapat mengembalikan biaya pengguna layanan dan

juga dapat memungkinkan pengguna untuk memilih layanan berdasarkan anggaran dan preferensi pengguna layanan, maka total pendapatan sebesar 301,5 rupiah. Pendapatan ini diperoleh dengan menjumlahkan semua pendapatan setiap layanan dan total kapasitas yang digunakan sebesar 97.247,9 kbps.

2.3.3 Kasus α, β Konstanta untuk $I_i < I_{i-1}$

Tabel 4 17 sampai Tabel 4 19 berikut ini menjelaskan solusi model yang diperbaiki untuk jaringan *multi* layanan sehingga dapat menentukan apakah dalam skema pembiayaan tersebut skema yang menawarkan pembiayaan yang lebih baik yang dapat menguntungkan telco serta menarik minat pengguna untuk menggunakan skema tersebut.

Tabel 4 17. Solusi Model yang Diperbaiki dalam Jaringan *Multi* Layanan α, β Konstanta untuk $I_i < I_{i-1}$

Solver Status	
Model Class	MINLP
State	Local optimal
Objective	265,5
Infeasibility	$9,71445 \cdot 10^{-17}$
Iterations	13
Extended Solver Status	
Solver Type	Branch and Bound
Best Objective	265,5
Objective bound	265,5
Steps	0
Update interval	2
Active	0
GMU (K)	24
ER (sec)	0

Pada Tabel 417, nilai maksimum dari fungsi objektif pada saat $I_i<I_{i-1}$ adalah 265,5 rupiah dengan 13 iterasi. Total waktu untuk menghasilkan model adalah 0 detik.

Tabel 4 18. Nilai-Nilai Variabel pada Jaringan *Multi Layanan* α , β Konstanta

Variabel	Nilai	Variabel	Nilai
α	0,1	β	0,5
I_1	1	p_1	3
I_2	0,7	p_2	45
I_3	0,4	p_3	15
x_1	10	d_1	95,7
x_2	10	d_2	13.312,3
x_3	10	d_3	367,9

Tabel 4 19. Indeks Kualitas per Layanan pada $I_i < I_{i-1}$ dengan α , β Konstanta

Layanan i	1	2	3
Kualitas premium(β_i)	0,5	0,5	0,5
Harga dasar(α_i)	0,1	0,1	0,1
Tingkat QoS (I_i)	1	0,7	0,4
Jumlah pengguna layanan (x_i)	10	10	10
Kapasitas pengguna per layanan ($I_i \cdot d_i \cdot x_i$)	957	93.186 ,1	1.471,6
Total kapasitas yang digunakan ($\sum_{i=1}^3 I_i \cdot d_i \cdot x_i$)	95.614,7		
Pendapatan per layanan ($((\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_i \cdot x_i)$)	18	202,5	45
Total pendapatan ($\sum_{i=1}^3 ((\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_i \cdot x_i)$)	265,5		

ISP menawarkan 3 layanan ($S = 3$). Setiap layanan i ; $i = 1, 2, 3$ merupakan tingkat layanan yang tersedia pada jaringan sebesar 100% untuk layanan 1, 70% untuk layanan 2, dan 40% untuk layanan 3. Jumlah pengguna layanan 1, layanan 2, dan layanan 3 ada 10 orang. Kapasitas pengguna pada layanan 1 sebesar 957 kbps atau sebesar $\frac{957}{95.614,7} \times 100\% = 1\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Kapasitas pengguna pada layanan 2 sebesar 93.186,1 kbps atau sebesar $\frac{93.186,1}{95.614,7} \times 100\% = 97,46\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Kapasitas pengguna pada layanan 3 sebesar 1.471,6 kbps atau sebesar $\frac{1.471,6}{95.614,7} \times 100\% = 1,54\%$ dari kapasitas total yang

digunakan. Jika ISP menargetkan dapat mengembalikan biaya pengguna layanan dan juga dapat memungkinkan pengguna untuk memilih layanan berdasarkan anggaran dan preferensi pengguna layanan, maka total pendapatan sebesar 265,5 rupiah. Pendapatan ini diperoleh dengan menjumlahkan semua pendapatan setiap layanan dan total kapasitas yang digunakan sebesar 95.614,7 kbps.

2.4 Solusi Model Jaringan *Multi Layanan* dengan Program Lingo pada Kasus α Konstanta, β Variabel

2.4.1 Kasus α Konstanta, β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$

Pada Tabel 4 20 sampai Tabel 4 22 berikut ini menjelaskan solusi model yang diperbaiki untuk jaringan *multi layanan* sehingga dapat menentukan apakah dalam skema pembiayaan tersebut skema yang menawarkan pembiayaan yang lebih baik yang dapat menguntungkan ISP serta menarik minat pengguna untuk menggunakan skema tersebut.

Tabel 4 20. Solusi Model yang Diperbaiki dalam Jaringan *Multi Layanan* α Konstanta, β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$

Solver Status	
Model Class	MINLP
State	Local optimal
Objective	533,181
Infeasibility	$5,03764 \cdot 10^{-15}$
Iterations	51
Extended Solver Status	
Solver Type	Branch and Bound
Best Objective	533,181
Objective bound	533,181
Steps	2
Update interval	2
Active	0
GMU (K)	26
ER (sec)	0

Pada Tabel 4 20, nilai maksimum dari fungsi objektif pada saat $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk kasus $I_i = I_{i-1}$ adalah 533,181 rupiah dengan 51 iterasi. Total waktu untuk menghasilkan model adalah 0 detik.

**Tabel 4 21. Nilai-Nilai Variabel pada Jaringan *Multi Layanan*
 α Konstanta, β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$**

Variabel	Nilai	Variabel	Nilai
α	0,5	x_1	10
β_1	0,5	x_2	9
β_2	0,5	x_3	10
β_3	0,5	p_1	3
I_1	0,82284	p_2	45
I_2	0,82284	p_3	15
I_3	0,82284	d_1	95,7
		d_2	13.312,3
		d_3	367,9

**Tabel 4 22. Indeks Kualitas per Layanan pada α Konstanta, β
sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ dengan $I_i = I_{i-1}$**

Layanan i	1	2	3
Kualitas premium(β_i)	0,5	0,5	0,5
Harga dasar(α_i)	0,5	0,5	0,5
Tingkat QoS (I_i)	0,82284	0,82284	0,82284
Jumlah pengguna layanan (x_i)	10	9	10
Kapasitas pengguna per layanan ($I_i \cdot d_i \cdot x_i$)	787,458	98.585,03 6	3.027,228
Total kapasitas yang digunakan ($\sum_{i=1}^3 I_i \cdot d_i \cdot x_i$)	102.399,722		
Pendapatan per layanan ($((\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_i \cdot x_i)$)	27,343	369,125	136,713
Total pendapatan ($\sum_{i=1}^3 ((\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_i \cdot x_i)$)	533,181		

ISP menawarkan 3 layanan (S = 3). Setiap layanan i; i = 1, 2, 3 merupakan tingkat layanan yang tersedia pada jaringan sebesar 82,284% untuk ketiga layanan. Jumlah pengguna layanan 2 ada 9 orang, sedangkan pada layanan 1 dan layanan 3 ada 10 orang. Kapasitas pengguna pada layanan 1 sebesar 787,458 kbps atau sebesar $\frac{787,458}{102.399,722} \times 100\% = 0,769\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Kapasitas pengguna pada layanan 2 sebesar

98.585,036 kbps atau sebesar $\frac{98.585,036}{102.399,722} \times 100\% = 96,275\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Kapasitas pengguna pada layanan 3 sebesar 3.072,228 kbps atau sebesar $\frac{3.072,228}{102.399,722} \times 100\% = 2,956\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Jika ISP menargetkan dapat mengembalikan biaya pengguna layanan dan juga dapat mempromosikan penggunaan layanan QoS yang lebih tinggi kepada pengguna serta memungkinkan pengguna untuk memilih layanan berdasarkan anggaran dan preferensi pengguna layanan, maka total pendapatan sebesar 533,181 rupiah. Pendapatan ini diperoleh dengan menjumlahkan semua pendapatan setiap layanan dan total kapasitas yang digunakan sebesar 102.399,722 kbps.

2.4.2 Kasus α Konstanta, β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Pada Tabel 4 23 sampai Tabel 4 25 berikut ini menjelaskan solusi model yang diperbaiki untuk jaringan *multi* layanan sehingga dapat menentukan apakah dalam skema pembiayaan tersebut skema yang menawarkan pembiayaan yang lebih baik yang dapat menguntungkan telco serta menarik minat pengguna untuk menggunakan skema tersebut.

Tabel 4 23. olusi Model yang Diperbaiki dalam Jaringan *Multi Layanan* α Konstanta, β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Solver Status	
Model Class	MINLP
State	Local optimal
Objective	553,5
Infeasibility	$1,38778 \cdot 10^{-17}$
Iterations	13
Extended Solver Status	
Solver Type	Branch and Bound
Best Objective	553,5
Objective bound	553,5
Steps	0
Update interval	2
Active	0
GMU (K)	26
ER (sec)	0

Pada Tabel 4 23, nilai maksimum dari fungsi objektif pada saat $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk kasus $I_i > I_{i-1}$ adalah 553,5 rupiah dengan 13 iterasi. Total waktu untuk menghasilkan model adalah 0 detik.

Tabel 4 24. Nilai-Nilai Variabel pada Jaringan Multi Layanan
 α Konstanta, β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Variabel	Nilai	Variabel	Nilai
α	0,5	x_1	10
β_1	0,5	x_2	10
β_2	0,5	x_3	10
β_3	0,5	p_1	3
I_1	0,4	p_2	45
I_2	0,7	p_3	15
I_3	1	d_1	95,7
		d_2	13.312,3
		d_3	367,9

Tabel 4 25. Indeks Kualitas per Layanan pada α Konstanta, β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ dengan $I_i > I_{i-1}$

Layanan i	1	2	3
Kualitas premium(β_i)	0,5	0,5	0,5
Harga dasar(α_i)	0,5	0,5	0,5
Tingkat QoS (I_i)	0,4	0,7	1
Jumlah pengguna layanan (x_i)	10	10	10
Kapasitas pengguna per layanan ($I_i \cdot d_i \cdot x_i$)	382,8	93.186,1	3.679
Total kapasitas yang digunakan ($\sum_{i=1}^3 I_i \cdot d_i \cdot x_i$)	97.247,9		
Pendapatan per layanan ($((\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_i \cdot x_i)$)	21	382,5	150
Total pendapatan ($\sum_{i=1}^3 ((\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_i \cdot x_i)$)	553,5		

ISP menawarkan 3 layanan ($S = 3$). Setiap layanan i ; $i = 1, 2, 3$ merupakan tingkat layanan yang tersedia pada jaringan sebesar 40% untuk layanan 1, 70% untuk layanan 2, dan 100% untuk layanan 3. Jumlah pengguna untuk ketiga layanan ada 10

orang. Kapasitas pengguna pada layanan 1 sebesar 382,8 kbps atau sebesar $\frac{382,8}{97.247,9} \times 100\% = 0,394\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Kapasitas pengguna pada layanan 2 sebesar 97.247,9 kbps atau sebesar $\frac{97.247,9}{97.247,9} \times 100\% = 95,823\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Kapasitas pengguna pada layanan 3 sebesar 3.679 kbps atau sebesar $\frac{3.679}{97.247,9} \times 100\% = 3,783\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Jika ISP menargetkan dapat mengembalikan biaya pengguna layanan dan dapat mempromosikan penggunaan layanan QoS yang lebih tinggi kepada pengguna serta memungkinkan pengguna untuk memilih layanan berdasarkan anggaran dan preferensi pengguna layanan, maka total pendapatan sebesar 553,5 rupiah. Pendapatan ini diperoleh dengan menjumlahkan semua pendapatan setiap layanan dan total kapasitas yang digunakan sebesar 97.247,9 kbps.

2.4.3 Kasus α Konstanta, β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$

Pada kasus α konstanta dan β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$ tidak dapat digunakan karena tidak optimal untuk tujuan dari ISP dan juga tidak menawarkan pembiayaan yang lebih baik yang dapat menguntungkan ISP.

2.4.4 Kasus α Konstanta, β sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$

Pada Tabel 4 26 sampai Tabel 4 28 berikut ini menjelaskan solusi model yang diperbaiki untuk jaringan *multi* layanan sehingga dapat menentukan apakah dalam skema pembiayaan tersebut skema yang menawarkan pembiayaan yang lebih baik yang dapat menguntungkan telco serta menarik minat pengguna untuk menggunakan skema tersebut.

Tabel 4 26. Solusi Model yang Diperbaiki dalam Jaringan Multi Layanan α Konstanta, β sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$

Solver Status	
Model Class	MINLP
State	Local optimal
Objective	456,657
Infeasibility	$5,03764 \cdot 10^{-15}$
Iterations	51
Extended Solver Status	
Solver Type	Branch and Bound
Best Objective	456,657
Objective bound	456,657
Steps	2
Update interval	2
Active	0
GMU (K)	26
ER (sec)	0

Pada Tabel 4 26, nilai maksimum dari fungsi objektif pada saat $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk kasus $I_i = I_{i-1}$ adalah 456,657 rupiah dengan 51 iterasi. Total waktu untuk menghasilkan model adalah 0 detik.

Tabel 4 27. Nilai-Nilai Variabel pada Jaringan Multi Layanan α Konstanta, β sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$

Variabel	Nilai	Variabel	Nilai
α	0,5	x_1	10
β_1	0,1	x_2	9
β_2	0,3	x_3	10
β_3	0,5	p_1	3
I_1	0,82284	p_2	45
I_2	0,82284	p_3	15
I_3	0,82284	d_1	95,7
		d_2	13.312,3
		d_3	367,9

Tabel 4 28. Indeks Kualitas per Layanan pada α Konstanta, β sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ dengan $I_i = I_{i-1}$

Layanan i	1	2	3
Kualitas premium(β_i)	0,1	0,3	0,5
Harga dasar(α_i)	0,5	0,5	0,5
Tingkat QoS (I_i)	0,82284	0,82284	0,82284
Jumlah pengguna layanan (x_i)	10	9	10
Kapasitas pengguna per layanan ($I_i \cdot d_i \cdot x_i$)	787,458	98.585,036	3.027,228
Total kapasitas yang digunakan ($\sum_{i=1}^3 I_i \cdot d_i \cdot x_i$)	102.399,722		
Pendapatan per layanan ($((\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_i \cdot x_i)$)	17,469	302,475	136,713
Total pendapatan ($\sum_{i=1}^3 ((\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_i \cdot x_i))$)	456,657		

ISP menawarkan 3 layanan ($S = 3$). Setiap layanan i ; $i = 1, 2, 3$ merupakan tingkat layanan yang tersedia pada jaringan sebesar 82,284% untuk ketiga layanan. Jumlah pengguna untuk layanan 1 dan layanan 3 ada 10 orang, sedangkan layanan 2 ada 9 orang. Kapasitas pengguna pada layanan 1 sebesar 787,458 kbps atau sebesar $\frac{787,458}{102.399,722} \times 100\% = 0,769\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Kapasitas pengguna pada layanan 2 sebesar 98.585,036 kbps atau sebesar $\frac{98.585,036}{102.399,722} \times 100\% = 96,275\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Kapasitas pengguna pada layanan 3 sebesar 3.027,228 kbps atau sebesar $\frac{3.027,228}{102.399,722} \times 100\% = 2,956\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Jika ISP menargetkan dapat mengembalikan biaya pengguna layanan dan dapat mempromosikan penggunaan layanan QoS yang lebih tinggi kepada pengguna serta memungkinkan pengguna untuk memilih layanan berdasarkan anggaran dan preferensi pengguna layanan, maka total pendapatan sebesar 456,657 rupiah. Pendapatan ini diperoleh dengan menjumlahkan semua pendapatan setiap layanan dan total kapasitas yang digunakan sebesar 102.399,722 kbps.

2.4.5 Kasus α Konstanta, β sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Pada Tabel 4 29 sampai Tabel 4 31 berikut ini menjelaskan solusi model yang diperbaiki untuk jaringan *multi* layanan sehingga dapat menentukan apakah dalam skema pembiayaan tersebut skema yang menawarkan pembiayaan yang lebih baik yang dapat menguntungkan telco serta menarik minat pengguna untuk menggunakan skema tersebut.

Tabel 4 29. Solusi Model yang Diperbaiki dalam Jaringan *Multi Layanan* α Konstanta, β sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Solver Status	
Model Class	MINLP
State	Local optimal
Objective	485,7
Infeasibility	$1,38778 \cdot 10^{-17}$
Iterations	13
Extended Solver Status	
Solver Type	Branch and Bound
Best Objective	485,7
Objective bound	485,7
Steps	0
Update interval	2
Active	0
GMU (K)	26
ER (sec)	0

Pada Tabel 4 29, nilai maksimum dari fungsi objektif pada saat $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk kasus $I_i > I_{i-1}$ adalah 485,7 rupiah dengan 13 iterasi. Total waktu untuk menghasilkan model adalah 0 detik.

Tabel 4 30. Nilai-Nilai Variabel pada Jaringan *Multi Layanan* α Konstanta, β sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Variabel	Nilai	Variabel	Nilai
α	0,5	x_1	10
β_1	0,1	x_2	10
β_2	0,3	x_3	10
β_3	0,5	p_1	3

I_1	0,4	p_2	45
I_2	0,7	p_3	15
I_3	1	d_1	95,7
		d_2	13.312,3
		d_3	367,9

Tabel 4 31. Indeks Kualitas per Layanan pada α Konstanta, β sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ dengan $I_i > I_{i-1}$

Layanan i	1	2	3
Kualitas premium(β_i)	0,1	0,3	0,5
Harga dasar(α_i)	0,5	0,5	0,5
Tingkat QoS (I_i)	0,4	0,7	1
Jumlah pengguna layanan (x_i)	10	10	10
Kapasitas pengguna per layanan ($I_i \cdot d_i \cdot x_i$)	382,8	93.186,1	3.679
Total kapasitas yang digunakan ($\sum_{i=1}^3 I_i \cdot d_i \cdot x_i$)	97.247,9		
Pendapatan per layanan ($((\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_i \cdot x_i)$)	16,2	319,5	150
Total pendapatan ($\sum_{i=1}^3 ((\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_i \cdot x_i)$)	485,7		

ISP menawarkan 3 layanan ($S = 3$). Setiap layanan i ; $i = 1, 2, 3$ merupakan tingkat layanan yang tersedia pada jaringan sebesar 40% untuk layanan 1, 70% untuk layanan 2, dan 100% untuk layanan 3. Jumlah pengguna untuk layanan 1, layanan 2 dan layanan 3 ada 10 orang. Kapasitas pengguna pada layanan 1 sebesar 382,8 kbps atau sebesar $\frac{382,8}{97.247,9} \times 100\% = 0,394\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Kapasitas pengguna pada layanan 2 sebesar 93.186,1 kbps atau sebesar $\frac{93.186,1}{97.247,9} \times 100\% = 95,823\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Kapasitas pengguna pada layanan 3 sebesar 3.679 kbps atau sebesar $\frac{3.679}{97.247,9} \times 100\% = 3,783\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Jika ISP menargetkan dapat mengembalikan biaya pengguna layanan dan

juga dapat mempromosikan penggunaan layanan QoS yang lebih tinggi kepada pengguna serta memungkinkan pengguna untuk memilih layanan berdasarkan anggaran dan preferensi pengguna layanan, maka total pendapatan sebesar 485,7 rupiah. Pendapatan ini diperoleh dengan menjumlahkan semua pendapatan setiap layanan dan total kapasitas yang digunakan sebesar 97.247,9 kbps.

2.4.6 Kasus α Konstanta, β sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$

Pada Tabel 4 32 sampai Tabel 4 34 berikut ini menjelaskan solusi model yang diperbaiki untuk jaringan *multi* layanan sehingga dapat menentukan apakah dalam skema pembiayaan tersebut skema yang menawarkan pembiayaan yang lebih baik yang dapat menguntungkan telco serta menarik minat pengguna untuk menggunakan skema tersebut.

Tabel 4 32. Solusi Model yang Diperbaiki dalam Jaringan *Multi Layanan* α Konstanta, β sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Solver Status	
Model Class	MINLP
State	Local optimal
Objective	438
Infeasibility	$1,45519 \cdot 10^{-11}$
Iterations	15
Extended Solver Status	
Solver Type	Branch and Bound
Best Objective	438
Objective bound	438
Steps	0
Update interval	2
Active	0
GMU (K)	26
ER (sec)	0

Pada Tabel 4 32, nilai maksimum dari fungsi objektif pada saat $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk kasus $I_i < I_{i-1}$ adalah 438 rupiah dengan 15 iterasi. Total waktu untuk menghasilkan model adalah 0 detik.

Tabel 4 33. Nilai-Nilai Variabel pada Jaringan *Multi Layanan*
 α Konstanta, β sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$

Variabel	Nilai	Variabel	Nilai
α	0,5	x_1	10
β_1	0,1	x_2	10
β_2	0,3	x_3	10
β_3	0,5	p_1	3
I_1	1	p_2	45
I_2	0,667	p_3	15
I_3	0,4	d_1	95,7
		d_2	13.312,3
		d_3	367,9

Tabel 4 34. Indeks Kualitas per Layanan pada α Konstanta, β
sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ dengan $I_i < I_{i-1}$

Layanan i	1	2	3
Kualitas premium(β_i)	0,1	0,3	0,5
Harga dasar(α_i)	0,5	0,5	0,5
Tingkat QoS (I_i)	1	0,667	0,4
Jumlah pengguna layanan (x_i)	10	10	10
Kapasitas pengguna per layanan ($I_i \cdot d_i \cdot x_i$)	957	88.793,0 41	1.471,6
Total kapasitas yang digunakan ($\sum_{i=1}^3 I_i \cdot d_i \cdot x_i$)	91.221,641		
Pendapatan per layanan ($((\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_i \cdot x_i)$)	18	315	105
Total pendapatan ($\sum_{i=1}^3 ((\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_i \cdot x_i)$)	438		

ISP menawarkan 3 layanan ($S = 3$). Setiap layanan i ; $i = 1, 2, 3$ merupakan tingkat layanan yang tersedia pada jaringan sebesar 100% untuk layanan 1, 66,7% untuk layanan 2, dan 40% untuk layanan 3. Jumlah pengguna untuk layanan 1, layanan 2 dan layanan 3 ada 10 orang. Kapasitas pengguna pada layanan 1 sebesar 957 kbps atau sebesar $\frac{957}{91.221,641} \times 100\% = 1,049\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Kapasitas pengguna pada layanan 2 sebesar 88.793,041 kbps atau sebesar $\frac{88.793,041}{91.221,641} \times 100\% =$

97,338% dari kapasitas total yang digunakan. Kapasitas pengguna pada layanan 3 sebesar 1.471,6 kbps atau sebesar $\frac{1.471,6}{91.221,641} \times 100\% = 1,613\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Jika ISP menargetkan dapat mengembalikan biaya pengguna layanan dan juga dapat mempromosikan penggunaan layanan QoS yang lebih tinggi kepada pengguna serta memungkinkan pengguna untuk memilih layanan berdasarkan anggaran dan preferensi pengguna layanan, maka total pendapatan sebesar 438 rupiah. Pendapatan ini diperoleh dengan menjumlahkan semua pendapatan setiap layanan dan total kapasitas yang digunakan sebesar 91.221,641 kbps.

2.4.7 Kasus α Konstanta dan β sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$
 Pada kasus α konstanta dan β sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$ tidak dapat digunakan karena tidak optimal untuk tujuan dari ISP dan juga tidak menawarkan pembiayaan yang lebih baik yang dapat menguntungkan ISP.

2.4.8 Kasus α Konstanta dan β sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$
 Pada Tabel 4 35 sampai Tabel 4 37 berikut ini menjelaskan solusi model yang diperbaiki untuk jaringan *multi* layanan sehingga dapat menentukan apakah dalam skema pembiayaan tersebut skema yang menawarkan pembiayaan yang lebih baik yang dapat menguntungkan telco serta menarik minat pengguna untuk menggunakan skema tersebut.

Tabel 4 35. Solusi Model yang Diperbaiki dalam Jaringan *Multi Layanan* α Konstanta, β sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Solver Status	
Model Class	MINLP
State	Local optimal
Objective	378
Infeasibility	$3,55476 \cdot 10^{-7}$
Iterations	15
Extended Solver Status	
Solver Type	Branch and Bound
Best Objective	378

Objective bound	378
Steps	0
Update interval	2
Active	0
GMU (K)	26
ER (sec)	0

Pada Tabel 4 35, nilai maksimum dari fungsi objektif pada saat $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk kasus $I_i > I_{i-1}$ adalah 378 rupiah dengan 15 iterasi. Total waktu untuk menghasilkan model adalah 0 detik.

Tabel 4 36. Nilai–Nilai Variabel pada Jaringan *Multi Layanan* α Konstanta, β sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Variabel	Nilai	Variabel	Nilai
α	0,5	x_1	10
β_1	0,5	x_2	10
β_2	0,2	x_3	10
β_3	0,1	p_1	3
I_1	0,2	p_2	45
I_2	0,5	p_3	15
I_3	1	d_1	95,7
		d_2	13.312,3
		d_3	367,9

Tabel 4 37. Indeks Kualitas per Layanan pada α Konstanta, β sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ dengan $I_i > I_{i-1}$

Layanan i	1	2	3
Kualitas premium(β_i)	0,5	0,2	0,1
Harga dasar(α_i)	0,5	0,5	0,5
Tingkat QoS (I_i)	0,2	0,5	1
Jumlah pengguna layanan (x_i)	10	10	10
Kapasitas pengguna per layanan ($I_i \cdot d_i \cdot x_i$)	191,4	66.561,5	3.679
Total kapasitas yang digunakan ($\sum_{i=1}^3 I_i \cdot d_i \cdot x_i$)	70.431,9		
Pendapatan per layanan ($((\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_i \cdot x_i)$)	18	270	90
Total pendapatan ($\sum_{i=1}^3 ((\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_i \cdot x_i))$)	378		

ISP menawarkan 3 layanan ($S = 3$). Setiap layanan i ; $i = 1, 2, 3$ merupakan tingkat layanan yang tersedia pada jaringan sebesar 20% untuk layanan 1, 50% untuk layanan 2, dan 100% untuk layanan 3. Jumlah pengguna untuk layanan 1, layanan 2 dan layanan 3 ada 10 orang. Kapasitas pengguna pada layanan 1 sebesar 191,4 kbps atau sebesar $\frac{191,4}{70.431,9} \times 100\% = 0,272\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Kapasitas pengguna pada layanan 2 sebesar 66.561,5 kbps atau sebesar $\frac{66.561,5}{70.431,9} \times 100\% = 94,505\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Kapasitas pengguna pada layanan 3 sebesar 3.679 kbps atau sebesar $\frac{3.679}{70.431,9} \times 100\% = 5,223\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Jika ISP menargetkan dapat mengembalikan biaya pengguna layanan dan juga dapat mempromosikan penggunaan layanan QoS yang lebih tinggi kepada pengguna serta memungkinkan pengguna untuk memilih layanan berdasarkan anggaran dan preferensi pengguna layanan, maka total pendapatan sebesar 378 rupiah. Pendapatan ini diperoleh dengan menjumlahkan semua pendapatan setiap layanan dan total kapasitas yang digunakan sebesar 70.431,9 kbps.

2.4.9 Kasus α Konstanta dan β sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$

Pada kasus α konstanta dan β sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$ tidak dapat digunakan karena tidak optimal untuk tujuan dari ISP dan juga tidak menawarkan pembiayaan yang lebih baik yang dapat menguntungkan ISP.

2.5 Rekapitulasi Perbandingan Total Pendapatan pada Jaringan *Multi* Layanan

Berdasarkan hasil formulasi solusi model jaringan *multi* layanan pada Sub Bab 2.3 dan Sub Bab 2.4 didapat rekapitulasi sebagai berikut :

Tabel 4 38. Rekapitulasi Kapasitas dan Total Pendapatan pada α, β Konstanta

Kasus	$I_i = I_{i-1}$	$I_i > I_{i-1}$	$I_i < I_{i-1}$
Kapasitas total yang digunakan	102.399,236	97.247,9	95.614,7
PerSentase kapasitas total yang digunakan	99,99%	94,97%	93,37%
Total pendapatan	302,78	301,5	265,5

Berdasarkan hasil rekapitulasi pada Tabel 4 38 didapat bahwa ISP dapat memperoleh pendapatan maksimal pada kasus $I_i = I_{i-1}$ dengan total pendapatan 302,78 rupiah.

Tabel 4 39. Rekapitulasi Kapasitas dan Total Pendapatan pada α Konstanta, β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$

Kasus	$I_i = I_{i-1}$	$I_i > I_{i-1}$
Kapasitas total yang digunakan	102.399,722	97.247,9
PerSentase kapasitas total yang digunakan	99,99%	94,97%
Total pendapatan	533,181	553,5

Berdasarkan hasil rekapitulasi pada Tabel 4 39 didapat bahwa ISP dapat memperoleh pendapatan maksimal pada kasus α Konstanta, β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ yaitu pada saat $I_i > I_{i-1}$ dengan total pendapatan 553,5 rupiah.

Tabel 4 40. Rekapitulasi Kapasitas dan Total Pendapatan pada α Konstanta, β sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$

Kasus	$I_i = I_{i-1}$	$I_i > I_{i-1}$	$I_i < I_{i-1}$
Kapasitas total yang digunakan	102.399,722	97.247,9	91.221,641
PerSentase kapasitas total yang digunakan	99,99%	94,97%	89,08%
Total pendapatan	456,657	485,7	438

Berdasarkan hasil rekapitulasi pada Tabel 4 40 didapat bahwa ISP dapat memperoleh pendapatan maksimal pada kasus α Konstanta, β sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ yaitu pada saat $I_i > I_{i-1}$ dengan total pendapatan 485,7 rupiah.

Tabel 4 41. Rekapitulasi Kapasitas dan Total Pendapatan pada α Konstanta, β sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$

Kasus	$I_i > I_{i-1}$
Kapasitas total yang digunakan	70.431,9
PerSentase kapasitas total yang digunakan	68,78%
Total pendapatan	378

Berdasarkan hasil rekapitulasi pada Tabel 4 41 didapat bahwa ISP dapat memperoleh pendapatan maksimal pada kasus α Konstanta, β sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ yaitu pada saat $I_i > I_{i-1}$ dengan total pendapatan 378 rupiah.

2.6 Perumusan Parameter dan Variabel dalam Jaringan *Multi* Kelas

Parameter dan variabel keputusan yang digunakan untuk mengoptimalkan pembiayaan dengan menggunakan jaringan *multi* kelas pada kasus model original, model modifikasi dan model modifikasi 1, disajikan pada Tabel 4 42 sampai Tabel 4.44 berikut:

Tabel 4 42. Parameter-Parameter yang Digunakan untuk Memperbaiki Model pada Link Tunggal terhadap Jaringan *Multi* Kelas

Parameter untuk model original	
Q	: Total <i>bandwidth</i> (kbps)
V_i	: Minimum <i>bandwidth</i> yang dibutuhkan oleh pengguna i (kbps)
α_j	: Harga dasar untuk kelas j (rupiah)
Parameter untuk model modifikasi (α, β konstanta)	
α_j	: Harga dasar untuk kelas j (rupiah)
β_j	: Kualitas premium kelas j yang memiliki kinerja pelayanan I_j (rupiah/kbps)
Q	: Total <i>bandwidth</i> (kbps)
V_i	: Minimum <i>bandwidth</i> yang dibutuhkan oleh pengguna i (kbps)
c	: Nilai yang telah ditentukan dari batas atas untuk harga <i>sensitivitas</i> pengguna i dalam kelas j (rupiah)
d	: Nilai maksimum indeks kualitas dalam kelas j
Parameter untuk model modifikasi 1 (α konstanta, β variabel)	
Q	: Total <i>bandwidth</i> (kbps)
V_i	: Minimum <i>bandwidth</i> yang dibutuhkan oleh pengguna i (kbps)

α_j	: Harga dasar untuk kelas j (rupiah)
c	: Nilai yang telah ditentukan dari batas atas untuk harga <i>sensitivitas</i> pengguna i dalam kelas j (rupiah)
d	: Nilai maksimum indeks kualitas dalam kelas j
f	: Nilai minimum kualitas premium untuk kelas j (rupiah/kbps)
g	: Nilai maksimum kualitas premium untuk kelas j (rupiah/kbps)

Tabel 4 43. Variabel Keputusan yang Digunakan untuk Formulasi Jaringan *Multi Kelas*

Variabel yang digunakan pada model original	
Z_{ij}	: $\begin{cases} 1, & \text{pengguna layanan } j \\ 0, & \text{yang lainnya} \end{cases}$
$\tilde{X}_{ij}$	: <i>Bandwidth</i> akhir yang diperoleh pengguna i untuk kelas j (kbps)
L_{M_j}	: Minimum <i>bandwidth</i> untuk kelas j(kbps)
W_j	: Harga <i>sensitivitas</i> untuk kelas j(rupiah)
X_j	: <i>Bandwidth</i> yang ditetapkan untuk setiap pengguna di kelas j (kbps)
$\tilde{W}_{ij}$	: Harga <i>sensitivitas</i> untuk pengguna i di kelas j (rupiah)
Variabel yang digunakan pada model modifikasi 1 (α, β konstanta)	
Z_{ij}	: $\begin{cases} 1, & \text{pengguna layanan } j \\ 0, & \text{yang lainnya} \end{cases}$
$\tilde{X}_{ij}$	: <i>Bandwidth</i> akhir yang diperoleh pengguna i untuk kelas j (kbps)
L_{M_j}	: Minimum <i>bandwidth</i> untuk kelas j(kbps)
W_j	: Harga <i>sensitivitas</i> untuk kelas j(rupiah)
X_j	: <i>Bandwidth</i> yang ditetapkan untuk setiap pengguna di kelas j (kbps)
$\tilde{W}_{ij}$	: Harga <i>sensitivitas</i> untuk pengguna i di kelas j (rupiah)
I_j	: Indeks kualitas dari kelas j
Variabel yang digunakan pada model modifikasi 1 (α konstanta, β variabel)	
Z_{ij}	: $\begin{cases} 1, & \text{pengguna layanan } j \\ 0, & \text{yang lainnya} \end{cases}$
$\tilde{X}_{ij}$	: <i>Bandwidth</i> akhir yang diperoleh pengguna i untuk kelas j (kbps)
L_{M_j}	: Minimum <i>bandwidth</i> untuk kelas j(kbps)
W_j	: Harga <i>sensitivitas</i> untuk kelas j(rupiah)
X_j	: <i>Bandwidth</i> yang ditetapkan untuk setiap pengguna di kelas j (kbps)
$\tilde{W}_{ij}$	: Harga <i>sensitivitas</i> untuk pengguna i di kelas j (rupiah)
I_j	: Indeks kualitas dari kelas j
β_j	: Kualitas premium kelas j yang memiliki kinerja pelayanan
I_j	(rupiah/kbps)

Nilai-nilai parameter yang digunakan dalam jaringan *multi* kelas disajikan pada Tabel 4 44 berikut:

Tabel 4 44. Nilai - Nilai Parameter dalam Jaringan *Multi* Kelas

Parameter	Nilai
Total <i>bandwidth</i> (Q)	30.720
Minimum <i>bandwidth</i> pengguna 1 (V_1)	19.418,96
Minimum <i>bandwidth</i> pengguna 2 (V_2)	400,346
Harga dasar kelas 1 (α_1)	0,2
Harga dasar kelas 2 (α_2)	0,3

2.7 Formulasi Bentuk MINLP Model Jaringan *Multi* Kelas pada Kasus Model Original

Formulasi model jaringan *multi* kelas pada kasus model original didasarkan pada Persamaan (12) dan Kendala (13) sampai Kendala (24).

Berdasarkan data *server* lokal pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5, dengan minimum *bandwidth* $V_1 = 19.418,96$ dan $V_2 = 400,346$, maka dibentuk Model MINLP dengan mensubtitusikan kasus original sebagai berikut:

dengan Persamaan (12) maka didapat:

$$\text{Maks } R = \left(0,2 \cdot Z_{11} + W_1 \cdot \log \frac{\tilde{X}_{11}}{L_{M1}} \right) + \left(0,2 \cdot Z_{12} + W_1 \cdot \log \frac{\tilde{X}_{12}}{L_{M1}} \right) + \\ \left(0,3 \cdot Z_{21} + W_2 \cdot \log \frac{\tilde{X}_{21}}{L_{M2}} \right) + \left(0,3 \cdot Z_{22} + W_2 \cdot \log \frac{\tilde{X}_{22}}{L_{M2}} \right)$$

dengan Kendala (13) maka didapat:

$$(\tilde{X}_{11} + \tilde{X}_{12} + \tilde{X}_{21} + \tilde{X}_{22}) \leq 30.720$$

dengan Kendala (14) maka didapat:

$$\tilde{X}_{11} \geq L_{M1} - (1 - Z_{11})$$

$$\tilde{X}_{12} \geq L_{M1} - (1 - Z_{12})$$

$$\tilde{X}_{21} \geq L_{M2} - (1 - Z_{21})$$

$$\tilde{X}_{22} \geq L_{M2} - (1 - Z_{22})$$

dengan Kendala (15) maka didapat:

$$W_1 \leq \tilde{W}_{11} + (1 - Z_{11})$$

$$W_1 \leq \tilde{W}_{12} + (1 - Z_{12})$$

$$W_2 \leq \tilde{W}_{21} + (1 - Z_{21})$$

$$W_2 \leq \tilde{W}_{22} + (1 - Z_{22})$$

dengan Kendala (16) maka didapat:

$$\tilde{X}_{11} \geq 19.418,96 - (1 - Z_{11})$$

$$\tilde{X}_{12} \geq 19.418,96 - (1 - Z_{12})$$

$$\tilde{X}_{21} \geq 400,346 - (1 - Z_{21})$$

$$\tilde{X}_{22} \geq 400,346 - (1 - Z_{22})$$

dengan Kendala (17) maka didapat:

$$\tilde{X}_{11} \geq X_1 - (1 - Z_{11})$$

$$\tilde{X}_{12} \geq X_1 - (1 - Z_{12})$$

$$\tilde{X}_{21} \geq X_2 - (1 - Z_{21})$$

$$\tilde{X}_{22} \geq X_2 - (1 - Z_{22})$$

dengan Kendala (18) maka didapat:

$$\tilde{X}_{11} \geq Z_{11}$$

$$\tilde{X}_{12} \geq Z_{12}$$

$$\tilde{X}_{21} \geq Z_{21}$$

$$\tilde{X}_{22} \geq Z_{22}$$

dengan Kendala (19) maka didapat:

$$\tilde{X}_{11} \geq 0$$

$$\tilde{X}_{12} \geq 0$$

$$\tilde{X}_{21} \geq 0$$

$$\tilde{X}_{22} \geq 0$$

dengan Kendala (20) maka didapat:

$$L_{M_1} \geq 0$$

$$L_{M_2} \geq 0$$

dengan Kendala (21) maka didapat:

$$W_1 \geq 0$$

$$W_2 \geq 0$$

dengan Kendala (22) maka didapat:

$$\tilde{X}_{11} \geq X_1$$

$$\tilde{X}_{12} \geq X_1$$

$$\tilde{X}_{21} \geq X_2$$

$$\tilde{X}_{22} \geq X_2$$

dengan Kendala (23) maka didapat:

$$Z_{11} = \begin{cases} 1, & \text{pengguna layanan } j \\ 0, & \text{yang lainnya} \end{cases}$$

$$Z_{12} = \begin{cases} 1, & \text{pengguna layanan } j \\ 0, & \text{yang lainnya} \end{cases}$$

$$Z_{21} = \begin{cases} 1, & \text{pengguna layanan } j \\ 0, & \text{yang lainnya} \end{cases}$$

$$Z_{22} = \begin{cases} 1, & \text{pengguna layanan } j \\ 0, & \text{yang lainnya} \end{cases}$$

dengan Kendala (24) maka didapat:

$$0 \leq \tilde{W}_{11} \leq 5$$

$$0 \leq \tilde{W}_{12} \leq 5$$

$$0 \leq \tilde{W}_{21} \leq 4$$

$$0 \leq \tilde{W}_{22} \leq 4$$

2.8 Formulasi Bentuk MINLP Model Jaringan *Multi* Kelas pada Kasus Model Modifikasi

Berdasarkan data *server* lokal pada Tabel 4 4 dan Tabel 4 5, dengan minimum *bandwidth* $V_1 = 19.418,96$ dan $V_2 = 400,346$, maka dibentuk Model MINLP dengan mensubstitusikan kasus original sebagai berikut:

Formulasi model jaringan *multi* kelas pada kasus model modifikasi yang didasarkan pada Persamaan (25) dengan menggunakan Kendala (13) sampai Kendala (24), Kendala (26), dan Kendala (27) juga ditambah dengan kendala berikut:

jika $\tilde{W}_{ij}$ parameter, maka ditambahkan kendala sebagai berikut:

$$\tilde{W}_{ij} = k \quad (42)$$

jika W_j parameter, maka ditambahkan kendala sebagai berikut:

$$W_j = l \quad (43)$$

24.8.1 Bentuk MINLP Model Modifikasi untuk W_j sebagai Parameter dan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai Parameter

Berikut ini bentuk MINLP model jaringan *multi* kelas model modifikasi untuk W_j sebagai parameter dan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter. dengan Persamaan (25) maka didapat:

$$\begin{aligned} \text{Maks } R = & \left((0,2 \cdot Z_{11} + 0,01 \cdot I_1) + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{11}}{L_{M_1}} \right) + \\ & \left((0,2 \cdot Z_{12} + 0,01 \cdot I_1) + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{12}}{L_{M_1}} \right) + \\ & \left((0,3 \cdot Z_{21} + 0,02 \cdot I_2) + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{21}}{L_{M_2}} \right) + \end{aligned}$$

$$\left((0,3 \cdot Z_{22} + 0,02 \cdot I_2) + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{22}}{L_{M_2}} \right)$$

Selanjutnya, Kendala (13) sampai Kendala (24) analog dengan Sub Bab 4.7 dan ditambah dengan kendala berikut:

dengan Kendala (26) maka didapat:

$$\alpha_2 + \beta_2 \cdot I_2 \geq \alpha_{2-1} + \beta_{2-1} \cdot I_{2-1}$$

dengan Kendala (27) maka didapat:

$$0 \leq I_1 \leq 1$$

$$0 \leq I_2 \leq 1$$

dengan Kendala (42) maka didapat:

$$\tilde{W}_{11} = 12$$

$$\tilde{W}_{12} = 12$$

$$\tilde{W}_{21} = 15$$

$$\tilde{W}_{22} = 15$$

dengan Kendala (43) maka didapat:

$$W_1 = 10$$

$$W_2 = 12$$

2.8.2 Bentuk MINLP Model Modifikasi untuk W_j sebagai Parameter dan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai Variabel

Berikut ini bentuk MINLP model jaringan *multi* kelas model modifikasi untuk W_j sebagai parameter dan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai variabel.

dengan Persamaan (25) maka didapat:

$$\begin{aligned} Maks R = & \left((0,2 \cdot Z_{11} + 0,01 \cdot I_1) + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{11}}{L_{M_1}} \right) + \\ & \left((0,2 \cdot Z_{12} + 0,01 \cdot I_1) + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{12}}{L_{M_1}} \right) + \\ & \left((0,3 \cdot Z_{21} + 0,02 \cdot I_2) + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{21}}{L_{M_2}} \right) + \\ & \left((0,3 \cdot Z_{22} + 0,02 \cdot I_2) + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{22}}{L_{M_2}} \right) \end{aligned}$$

Selanjutnya, Kendala (13) sampai Kendala (24) analog dengan Sub Bab 4.7 dan ditambah dengan kendala berikut:

dengan Kendala (26) maka didapat:

$$\alpha_2 + \beta_2 \cdot I_2 \geq \alpha_{2-1} + \beta_{2-1} \cdot I_{2-1}$$

dengan Kendala (27) maka didapat:

$$0 \leq I_1 \leq 1$$

$$0 \leq I_2 \leq 1$$

dengan Kendala (43) maka didapat:

$$W_1 = 10$$

$$W_2 = 12$$

2.8.3 Bentuk MINLP Model Modifikasi untuk W_j sebagai Variabel dan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai Parameter

Berikut ini bentuk MINLP model jaringan *multi* kelas model modifikasi untuk W_j sebagai variabel dan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter.

dengan Persamaan (25) maka didapat:

$$\begin{aligned} Maks R = & \left((0,2 \cdot Z_{11} + 0,01 \cdot I_1) + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{11}}{L_{M_1}} \right) + \\ & \left((0,2 \cdot Z_{12} + 0,01 \cdot I_1) + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{12}}{L_{M_1}} \right) + \\ & \left((0,3 \cdot Z_{21} + 0,02 \cdot I_2) + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{21}}{L_{M_2}} \right) + \\ & \left((0,3 \cdot Z_{22} + 0,02 \cdot I_2) + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{22}}{L_{M_2}} \right) \end{aligned}$$

Selanjutnya, Kendala (13) sampai Kendala (24) analog dengan Sub Bab 4.7 dan ditambah dengan kendala berikut:

dengan Kendala (26) maka didapat:

$$\alpha_2 + \beta_2 \cdot I_2 \geq \alpha_{2-1} + \beta_{2-1} \cdot I_{2-1}$$

dengan Kendala (27) maka didapat:

$$0 \leq I_1 \leq 1$$

$$0 \leq I_2 \leq 1$$

dengan Kendala (42) maka didapat:

$$\tilde{W}_{11} = 12$$

$$\tilde{W}_{12} = 12$$

$$\tilde{W}_{21} = 15$$

$$\tilde{W}_{22} = 15$$

2.9 Formulasi Bentuk MINLP Model Jaringan *Multi* Kelas pada Kasus Model Modifikasi 1

Formulasi model jaringan *multi* kelas pada kasus model modifikasi didasarkan pada Persamaan (25) dengan menggunakan Kendala (13) sampai Kendala (29), dan ditambah dengan Kendala (42), Kendala (43).

2.9.1 Bentuk MINLP Model Modifikasi 1 untuk W_j sebagai Parameter dan $\widetilde{W}_{ij}$ sebagai Parameter

Berdasarkan data *server* lokal pada Tabel 4 4 dan Tabel 4 5, dengan minimum *bandwidth* $V_1 = 19.418,96$ dan $V_2 = 400,346$, dibentuk Model MINLP yang analog dengan Sub-Sub Bab 4.8.1 dan ditambah kendala sebagai berikut:

dengan Kendala (28) maka didapat:

$$\beta_2 \leq \beta_{2-1}$$

$$\beta_2 \leq \beta_1$$

dengan Kendala (29) maka didapat:

$$0,01 \leq \beta_1 \leq 0,04$$

$$0,02 \leq \beta_2 \leq 0,03$$

2.9.2 Bentuk MINLP Model Modifikasi 1 untuk W_j sebagai Parameter dan $\widetilde{W}_{ij}$ sebagai Variabel

Berdasarkan data *server* lokal pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5, dengan minimum *bandwidth* $V_1 = 19.418,96$ dan $V_2 = 400,346$, dibentuk Model MINLP yang analog dengan Sub-Sub Bab 4.8.2 dan ditambah kendala sebagai berikut:

dengan Kendala (28) maka didapat:

$$\beta_2 \leq \beta_{2-1}$$

$$\beta_2 \leq \beta_1$$

dengan Kendala (29) maka didapat:

$$0,01 \leq \beta_1 \leq 0,04$$

$$0,02 \leq \beta_2 \leq 0,03$$

2.9.3 Bentuk MINLP Model Modifikasi 1 untuk W_j sebagai Variabel dan $\widetilde{W}_{ij}$ sebagai Parameter

Berdasarkan data *server* lokal pada Tabel 4 4 dan Tabel 4 5, dengan minimum *bandwidth* $V_1 = 19.418,96$ dan $V_2 = 400,346$, dibentuk Model MINLP yang analog dengan Sub-Sub Bab 3.8.3 dan ditambah kendala sebagai berikut:

dengan Kendala (28) maka didapat:

$$\beta_2 \leq \beta_{2-1}$$
$$\beta_2 \leq \beta_1$$

dengan Kendala (29) maka didapat:

$$0,01 \leq \beta_1 \leq 0,04$$
$$0,02 \leq \beta_2 \leq 0,03$$

2.10 Solusi Model Jaringan *Multi* Kelas dengan Program Lingo pada Model Original

Tabel 4 45 berikut menjelaskan nilai-nilai variabel pada model original. *Bandwidth* akhir ($\widehat{X}_{ij}$) yang diperoleh pengguna adalah 1,234568 kbps. Minimum *bandwidth* untuk L_{M_1} dan L_{M_2} adalah 1,234568 kbps. Harga *sensitivitas* untuk kelas 1 dan kelas 2 (W_1 dan W_2) adalah 1,234568 rupiah. ISP memvariasikan harga dasar 0,2 rupiah dan 0,3 rupiah untuk semua kasus agar mampu mendapatkan kembali biaya yang dikeluarkan.

Tabel 4 45. Nilai-Nilai Variabel pada Model Original

Variabel	Nilai	Variabel	Nilai
α_1	0,2	$\widehat{X}_{11}$	1,234568
α_2	0,3	$\widehat{X}_{12}$	1,234568
β_1	-	$\widehat{X}_{21}$	1,234568
β_2	-	$\widehat{X}_{22}$	1,234568
Z_{11}	1	L_{M_1}	1,234568
Z_{12}	1	L_{M_1}	1,234568
Z_{21}	1	X_1	1,234568
Z_{22}	1	X_2	1,234568
$\widetilde{W}_{11}$	1,234568	I_1	-
$\widetilde{W}_{12}$	1,234568	I_2	-

$\tilde{W}_{21}$	1,234568	W_1	1,234568
$\tilde{W}_{22}$	1,234568	W_2	1,234568

Pada Tabel 4 46 solusi model original yang diperbaiki menggunakan data *server* lokal pada Tabel 4.4 sebagai nilai V_1 dan Tabel 4 5 sebagai nilai V_2 yang menghasilkan solusi sebagai berikut:

Tabel 4 46. Solusi Model Original

Solver Status	
Model Class	INLP
State	Local optimal
Infeasibility	0
Iterations	4
Extended Solver Status	
Solver type	Branch& Bound
Active	0
Update interval	2
GMU(K)	28
ER(sec)	1
Best Objective	1
Objective bound	1
ESS	0
TSI	4

Generated Memory Used (GMU) menunjukkan jumlah alokasi memori untuk menggunakan LINGO. GMU pada model ini adalah 28 kilo. *Elapsed Runtime* (ER) menjelaskan tentang total waktu yang digunakan untuk menghasilkan dan menyelesaikan model serta dipengaruhi oleh jumlah aplikasi lain yang berjalan dalam sistem ini. Pada kasus ini jumlah ER adalah 1 *second*. Total pendapatan pada model ini adalah 1 rupiah dengan 4 iterasi.

2.11 Solusi Model Jaringan *Multi Kelas* dengan Program Lingo pada Model Modifikasi

Model modifikasi dibedakan menjadi 3, yaitu:

1. W_j sebagai parameter dan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter,
2. W_j sebagai parameter dan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai variabel, dan
3. W_j sebagai variabel dan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter

Tabel 4 47 berikut menjelaskan nilai-nilai variabel pada model modifikasi. *Bandwidth* akhir ($\hat{X}_{ij}$) yang diperoleh pengguna untuk kasus modifikasi adalah 400,346 kbps. Kualitas premium untuk pengguna 1 sebesar 0,01 rupiah/kbps dan untuk pengguna 2 sebesar 0,02 rupiah/kbps. Minimum *bandwidth* untuk L_{M_1} dan L_{M_2} adalah 0,01 kbps. Harga *sensitivitas* untuk kelas 1 dan kelas 2 (W_1 dan W_2) adalah 13 rupiah untuk W_j sebagai variabel dan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter, sedangkan $W_1 = 10$ rupiah dan $W_2 = 12$ rupiah untuk W_j sebagai parameter dan W_{ij} sebagai parameter serta W_j sebagai variabel dan W_{ij} sebagai parameter. ISP memvariasikan harga dasar 0,2 rupiah dan 0,3 rupiah serta kualitas premium 0,01 rupiah/kbps dan 0,02 rupiah/kbps untuk semua kasus agar ISP mendapatkan kembali biaya yang dikeluarkan dan pengguna dapat memilih kelas yang sesuai dengan kebutuhan mereka.

Tabel 4 47. Nilai-Nilai Variabel pada Model Modifikasi

Variabel	Modifikasi		
	W_j Parameter $\tilde{W}_{ij}$ Parameter	W_j Parameter $\tilde{W}_{ij}$ Variabel	W_j Variabel $\tilde{W}_{ij}$ Parameter
α_1	0,2	0,2	0,2
α_2	0,3	0,3	0,3
β_1	0,01	0,01	0,01
β_2	0,02	0,02	0,02
Z_{11}	1	1	0
Z_{12}	1	1	0
Z_{21}	1	1	1
Z_{22}	1	1	1
W_1	10	10	13
W_2	12	12	13
$\tilde{W}_{11}$	12	10	12

$\tilde{W}_{12}$	12	12	12
$\tilde{W}_{21}$	15	10	15
$\tilde{W}_{22}$	15	12	15
$\hat{X}_{11}$	400,346	400,346	400,346
$\hat{X}_{12}$	400,346	400,346	400,346
$\hat{X}_{21}$	400,346	400,346	400,346
$\hat{X}_{22}$	400,346	400,346	400,346
L_{M_1}	0,01	0,01	0,01
L_{M_2}	0,01	0,01	0,01
X_1	400,346	400,346	400,346
X_2	400,346	400,346	400,346
I_1	0,9	0,9	0,9
I_2	0,8	0,8	0,8

Pada Tabel .48 berikut ini menjelaskan solusi model modifikasi yang diperbaiki menggunakan data *server* lokal pada Tabel 4 4 sebagai nilai V_1 dan Tabel 4 5 sebagai nilai V_2 yang menghasilkan solusi sebagai berikut:

Tabel 4 48. Solusi Model Modifikasi

Solver Status	W_j Parameter $\tilde{W}_{ij}$ Parameter	W_j Parameter $\tilde{W}_{ij}$ Variabel	W_j Variabel $\tilde{W}_{ij}$ Parameter
Model Class	INLP		
State	Local optimal		
Infeasibility	$7,38964 \cdot 10^{-12}$	$7,38964 \cdot 10^{-12}$	0
Iterations	5	5	7
Extended Solver Status			
Solver type	Branch& Bound		
Active	0	0	0
Update interval	2	2	2
GMU(K)	29	29	29
ER(sec)	1	0	0
Best Objective	467,34	467,34	551,62
Objective bound	467,34	467,34	551,62
ESS	0	0	0
TSI	5	5	7

Generated Memory Used (GMU) menunjukkan jumlah LINGO untuk menggunakan alokasi memori. GMU tertinggi pada model ini adalah 29 kilo untuk setiap kasus. *Elapsed Runtime* (ER) menjelaskan tentang total waktu yang digunakan untuk menghasilkan dan menyelesaikan model serta dipengaruhi oleh jumlah aplikasi lain yang berjalan dalam sistem ini. Pada kasus ini jumlah ER adalah 1 *second* untuk W_j sebagai parameter dan W_{ij} sebagai parameter, sedangkan 0 *second* untuk W_j sebagai variabel dan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter, serta W_j sebagai variabel dan W_{ij} sebagai parameter. Extended Solver Steps (ESS) tergantung pada solver tertentu yang sedang berjalan. Karena semua model memiliki pemecah jenis Branch dan Bound sehingga ESS adalah 0. ISP dapat memperoleh pendapatan maksimum pada saat W_j sebagai variabel dan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter sehingga memungkinkan ISP dapat memulihkan biaya dengan pendapatan maksimum sebesar 551,62 rupiah.

2.12 Solusi Model Jaringan Multi Kelas dengan Program Lingo pada Model Modifikasi 1

Model modifikasi 1 dibedakan menjadi 3, yaitu:

1. W_j sebagai parameter dan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter,
2. W_j sebagai parameter dan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai variabel, dan
3. W_j sebagai variabel dan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter

Tabel 4 49 berikut menjelaskan nilai-nilai variabel pada model modifikasi 1. *Bandwidth* akhir ($\hat{X}_{ij}$) yang diperoleh pengguna untuk kasus modifikasi adalah 400,346 kbps. Kualitas premium untuk pengguna 1 sebesar 0,04 rupiah/kbps dan untuk pengguna 2 sebesar 0,03 rupiah/kbps. Minimum *bandwidth* untuk L_{M_1} dan L_{M_2} adalah 0,01 kbps. Harga *sensitivitas* untuk kelas 1 dan kelas 2 (W_1 dan W_2) adalah 13 rupiah untuk W_j sebagai variabel dan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter, sedangkan $W_1 = 10$ rupiah dan $W_2 = 12$ rupiah untuk W_j sebagai parameter dan W_{ij} sebagai parameter serta W_j sebagai variabel dan W_{ij} sebagai parameter. ISP memvariasikan harga dasar 0,2 rupiah dan 0,3 rupiah serta kualitas premium 0,04 rupiah/kbps dan 0,03 rupiah/kbps untuk semua kasus agar ISP mendapatkan kembali biaya yang

dikeluarkan dan juga dapat mempromosikan penggunaan layanan QoS tertentu yang lebih tinggi kepada pengguna.

Tabel 4 49. Nilai-Nilai Variabel pada Model Modifikasi 1

Variabel	Modifikasi 1		
	W_j Parameter $\widetilde{W}_{ij}$ Parameter	W_j Parameter $\widetilde{W}_{ij}$ Variabel	W_j Variabel $\widetilde{W}_{ij}$ Parameter
α_1	0,2	0,2	0,2
α_2	0,3	0,3	0,3
β_1	0,04	0,04	0,04
β_2	0,03	0,03	0,03
Z_{11}	1	1	0
Z_{12}	1	1	0
Z_{21}	1	1	1
Z_{22}	1	1	1
W_1	10	10	13
W_2	12	12	13
$\widetilde{W}_{11}$	12	10	12
$\widetilde{W}_{12}$	12	12	12
$\widetilde{W}_{21}$	15	10	15
$\widetilde{W}_{22}$	15	12	15
$\widehat{X}_{11}$	400,346	400,346	400,346
$\widehat{X}_{12}$	400,346	400,346	400,346
$\widehat{X}_{21}$	400,346	400,346	400,346
$\widehat{X}_{22}$	400,346	400,346	400,346
L_{M_1}	0,01	0,01	0,01
L_{M_2}	0,01	0,01	0,01
X_1	400,346	400,346	400,346
X_2	400,346	400,346	400,346
I_1	0,9	0,9	0,9
I_2	0,8	0,8	0,8

Pada Tabel 4 50 berikut ini menjelaskan solusi model modifikasi 1 yang diperbaiki menggunakan data *server* lokal pada Tabel 4 4 sebagai nilai V_1 dan Tabel 4 5 sebagai nilai V_2 yang menghasilkan solusi sebagai berikut:

Tabel 4 50. Solusi Model Modifikasi 1

Solver Status	W_j Parameter $\tilde{W}_{ij}$ Parameter	W_j Parameter $\tilde{W}_{ij}$ Variabel	W_j Variabel $\tilde{W}_{ij}$ Parameter
Model Class	INLP		
State	Local optimal		
Infeasibility	$7,38964 \cdot 10^{-12}$	$7,38964 \cdot 10^{-17}$	0
Iterations	5	5	7
Extended Solver Status			
Solver type	Branch& Bound		
Active	0	0	0
Update interval	2	2	2
GMU(K)	29	30	29
ER(sec)	0	1	1
Best Objective	467,41	467,41	551,69
Objective bound	467,41	467,41	551,69
ESS	0	0	0
TSI	5	5	7

Generated Memory Used (GMU) menunjukkan jumlah LINGO untuk menggunakan alokasi memori. GMU tertinggi pada model ini adalah 30 kilo untuk kasus W_j sebagai parameter dan W_{ij} sebagai variabel, sedangkan 29 kilo untuk W_j sebagai parameter dan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter, serta W_j sebagai variabel dan W_{ij} sebagai parameter. *Elapsed Runtime* (ER) menjelaskan tentang total waktu yang digunakan untuk menghasilkan dan menyelesaikan model serta dipengaruhi oleh jumlah aplikasi lain yang berjalan dalam sistem ini. Pada kasus ini jumlah ER adalah 0 *second* untuk W_j sebagai parameter dan W_{ij} sebagai parameter, sedangkan 1 *second* untuk W_j sebagai variabel dan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter, serta W_j sebagai variabel dan W_{ij} sebagai parameter. *Extended Solver Steps* (ESS) tergantung pada solver tertentu yang sedang berjalan. Karena semua model memiliki pemecah jenis *Branch* dan *Bound* sehingga ESS adalah 0. ISP dapat memperoleh pendapatan maksimum pada saat W_j sebagai variabel dan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter sehingga memungkinkan ISP dapat memulihkan biaya dengan nilai maksimum sebesar 551,69 rupiah.

2.3 KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada jaringan *multi* layanan α , β sebagai konstanta untuk mendapatkan kembali biaya yang ISP keluarkan dan pengguna dapat memilih layanan yang sesuai dengan kebutuhan pengguna. ISP dapat mengadopsi kasus $I_i = I_{i-1}$ dengan perSentase kapasitas yang digunakan sebesar 99,99% dengan total pendapatan sebesar 302,78 rupiah.
2. Pada jaringan *multi* layanan saat α sebagai konstanta dan β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk mendapatkan kembali biaya yang ISP keluarkan dan ISP juga dapat mempromosikan penggunaan layanan QoS ini kepada pengguna, maka ISP dapat mengadopsi pada kasus $I_i > I_{i-1}$ dengan perSentase kapasitas yang digunakan sebesar 94,97% dengan total pendapatan sebesar 553,5 rupiah.
3. Pada jaringan *multi* layanan saat α sebagai konstanta dan β sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$, ISP dapat mengadopsi kasus $I_i > I_{i-1}$ dengan perSentase kapasitas yang digunakan sebesar 94,97% dengan total pendapatan sebesar 485,7 rupiah.
4. Pada jaringan *multi* layanan saat α sebagai konstanta dan β variabel $\beta_i < \beta_{i-1}$, ISP dapat mengadopsi kasus $I_i > I_{i-1}$ dengan perSentase kapasitas yang digunakan sebesar 68,78% dengan total pendapatan sebesar 378 rupiah.
5. Jaringan *multi* kelas pada model original, ISP mendapatkan pendapatan maksimum sebesar 1 rupiah.
6. Jaringan *multi* kelas pada model modifikasi, ISP dapat mengadopsi W_j sebagai variabel dan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter untuk mendapatkan pendapatan maksimum sebesar 551,62 rupiah agar mendapatkan kembali biaya yang dikeluarkan dan pengguna dapat memilih kelas yang sesuai dengan kebutuhan pengguna.
7. Jaringan *multi* kelas pada model modifikasi 1, ISP dapat mengadopsi W_j sebagai variabel dan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter untuk mendapatkan pendapatan maksimum sebesar 551,69 rupiah agar mendapatkan kembali biaya yang dikeluarkan dan juga dapat mempromosikan penggunaan layanan QoS ini kepada pengguna.

Saran

Pada penelitian ini hanya dibahas model yang diperbaiki (model modifikasi) dan solusi optimal skema pembiayaan internet link tunggal, sehingga disarankan pada penelitian selanjutnya untuk dapat membahas generalisasi penggunaan model yang diperbaiki untuk jumlah pengguna dan kelas yang lebih banyak pada skema pembiayaan internet link tunggal maupun *multi* link.

2.4 DAFTAR PUSTAKA

- Byun, J., & Chatterjee, S. 2004. A strategic pricing for *quality of service* (QoS) *network* business. Paper preSented at the Proceedings of the Tenth Americas Conference on Information Systems, New York.
- Hallberg, N. 2007. Pricing Capability and Its Strategic Dimensions. Paper preSented at the 19th Business Administration Conference, Bergen, August 9-11, 2007.
- Karp, R., & Hartman, I. B.-A. 2005. Graph Theory, Combinatorics and Algorithms Interdisciplinary Applications. In M. C. Golumbic (Ed.), Optimization Problems Related to Internet Congestion Control (pp. 1-16). New York: Springer Science.
- Odlyzko. 1998. Paris Metro Pricing for the Internet. Paper preSented at the Proceedings of 1st ACM Conference on Electronic Commerce.
- Puspita, F. M., Seman, K., Taib, B. M., & Shafii, Z. (2012). An improved optimization model of internet charging scheme in *multi service networks*. TELKOMNIKA, 10(3), 592-598.
- Puspita, F. M., Seman, K., Taib, B. M., & Shafii, Z. (2013). Improved models of internet charging scheme of single bottleneck link in *multi QoS networks*. Journal of Applied Sciences, 13(4), 572-579.
- Sain, S. d. S., Herpers. 2003. Profit Maksimisation in *Multi Service Networks*- An Optimization Model. Paper preSented at the Proceedings of the 11th European Conference on Information Systems ECIS 2003, Naples, Italy.

- Wu, S.-y., Chen, P.-y., & Anandalingam, G. 2002. Optimal Pricing Scheme for Information *Services*. Philadelphia: University of Pennsylvania.
- Yang W. 2004. Pricing *Network* Resources in Differentiated *Service Networks*, in School of Electrical and Computer Engineering. Phd Thesis. Georgia Institute of Technology.

3.1 LATAR BELAKANG MASALAH APLIKASI *THE IMPROVED MODELS* UNTUK SKEMA PEMBIAYAAN INTERNET LINK TUNGGAL PADA JARINGAN *MULTI* LAYANAN (*MULTI SERVICE NETWORKS*) DAN JARINGAN *MULTI* KELAS QOS (*MULTI CLASS QOS NETWORKS*)

Seiring dengan semakin pentingnya internet, tuntutan terhadap kualitas internet juga semakin besar. Kualitas layanan dari suatu jaringan ditunjukkan oleh kepuasan pengguna layanan jaringan tersebut. Penyedia layanan internet (*Internet Service Provider* atau disingkat ISP) mempunyai tugas untuk memberikan kualitas layanan (*Quality of Service* atau disingkat QoS) yang lebih baik dan berbeda kepada pengguna layanan dalam mencapai kualitas informasi terbaik dan juga memperoleh keuntungan dari penggunaan sumber daya yang tersedia.

Situasi dinamis yang berlaku dalam jaringan internet saat ini merupakan tantangan besar bagi ISP dalam mengatur rencana pembiayaan yang tepat serta dapat menguntungkan ISP dan pengguna layanan. Skema pembiayaan internet terkini pada dasarnya didasarkan atas tiga tipe skema pembiayaan yang paling sering digunakan, yaitu *flat fee*, *usage-based*, dan *two-part tariff* (Wu & Banker, 2010). Tiga skema pembiayaan internet tersebut pernah digunakan Indrawati, et al. (2014) dalam penelitiannya mengenai optimasi skema pembiayaan internet berdasarkan fungsi utilitas yang berhubungan dengan tingkat kepuasan yang didapatkan konsumen atas konsumsi layanan informasi. Pengoptimalan skema pembiayaan internet lebih lanjut diperlukan pada jaringan *multi* layanan dan jaringan *multi* kelas QoS.

Sain & Herpers (2003) telah melakukan penelitian mengenai model pembiayaan bagi layanan internet dengan mempertimbangkan harga, kapasitas total

jaringan dan tingkat QoS untuk setiap layanan yang ditawarkan. Model tersebut dibentuk dalam model optimasi yang disebut model OPCQP (*Optimal Pricing, Capacity Allocation and QoS Problem*) dan diselesaikan menggunakan *Cplex Solver* untuk mendapatkan keuntungan maksimum bagi ISP.

Penelitian mengenai *The Improved Models* pada skema pembiayaan internet link tunggal menurut jaringan *multi* layanan dan jaringan *multi* kelas QoS oleh Irmeilyana, et al. (2013), Irmeilyana, et al. (2014) dan Irmeilyana, et al. (2014a, 2014b) berdasarkan model modifikasi yang dibentuk Puspita, et al. (2012, 2013) dengan menetapkan harga dasar, kualitas premium dan tingkat QoS serta mengatur harga *sensitivitas* pengguna di setiap kelas dapat menghasilkan keuntungan maksimum bagi ISP yang lebih baik dari model sebelumnya. Model yang digunakan berdasarkan kombinasi antara harga dasar (α) dan kualitas premium (β) sebagai konstanta maupun sebagai variabel. Namun hasil yang diperoleh dengan menerapkan model pada 3 (tiga) layanan untuk jaringan *multi* layanan dan 2 *user* (pengguna layanan) dengan 2 kelas untuk jaringan *multi* kelas QoS. Pada kenyataannya, dalam peningkatan kualitas ISP menyediakan lebih banyak layanan dan lebih banyak kelas kepada lebih banyak pengguna.

Pada penelitian ini *The Improved Models* diaplikasikan untuk model skema pembiayaan internet link tunggal pada jaringan *multi* layanan dan jaringan *multi* kelas QoS dengan lebih banyak layanan, banyak pengguna dan banyak kelas. Model ini diselesaikan dengan software LINGO 11.0. Banyaknya jumlah layanan, jumlah pengguna dan jumlah kelas yang diaplikasikan akan melibatkan banyak variabel, sehingga dalam merumuskan sintak program LINGO 11.0 dibuat menggunakan *sets-ends* dan *data-ends*.

Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana mengaplikasikan *The Improved Models* untuk memperoleh skema pembiayaan internet yang optimal pada jaringan *multi* layanan dan jaringan *multi* kelas QoS dengan lebih banyak layanan, banyak pengguna dan banyak kelas.

Pembatasan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini dibatasi pada penggunaan link tunggal dengan 9 layanan untuk jaringan *multi* layanan dan 3 *user* dengan 3 kelas untuk jaringan *multi* kelas QoS. Model yang digunakan diterapkan pada kasus harga dasar (α) dan kualitas premium (β) sebagai konstanta, kasus α sebagai konstanta dan β sebagai variabel, kasus α dan β sebagai variabel serta pada kasus α sebagai variabel dan β sebagai konstanta.

Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah mengaplikasikan *The Improved Models* untuk memperoleh skema pembiayaan internet yang optimal pada jaringan *multi* layanan dan jaringan *multi* kelas QoS dengan lebih banyak layanan, banyak pengguna dan banyak kelas.

Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, yaitu :

1. Skema pembiayaan internet dalam jaringan *multi* layanan dan jaringan *multi* kelas QoS optimal yang dihasilkan dapat digunakan untuk pengembangan kebijakan tarif internet sesuai dengan situasi dinamis dalam jaringan *multi* kelas QoS.
2. Skema pembiayaan internet optimal yang dihasilkan dapat membantu ISP dalam mengatur pembiayaan internet yang menguntungkan serta dapat menarik minat pengguna dalam memanfaatkan layanan sesuai dengan kebutuhan dan kepuasan pengguna.

3.2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jaringan Multi Layanan (*Multi Service Networks*)

Menurut Sain & Herpers (2003) jaringan *multi* layanan dimaksudkan untuk membawa berbagai layanan dan aplikasi dengan karakteristik yang berbeda, yang dapat bervariasi dalam waktu, dukungan koneksi dan kualitas layanan yang berbeda. Sain & Herpers (2003) dalam penelitiannya merumuskan skema pembiayaan internet untuk mendapatkan keuntungan maksimal ke dalam model optimasi dengan dua layanan yang ditawarkan.

Byun & Chatterjee (2004) menyusun strategi dalam pembiayaan internet berdasarkan target yang ingin dicapai ISP dengan memandang harga dasar (α) dan kualitas premium (β) sebagai konstanta maupun sebagai variabel, yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1. Strategi Pembiayaan Internet Berdasarkan Target ISP

Target	β konstanta	β variabel
α konstanta	Mendapatkan kembali biaya yang dikeluarkan dan pengguna dapat memilih layanan yang sesuai dengan kebutuhan	Mendapatkan kembali biaya yang dikeluarkan dan mempromosikan penggunaan layanan tertentu
α variabel	Bersaing di pasar dan pengguna dapat memilih layanan yang sesuai dengan kebutuhan	Bersaing di pasar dan mempromosikan penggunaan layanan tertentu

Harga dasar (α) dan kualitas premium (β) dapat dibedakan menjadi 4 (empat) kasus yang dapat dipertimbangkan oleh ISP berdasarkan tujuannya, yaitu :

- Menetapkan α dan β sebagai konstanta jika ISP ingin mendapatkan kembali biaya yang ISP keluarkan dan pengguna dapat memilih layanan yang sesuai dengan kebutuhan dan anggaran pengguna.
- Menetapkan α sebagai konstanta dan β sebagai variabel jika ISP ingin mendapatkan kembali biaya yang ISP keluarkan dan juga ISP dapat mempromosikan penggunaan layanan tertentu kepada pengguna.
- Menetapkan α dan β sebagai variabel jika ISP ingin bersaing di pasar dan dapat mempromosikan penggunaan layanan tertentu kepada pengguna.
- Menetapkan α sebagai variabel dan β sebagai konstanta jika ISP ingin bersaing di pasar dan pengguna dapat memilih

layanan yang sesuai dengan kebutuhan dan anggaran pengguna.

Puspita, et al. (2012) mengemukakan model skema pembiayaan internet yang diperbaiki (*The Improved Models*) pada jaringan *multi* layanan didasarkan atas penelitian Sain & Herpers (2003) serta Byun & Chatterjee (2004) dengan menambahkan parameter, variabel keputusan, kendala dan juga mempertimbangkan harga dasar dan kualitas premium layanan diperoleh hasil maksimalisasi pendapatan yang lebih baik dari model sebelumnya. Model skema pembiayaan internet link tunggal yang digunakan adalah sebagai berikut :

Kasus 1 : α konstanta dan β konstanta.

Maksimumkan pendapatan :

$$\text{Max } R(2.1)$$

dengan kendala :

$$I_i \cdot d_i \cdot x_i \leq a_i \cdot C \quad (2.1a)$$

$$\sum_{i=1}^s I_i \cdot d_i \cdot x_i \leq C \quad (2.1b)$$

$$\sum_{i=1}^s a_i = 1 \quad (2.1c)$$

$$0 \leq a_i \leq 1 \quad (2.1d)$$

$$m_i \leq I_i \leq 1 \quad (2.1e)$$

$$0 \leq x_i \leq n_i(2.1f)$$

$$\{x_i\} \subseteq \mathbb{Z}^+ \quad (2.1g) \quad \text{dengan } i = 1, 2, \dots, S$$

Kasus 2 : α konstanta dan β variabel.

Maksimumkan pendapatan :

$$Max R = \sum_{i=1}^S (\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_i \cdot x_i \quad (2.2)$$

dengan kendala mengikuti Kendala (2.1a) sampai (2.1g), juga ditambahkan kendala berikut :

$$\beta_i \cdot I_i \geq \beta_{i-1} \cdot I_{i-1} ; i > 1 \quad (2.2a)$$

$$b_i \leq \beta_i \leq u_i. \quad (2.2b)$$

Kasus 3 : α dan β sebagai variabel.

Maksimumkan pendapatan :

$$Max R = \sum_{i=1}^S (\alpha_i + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_i \cdot x_i \quad (2.3)$$

dengan kendala mengikuti Kendala (2.1a) sampai (2.1g) dan juga Kendala (2.2b), serta ditambahkan kendala berikut :

$$\alpha_i + \beta_i \cdot I_i \geq \alpha_{i-1} + \beta_{i-1} \cdot I_{i-1} ; i > 1 \quad (2.3a)$$

$$c_i \leq \alpha_i \leq g_i. \quad (2.3b)$$

Kasus 4 : α variabel dan β konstanta.

Maksimumkan pendapatan :

$$Max R = \sum_{i=1}^S (\alpha_i + \beta \cdot I_i) \cdot p_i \cdot x_i \quad (2.4)$$

dengan kendala mengikuti Kendala (2.1a) sampai (2.1g) dan juga Kendala (2.3b), serta ditambahkan kendala berikut :

$$\alpha_i + I_i \geq \alpha_{i-1} + I_{i-1} ; i > 1 \quad (2.4a)$$

(Puspita, et al., 2012)

dengan :

R : fungsi objektif yang menyatakan pendapatan (revenue).

α : harga dasar untuk setiap layanan.

β : kualitas premium untuk setiap layanan.

I_i : indeks kualitas layanan i .

p_i : *sensitivitas* harga pengguna layanan i .

x_i : jumlah pengguna yang menggunakan layanan i .

C : kapasitas total.

S : jumlah layanan.

d_i : kapasitas yang dibutuhkan untuk menyediakan QoS dari layanan i .

a_i : cadangan kapasitas total untuk layanan i .

m_i : level minimum QoS untuk layanan i .

n_i : jumlah pengguna maksimum layanan i .

β_i : kualitas premium untuk layanan i .

b_i : kualitas premium minimum untuk layanan i .

u_i : kualitas premium maksimum untuk layanan i .

α_i : harga dasar untuk layanan i .

c_i : harga dasar minimum untuk layanan i .

g_i : harga dasar maksimum untuk layanan i .

Berikut ini adalah penjelasan untuk Persamaan (2.1), Persamaan (2.2), Persamaan (2.3) dan Persamaan (2.4) serta Kendala (2.1a) sampai Kendala (2.4a) :

1. Fungsi objektif pada Persamaan (2.1) menyatakan bahwa ISP ingin memaksimalkan pendapatan dengan menyiapkan harga yang dikenakan biaya untuk harga dasar, kualitas premium dan tingkat QoS untuk memulihkan biaya dan memungkinkan pengguna untuk memilih layanan berdasarkan kebutuhannya.
2. Kendala (2.1a) menjelaskan bahwa kapasitas yang diperlukan layanan tidak melebihi kapasitas jaringan yang disediakan.
3. Kendala (2.1b) menjelaskan bahwa kapasitas yang diperlukan tidak lebih besar dari kapasitas total jaringan.
4. Kendala (2.1c) menjelaskan bahwa jumlah cadangan kapasitas total setiap layanan sama dengan 1.

5. Kendala (2.1d) menjelaskan bahwa cadangan kapasitas jaringan memiliki alokasi yang berbeda untuk setiap layanan yang terletak di antara 0 dan 1.
6. Kendala (2.1e) menyatakan bahwa tingkat QoS harus berada di antara rentang tingkat QoS yang telah ditetapkan untuk setiap layanan.
7. Kendala (2.1f) menjelaskan bahwa pengguna layanan adalah nonnegatif dan tidak lebih besar dari jumlah pengguna maksimum yang ditentukan oleh penyedia layanan.
8. Kendala (2.1g) menjelaskan bahwa jumlah pengguna harus bilangan bulat positif.
9. Fungsi objektif pada Persamaan (2.2) menjelaskan bahwa ISP ingin memaksimalkan pendapatan dengan menyiapkan harga dasar dan kualitas premium serta tingkat QoS untuk memulihkan biaya dan juga mempromosikan layanan tertentu.
10. Kendala (2.2a) menjelaskan bahwa kualitas premium memiliki tingkat yang berbeda untuk setiap layanan yang setidaknya pada tingkat yang sama atau tingkat yang lebih rendah.
11. Kendala (2.2b) menyatakan bahwa nilai kualitas premium terletak di antara rentang nilai yang telah ditentukan.
12. Fungsi objektif pada Persamaan (2.3) menjelaskan bahwa ISP ingin memaksimalkan pendapatan dengan mengatur harga dasar dan kualitas premium untuk bersaing di pasar serta ISP juga dapat mempromosikan penggunaan layanan tertentu untuk jumlah pengguna dari semua layanan.
13. Kendala (2.3a) menjelaskan bahwa nilai harga dasar dan kualitas premium paling tidak berada pada tingkat yang sama atau tingkat yang lebih rendah untuk setiap layanan.
14. Kendala (2.3b) menyatakan bahwa nilai harga dasar terletak di antara rentang nilai yang telah ditentukan.
15. Fungsi objektif pada Persamaan (2.4) menjelaskan bahwa ISP ingin memaksimalkan pendapatan dengan mengatur harga dasar, menetapkan kualitas premium serta tingkat QoS untuk bersaing di pasar dan juga pengguna dapat memilih layanan yang sesuai dengan kebutuhan dan anggaran pengguna.
16. Kendala (2.4a) menjelaskan bahwa harga dasar paling tidak bernilai sama atau lebih rendah untuk setiap layanan.

2.2 Jaringan Multi Kelas QoS (Multiple Class QoS Networks)

Ditinjau dari segi *networking*, QoS mengacu kepada kemampuan untuk memberikan pelayanan yang berbeda kepada *Traffic* jaringan dengan kelas-kelas yang berbeda. QoS adalah kemampuan dalam menjamin pengiriman arus data penting atau dengan kata lain kumpulan dari berbagai kriteria pelayanan yang menentukan tingkat kepuasan penggunaan suatu layanan. QoS menawarkan kemampuan untuk mendefinisikan atribut-atribut layanan yang disediakan, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Tujuan akhir dari QoS adalah memberikan layanan jaringan yang lebih baik dan terencana (Anori, 2013).

Penelitian mengenai jaringan *multi* kelas QoS dalam Yang (2004) menggambarkan skema pembiayaan internet berbasis lelang untuk mengalokasikan QoS dan memaksimalkan pendapatan ISP menggunakan parameter QoS tunggal yaitu *bandwidth*. Padahal dalam jaringan ada banyak parameter yang mempengaruhi QoS yang dapat dipertimbangkan.

Berdasarkan penelitian Puspita, et al. (2013) dengan memodifikasi model dari Yang (2004) dan mengkombinasikannya dengan formula dari Byun & Chatterjee (2004) dengan mempertimbangkan fungsi utilitas, harga dasar dan kualitas premium sebagai konstanta maupun variabel, kinerja indeks, tingkat QoS dan juga *bandwidth* yang dibutuhkan dapat menghasilkan solusi optimal yang lebih baik. Selanjutnya model yang dimodifikasi dan diperbaiki ini diperkenalkan sebagai The Improved Models.

Model skema pembiayaan internet menurut jaringan *multi* kelas QoS yang digunakan adalah sebagai berikut :

1) Model 1 original

Maksimumkan pendapatan :

$$\begin{aligned} \text{Max } R = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (\alpha_j \cdot Z_{ij}) + W_j \\ \cdot \log \frac{\tilde{X}_{ij}}{L_{mj}} \end{aligned} \quad (2.5)$$

dengan kendala :

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \tilde{X}_{ij} \leq Q \quad (2.5a)$$

$$\tilde{X}_{ij} \geq L_{mj} - (1 - Z_{ij}) \quad (2.5b)$$

$$W_j \leq \tilde{W}_{ij} + (1 - Z_{ij}) \quad (2.5c)$$

$$\tilde{X}_{ij} \geq V_i - (1 - Z_{ij}) \quad (2.5d)$$

$$\tilde{X}_{ij} \geq X_j - (1 - Z_{ij}) \quad (2.5e)$$

$$\tilde{X}_{ij} \geq Z_{ij} \quad (2.5f)$$

$$\tilde{X}_{ij} \geq 0 \quad (2.5g)$$

$$L_{mj} \geq 0 \quad (2.5h)$$

$$W_j \geq 0 \quad (2.5i)$$

$$\tilde{X}_{ij} \leq X_j \quad (2.5j)$$

$$Z_{ij} \begin{cases} 1, & \text{jika pengguna } i \text{ berada di kelas } j \\ 0, & \text{pengguna } i \text{ tidak berada di kelas } j \end{cases}$$

$$0 \leq \tilde{W}_{ij} \leq c_j \quad (2.5l)$$

$$i = 1, 2, \dots, n ; j = 1, 2, \dots, m.$$

Nilai c_j ditentukan sebagai batas atas nilai *sensitivitas* harga untuk masing-masing pengguna i di kelas j . (Yang, 2004)

2) Model 1 modifikasi 1 dengan α dan β sebagai konstanta

Maksimumkan pendapatan :

$Max R$

$$= \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n ((\alpha_j \cdot Z_{ij} + \beta_j \cdot I_j) + W_j \cdot \log \frac{\tilde{X}_{ij}}{L_{mj}}) \quad (2.6)$$

dengan Kendala (2.5a) sampai Kendala (2.5l), dan juga ditambahkan kendala sebagai berikut :

$$\alpha_j + \beta_j \cdot I_j \geq \alpha_{j-1} + \beta_{j-1} \cdot I_{j-1}$$

(2.6a)

$$0 \leq I_j \leq d_j.$$

(2.6b)

Nilai d_j sebagai batas atas indeks kualitas dalam kelas j .

- i) Jika $\tilde{W}_{ij}$ parameter dan W_j variabel, maka ditambahkan kendala sebagai berikut :

$$\tilde{W}_{ij} = k. \quad (2.6c)$$

- ii) Jika $\tilde{W}_{ij}$ variabel dan W_j parameter, maka ditambahkan kendala sebagai berikut :

$$W_j = l. \quad (2.6d)$$

- iii) Jika $\tilde{W}_{ij}$ parameter dan W_j parameter, maka ditambahkan kendala (2.6c) dan (2.6d).

3) Model 1 modifikasi 2 dengan α konstanta dan β variabel

- i) $\tilde{W}_{ij}$ parameter dan W_j variabel

Merujuk Fungsi objektif (2.6) dengan Kendala (2.5a) sampai Kendala (2.5l) serta Kendala (2.6a) sampai Kendala (2.6c). Selain itu ditambahkan juga kendala sebagai berikut :

$$\beta_j \leq \beta_{j-1}$$

(2.6e)

$$f \leq \beta_j \leq g$$

(2.6f)

- ii) $\tilde{W}_{ij}$ variabel dan W_j parameter

Merujuk fungsi objektif (2.6) dengan Kendala (2.5a) sampai Kendala (2.5l) serta Kendala (2.6a), (2.6b) dan Kendala (2.6d) sampai (2.6f).

- iii) $\tilde{W}_{ij}$ parameter dan W_j parameter

Merujuk fungsi objektif (2.6) dan Kendala (2.5a) sampai Kendala (2.5l) serta Kendala (2.6a) sampai Kendala (2.6f).

(Puspita, et al., 2013)

4) Model 2 original

Maksimumkan pendapatan :

$$Max R = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (\alpha_j + W_j \cdot \log \frac{\tilde{X}_{ij}}{L_{mj}}) Z_{ij} \quad (2.7)$$

dengan kendala mengikuti Kendala (2.5a) sampai Kendala (2.5l), dan juga ditambahkan kendala sebagai berikut :

$$a \leq \alpha_j \leq b$$

(2.7a)

$$\alpha_j \geq \alpha_{j-1} ; j > 1$$

(2.7b)

(Yang, 2004)

5) Model 2 modifikasi 1 dengan α variabel dan β konstanta

Maksimumkan pendapatan :

$$Max R = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n ((\alpha_j + \beta_j \cdot I_j) + W_j \cdot \log \frac{\tilde{X}_{ij}}{L_{mj}}) Z_{ij} \quad (2.8)$$

dengan kendala mengikuti Kendala (2.5a) sampai Kendala (2.5l), Kendala (2.6a) sampai (2.6d) serta ditambahkan Kendala (2.7a) dan (2.7b).

6) Model 2 modifikasi 2 dengan α dan β sebagai variabel

Merujuk fungsi objektif pada Persamaan (2.8) dengan kendala mengikuti

Kendala (2.5a) sampai Kendala (2.5l), Kendala (2.6a) sampai Kendala (2.6f) serta

ditambahkan Kendala (2.7a) dan (2.7b).

(Puspita, et al., 2013)

dengan :

α_j : harga dasar untuk kelas j .

Z_{ij} : $\begin{cases} 1, & \text{jika pengguna } i \text{ berada di kelas } j \\ 0, & \text{pengguna } i \text{ tidak berada di kelas } j \end{cases}$

W_j	: harga <i>sensitivitas</i> untuk kelas j .
$\tilde{X}_{ij}$	: <i>bandwidth</i> akhir yang diperoleh pengguna i untuk kelas j .
L_{mj}	: <i>bandwidth</i> minimum untuk kelas j .
Q	: total <i>bandwidth</i>
$\tilde{W}_{ij}$	: harga <i>sensitivitas</i> pengguna i di kelas j .
V_i	: <i>bandwidth</i> minimum yang dibutuhkan oleh pengguna i .
X_j	: <i>bandwidth</i> untuk tiap individu di kelas j .
β_j	: kualitas premium untuk kelas j yang memiliki kinerja pelayanan I_j .
I_j	: indeks kualitas dari kelas j .
k	: konstanta
l	: konstanta
f	: nilai kualitas premium minimum untuk kelas j .
g	: nilai kualitas premium maksimum untuk kelas j .
a	: nilai harga dasar minimum untuk kelas j .
b	: nilai harga dasar maksimum untuk kelas j .

Berikut ini adalah penjelasan untuk Persamaan (2.5), Persamaan (2.6), Persamaan (2.7) dan Persamaan (2.8) serta Kendala (2.5a) sampai Kendala (2.7b) :

1. Fungsi objektif pada Persamaan (2.5) menyatakan bahwa ISP ingin memaksimalkan pendapatan dengan memaksimalkan fungsi utilitas dengan α_j sebagai harga dasar yang harus diperbaiki untuk memulihkan biaya.
2. Kendala (2.5a) menjelaskan bahwa *bandwidth* total akhir dari semua pengguna tidak dapat melebihi total *bandwidth* yang tersedia.
3. Kendala (2.5b) menyatakan bahwa *bandwidth* yang diperoleh pengguna i harus melebihi *bandwidth* minimum untuk kelas j jika pengguna i berada di kelas j atau sebaliknya.
4. Kendala (2.5c) menjelaskan bahwa harga *sensitivitas* untuk kelas j harus kurang dari harga *sensitivitas* untuk pengguna i di kelas j jika pengguna i berada di kelas j .
5. Kendala (2.5d) menunjukkan bahwa *bandwidth* yang diperoleh pengguna i untuk kelas j harus melebihi *bandwidth* minimum

yang dibutuhkan oleh pengguna i jika pengguna i berada di kelas j .

6. Kendala (2.5e) menjelaskan bahwa *bandwidth* yang diperoleh pengguna i di kelas j harus melebihi *bandwidth* untuk tiap individu dalam kelas j jika pengguna i berada di kelas j .
7. Kendala (2.5f) menunjukkan bahwa *bandwidth* yang diperoleh pengguna i di kelas j harus melebihi pengguna i yang berada di kelas j .
8. Kendala (2.5g) menunjukkan bahwa *bandwidth* yang diperoleh pengguna i di kelas j harus lebih besar dari ketersediaan pengguna i di kelas j dan harus nonnegatif.
9. Kendala (2.5h) menunjukkan persyaratan nonnegatif pada minimum *bandwidth* untuk kelas j .
10. Kendala (2.5i) menunjukkan persyaratan nonnegatif pada harga *sensitivitas* untuk kelas j .
11. Kendala (2.5j) menunjukkan bahwa *bandwidth* yang diperoleh pengguna i di kelas j tidak boleh melebihi *bandwidth* yang ditetapkan untuk setiap pengguna individu di kelas j .
12. Kendala (2.5k) menjelaskan bahwa nilai pengguna i berada di kelas j atau tidak.
13. Kendala (2.5l) menyatakan bahwa harga *sensitivitas* pengguna i di kelas j terletak di antara rentang nilai 0 dan nilai harga *sensitivitas* yang telah ditetapkan (c) untuk pengguna i .
14. Fungsi objektif pada Persamaan (2.6) menyatakan bahwa ISP ingin memaksimalkan pendapatan dengan memaksimalkan fungsi utilitas dengan α_j sebagai harga dasar yang harus diperbaiki untuk memulihkan biaya dan kualitas premium juga harus diperbaiki untuk memungkinkan pengguna memilih kelas berdasarkan anggaran dan preferensi mereka dengan memilih tingkat QoS.
15. Kendala (2.6a) menunjukkan bahwa penjumlahan harga dasar dan kualitas premium untuk menghasilkan pelayanan yang sempurna untuk kelas j harus

melebihi satu kelas ($j-1$) dengan $j>1$.

16. Kendala (2.6b) menunjukkan bahwa indeks kualitas berada di antara 0 dan 1 dengan nilai d yang telah ditetapkan oleh ISP.
17. Kendala (2.6c) dan (2.6d) menunjukkan bahwa harga *sensitivitas* untuk kelas j dan untuk pengguna i di kelas j telah ditetapkan ISP.
18. Kendala (2.6e) menunjukkan bahwa kualitas premium di kelas j tidak boleh melebihi kualitas premium di kelas sebelumnya.
19. Kendala (2.6f) menunjukkan bahwa nilai kualitas premium terletak pada rentang $[f, g]$ dengan $f \geq 0, g \geq 0$ dan nilai keduanya telah ditetapkan oleh ISP.
20. Fungsi objektif pada Persamaan (2.7) menjelaskan bahwa ISP ingin memaksimalkan pendapatan dengan mengatur harga dasar sebagai variabel untuk memungkinkan ISP bersaing di pasar.
21. Kendala (2.7a) menjelaskan bahwa nilai harga dasar berada pada rentang nilai yang telah ditentukan.
22. Kendala (2.7b) menjelaskan bahwa harga dasar untuk kelas j lebih besar atau sama dengan harga dasar untuk kelas $j-1$ dengan $j>1$.
23. Fungsi objektif pada Persamaan (2.8) menjelaskan bahwa ISP ingin memaksimalkan pendapatan dengan memaksimalkan fungsi utilitas. ISP dapat mengatur harga dasar sebagai variabel untuk memungkinkan ISP bersaing di pasar dan menetapkan kualitas premium untuk memungkinkan pengguna memilih kelas berdasarkan anggaran dan kebutuhan mereka dengan memilih tingkat QoS.

3.3 PEMBAHASAN

Pada bab ini dibahas aplikasi The Improved Models untuk skema pembiayaan internet link tunggal pada jaringan *multi* layanan dan jaringan *multi* kelas QoS dengan jumlah layanan, jumlah *user* dan jumlah kelas yang diperluas atau lebih banyak yang sesuai dengan kondisi sebenarnya dalam jaringan internet. Data *Traffic* yang digunakan untuk skema pembiayaan internet pada jaringan *multi* kelas QoS diperoleh dari salah satu *server* lokal di Palembang. Sedangkan data untuk jaringan *multi* layanan didasarkan pada penggunaan asumsi yang disesuaikan dengan kendala-kendala pada model.

3.1 Pendeskripsian Data Traffic

Data *Traffic* untuk jaringan *multi* kelas QoS diperoleh dari salah satu *server* lokal di Palembang, yang diambil dari tanggal 5 Maret 2014 sampai 4 April 2014 yaitu data *Traffic* pada *Mail*, *files*, dan *web*.

Tabel 4.. 1.Data *Traffic* pada *Mail* untuk Jaringan *Multi* Kelas QoS

No	Waktu	Traffic (dalam bit per second)	
		Sent	Received
1	5 Maret 2014	850.824,04	244.693,99
2	6 Maret 2014	432.300,84	952.074,41
3	7 Maret 2014	850.419,49	1.051.275,29
4	8 Maret 2014	1.188.610,45	1.372.494,89
5	9 Maret 2014	102.733,24	227.530,75
6	10 Maret 2014	399.239,90	984.514,41
7	11 Maret 2014	987.145,51	978.789,53
8	12 Maret 2014	411.783,02	606.837,75
9	13 Maret 2014	878.906,59	609.636,72
10	14 Maret 2014	390.547,04	328.007,25
11	15 Maret 2014	196.415,71	220.222,81
12	16 Maret 2014	129.097,43	91.738,87
13	17 Maret 2014	1.044.041,22	517.133,00
14	18 Maret 2014	1.151.715,44	1.354.339,52
15	19 Maret 2014	903407,21	922.757,57
16	20 Maret 2014	5.867.024,42	1.363.619,77
17	21 Maret 2014	2.311.095,55	328.855,30
18	22 Maret 2014	193.813,07	167.129,01
19	23 Maret 2014	849.563,66	115.728,62
20	24 Maret 2014	1.353.235,18	648.827,42
21	25 Maret 2014	2.198.200,61	1.732.123,70
22	26 Maret 2014	501.367,74	1.025.786,08
23	27 Maret 2014	993.365,09	849.438,97
24	28 Maret 2014	626.902,67	730.910,72
25	29 Maret 2014	713.552,52	148.703,23
26	30 Maret 2014	763.833,78	201.813,91
27	31 Maret 2014	746.364,65	147.057,44
28	1 April 2014	1.655.803,00	620.803,52
29	2 April 2014	2.125.820,15	3.047.268,81
30	3 April 2014	3.414.700,65	745.983,98

31	4 April 2014	1.819.419,78	1.083.806,75
<i>Demand</i>		1.162.943,54	755.480,77
<i>Demand per bulan</i>		959.212,16	
<i>Demand byte per second (bps)</i>		119.901,52	
<i>Demand kilo byte per second (kbps)</i>		117,09	

Tabel 4.. 2. Data *Traffic* pada Files untuk Jaringan *Multi Kelas QoS*

No	Waktu	<i>Traffic (dalam bit per second)</i>	
		<i>Sent</i>	<i>Received</i>
1	5 Maret 2014	22.806,56	235.285.587,32
2	6 Maret 2014	22.937.653,25	182.824.996,77
3	7 Maret 2014	28.898.520,17	368.201.149,20
4	8 Maret 2014	736.679,29	30.259.423,56
5	9 Maret 2014	175.616,40	4.720.459,31
6	10 Maret 2014	6.945.875,34	191.924.277,12
7	11 Maret 2014	106.186.091,80	212.948.809,48
8	12 Maret 2014	6.798.275,80	166.272.986,22
9	13 Maret 2014	6.438.354,67	197.263.153,73
10	14 Maret 2014	3.233.827,72	164.945.663,63
11	15 Maret 2014	624.173,93	23.920.395,23
12	16 Maret 2014	5.047.515,96	9.115.943,14
13	17 Maret 2014	98.282.062,52	178.798.872,74
14	18 Maret 2014	43.250.758,76	268.528.343,84
15	19 Maret 2014	13.745.227,34	212.381.407,49
16	20 Maret 2014	11.684.873,77	128.627.455,69
17	21 Maret 2014	1.642.934,30	104.090.120,47
18	22 Maret 2014	5.776.539,58	37.869.275,23
19	23 Maret 2014	754.082,04	27.384.900,95
20	24 Maret 2014	13.297.981,50	151.924.573,60
21	25 Maret 2014	10.236.928,96	232.598.499,45
22	26 Maret 2014	21.443.709,76	108.840.762,08
23	27 Maret 2014	2.461.572,72	139.273.651,99
24	28 Maret 2014	12.699.225,61	137.837.708,33
25	29 Maret 2014	40.933.752,42	30.257.705,72
26	30 Maret 2014	101.874,53	1.139.127,09

27	31 Maret 2014	503.938,64	30.682.095,47
28	1 April 2014	6.661.977,65	121.792.088,46
29	2 April 2014	1.476.469,69	96.649.867,72
30	3 April 2014	2.815.256,66	178.476.799,38
31	4 April 2014	5.165.879,50	121.037.195,42
<i>Demand</i>		15.160.934,51	127.996.040,50
<i>Demand per bulan</i>		71.578.487,5	
<i>Demand byte per second (bps)</i>		8.947.310,94	
<i>Demand kilo byte per second (kbps)</i>		8.737,61	

Tabel 4.. 3. Data *Traffic* pada Web untuk Jaringan *Multi Kelas QoS*

No	Waktu	<i>Traffic (dalam bit per second)</i>	
		<i>Sent</i>	<i>Received</i>
1	5 Maret 2014	354.394,74	3.454.743,56
2	6 Maret 2014	160.714,36	2.890.105,39
3	7 Maret 2014	373.335,44	2.425.032,86
4	8 Maret 2014	129.936,09	1.987.071,13
5	9 Maret 2014	113.396,44	1.650.093,92
6	10 Maret 2014	396.735,81	2.165.850,13
7	11 Maret 2014	289.681,13	1.818.987,48
8	12 Maret 2014	1.002.523,97	2.630.452,07
9	13 Maret 2014	156.475,64	2.586.909,28
10	14 Maret 2014	469.922,52	1.857.539,49
11	15 Maret 2014	128.712,16	2.381.253,09
12	16 Maret 2014	140.186,02	2.858.249,48
13	17 Maret 2014	478.089,09	2.509.591,58
14	18 Maret 2014	673.179,49	3.025.385,94
15	19 Maret 2014	124.208,42	2.186.837,34
16	20 Maret 2014	341.731,18	1.758.886,70
17	21 Maret 2014	151.487,94	2.065.567,63
18	22 Maret 2014	143.463,95	1.695.258,30
19	23 Maret 2014	245.289,31	1.577.961,10
20	24 Maret 2014	1.081.267,00	3.032.939,89
21	25 Maret 2014	390.785,35	2.785.132,60
22	26 Maret 2014	164.348,02	1.984.964,19
23	27 Maret 2014	495.266,77	2.096.170,55

24	28 Maret 2014	273.782,19	1.217.918,89
25	29 Maret 2014	124.810,22	1.833.592,10
26	30 Maret 2014	112.986,97	1.874.610,92
27	31 Maret 2014	129.748,50	2.045.013,37
28	1 April 2014	934.143,56	2.760.433,16
29	2 April 2014	757.432,52	2.527.975,05
30	3 April 2014	337.854,69	2.890.864,05
31	4 April 2014	255.672,34	2.120.751,97
<i>Demand</i>		352.631,03	2.280.520,75
<i>Demand per bulan</i>		1.316.575,89	
<i>Demandbyte per second (bps)</i>		164.571,99	
<i>Demand kilo byte per second (kbps)</i>		160,71	

Berdasarkan Tabel 4..1 sampai 4..3 data *Traffic* pada *Mail*, *files*, dan *web* terdiri dari data pengiriman(*Sent*) dan data penerimaan (*received*). Nilai rata-rata pemakaian (*Demand*) untuk *Sent* lebih tinggi dari pada nilai *Demand* untuk *received* pada *Mail*, sedangkan pada *files* dan *web* nilai *Demand* untuk *received* lebih tinggi dari pada nilai *Demand* untuk *Sent*. Rata-rata pemakaian total dalam satu bulan (dalam kbps) pada *files* (8.737,61 kbps) lebih tinggi dibandingkan dengan pemakaian untuk *web* (160,71 kbps) dan untuk *Mail* (117,09 kbps).

3.2 Pendefinisian Parameter dan Variabel Keputusan pada Model Jaringan *Multi Layanan*

Model skema pembiayaan internet link tunggal pada jaringan *multi layanan* terbagi menjadi 4 (empat) kasus. Kasus 1 yaitu α dan β sebagai konstanta, kasus 2 yaitu α sebagai konstanta dan β sebagai variabel, kasus 3 yaitu α dan β sebagai variabel, dan kasus 4 yaitu α sebagai variabel dan β sebagai konstanta. Parameter dan variabel keputusan yang digunakan berdasarkan keempat kasus tersebut disajikan pada Tabel 4..4 dan Tabel 4..5 berikut :

**Tabel 4. 4. Parameter untuk Setiap Kasus pada Model Jaringan
Multi Layanan**

Parameter untuk kasus 1 : α dan β sebagai konstanta	
α	: harga dasar layanan
β	: kualitas premium layanan
p_i	: <i>sensitivitas</i> harga pengguna layanan i
C	: kapasitas total
d_i	: kapasitas yang dibutuhkan untuk menyediakan QoS dari layanan i
m_i	: level minimum QoS untuk layanan i
n_i	: jumlah pengguna maksimum layanan i
S	: jumlah layanan
Parameter untuk kasus 2 : α konstanta dan β variable	
α	: harga dasar layanan
p_i	: <i>sensitivitas</i> harga pengguna layanan i
C	: kapasitas total
d_i	: kapasitas yang dibutuhkan untuk menyediakan QoS dari layanan i
m_i	: level minimum QoS untuk layanan i
n_i	: jumlah pengguna maksimum layanan i
S	: jumlah layanan
b_i	: kualitas premium minimum untuk layanan i
u_i	: kualitas premium maksimum untuk layanan i
Parameter untuk kasus 3 : α dan β sebagai variable	
p_i	: <i>sensitivitas</i> harga pengguna layanan i
C	: kapasitas total
d_i	: kapasitas yang dibutuhkan untuk menyediakan QoS dari layanan i
m_i	: level minimum QoS untuk layanan i
n_i	: jumlah pengguna maksimum layanan i
S	: jumlah layanan
b_i	: kualitas premium minimum untuk layanan i
u_i	: kualitas premium maksimum untuk layanan i
c_i	: harga dasar minimum untuk layanan i
g_i	: harga dasar maksimum untuk layanan i
Parameter untuk kasus 4 : α variabel dan β konstanta	
β	: kualitas premium layanan
p_i	: <i>sensitivitas</i> harga pengguna layanan i
C	: kapasitas total

d_i	: kapasitas yang dibutuhkan untuk menyediakan QoS dari layanan i
m_i	: level minimum QoS untuk layanan i
n_i	: jumlah pengguna maksimum layanan i
S	: jumlah layanan
c_i	: harga dasar minimum untuk layanan i
g_i	: harga dasar maksimum untuk layanan i

Tabel 4.. 5. Variabel Keputusan untuk Setiap Kasus pada Model Jaringan *Multi* Layanan

Variabel keputusan untuk kasus 1 : α dan β sebagai konstanta	
a_i	: jumlah cadangan kapasitas total untuk layanan i
I_i	: indeks kualitas layanan i
x_i	: jumlah pengguna yang menggunakan layanan i
Variabel keputusan untuk kasus 2 : α konstanta dan β variabel	
a_i	: jumlah cadangan kapasitas total untuk layanan i
I_i	: indeks kualitas layanan i
x_i	: jumlah pengguna yang menggunakan layanan i
β_i	: kualitas premium untuk layanan i
Variabel keputusan untuk kasus 3 : α dan β sebagai variable	
a_i	: jumlah cadangan kapasitas total untuk layanan i
I_i	: indeks kualitas layanan i
x_i	: jumlah pengguna yang menggunakan layanan i
α_i	: harga dasar untuk layanan i
β_i	: kualitas premium untuk layanan i
Variabel keputusan untuk kasus 4 : α variabel dan β konstanta	
a_i	: jumlah cadangan kapasitas total untuk layanan i
I_i	: indeks kualitas layanan i
x_i	: jumlah pengguna yang menggunakan layanan i
α_i	: harga dasar untuk layanan i

3.3 Penggunaan Model pada Jaringan *Multi* Layanan untuk Kasus 1 : α dan β sebagai Konstanta

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multi* layanan untuk kasus 1, yaitu α dan β sebagai konstanta didasarkan pada Persamaan (2.1) dan Kendala (2.1a) sampai Kendala (2.1g) dengan banyaknya layanan adalah 9 layanan, sehingga $i = 1, 2, \dots, 9$. Kasus 1 dengan memodifikasi model berdasarkan indeks kualitas layanan i (I_i)

menjadi tiga kondisi, yaitu $I_i = I_{i-1}$, $I_i > I_{i-1}$ dan $I_i < I_{i-1}$, sehingga kasus 1 akan dibagi menjadi 3 kasus berdasarkan I_i .

Data *Traffic* digunakan sebagai nilai kapasitas yang dibutuhkan untuk layanan i (d_i) dengan satuan kilo byte per *second* (kbps). Keterbatasan data menyebabkan nilai-nilai parameter untuk jaringan *multi* layanan ditentukan berdasarkan asumsi yang disesuaikan dengan kendala-kendala pada model. Tabel 4.6 berikut menyajikan nilai-nilai parameter yang ditetapkan pada jaringan *multi* layanan untuk kasus 1.

Tabel 4.. 6.Nilai-Nilai Parameter pada Jaringan *Multi* Layanan untuk Kasus 1

Layanan (i)	Parameter						
	α	β	C	d_i	p_i	m_i	n_i
1	0,5	0,01	102.400	97,5	3	0,01	20
2	0,5	0,01	102.400	13.312,3	45	0,01	20
3	0,5	0,01	102.400	367,9	15	0,01	20
4	0,5	0,01	102.400	825,8	35	0,01	20
5	0,5	0,01	102.400	593,5	32	0,01	20
6	0,5	0,01	102.400	489,3	25	0,01	20
7	0,5	0,01	102.400	98,9	5	0,01	20
8	0,5	0,01	102.400	1.407,2	38	0,01	20
9	0,5	0,01	102.400	393,5	20	0,01	20

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multi* layanan untuk kasus 1 dengan memasukkan nilai parameter pada Tabel 4..6 ke dalam Persamaan (2.1) dengan Kendala (2.1a) sampai Kendala (2.1g) sehingga diperoleh formulasi sebagai berikut :

Berdasarkan fungsi objektif pada Persamaan (2.1) :

$$\begin{aligned}
 \text{Max } R &= \sum_{i=1}^9 (\alpha + \beta \cdot I_i) \cdot p_i \cdot x_i \\
 &= (0,5 + 0,01I_1) \cdot 3x_1 + (0,5 + 0,01I_2) \cdot 45x_2 + \\
 &\quad (0,5 + 0,01I_3) \cdot 15x_3 + \dots + (0,5 + 0,01I_9) \cdot 20x_9 \\
 &\quad (4.1)
 \end{aligned}$$

dengan Kendala (2.1a) didapat :

$$\begin{aligned}
 95,7 I_1 x_1 &\leq 102.400 a_1 \\
 13.312,3 I_2 x_2 &\leq 102.400 a_2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 367,9I_3x_3 &\leq 102.400a_3 \\ 393,5I_9x_9 &\leq 102.400a_9 \end{aligned} \quad (4.1a)$$

dengan Kendala (2.1b) didapat :

$$\begin{aligned} 97,5I_1 \cdot x_1 + 13.312,3I_2 \cdot x_2 + 367,9I_3 \cdot x_3 + \dots + \\ 393,5I_9 \cdot x_9 &\leq 102.400 \end{aligned} \quad (4.1b)$$

dengan Kendala (2.1c) didapat :

$$a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_9 = 1 \quad (4.1c)$$

dengan Kendala (2.1d) didapat :

$$0 \leq a_i \leq 1 ; \forall i = 1, 2, \dots, 9 \quad (4.1d)$$

dengan Kendala (2.1e) didapat :

$$0,01 \leq I_i \leq 1 ; \forall i = 1, 2, \dots, 9 \quad (4.1e)$$

dengan Kendala (2.1f) didapat:

$$0 \leq x_i \leq 20 ; \forall i = 1, 2, \dots, 9 \quad (4.1f)$$

dengan Kendala (2.1g) didapat :

$$\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_9\} \subseteq \mathbb{Z}^+. \quad (4.1g)$$

dengan memodifikasi indeks kualitas layanan i (I_i) yaitu :

i) jika $I_i = I_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$I_i - I_{i-1} = 0$$

ii) jika $I_i > I_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$I_i - I_{i-1} > 0$$

iii) jika $I_i < I_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$I_i - I_{i-1} < 0 ; \forall i = 2, 3, \dots, 9 \quad (4.1h)$$

3.4 `Penggunaan Model pada Jaringan *Multi* Layanan untuk

Kasus 2 : α Konstanta dan β Variabel

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multi* layanan untuk kasus 2, yaitu α sebagai konstanta dan β sebagai variabel didasarkan pada Persamaan (2.2) dan Kendala (2.1a) sampai Kendala (2.2b) dengan banyaknya layanan adalah 9 layanan, sehingga $i = 1, 2, \dots, 9$. Kualitas premium layanan i (β_i) dimodifikasi menjadi $\beta_i = \beta_{i-1}$, $\beta_i > \beta_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$. Model pada kasus 2 juga dimodifikasi berdasarkan indeks kualitas layanan i (I_i) menjadi $I_i = I_{i-1}$, $I_i > I_{i-1}$ dan $I_i < I_{i-1}$, sehingga kasus 2 akan dibagi menjadi 9 kasus berdasarkan β_i dan I_i . Adapun nilai-nilai parameter yang digunakan pada model skema pembiayaan internet dalam jaringan *multi* layanan untuk kasus 2 disajikan dalam Tabel 4.7.

Tabel 4.. 7. Nilai-Nilai Parameter pada Jaringan *Multi Layanan* untuk Kasus 2

Layanan (i)	Parameter							
	α	C	d_i	p_i	m_i	n_i	b_i	u_i
1	0,5	102.400	97,5	3	0,01	20	0,01	0,5
2	0,5	102.400	13.312,3	45	0,01	20	0,01	0,5
3	0,5	102.400	367,9	15	0,01	20	0,01	0,5
4	0,5	102.400	825,8	35	0,01	20	0,01	0,5
5	0,5	102.400	593,5	32	0,01	20	0,01	0,5
6	0,5	102.400	489,3	25	0,01	20	0,01	0,5
7	0,5	102.400	98,9	5	0,01	20	0,01	0,5
8	0,5	102.400	1.407,2	38	0,01	20	0,01	0,5
9	0,5	102.400	393,5	20	0,01	20	0,01	0,5

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multi layanan* untuk kasus 2 dengan β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$, $\beta_i > \beta_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$, $I_i > I_{i-1}$ dan $I_i < I_{i-1}$ dengan memasukkan nilai parameter pada Tabel 4.7 ke dalam Persamaan (2.2) dan Kendala (2.1a) sampai Kendala (2.2b) sehingga diperoleh formulasi sebagai berikut, berdasarkan fungsi objektif pada Persamaan (2.1) :

$$\begin{aligned}
 \text{Max } R &= \sum_{i=1}^9 (\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_i \cdot x_i \\
 &= (0,5 + \beta_1 I_1) \cdot 3x_1 + (0,5 + \beta_2 I_2) \cdot 45x_2 + \\
 &\quad (0,5 + \beta_3 I_3) \cdot 15x_3 + \dots + (0,5 + \beta_5 I_9) \cdot 20x_9 \quad (4.2)
 \end{aligned}$$

dengan Kendala (2.1a) sampai kendala (2.1g) yang analog dengan kendala pada kasus 1 yaitu Kendala (4.1a) sampai (4.1g), ditambah dengan Kendala (2.2a) didapat :

$$\beta_i \cdot I_i \geq \beta_{i-1} \cdot I_{i-1} ; \forall i = 2, 3, \dots, 9 \quad (4.2a)$$

dengan Kendala (2.2b) didapat :

$$0,01 \leq \beta_i \leq 0,5 ; \forall i = 1, 2, \dots, 9. \quad (4.2b)$$

Kasus 2 dengan memodifikasi indeks kualitas layanan i (I_i) dan kualitas premium layanan i (β_i), sehingga ditambahkan Kendala (4.1h) dan juga kendala berikut :

i) jika $\beta_i = \beta_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$\beta_i - \beta_{i-1} = 0$$

ii) jika $\beta_i > \beta_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$\beta_i - \beta_{i-1} = 0$$

iii) jika $\beta_i < \beta_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$\beta_i - \beta_{i-1} = 0; \forall i$$

$$= 2, 3, \dots, 9. \quad (4.2c)$$

3.5 Penggunaan Model pada Jaringan *Multi* Layanan untuk Kasus 3 : α dan β sebagai Variabel

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multi* layanan untuk kasus 3, yaitu α dan β sebagai variabel didasarkan pada Persamaan (2.3) dan Kendala (2.1a) sampai Kendala (2.1g), Kendala (2.2b), Kendala (2.3a) dan (2.3b) dengan banyaknya layanan adalah 9 layanan, sehingga $i = 1, 2, \dots, 9$. Harga dasar layanan i (α_i) sebagai variabel dimodifikasi menjadi $\alpha_i = \alpha_{i-1}$, $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\alpha_i < \alpha_{i-1}$. Kualitas premium layanan i (β_i) juga sebagai variabel dimodifikasi menjadi $\beta_i = \beta_{i-1}$, $\beta_i > \beta_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$. Model untuk kasus 3 juga dimodifikasi berdasarkan indeks kualitas layanan i (I_i) menjadi tiga kondisi, yaitu $I_i = I_{i-1}$, $I_i > I_{i-1}$, dan $I_i < I_{i-1}$, sehingga kasus 3 akan dibagi menjadi 27 kasus berdasarkan α_i , β_i dan I_i . Adapun nilai-nilai parameter yang digunakan pada model skema pembiayaan internet dalam jaringan *multi* layanan untuk kasus 3 disajikan dalam Tabel 4..8.

Tabel 4.. 8. Nilai-Nilai Parameter pada Jaringan *Multi* Layanan untuk Kasus 3

Layanan (i)	Parameter								
	C	d_i	p_i	m_i	n_i	b_i	u_i	c_i	g_i
1	102.400	97,5	3	0,01	20	0,01	0,5	0	1
2	102.400	13.312,3	45	0,01	20	0,01	0,5	0	1
3	102.400	367,9	15	0,01	20	0,01	0,5	0	1
4	102.400	825,8	35	0,01	20	0,01	0,5	0	1
5	102.400	593,5	32	0,01	20	0,01	0,5	0	1
6	102.400	489,3	25	0,01	20	0,01	0,5	0	1
7	102.400	98,9	5	0,01	20	0,01	0,5	0	1
8	102.400	1.407,2	38	0,01	20	0,01	0,5	0	1
9	102.400	393,5	20	0,01	20	0,01	0,5	0	1

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multi* layanan untuk kasus 3 dengan α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$, $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\alpha_i <$

α_{i-1} serta β_i juga sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$, $\beta_i > \beta_{i-1}$ dan $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$, $I_i > I_{i-1}$ dan $I_i < I_{i-1}$ dengan memasukkan nilai parameter pada Tabel 4.8 ke dalam Persamaan (2.2) dan Kendala (2.1a) sampai Kendala (2.3b) sehingga diperoleh formulasi sebagai berikut :

berdasarkan fungsi objektif pada Persamaan (2.3) :

$$\begin{aligned} \text{Max } R &= \sum_{i=1}^9 (\alpha_i + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_i \cdot x_i \\ &= (\alpha_1 + \beta_1 I_1) \cdot 3x_1 + (\alpha_2 + \beta_2 I_2) \cdot 45x_2 + \\ &\quad (\alpha_3 + \beta_3 I_3) \cdot 15x_3 + \dots + (\alpha_9 + \beta_5 I_9) \cdot 20x_9 \end{aligned} \quad (4.3)$$

dengan Kendala (2.1a) sampai Kendala (2.1g) yang analog dengan Kendala (4.1a) sampai (4.1g) pada kasus 1. Kendala (2.2b) juga analog dengan Kendala (4.2b) pada kasus 2, serta dengan kendala (2.3a) dan (2.3b) didapat :

$$\alpha_i + \beta_i \cdot I_i \geq \alpha_{i-1} + \beta_{i-1} \cdot I_{i-1} ; \forall i = 2, 3, \dots, 9 \quad (4.3a)$$

$$0 \leq \alpha_i \leq 1 ; \forall i = 1, 2, \dots, 9. \quad (4.3b)$$

Kasus 3 dengan memodifikasi I_i , α_i dan β_i juga ditambah Kendala (4.1h) dan Kendala (4.2c) serta kendala berikut :

i) jika $\alpha_i = \alpha_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$\alpha_i - \alpha_{i-1} = 0$$

ii) jika $\alpha_i > \alpha_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$\alpha_i - \alpha_{i-1} > 0$$

iii) jika $\alpha_i < \alpha_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$\alpha_i - \alpha_{i-1} < 0 ; \forall i = 2, 3, \dots, 9. \quad (4.3c)$$

3.6 Penggunaan Model pada Jaringan *Multi* Layanan untuk Kasus 4 : α sebagai Variabel dan β sebagai Konstanta

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multi* layanan untuk kasus 4, yaitu α sebagai variabel dan β sebagai konstanta didasarkan pada Persamaan (2.4) dengan Kendala (2.1a) sampai Kendala (2.1g) serta Kendala (2.3b) dan Kendala (2.4a) dengan banyaknya layanan adalah 9 layanan, sehingga $i = 1, 2, \dots, 9$. Harga dasar layanan i (α_i) sebagai variabel yaitu dengan $\alpha_i = \alpha_{i-1}$, $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\alpha_i < \alpha_{i-1}$. Model untuk kasus 4 juga dimodifikasi berdasarkan indeks kualitas layanan i (I_i) menjadi tiga kondisi, yaitu

$I_i = I_{i-1}$, $I_i > I_{i-1}$, dan $I_i < I_{i-1}$, sehingga kasus 4 akan dibagi menjadi 9 kasus berdasarkan α_i dan I_i . Adapun nilai-nilai parameter yang digunakan pada model skema pembiayaan internet dalam jaringan *multi* layanan untuk kasus 4 disajikan dalam Tabel 4..9.

Tabel 4.. 9. 9 Nilai-Nilai Parameter pada Jaringan *Multi* Layanan untuk Kasus 4

Layanan (i)	Parameter							
	β	C	d_i	p_i	m_i	n_i	c_i	g_i
1	0,01	102.400	97,5	3	0,01	20	0	1
2	0,01	102.400	13.312,3	45	0,01	20	0	1
3	0,01	102.400	367,9	15	0,01	20	0	1
4	0,01	102.400	825,8	35	0,01	20	0	1
5	0,01	102.400	593,5	32	0,01	20	0	1
6	0,01	102.400	489,3	25	0,01	20	0	1
7	0,01	102.400	98,9	5	0,01	20	0	1
8	0,01	102.400	1.407,2	38	0,01	20	0	1
9	0,01	102.400	393,5	20	0,01	20	0	1

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multi* layanan untuk kasus 4 dengan α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$, $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$, $I_i > I_{i-1}$ dan $I_i < I_{i-1}$ dengan memasukkan nilai parameter pada Tabel 4...9 ke dalam Persamaan (2.4) dengan Kendala (2.1a) sampai Kendala (2.1g) juga Kendala (2.3b) dan Kendala (2.4a) sehingga diperoleh formulasi sebagai berikut :

Berdasarkan fungsi objektif pada Persamaan (2.4) :

$$\begin{aligned}
 \text{Max } R &= \sum_{i=1}^9 (\alpha_i + \beta \cdot I_i) \cdot p_i \cdot x_i \\
 &= (\alpha_1 + 0,01I_1) \cdot 3x_1 + (\alpha_2 + 0,01I_2) \cdot 45x_2 + \\
 &\quad (\alpha_3 + 0,01I_3) \cdot 15x_3 + \dots + (\alpha_9 + 0,01I_9) \cdot 20x_9 \quad (4.4)
 \end{aligned}$$

dengan Kendala (2.1a) sampai Kendala (2.1g) yang analog dengan Kendala (4.1a) sampai (4.1g) pada kasus 1. Kendala (2.3b) analog dengan Kendala (4.3b), ditambah dengan Kendala (2.4a) didapat :

$$\alpha_i + I_i \geq \alpha_{i-1} + I_{i-1} ; \forall i = 2, 3, \dots, 9 \quad (4.4a)$$

Kasus 4 dengan memodifikasi I_i dan α_i sehingga ditambahkan juga Kendala (4.1h) dan Kendala (4.3c).

3.7 SolusiModel pada Jaringan *Multi* Layanan dengan Program LINGO untuk Kasus 1 : α dan β sebagai Konstanta 3.

Penggunaan model yang diperoleh pada Sub Bab 3.3 diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan solusi optimal dan nilai-nilai variabel yang digunakan. Kasus 1 dengan memodifikasi indeks kualitas layanan i (I_i) menjadi 3 kondisi, sehingga dibagi menjadi 3 kasus yaitu :

- 1) α dan β sebagai konstanta untuk $I_i=I_{i-1}$
- 2) α dan β sebagai konstanta untuk $I_i>I_{i-1}$
- 3) α dan β sebagai konstanta untuk $I_i<I_{i-1}$

Berdasarkan hasil yang diperoleh dengan menyelesaikan model menggunakan program LINGO 11.0, solusi yang diperoleh menunjukkan bahwa hanya ada 1 kasus yaitu α dan β sebagai konstanta untuk $I_i=I_{i-1}$ yang menghasilkan solusi optimal dan sesuai dengan kondisi $I_i=I_{i-1}$.

Tabel 4..10 sampai 4.12 berikut menyajikan hasil solusi optimal, nilai variabel dan solusi lanjut untuk model skema pembiayaan internet pada jaringan *multi* layanan untuk kasus 1 dengan α dan β sebagai konstanta untuk $I_i=I_{i-1}$.

Tabel 4.. 10. Solusi Optimal Kasus 1 untuk $I_i=I_{i-1}$

Solver Status	
<i>Model Class</i>	MINLP
<i>State</i>	Local Optimal
<i>Objective</i>	2.192,7
<i>Infeasibility</i>	$1,45 \cdot 10^{-11}$
<i>Iterations</i>	14
Extended Solver Status	
<i>Solver Type</i>	Branch and Bound
<i>Best Objective</i>	2.192,7
<i>Objective bound</i>	2.192,7
<i>Steps</i>	0
<i>Update Interval</i>	2
<i>Active</i>	0
<i>GMU (K)</i>	32
<i>ER (sec)</i>	0

Tabel 4..10 menunjukkan solusi optimal yang diperoleh sebesar 2.192,7. Hasil tersebut didapatkan melalui 14 iterasi dengan infeasibility bernilai $1,45 \cdot 10^{-11}$ atau mendekati nol. Extended solver status menunjukkan metode penyelesaian yang digunakan yaitu Branch and Bound dengan nilai objektif sebesar 2.192,7. *Generated Memory Used* (GMU) menunjukkan jumlah alokasi memori yang digunakan yaitu sebesar 32K dan *Elapsed Runtime* (ER) menjelaskan tentang total waktu yang digunakan untuk menghasilkan dan menyelesaikan model yaitu 0 detik.

Tabel 4.. 11. Nilai Variabel dalam Jaringan *Multi* Layanan pada Kasus 1 untuk

Variabel	Layanan (i)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_i	0,291	0,291	0,291	0,291	0,291	0,291	0,291	0,291	0,291
x_i	20	20	20	20	20	20	20	20	20

Tabel 4.. 12. Solusi Lanjut Kasus 1 untuk $I_i=I_{i-1}$

Solusi Lanjut	Layanan (i)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kapasitas yang digunakan ($I_i \cdot d_i \cdot x_i$)	557,3	77.523,4	2.142,4	4.809	3.456,2	2.849,4	575,9	8.194,8	2.291,5
Total kapasitas yang digunakan	102.399,99								
Pendapatan ($((\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_i \cdot x_i)$)	30,17	452,6	150,9	352,04	321,86	251,46	50,29	382,2	201,16
Total Pendapatan	2.192,7								

Tabel 4..12 menunjukkan bahwa total pendapatan maksimum yang diperoleh pada kasus 1 untuk $I_i=I_{i-1}$ adalah sebesar 2.192,7 rupiah (per kbps), dengan tingkat QoS untuk semua layanan adalah 0,291 atau sebesar 29,1%. Jumlah pengguna setiap layanan adalah 20 pengguna, artinya penyedia layanan menawarkan semua layanan kepada pengguna. Total kapasitas yang digunakan sebesar 102.399,99 kbps

atau sebesar 99,99% dari kapasitas total yang disediakan yaitu 102.400 kbps. Pendapatan terbesar diperoleh pada layanan 2 yaitu sebesar 452,6 rupiah (per kbps) dengan besar kapasitas yang digunakan adalah 77.523,4 kbps atau 75,7% dari total kapasitas yang digunakan.

3.8 Solusi Model pada Jaringan *Multi* Layanan dengan Program LINGO untuk Kasus 2 : α Konstanta dan β Variabel

Penggunaan model yang diperoleh pada Sub Bab 4.4 diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan solusi optimal dan nilai-nilai variabel yang digunakan. Kasus 2 dengan memodifikasi kasus berdasarkan kualitas premium layanan i (β_i) dan indeks kualitas layanan i (I_i), sehingga kasus 2 dibagi menjadi 9 kasus yaitu :

- 1) α konstanta dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$
- 2) α konstanta dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$
- 3) α konstanta dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$
- 4) α konstanta dan β_i sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$
- 5) α konstanta dan β_i sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$
- 6) α konstanta dan β_i sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$
- 7) α konstanta dan β_i sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$
- 8) α konstanta dan β_i sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$
- 9) α konstanta dan β_i sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$

Berdasarkan hasil yang diperoleh dengan menyelesaikan model menggunakan program LINGO 11.0, solusi yang diperoleh menunjukkan bahwa dari 9 kasus hanya ada 1 kasus dengan solusi yang memenuhi yaitu α sebagai konstanta dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$. Kasus tersebut menghasilkan solusi optimal yang sesuai dengan modifikasi kasus berdasarkan β_i dan I_i .

Tabel 4.13 sampai 4.15 berikut menyajikan hasil solusi optimal, nilai variabel, dan solusi lanjut dari model skema pembiayaan internet pada jaringan *multi* layanan untuk kasus 2 dengan α sebagai konstanta dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$.

Tabel 4.. 13. Solusi Optimal Kasus 2 dengan β_i sebagai β_{i-1} untuk $I_i = I_{i-1}$

Solver Status	
<i>Model Class</i>	MINLP
<i>State</i>	Local Optimal
<i>Objective</i>	2.814,76
<i>Infeasibility</i>	$1,14 \cdot 10^{-11}$
<i>Iterations</i>	14
Extended Solver Status	
<i>Solver Type</i>	Branch and Bound
<i>Best Objective</i>	2.814,76
<i>Objective bound</i>	2.814,76
<i>Steps</i>	0
<i>Update Interval</i>	2
<i>Active</i>	0
<i>GMU (K)</i>	40
<i>ER (sec)</i>	0

Tabel 4..13 menunjukkan solusi optimal yang diperoleh sebesar 2.814,76. Hasil tersebut didapatkan melalui 14 iterasi dengan infeasibility bernilai $1,14 \cdot 10^{-11}$ atau mendekati nol. *Extended solver* status menunjukkan metode penyelesaian yang digunakan yaitu *Branch and Bound* dengan nilai objektif sebesar 2.814,76. *Generated Memory Used* (GMU) menunjukkan jumlah alokasi memori yang digunakan yaitu sebesar 40K dan *Elapsed Runtime* (ER) menjelaskan tentang total waktu yang digunakan untuk menghasilkan dan menyelesaikan model yaitu 0 detik.

Tabel 4.. 14. Nilai Variabel dalam Jaringan *Multi Layanan* pada Kasus 2 dengan

Variabel	Layanan (i)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_i	0,291	0,291	0,291	0,291	0,291	0,291	0,291	0,291	0,291
x_i	20	20	20	20	20	20	20	20	20
β_i	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Tabel 4.. 15. Solusi Lanjut Kasus 2 dengan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i=I_{i-1}$

Solusi Lanjut	Layanan (i)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kapasitas yang digunakan ($I_i \cdot d_i \cdot x_i$)	557,3	77.523,4	2.142,4	4.809	3.456,2	2.849,4	575,9	8.194,8	2291,5
Total kapasitas yang digunakan	102.399,99								
Pendapatan $((\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_i \cdot x_i)$	38,74	581,03	193,68	451,9	413,18	322,79	64,56	490,65	258,23
Total pendapatan	2.814,76								

Total pendapatan maksimum yang diperoleh pada kasus 2 dengan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i=I_{i-1}$ adalah sebesar 2.814,76 rupiah (per kbps). Kualitas premium mempunyai solusi sebesar 0,5 untuk setiap layanan dengan nilai tingkat QoS untuk setiap layanan adalah 0,291 atau sebesar 29,1%. Jumlah pengguna setiap layanan adalah 20 pengguna, artinya penyedia layanan menawarkan semua layanan kepada pengguna. Total kapasitas yang digunakan sebesar 102.399,99 kbps atau sebesar 99,99% dari total kapasitas yang disediakan yaitu 102.400 kbps. Pendapatan terbesar diperoleh pada layanan 2 yaitu sebesar 581,03 rupiah (per kbps) dengan besar kapasitas yang digunakan 77.523,4 kbps atau 75,7% dari total kapasitas yang digunakan dan merupakan penggunaan kapasitas terbesar dari setiap layanan.

3.9 SolusiModel pada Jaringan *Multi* Layanan dengan Program LINGO untuk Kasus 3 : α dan β sebagai Variabel

Penggunaan model yang diperoleh pada Sub Bab 3.5 diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan solusi optimal dan nilai-nilai variabel yang digunakan. Kasus 3 dengan memodifikasi kasus berdasarkan harga dasar layanan i (α_i), kualitas premium layanan i (β_i) dan indeks kualitas layanan i (I_i), sehingga kasus 3 dibagi menjadi 27 kasus yaitu :

1) α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i=I_{i-1}$

- 2) α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$
- 3) α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$
- 4) α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$
- 5) α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$
- 6) α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$
- 7) α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$
- 8) α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$
- 9) α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$
- 10) α_i sebagai $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$
- 11) α_i sebagai $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$
- 12) α_i sebagai $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$
- 13) α_i sebagai $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$
- 14) α_i sebagai $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$
- 15) α_i sebagai $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$
- 16) α_i sebagai $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$
- 17) α_i sebagai $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$
- 18) α_i sebagai $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$
- 19) α_i sebagai $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$
- 20) α_i sebagai $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$
- 21) α_i sebagai $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$
- 22) α_i sebagai $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$
- 23) α_i sebagai $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$
- 24) α_i sebagai $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$
- 25) α_i sebagai $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$
- 26) α_i sebagai $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$
- 27) α_i sebagai $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$.

Berdasarkan hasil yang diperoleh dengan menyelesaikan model menggunakan program LINGO 11.0, solusi yang diperoleh menunjukkan bahwa hanya ada 1 kasus yaitu α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$ yang menghasilkan solusi optimal dan sesuai dengan modifikasi kasus berdasarkan α_i , β_i dan I_i .

Tabel 4..16 sampai 4..18 berikut menyajikan hasil solusi optimal, nilai variabel dan solusi lanjut dari model skema pembiayaan internet pada jaringan *multi* layanan untuk kasus 3 dengan α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$.

Tabel 4.. 16. Solusi Optimal Kasus 3 dengan α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai

Solver Status	
<i>Model Class</i>	MINLP
<i>State</i>	Local Optimal
<i>Objective</i>	4.994,76
<i>Infeasibility</i>	$1,43 \cdot 10^{-3}$
<i>Iterations</i>	30
Extended Solver Status	
<i>Solver Type</i>	Branch and Bound
<i>Best Objective</i>	4.994,76
<i>Objective bound</i>	4.994,76
<i>Steps</i>	1
<i>Update Interval</i>	2
<i>Active</i>	0
<i>GMU (K)</i>	47
<i>ER (sec)</i>	0

Tabel 4..16 menunjukkan solusi optimal yang diperoleh sebesar 4.994,76. Hasil tersebut didapatkan melalui 30 iterasi dengan infeasibility bernilai $1,43 \cdot 10^{-3}$ atau mendekati nol. Extended solver status menunjukkan metode penyelesaian yang digunakan yaitu Branch and Bound dengan nilai objektif sebesar 4.994,76. *Generated Memory Used* (GMU) menunjukkan jumlah alokasi memori yang digunakan yaitu sebesar 47K dan *Elapsed Runtime* (ER) menjelaskan tentang total waktu yang digunakan untuk menghasilkan dan menyelesaikan model yaitu 0 detik.

Tabel 4.. 17. Nilai Variabel dalam Jaringan *Multi Layanan* pada Kasus 3 dengan α_i sebagai $\alpha_i=\alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i=\beta_{i-1}$ untuk $I_i=I_{i-1}$

Variabel	Layanan (i)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_i	0,291	0,291	0,291	0,291	0,291	0,291	0,291	0,291	0,291
x_i	20	20	20	20	20	20	20	20	20
α_i	1	1	1	1	1	1	1	1	1
β_i	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

**Tabel 4.. 18. Solusi Lanjut Kasus 3 dengan α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$
dan β_i sebagai $\beta = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$**

Solusi lanjut	Layanan (i)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kapasitas yang digunakan ($I_i \cdot d_i \cdot x_i$)	557,3	77.523,4	2.142,4	4.809	3.456,2	2.849,4	575,9	8.194,8	2.291,5
Total kapasitas yang digunakan	102.399,99								
Pendapatan ($((\alpha + \beta \cdot I_i) \cdot p_i \cdot x_i)$)	68,74	1.031,03	343,68	801,9	733,18	572,79	114,56	870,65	458,23
Total pendapatan	4.994,76								

Total pendapatan maksimum yang diperoleh pada kasus 3 dengan α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$ adalah sebesar 4.994,76 rupiah (per kbps). Harga dasar dan kualitas premium secara berturut-turut memiliki solusi sebesar 1 dan 0,5 untuk setiap layanan dengan nilai tingkat QoS untuk setiap layanan adalah 0,291 atau sebesar 29,1%. Jumlah pengguna setiap layanan adalah 20 pengguna, artinya penyedia layanan menawarkan semua layanan kepada pengguna. Total kapasitas yang digunakan sebesar 102.399,99 kbps atau sebesar 99,99% dari total kapasitas yang disediakan yaitu 102.400 kbps. Pendapatan terbesar diperoleh pada layanan 2 yaitu sebesar 1.031,03 rupiah (per kbps) dengan besar kapasitas yang digunakan 77.523,4 kbps atau 75,7% dari total kapasitas yang digunakan dan merupakan penggunaan kapasitas terbesar dari setiap layanan.

3.10 Solusi Model pada Jaringan Multi Layanan dengan Program LINGO untuk Kasus 4 : α Variabel dan β Konstanta

Penggunaan model yang diperoleh pada Sub Bab 3.6 diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan solusi optimal dan nilai-nilai variabel yang digunakan. Kasus 4 dengan memodifikasi kasus berdasarkan harga dasar layanan i (α_i) dan indeks kualitas layanan i (I_i), sehingga kasus 4 dibagi menjadi 9 kasus yaitu :

- 1) α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β sebagai konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$

- 2) α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β sebagai konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$
- 3) α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β sebagai konstanta untuk $I_i < I_{i-1}$
- 4) α_i sebagai $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β sebagai konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$
- 5) α_i sebagai $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β sebagai konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$
- 6) α_i sebagai $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β sebagai konstanta untuk $I_i < I_{i-1}$
- 7) α_i sebagai $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β sebagai konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$
- 8) α_i sebagai $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β sebagai konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$
- 9) α_i sebagai $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β sebagai konstanta untuk $I_i < I_{i-1}$

Berdasarkan hasil yang diperoleh dengan menyelesaikan model menggunakan program LINGO 11.0, solusi yang diperoleh menunjukkan bahwa hanya ada 1 kasus yaitu α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β sebagai konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$ yang menghasilkan solusi optimal dan sesuai dengan modifikasi kasus berdasarkan α_i dan I_i .

Tabel 4..19 sampai 4.21 berikut menyajikan hasil solusi optimal, nilai variabel dan solusi lanjut dari model skema pembiayaan internet pada jaringan *multi* layanan untuk kasus 3 dengan α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β sebagai konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$.

Tabel 4.. 19. Solusi Optimal Kasus 4 dengan α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$

Solver Status	
<i>Model Class</i>	MINLP
<i>State</i>	<i>Local Optimal</i>
<i>Objective</i>	4.372,7
<i>Infeasibility</i>	$9,98 \cdot 10^{-4}$
<i>Iterations</i>	31
Extended Solver Status	
<i>Solver Type</i>	<i>Branch and Bound</i>
<i>Best Objective</i>	4.372,7
<i>Objective bound</i>	4.372,7
<i>Steps</i>	1
<i>Update Interval</i>	2
<i>Active</i>	0
<i>GMU (K)</i>	41
<i>ER (sec)</i>	0

Tabel 4..19 menunjukkan solusi optimal yang diperoleh sebesar 4.372,7. Hasil tersebut didapatkan melalui 31 iterasi dengan infeasibility bernilai $9,98 \cdot 10^{-4}$ atau mendekati nol. Extended solver status menunjukkan metode penyelesaian yang digunakan yaitu Branch and Bound dengan nilai objektif sebesar 4.372,7. *Generated Memory Used* (GMU) menunjukkan jumlah alokasi memori yang digunakan yaitu sebesar 41K dan *Elapsed Runtime* (ER) menjelaskan tentang total waktu yang digunakan untuk menghasilkan dan menyelesaikan model yaitu 0 detik.

Tabel 4.. 20. Nilai Variabel dalam Jaringan *Multi Layanan* pada Kasus 4 dengan α_i sebagai $\alpha_i=\alpha_{i-1}$ untuk $I_i=I_{i-1}$

Variabel	Layanan (i)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_i	0,291	0,291	0,291	0,291	0,291	0,291	0,291	0,291	0,291
x_i	20	20	20	20	20	20	20	20	20
α_i	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabel 4.. 21. Solusi Lanjut Kasus 4 dengan α_i sebagai $\alpha_i=\alpha_{i-1}$ untuk $I_i=I_{i-1}$

Solusi lanjut	Layanan (i)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kapasitas yang digunakan ($I_i \cdot d_i \cdot x_i$)	557,3	77.523,4	2.142,4	4.809	3.456,2	2.849,4	575,9	8.194,8	2.291,5
Total kapasitas yang digunakan	102.399,99								
Pendapatan (($\alpha+\beta_i \cdot I_i$) $\cdot p_i \cdot x_i$)	60,17	902,62	300,87	702,04	641,86	501,46	100,29	762,21	401,16
Total pendapatan	4.372,7								

Total pendapatan maksimum yang diperoleh pada kasus 4 dengan α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β sebagaikonstanta untuk $I_i=I_{i-1}$ adalah sebesar 4.372,7 rupiah (per kbps). Harga dasar memiliki solusi sebesar 1 untuk setiap layanan dengan nilai tingkat QoS untuk setiap layanan adalah 0,291 atau sebesar 29,1%. Jumlah pengguna setiap layanan adalah 20 pengguna, artinya penyedia layanan menawarkan semua

layanan kepada pengguna. Total kapasitas yang digunakan sebesar 102.399,99 kbps atau sebesar 99,99% dari total kapasitas yang disediakan yaitu 102.400 kbps. Pendapatan terbesar diperoleh pada layanan 2 yaitu sebesar 902,62 rupiah (per kbps) dengan besar kapasitas yang digunakan 77.523,4 kbps atau 75,7% dari total kapasitas yang digunakan dan merupakan penggunaan kapasitas terbesar dari setiap layanan.

3,11 Rekapitulasi Solusi Penggunaan Model pada Jaringan *Multi Layanan*

Berdasarkan hasil solusi model jaringan *multi* layanan pada Sub Bab 4.7 sampai Sub Bab 4..10 diperoleh rekapitulasi solusi dari penggunaan model untuk skema pembiayaan internet pada setiap kasus yang disajikan dalam Tabel 4.22.

Tabel 4.. 22. Rekapitulasi Solusi Model pada Jaringan *Multi Layanan*

Solusi Lanjut	Kasus			
	1	2	3	4
Kapasitas total yang digunakan (kbps)	102.399,99	102.399,99	102.399,99	102.399,99
PerSentase kapasitas total yang digunakan	99,99%	99,99%	99,99%	99,99%
Pendapatan terbesar per layanan	452,6	581,03	1.031,03	902,62
Total pendapatan	2.192,7	2.814,76	4.994,76	4.372,7

Hasil rekapitulasi pada Tabel 4...22 menunjukkan bahwa total pendapatan maksimum diperoleh pada kasus 3 dengan α_i sebagai $\alpha_i=\alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i=\beta_{i-1}$ untuk $I_i=I_{i-1}$ yaitu sebesar 4.994,76 rupiah (per kbps). Jadi, ISP dapat mengadopsi model skema pembiayaan internet pada jaringan *multi* layanan dengan mengatur harga dasar dan kualitas premium sebagai variabel dengan syarat nilai harga dasar, kualitas premium dan tingkat QoS yang sama untuk setiap layanan.

3.12 Pendefinisian Parameter dan Variabel Keputusan pada Model Jaringan Multi Kelas QoS

Model skema pembiayaan internet link tunggal dalam jaringan *multi* kelas QoS terbagi menjadi 6 model yaitu :

- 1) model 1 original
- 2) model 1 modifikasi 1 dengan α dan β sebagai konstanta
- 3) model 1 modifikasi 2 dengan α konstanta dan β variabel
- 4) model 2 original
- 5) model 2 modifikasi 1 dengan α variabel dan β konstanta
- 6) model 2 modifikasi 2 dengan α dan β sebagai variabel

Parameter dan variabel keputusan yang digunakan pada setiap model tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.23 dan 4.24.

Tabel 4.. 23. Parameter untuk Setiap Model pada Jaringan Multi Kelas QoS

Parameter untuk model 1 original	
α_j	: harga dasar kelas j
Q	: total <i>bandwidth</i>
V_i	: <i>bandwidth</i> minimum yang dibutuhkan oleh pengguna i
c_j	: nilai yang telah ditentukan dari batas atas untuk harga sensitivitas pengguna i dalam kelas j
Parameter untuk model 1 modifikasi 1 dengan α dan β sebagai konstanta	
α_j	: harga dasar kelas j
β_j	: kualitas premium kelas j
Q	: total <i>bandwidth</i>
V_i	: <i>bandwidth</i> minimum yang dibutuhkan oleh pengguna i
c_j	: nilai yang telah ditentukan dari batas atas untuk harga sensitivitas pengguna i dalam kelas j
d_j	: nilai indeks kualitas maksimum untuk kelas j
Parameter untuk model 1 modifikasi 2 dengan α konstanta dan β variabel	
α_j	: harga dasar kelas j
Q	: total <i>bandwidth</i>
V_i	: <i>bandwidth</i> minimum yang dibutuhkan oleh pengguna i
c_j	: nilai yang telah ditentukan dari batas atas untuk harga sensitivitas pengguna i dalam kelas j

d_j	: nilai indeks kualitas maksimum untuk kelas j
f	: nilai kualitas premium minimum untuk kelas j
g	: nilai kualitas premium maksimum untuk kelas j
Parameter untuk model 2 original	
Q	: total <i>bandwidth</i>
V_i	: <i>bandwidth</i> minimum yang dibutuhkan oleh pengguna i
c_j	: nilai yang telah ditentukan dari batas atas untuk harga <i>sensitivitas</i> pengguna i dalam kelas j
a	: nilai harga dasar maksimum untuk kelas j
b	: nilai harga dasar minimum untuk kelas j
Parameter untuk model 2 modifikasi 1 dengan α variabel dan β konstanta	
β_j	kualitas premium kelas j
Q	: total <i>bandwidth</i>
V_i	: <i>bandwidth</i> minimum yang dibutuhkan oleh pengguna i
c_j	: nilai yang telah ditentukan dari batas atas untuk harga <i>sensitivitas</i> pengguna i dalam kelas j
d_j	: nilai indeks kualitas maksimum untuk kelas j
a	: nilai harga dasar maksimum untuk kelas j
b	: nilai harga dasar minimum untuk kelas j
Parameter untuk model 2 modifikasi 2 dengan α dan β variabel	
Q	: total <i>bandwidth</i>
V_i	: <i>bandwidth</i> minimum yang dibutuhkan oleh pengguna i
c_j	: nilai yang telah ditentukan dari batas atas untuk harga <i>sensitivitas</i> pengguna i dalam kelas j
d_j	: nilai indeks kualitas maksimum untuk kelas j
f	: nilai kualitas premium minimum untuk kelas j
g	: nilai kualitas premium maksimum untuk kelas j
a_j	: nilai harga dasar maksimum untuk kelas j
b_j	: nilai harga dasar minimum untuk kelas j

Tabel 4.. 24. Variabel Keputusan untuk Setiap Model pada Jaringan *Multi Kelas QoS*

Variabel keputusan untuk model 1 original	
Z_{ij}	: $\begin{cases} 1, & \text{jika pengguna } i \text{ berada di kelas } j \\ 0, & \text{pengguna } i \text{ tidak berada di kelas } j \end{cases}$
$\tilde{X}_{ij}$	: <i>bandwidth</i> akhir yang diperoleh pengguna <i>i</i> untuk kelas <i>j</i>
W_j	: harga <i>sensitivitas</i> untuk kelas <i>j</i>
L_{mj}	: <i>bandwidth</i> minimum untuk kelas <i>j</i>
X_j	: <i>bandwidth</i> untuk tiap individu di kelas <i>j</i>
$\tilde{W}_{ij}$	: harga <i>sensitivitas</i> pengguna <i>i</i> di kelas <i>j</i>
Variabel keputusan untuk model 1 modifikasi 1	
Z_{ij}	: $\begin{cases} 1, & \text{jika pengguna } i \text{ berada di kelas } j \\ 0, & \text{pengguna } i \text{ tidak berada di kelas } j \end{cases}$
$\tilde{X}_{ij}$	: <i>bandwidth</i> akhir yang diperoleh pengguna <i>i</i> untuk kelas <i>j</i>
W_j	: harga <i>sensitivitas</i> untuk kelas <i>j</i>
L_{mj}	: <i>bandwidth</i> minimum untuk kelas <i>j</i>
X_j	: <i>bandwidth</i> untuk tiap individu di kelas <i>j</i>
$\tilde{W}_{ij}$	: harga <i>sensitivitas</i> pengguna <i>i</i> di kelas <i>j</i>
I_j	: indeks kualitas kelas <i>j</i>
Variabel keputusan untuk model 1 modifikasi 2	
Z_{ij}	: $\begin{cases} 1, & \text{jika pengguna } i \text{ berada di kelas } j \\ 0, & \text{pengguna } i \text{ tidak berada di kelas } j \end{cases}$
$\tilde{X}_{ij}$	: <i>bandwidth</i> akhir yang diperoleh pengguna <i>i</i> untuk kelas <i>j</i>
W_j	: harga <i>sensitivitas</i> untuk kelas <i>j</i>
L_{mj}	: <i>bandwidth</i> minimum untuk kelas <i>j</i>
X_j	: <i>bandwidth</i> untuk tiap individu di kelas <i>j</i>
$\tilde{W}_{ij}$	: harga <i>sensitivitas</i> pengguna <i>i</i> di kelas <i>j</i>
I_j	: indeks kualitas kelas <i>j</i>
β_i	: kualitas premium untuk kelas <i>j</i>
Variabel keputusan untuk model 2 original	
Z_{ij}	: $\begin{cases} 1, & \text{jika pengguna } i \text{ berada di kelas } j \\ 0, & \text{pengguna } i \text{ tidak berada di kelas } j \end{cases}$
$\tilde{X}_{ij}$	: <i>bandwidth</i> akhir yang diperoleh pengguna <i>i</i> untuk kelas <i>j</i>
W_j	: harga <i>sensitivitas</i> untuk kelas <i>j</i>
L_{mj}	: <i>bandwidth</i> minimum untuk kelas <i>j</i>
X_j	: <i>bandwidth</i> untuk tiap individu di kelas <i>j</i>
$\tilde{W}_{ij}$	: harga <i>sensitivitas</i> pengguna <i>i</i> di kelas <i>j</i>
α_j	: harga dasar kelas <i>j</i>

Variabel keputusan untuk model 2 modifikasi 1	
Z_{ij}	: $\begin{cases} 1, & \text{jika pengguna } i \text{ berada di kelas } j \\ 0, & \text{pengguna } i \text{ tidak berada di kelas } j \end{cases}$
$\tilde{X}_{ij}$	: <i>bandwidth</i> akhir yang diperoleh pengguna i untuk kelas j
W_j	: harga <i>sensitivitas</i> untuk kelas j
L_{mj}	: <i>bandwidth</i> minimum untuk kelas j
X_j	: <i>bandwidth</i> untuk tiap individu di kelas j
$\tilde{W}_{ij}$	: harga <i>sensitivitas</i> pengguna i di kelas j
I_j	: indeks kualitas kelas j
α_j	: harga dasar kelas j
Variabel keputusan untuk model 2 modifikasi 2	
Z_{ij}	: $\begin{cases} 1, & \text{jika pengguna } i \text{ berada di kelas } j \\ 0, & \text{pengguna } i \text{ tidak berada di kelas } j \end{cases}$
$\tilde{X}_{ij}$	: <i>bandwidth</i> akhir yang diperoleh pengguna i untuk kelas j
W_j	: harga <i>sensitivitas</i> untuk kelas j
L_{mj}	: <i>bandwidth</i> minimum untuk kelas j
X_j	: <i>bandwidth</i> untuk tiap individu di kelas j
$\tilde{W}_{ij}$	: harga <i>sensitivitas</i> pengguna i di kelas j
I_j	: indeks kualitas kelas j
α_j	: harga dasar kelas j
β_j	: kualitas premium kelas j

3.13 Penggunaan Model pada Jaringan *Multi* Kelas QoS

Nilai V_i untuk setiap model pada jaringan *multi* kelas QoS diperoleh dari nilai akhir pada data *Traffic* yaitu $V_1 = 117,09$; $V_2 = 8.737,61$ dan $V_3 = 160,71$.

3.13.1 Model 1 Original

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multi* kelas QoS untuk model 1 original diperoleh dengan memasukkan nilai parameter pada Tabel 4.25 ke dalam Persamaan (2.5) dengan Kendala (2.5a) sampai (2.5l).

Tabel 4.. 25. Nilai-Nilai Parameter pada Model 1 Original

Parameter	Kelas (j)		
	1	2	3
Q	30.720	30.720	30.720
α_j	0,3	0,4	0,5
c_j	4	5	6

Berdasarkan fungsi objektif pada Persamaan (2.5) :

$$\begin{aligned}
 \text{Max Profit} = & \left(0,3 \cdot Z_{11} + W_1 \cdot \log \frac{x_{11}}{L_{m1}} \right) + \\
 & \left(0,3 \cdot Z_{21} + W_1 \cdot \log \frac{x_{21}}{L_{m1}} \right) + \\
 & \left(0,3 \cdot Z_{31} + W_1 \cdot \log \frac{x_{31}}{L_{m1}} \right) + \dots + \\
 & \left(0,5 \cdot Z_{33} + W_3 \right. \\
 & \left. \cdot \log \frac{x_{33}}{L_{m3}} \right)
 \end{aligned} \tag{4.5}$$

dengan Kendala (2.5a) :

$$(\tilde{X}_{11} + \tilde{X}_{21} + \tilde{X}_{31} + \tilde{X}_{12} + \tilde{X}_{22} + \dots + \tilde{X}_{33}) \leq 30.720 \tag{4.5a}$$

dengan Kendala (2.5b) :

$$\begin{aligned}
 \tilde{X}_{11} & \geq L_{m1} - (1 - Z_{11}) \\
 \tilde{X}_{21} & \geq L_{m1} - (1 - Z_{21}) \\
 \tilde{X}_{31} & \geq L_{m1} - (1 - Z_{31}) \\
 \tilde{X}_{12} & \geq L_{m2} - (1 - Z_{12}) \\
 \tilde{X}_{33} & \geq L_{m3} - (1 - Z_{33})
 \end{aligned} \tag{4.5b}$$

dengan Kendala (2.5c) didapat :

$$\begin{aligned}
 W_1 & \leq \tilde{W}_{11} + (1 - Z_{11}) \\
 W_1 & \leq \tilde{W}_{21} + (1 - Z_{21}) \\
 W_1 & \leq \tilde{W}_{31} + (1 - Z_{31}) \\
 W_2 & \leq \tilde{W}_{12} + (1 - Z_{12}) \\
 W_3 & \leq \tilde{W}_{33} + (1 - Z_{33})
 \end{aligned} \tag{4.5c}$$

dengan Kendala (2.5d) :

$$\begin{aligned}
 \tilde{X}_{11} & \geq V_1 - (1 - Z_{11}) \\
 \tilde{X}_{12} & \geq V_1 - (1 - Z_{12}) \\
 \tilde{X}_{13} & \geq V_1 - (1 - Z_{13}) \\
 \tilde{X}_{21} & \geq V_2 - (1 - Z_{21}) \\
 \tilde{X}_{33} & \geq V_3 - (1 - Z_{33})
 \end{aligned} \tag{4.5d}$$

dengan Kendala (2.5e) :

$$\begin{aligned}
 \tilde{X}_{11} & \geq X_1 - (1 - Z_{11}) \\
 \tilde{X}_{21} & \geq X_1 - (1 - Z_{21}) \\
 \tilde{X}_{31} & \geq X_1 - (1 - Z_{31}) \\
 \tilde{X}_{12} & \geq X_2 - (1 - Z_{12})
 \end{aligned}$$

$$\tilde{X}_{33} \geq X_3 - (1 - Z_{33}) \quad (4.5e)$$

dengan Kendala (2.5f) :

$$\begin{aligned} \tilde{X}_{11} &\geq Z_{11} \\ \tilde{X}_{21} &\geq Z_{21} \\ \tilde{X}_{31} &\geq Z_{31} \\ \tilde{X}_{12} &\geq Z_{12} \\ \tilde{X}_{33} &\geq Z_{33} \end{aligned} \quad (4.5f)$$

dengan Kendala (2.5g) :

$$\begin{aligned} \tilde{X}_{11} &\geq 0 \\ \tilde{X}_{21} &\geq 0 \\ \tilde{X}_{31} &\geq 0 \\ \tilde{X}_{12} &\geq 0 \\ \tilde{X}_{33} &\geq 0 \end{aligned} \quad (4.5g)$$

dengan Kendala (2.5h) :

$$\begin{aligned} L_{m1} &\geq 0 \\ L_{m2} &\geq 0 \\ L_{m3} &\geq 0 \end{aligned} \quad (4.5h)$$

dengan Kendala (2.5i) :

$$\begin{aligned} W_1 &\geq 0 \\ W_2 &\geq 0 \\ W_3 &\geq 0 \end{aligned} \quad (4.5i)$$

dengan Kendala (2.5j) :

$$\begin{aligned} \tilde{X}_{11} &\leq X_1 \\ \tilde{X}_{21} &\geq X_1 \\ \tilde{X}_{31} &\geq X_1 \\ \tilde{X}_{12} &\geq X_2 \\ \tilde{X}_{33} &\geq X_3 \end{aligned} \quad (4.5j)$$

dengan Kendala (2.5k) :

$$\begin{aligned} Z_{11} &= \begin{cases} 1, & \text{pengguna 1 berada di kelas 1} \\ 0, & \text{pengguna 1 tidak berada di kelas 1} \end{cases} \\ Z_{21} &= \begin{cases} 1, & \text{pengguna 2 berada di kelas 1} \\ 0, & \text{pengguna 2 tidak berada di kelas 1} \end{cases} \\ Z_{31} &= \begin{cases} 1, & \text{pengguna 3 berada di kelas 1} \\ 0, & \text{pengguna 3 tidak berada di kelas 1} \end{cases} \\ Z_{12} &= \begin{cases} 1, & \text{pengguna 1 berada di kelas 2} \\ 0, & \text{pengguna 1 tidak berada di kelas 2} \end{cases} \end{aligned}$$

$$Z_{33} = \begin{cases} 1, & \text{pengguna 3 berada di kelas 3} \\ 0, & \text{pengguna 3 tidak berada di kelas 3} \end{cases} \quad (4.5k)$$

dengan Kendala (2.5l) :

$$\begin{aligned} 0 &\leq \tilde{W}_{1j} \leq 4 \\ 0 &\leq \tilde{W}_{2j} \leq 5 \\ 0 &\leq \tilde{W}_{3j} \leq 6 ; \forall j = 1, 2, 3. \end{aligned} \quad (4.5l)$$

3.13.2 Model 1 Modifikasi 1 dengan α dan β sebagai Konstanta

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multi* kelas QoS untuk model 1 modifikasi 1 diperoleh dengan memasukkan nilai parameter pada Tabel 4..26 ke dalam persamaan (2.6) dengan Kendala (2.5a) sampai (2.5l) dan Kendala (2.6a) sampai (2.6d).

Tabel 4.. 26. Nilai-Nilai Parameter pada Model 1 Modifikasi 1

1Parameter	Kelas (j)		
	1	2	3
Q	30.720	30.720	30.720
α_j	0,3	0,4	0,5
β_j	0,01	0,05	0,1
c_j	4	5	6
d_j	0,8	0,9	1

Berdasarkan fungsi objektif pada Persamaan (2.6) dengan α dan β sebagai konstanta :

$$\begin{aligned} \text{Max } R = & \left((0,3 \cdot Z_{11} + 0,01 \cdot I_1) + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{11}}{L_{m_1}} \right) + \\ & \left((0,3 \cdot Z_{21} + 0,01 \cdot I_1) + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{21}}{L_{m_1}} \right) + \\ & \left((0,3 \cdot Z_{31} + 0,01 \cdot I_1) + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{31}}{L_{m_1}} \right) + \\ & \left((0,4 \cdot Z_{12} + 0,05 \cdot I_2) + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{12}}{L_{m_2}} \right) + \dots + \\ & \left((0,5 \cdot Z_{33} + 0,1 \cdot I_3) + W_3 \log \frac{\tilde{X}_{33}}{L_{m_3}} \right) \end{aligned} \quad (4.6)$$

Selanjutnya dengan Kendala (2.5a) sampai Kendala (2.5l) analog dengan Kendala (4.5a) sampai (4.5b) dalam Sub Bab 3.13.1 pada model 1 original dan juga ditambahkan dengan kendala-kendala berikut,

dengan Kendala (2.6a) :

$$\begin{aligned} 0,4 + 0,05 \cdot I_2 &\geq 0,3 + 0,01 \cdot I_1 \\ 0,5 + 0,1 \cdot I_3 &\geq 0,4 + 0,05 \cdot I_2 \end{aligned} \quad (4.6a)$$

dengan Kendala (2.6b) :

$$\begin{aligned} 0 &\leq I_1 \leq 0,8 \\ 0 &\leq I_2 \leq 0,9 \\ 0 &\leq I_3 \leq 1 \end{aligned} \quad (4.6b)$$

Model 1 modifikasi 1 terbagi menjadi tiga yaitu :

- 1) Jika $\tilde{W}_{ij}$ parameter dan W_j variabel, maka ditambahkan dengan Kendala (2.6c), didapat :

$$\begin{aligned} W_{1j} &= 5 \\ W_{2j} &= 6 \\ W_{3j} &= 7 ; \forall j = 1, 2, 3. \end{aligned} \quad (4.6c)$$

- 2) Jika $\tilde{W}_{ij}$ variabel dan W_j parameter, maka ditambahkan dengan Kendala (2.6d), didapat :

$$\begin{aligned} W_1 &= 4 \\ W_2 &= 5 \\ W_3 &= 6. \end{aligned} \quad (4.6d)$$

- 3) Jika $\tilde{W}_{ij}$ parameter dan W_j parameter, maka ditambahkan dengan Kendala (4.6c) dan (4.6d).

3.13.3 Model 1 Modifikasi 2 dengan α Konstanta dan β Variabel

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multi* kelas QoS untuk model 1 modifikasi 2 diperoleh dengan memasukkan nilai parameter pada Tabel 4.27 ke dalam Persamaan (2.6) dengan Kendala (2.5a) sampai (2.5l) dan Kendala (2.6a) sampai (2.6f).

Tabel 4.. 27. Nilai-Nilai Parameter pada Model 1 Modifikasi 2

Parameter	Kelas (j)		
	1	2	3
Q	30.720	30.720	30.720
α_j	0,3	0,4	0,5
c_j	4	5	6
d_j	0,8	0,9	1
f	0,01	0,01	0,01
g	0,5	0,5	0,5

Berdasarkan fungsi objektif pada Persamaan (2.6) dengan α sebagai konstanta dan β sebagai variabel :

$$\begin{aligned}
 Max R = & \left((0,3 \cdot Z_{11} + \beta_1 \cdot I_1) + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{11}}{L_{m_1}} \right) + \\
 & \left((0,3 \cdot Z_{21} + \beta_1 \cdot I_1) + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{21}}{L_{m_1}} \right) + \\
 & \left((0,3 \cdot Z_{31} + \beta_1 \cdot I_1) + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{31}}{L_{m_1}} \right) + \\
 & \left((0,4 \cdot Z_{12} + \beta_2 \cdot I_2) + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{12}}{L_{m_2}} \right) + \dots + \\
 & \left((0,5 \cdot Z_{33} + \beta_3 \cdot I_3) + W_3 \log \frac{\tilde{X}_{33}}{L_{m_3}} \right) \quad (4.7)
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dengan Kendala (2.5a) sampai Kendala (2.5l) yang analog dengan Kendala (4.5a) sampai (4.5l) pada model 1 original ditambah dengan Kendala (4.6a) dan (4.6b) pada model 1 modifikasi 1 dengan α dan β sebagai konstanta, kemudian ditambah dengan kendala-kendala berikut,

dengan Kendala (2.6e) :

$$\begin{aligned}
 \beta_2 & \leq \beta_1 \\
 \beta_3 & \leq \beta_2 \quad (4.7a)
 \end{aligned}$$

dengan Kendala (2.6f) :

$$0,01 \leq \beta_j \leq 0,5 ; \forall j = 1, 2, 3. \quad (4.7b)$$

Model 1 modifikasi 2 juga terbagi menjadi tiga kasus yaitu :

- 1) Jika $\tilde{W}_{ij}$ parameter dan W_j variabel, maka ditambahkan dengan Kendala (4.6c).
- 2) Jika $\tilde{W}_{ij}$ variabel dan W_j parameter, maka ditambahkan dengan Kendala (4.6d).
- 3) Jika $\tilde{W}_{ij}$ parameter dan W_j parameter, maka ditambahkan dengan Kendala (4.6c) dan (4.6d)

3.13.4 Model 2 Original

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multi* kelas QoS untuk model 2 original diperoleh dengan memasukkan nilai parameter pada Tabel 4.28 ke dalam persamaan (2.7) dengan Kendala (2.5a) sampai (2.5l) serta Kendala (2.7a) dan (2.7b).

Tabel 4.. 28. Nilai-Nilai Parameter pada Model 2 Original

Parameter	Kelas (j)		
	1	2	3
Q	30.720	30.720	30.720
c_j	4	5	6
a	0,1	0,1	0,1
b	1	1	1

Berdasarkan fungsi objektif pada Persamaan (2.7) :

$$\begin{aligned}
 \text{Max Profit} = & \left(\alpha_1 + W_1 \cdot \log \frac{x_{11}}{L_{m1}} \right) \cdot Z_{11} + \\
 & \left(\alpha_1 + W_1 \cdot \log \frac{x_{21}}{L_{m1}} \right) \cdot Z_{21} + \\
 & \left(\alpha_1 + W_1 \cdot \log \frac{x_{31}}{L_{m1}} \right) \cdot Z_{31} + \dots + \\
 & \left(\alpha_3 + W_3 \cdot \log \frac{x_{33}}{L_{m3}} \right) \\
 & \cdot Z_{33}
 \end{aligned} \tag{4.8}$$

dengan Kendala (2.5a) sampai (2.5l) yang analog dengan Kendala (4.5a) sampai (4.5l) dan juga ditambah dengan kendala-kendala berikut,

dengan Kendala (2.7a) didapat :

$$0,1 \leq \alpha_j \leq 1 ; \forall j = 1, 2, 3 \quad (4.8a)$$

dengan Kendala (2.7b) didapat :

$$\alpha_j \geq \alpha_{j-1} ; \forall j = 2, 3 \quad (4.8b)$$

3.13.5 Model 2 Modifikasi 1 dengan α Variabel dan β Konstanta

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multi* kelas QoS untuk model 2 modifikasi 1 diperoleh dengan memasukkan nilai parameter pada Tabel 4.29 ke dalam persamaan (2.8) dengan Kendala (2.5a)

sampai (2.5l), Kendala (2.6a) sampai (2.6d) serta Kendala (2.7a) dan (2.7b).

Tabel 4.. 29. Nilai-Nilai Parameter pada Model 2 Modifikasi 1

Parameter	Kelas (j)		
	1	2	3
Q	30.720	30.720	30.720
β_j	0,01	0,05	0,1
c_j	4	5	6
d_j	0,8	0,9	1
a	0	0	0
b	1	1	1

Berdasarkan fungsi objektif pada Persamaan (2.8) dengan α sebagai variabel dan β sebagai konstanta :

$$\begin{aligned}
 Max R = & \left((\alpha_1 + 0,01 \cdot I_1) + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{11}}{L_{m_1}} \right) \cdot Z_{11} + \\
 & \left((\alpha_1 + 0,01 \cdot I_1) + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{21}}{L_{m_1}} \right) \cdot Z_{21} + \\
 & \left((\alpha_1 + 0,01 \cdot I_1) + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{31}}{L_{m_1}} \right) \cdot Z_{31} + \\
 & \left((\alpha_2 + 0,05 \cdot I_2) + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{12}}{L_{m_2}} \right) \cdot Z_{12} + \dots +
 \end{aligned}$$

$$\left((\alpha_3 + 0,1 \cdot I_3) + W_3 \log \frac{\tilde{X}_{33}}{L_{m_3}} \right) \cdot Z_{33} \quad (4.9)$$

Selanjutnya dengan Kendala (2.5a) sampai Kendala (2.5l) yang analog dengan Kendala (4.5a) sampai (4.5l) pada model 1 original ditambah dengan Kendala (4.6a) dan (4.6b) seperti pada model 1 modifikasi 1 dan juga ditambah dengan (2.7a) dan (2.7b) yang analog dengan Kendala (4.8a) dan (4.8b) pada model 2 original.

Model 1 modifikasi 2 juga terbagi menjadi tiga yaitu :

- 1) Jika $\tilde{W}_{ij}$ parameter dan W_j variabel, maka ditambahkan dengan Kendala (4.6c).
- 2) Jika $\tilde{W}_{ij}$ variabel dan W_j parameter, maka ditambahkan dengan Kendala (4.6d).
- 3) Jika $\tilde{W}_{ij}$ parameter dan W_j parameter, maka ditambahkan dengan Kendala (4.6c) dan (4.6d).

3.13.6 Model 2 Modifikasi 2 dengan α dan β sebagai Variabel

**Tabel 4.. 30. Nilai-Nilai Parameter pada Model 2
Modifikasi 2**

Parameter	Kelas (j)		
	1	2	3
Q	30.720	30.720	30.720
c_j	4	5	6
d_j	0,8	0,9	1
f	0,01	0,01	0,01
g	0,5	0,5	0,5
a	0	0	0
b	1	1	1

Penggunaan model skema pembiayaan internet dalam jaringan *multi* kelas QoS untuk model 2 modifikasi 2 diperoleh dengan memasukkan nilai parameter pada Tabel 4..30 ke dalam Persamaan (2.8) dengan Kendala (2.5a) sampai (2.5l), Kendala (2.6a) sampai (2.6f) serta Kendala (2.7a) dan (2.7b).

Berdasarkan fungsi objektif pada Persamaan (2.8) dengan α dan β sebagai variabel :

$$\begin{aligned}
Max R = & \left((\alpha_1 + \beta_1 \cdot I_1) + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{11}}{L_{m_1}} \right) \cdot Z_{11} + \\
& \left((\alpha_1 + \beta_1 \cdot I_1) + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{21}}{L_{m_1}} \right) \cdot Z_{21} + \\
& \left((\alpha_1 + \beta_1 \cdot I_1) + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{31}}{L_{m_1}} \right) \cdot Z_{31} + \\
& \left((\alpha_2 + \beta_2 \cdot I_2) + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{12}}{L_{m_2}} \right) \cdot Z_{12} + \dots + \\
& \left((\alpha_3 + \beta_3 \cdot I_3) + W_3 \log \frac{\tilde{X}_{33}}{L_{m_3}} \right) \\
& \cdot Z_{33} \quad (4.10)
\end{aligned}$$

Selanjutnya dengan Kendala (2.5a) sampai Kendala (2.5l) yang analog dengan Kendala (4.5a) sampai (4.5l) pada model 1 original ditambah dengan Kendala (4.6a), (4.6b), (4.6e) dan (4.6f) seperti pada model 1 modifikasi 1 dan juga ditambah dengan (2.7a) dan (2.7b) yang analog dengan Kendala (4.8a) dan (4.8b) pada model 2 original.

Model 2 modifikasi 2 juga terbagi menjadi tiga kasus yaitu :

- 1) Jika $\tilde{W}_{ij}$ parameter dan W_j variabel, maka ditambahkan dengan Kendala (4.6c).
- 2) Jika $\tilde{W}_{ij}$ variabel dan W_j parameter, maka ditambahkan dengan Kendala (4.6d).
- 3) Jika $\tilde{W}_{ij}$ parameter dan W_j parameter, maka ditambahkan dengan Kendala (4.6c) dan (4.6d).

3.14 Solusi Model pada Jaringan *Multi* Kelas QoS dengan Program LINGO

3.14.1 Solusi Model 1 Original

Tabel 4.. 31. Solusi Optimal Model 1 Original

<i>Solver Status</i>	
<i>Model Class</i>	INLP
<i>State</i>	<i>Local Optimal</i>
<i>Objective</i>	3.110,89
<i>Infeasibility</i>	$3,64 \cdot 10^{-12}$
<i>Iterations</i>	5
<i>Extended Solver Status</i>	
<i>Solver Type</i>	<i>Branch and Bound</i>
<i>Best Objective</i>	3.110,89
<i>Objective bound</i>	3.110,89
<i>Steps</i>	0
<i>Update Interval</i>	2
<i>Active</i>	0
<i>GMU (K)</i>	34
<i>ER (sec)</i>	0

Tabel 4..31 menunjukkan solusi optimal yang diperoleh untuk model 1 original adalah sebesar 3.110,89. Hasil tersebut didapatkan melalui 14 iterasi dengan infeasibility bernilai $3,64 \cdot 10^{-12}$ atau mendekati nol. Extended solver status menunjukkan metode penyelesaian yang digunakan yaitu Branch and Bound dengan nilai objektif sebesar 3.110,89. *Generated Memory Used* (GMU) menunjukkan jumlah alokasi memori yang digunakan yaitu sebesar 34K dan *Elapsed Runtime* (ER) menjelaskan tentang total waktu yang digunakan untuk menghasilkan dan menyelesaikan model yaitu 0 detik. Nilai-nilai variabel yang diperoleh pada model 1 original dalam mencapai solusi optimal sebesar 3,110,89 disajikan dalam Tabel 4..32.

3.14.2 Solusi Model 1 Modifikasi 1 dengan α dan β sebagai Konstanta

Tabel 4.. 32. Nilai-Nilai Variabel pada Model 1 Original dan Model 1 Modifikasi 1

Variabel	Model 1 Original	Model 1 Modifikasi 1		
		$\widetilde{W}_{ij}$ Par W_j Var	$\widetilde{W}_{ij}$ Var W_j Par	$\widetilde{W}_{ij}$ Par W_j Par
Z_{11}	0	0	1	1
Z_{12}	0	0	1	1
Z_{13}	0	0	1	0
Z_{21}	1	1	1	1
Z_{22}	1	1	1	1
Z_{23}	1	1	1	1
Z_{31}	1	1	1	1
Z_{32}	1	1	1	1
Z_{33}	1	1	1	1
$\widetilde{W}_{11}$	4	5	4	5
$\widetilde{W}_{12}$	4	5	5	5
$\widetilde{W}_{13}$	4	5	6	5
$\widetilde{W}_{21}$	5	6	4	6
$\widetilde{W}_{22}$	5	6	5	6
$\widetilde{W}_{23}$	5	6	6	6
$\widetilde{W}_{31}$	6	7	4	7
$\widetilde{W}_{32}$	6	7	5	7
$\widetilde{W}_{33}$	6	7	6	7
X_1	10.240	10.240	10.240	10.240
X_2	10.240,17	10.240,17	10.240	10.240
X_3	10.240,17	10.240,17	10.240	10.240
L_{m1}	0	0	0	0
L_{m2}	0	0	0	0
L_{m3}	0	0	0	0
I_1	-	0,8	0,8	0,8
I_2	-	0,9	0,9	0,9
I_3	-	1	1	1
$\widehat{X}_{11}$	10.240	10.240	10.240	10.240
$\widehat{X}_{12}$	10.239,67	10.239,67	10.240	10.240
$\widehat{X}_{13}$	10.239,67	10.239,67	10.240	10.239,33

$\hat{X}_{21}$	10.240	10.240	10.240	10.240
$\hat{X}_{22}$	10.240,17	10.240,17	10.240	10.240
$\hat{X}_{23}$	10.240,17	10.240,17	10.240	10.240,33
$\hat{X}_{31}$	10.240	10.240	10.240	10.240
$\hat{X}_{32}$	10.240,17	10.240,17	10.240	10.240
$\hat{X}_{33}$	10.240,17	10.240,17	10.240	10.240,33
W_1	5	6	4	4
W_2	5	6	5	5
W_3	5	6	6	6

Tabel 4..32 menyajikan perbandingan nilai-nilai variabel yang diperoleh pada model 1 original dan model 1 modifikasi 1 untuk setiap kasus dalam mencapai solusi optimal. Nilai Z_{ij} menunjukkan keberadaan pengguna i di kelas j . Nilai $Z_{ij} = 1$ menyatakan bahwa pengguna i berada di kelas j , sedangkan nilai $Z_{ij} = 0$ menyatakan sebaliknya. Berdasarkan Tabel 4..32 dapat dilihat bahwa nilai-nilai variabel yang diperoleh pada setiap model memiliki perbandingan nilai yang tidak jauh berbeda. Solusi optimal untuk model 1 modifikasi 1 disajikan dalam Tabel 4.33.

Tabel 4.. 33. Solusi Optimal Model 1 Modifikasi 1

Solver Status	$\widetilde{W}_{ij}$ Par W_j Var	$\widetilde{W}_{ij}$ Var W_j Par	$\widetilde{W}_{ij}$ Par W_j Par
<i>Model Class</i>	INLP		
<i>State</i>	Local optimal		
<i>Infeasibility</i>	0	$3,64 \cdot 10^{-12}$	$3,64 \cdot 10^{-12}$
<i>Iterations</i>	5	21	4
Extended Solver Status			
<i>Solver type</i>	Branch& Bound		
<i>Best Objective</i>	3.733,05	3.111,65	3.112,05
<i>Objective bound</i>	3.733,05	3.111,65	3.112,05
<i>Active</i>	0	0	0
<i>Update interval</i>	2	2	2
<i>GMU(K)</i>	36	34	37
<i>ER(sec)</i>	0	0	0

Tabel 4..33 menunjukkan solusi optimal yang diperoleh pada model 1 modifikasi 1 untuk $\widetilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j sebagai variabel adalah sebesar 3.733,05 yang diselesaikan dengan 5 iterasi. Solusi optimal yang diperoleh untuk $\widetilde{W}_{ij}$ sebagai variabel dan W_j sebagai parameter adalah sebesar 3.111,65 yang diselesaikan dengan 21 iterasi, sedangkan solusi optimal untuk $\widetilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j sebagai parameter adalah sebesar 3.112,05 yang diselesaikan dengan 4 iterasi.

Berdasarkan hasil solusi optimal pada Tabel 4..31 dan Tabel 4..33 antara model 1 original dan model 1 modifikasi 1. Solusi optimal dengan pendapatan paling maksimum diperoleh pada model 1 modifikasi 1 untuk kasus $\widetilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j sebagai variabel yaitu sebesar 3.733,05 rupiah (per kbps).

3.14.3 Solusi Model 1 Modifikasi 2 dengan α Konstanta dan β Variabel

Tabel 4.. 34. Nilai-Nilai Variabel pada Model 1 Modifikasi 2

Variabel	Model 1 Modifikasi 2		
	$\widetilde{W}_{ij}$ Par W_j Var	$\widetilde{W}_{ij}$ Var W_j Par	$\widetilde{W}_{ij}$ Par W_j Par
β_1	0,5	0,5	0,5
β_2	0,5	0,5	0,5
β_3	0,5	0,5	0,5
Z_{11}	0	1	1
Z_{12}	0	1	1
Z_{13}	0	1	0
Z_{21}	1	1	1
Z_{22}	1	1	1
Z_{23}	1	1	1
Z_{31}	1	1	1
Z_{32}	1	1	1
Z_{33}	1	1	1
$\widetilde{W}_{11}$	5	4	5
$\widetilde{W}_{12}$	5	5	5
$\widetilde{W}_{13}$	5	6	5

$\tilde{W}_{21}$	6	4	6
$\tilde{W}_{22}$	6	5	6
$\tilde{W}_{23}$	6	6	6
$\tilde{W}_{31}$	7	4	7
$\tilde{W}_{32}$	7	5	7
$\tilde{W}_{33}$	7	6	7
X_1	10.240	10.240	10.240
X_2	10.240,17	10.240	10.240
X_3	10.240,17	10.240	10.240,33
L_{m1}	0	0	0
L_{m2}	0	0	0
L_{m3}	0	0	0
I_1	0,8	0,8	0,8
I_2	0,9	0,9	0,9
I_3	1	1	1
$\hat{X}_{11}$	10.240	10.240	10.240
$\hat{X}_{12}$	10.239,67	10.240	10.240
$\hat{X}_{13}$	10.239,67	10.240	10.239,33
$\hat{X}_{21}$	10.240	10.240	10.240
$\hat{X}_{22}$	10.240,17	10.240	10.240
$\hat{X}_{23}$	10.240,17	10.240	10.240,33
$\hat{X}_{31}$	10.240	10.240	10.240
$\hat{X}_{32}$	10.240,17	10.240	10.240
$\hat{X}_{33}$	10.240,17	10.240	10.240,33
W_1	6	4	4
W_2	6	5	5
W_3	6	6	6

Tabel 4..34 menyajikan perbandingan nilai-nilai variabel yang diperoleh pada model 1 modifikasi 2 untuk setiap kasus dalam mencapai solusi optimal. Berdasarkan Tabel 4..34 dapat dilihat bahwa terdapat beberapa solusi nilai variabel yang sama pada tiap kasus, sedangkan nilai-nilai variabel yang berbeda memiliki perbandingan nilai yang tidak terlalu signifikan. Nilai rata-rata *bandwidth* akhir yang diperoleh pengguna i di kelas j ($\hat{X}_{ij}$) dan nilai *bandwidth* untuk tiap individu di kelas j (X_j) terbesar diperoleh pada model 1 modifikasi 2 untuk $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j

sebagai variabel. Solusi optimal untuk model 1 modifikasi 2 disajikan dalam Tabel 4..35.

Tabel 4.. 35. Solusi Optimal Model 1 Modifikasi 2

<i>Solver Status</i>	$\widetilde{W}_{ij}$ Par W_j Var	$\widetilde{W}_{ij}$ Var W_j Par	$\widetilde{W}_{ij}$ Par W_j Par
Model Class	INLP		
State	<i>Local optimal</i>		
Infeasibility	0	0	$3,64 \cdot 10^{-12}$
Iterations	11	11	11
<i>Extended Solver Status</i>			
<i>Solver type</i>	<i>Branch& Bound</i>		
<i>Best Objective</i>	3.736,64	3.116,14	3.115,64
<i>Objective bound</i>	3.736,64	3.116,14	3.115,64
<i>Active</i>	0	0	0
<i>Update interval</i>	2	2	2
<i>GMU(K)</i>	38	36	38
<i>ER(sec)</i>	0	0	0

Tabel 4..35 menunjukkan solusi optimal yang diperoleh pada model 1 modifikasi 2 adalah sebesar 3.736,64untuk $\widetilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j sebagai variabel, sedangkan untuk $\widetilde{W}_{ij}$ sebagai variabel dan W_j sebagai parameter adalah 3.116,14 serta solusi optimal untuk $\widetilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j sebagai parameter adalah 3.115,64. Solusi optimal pada tiap kasus diselesaikan melalui 11 iterasi dengan infeasibility bernilai 0. Solusi optimal dengan pendapatan paling maksimum untuk model 1 modifikasi 2 diperoleh pada kasus $\widetilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j sebagai variabel yaitu sebesar 3.736,64 rupiah (per kbps).

Berdasarkan hasil solusi optimal pada Tabel 4..31, Tabel 4..33 dan Tabel 4..35 antara model 1 original, model 1 modifikasi 1, dan model 1 modifikasi 2. Solusi optimal dengan pendapatan paling maksimum diperoleh pada kasus $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j sebagai variabel pada model 1 modifikasi 2 yaitu sebesar 3.736,64 rupiah (per kbps).

3.14.4 Solusi Model 2 Original

Tabel 4.. 36. Solusi Optimal Model 2 Original

<i>Solver Status</i>	
<i>Model Class</i>	INLP
<i>State</i>	<i>Local Optimal</i>
<i>Objective</i>	2.078,33
<i>Infeasibility</i>	$3,64 \cdot 10^{-12}$
<i>Iterations</i>	8
<i>Extended Solver Status</i>	
<i>Solver Type</i>	<i>Branch and Bound</i>
<i>Best Objective</i>	2.078,33
<i>Objective bound</i>	2.078,33
<i>Steps</i>	0
<i>Update Interval</i>	2
<i>Active</i>	0
<i>GMU (K)</i>	36
<i>ER (sec)</i>	0

Tabel 4..36 menunjukkan solusi optimal yang diperoleh untuk model 2 original adalah sebesar 2.078,33. Hasil tersebut didapatkan melalui 8 iterasi dengan infeasibility bernilai $3,64 \cdot 10^{-12}$ atau mendekati nol. Extended solver status menunjukkan metode penyelesaian yang digunakan yaitu Branch and Bound dengan nilai objektif sebesar 2.078,33. *Generated Memory Used* (GMU) menunjukkan jumlah alokasi memori yang digunakan yaitu sebesar 36K dan *Elapsed Runtime* (ER) menjelaskan tentang total waktu yang digunakan untuk menghasilkan dan menyelesaikan model yaitu 0 detik.Nilai-nilai variabel yang diperoleh pada model 2

original dalam mencapai solusi optimal sebesar 2.078,33 disajikan dalam Tabel 4..37.

3.14.5 Solusi Model 2 Modifikasi 1 dengan α Variabel dan β Konstanta

Tabel 4.. 37. Nilai-Nilai Variabel pada Model 2 Original dan Model 2 Modifikasi 1

Variabel	Model 2 Original	Model 2 Modifikasi 1		
		$\widetilde{W}_{ij}$ Par W_j Var	$\widetilde{W}_{ij}$ Var W_j Par	$\widetilde{W}_{ij}$ Par W_j Par
α_1	1	1	1	1
α_2	1	1	1	1
α_3	1	1	1	1
Z_{11}	0	0	1	1
Z_{12}	0	0	1	1
Z_{13}	0	0	1	0
Z_{21}	1	1	1	1
Z_{22}	1	1	1	1
Z_{23}	1	1	1	1
Z_{31}	1	1	1	1
Z_{32}	1	1	1	1
Z_{33}	1	1	1	1
$\widetilde{W}_{11}$	4	5	4	5
$\widetilde{W}_{12}$	4	5	5	5
$\widetilde{W}_{13}$	4	5	6	5
$\widetilde{W}_{21}$	5	6	4	6
$\widetilde{W}_{22}$	5	6	5	6
$\widetilde{W}_{23}$	5	6	6	6
$\widetilde{W}_{31}$	6	7	4	7
$\widetilde{W}_{32}$	6	7	5	7
$\widetilde{W}_{33}$	6	7	6	7
X_1	10.240,33	10.240,33	10.240	10.240
X_2	10.240,33	10.240,33	10.240	10.240
X_3	10.240,33	10.240,33	10.240	10.240,33
L_{m1}	0	0	0	0
L_{m2}	0	0	0	0
L_{m3}	0	0	0	0

I_1	0,8	0,8	0,8	0,8
I_2	0,9	0,9	0,9	0,9
I_3	1	1	1	1
$\hat{X}_{11}$	10.239,33	10.240,33	10.240	10.240
$\hat{X}_{12}$	10.239,33	10.240,33	10.240	10.240
$\hat{X}_{13}$	10.240,33	10.240,33	10.240	10.239,33
$\hat{X}_{21}$	10.240,33	10.240,33	10.240	10.240
$\hat{X}_{22}$	10.240,33	10.240,33	10.240	10.240
$\hat{X}_{23}$	10.240,33	10.240,33	10.240	10.240,33
$\hat{X}_{31}$	10.240,33	10.240,33	10.240	10.240
$\hat{X}_{32}$	10.240,33	10.240,33	10.240	10.240
$\hat{X}_{33}$	10.240,33	10.240,33	10.240	10.240,33
W_1	5	6	4	4
W_2	5	6	5	5
W_3	5	6	6	6

Tabel 4..37 menyajikan perbandingan nilai-nilai variabel yang diperoleh pada model 2 original dan model 2 modifikasi 1 untuk setiap kasus dalam mencapai solusi optimal. Nilai-nilai variabel pada tiap model memiliki solusi yang tidak jauh berbeda. Nilai *bandwidth* akhir yang diperoleh pengguna i di kelas j ($\hat{X}_{ij}$) dan nilai *bandwidth* untuk tiap individu di kelas j (X_j) pada model 2 original sama dengan nilai solusi pada model 2 modifikasi 1 dengan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j sebagai variabel. Jika dibandingkan dengan model 2 modifikasi 1 dengan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai variabel dan W_j sebagai parameter, serta $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j sebagai parameter maka perbedaan nilai $\hat{X}_{ij}$ dan X_j pada tiap model memiliki perbandingan yang tidak terlalu signifikan. Solusi optimal untuk model 2 modifikasi 1 disajikan dalam Tabel 4..38.

Tabel 4.. 38. Solusi Optimal Model 2 Modifikasi 1

Solver Status	$\tilde{W}_{ij}$ Par W_j Var	$\tilde{W}_{ij}$ Var W_j Par	$\tilde{W}_{ij}$ Par W_j Par
Model Class	INLP		
State	Local optimal		
Infeasibility	$3,64 \cdot 10^{-12}$	0	0
Iterations	17	7	7
Extended Solver Status			
Solver type	Branch& Bound		
Best Objective	2.493,1	3.117,95	2.702,38
Objective bound	2.493,1	3.117,95	2.702,38
Active	0	0	0
Update interval	2	2	2
GMU(K)	38	36	38
ER(sec)	0	0	0

Tabel 4..38 menunjukkan solusi optimal yang diperoleh pada model 2 modifikasi 1 adalah sebesar 2.493,1 untuk $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j sebagai variabel yang diselesaikan dengan 17 iterasi. Solusi optimal yang diperoleh untuk $\tilde{W}_{ij}$ sebagai variabel dan W_j sebagai parameter serta $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j sebagai parameter berturut-turut adalah 3.117,95 dan 2.702,38 yang diselesaikan dengan 7 iterasi.

Berdasarkan hasil solusi optimal pada Tabel 4..36 dan Tabel 4..38 antara model 2 original dan model 2 modifikasi 1. Solusi optimal dengan pendapatan paling maksimum diperoleh pada kasus $\tilde{W}_{ij}$ sebagai variabel dan W_j sebagai parameter yaitu sebesar 3.117,95 rupiah (per kbps).

3.14.6 Solusi Model 2 Modifikasi 2 dengan α dan β sebagai Variabel

Tabel 4.. 39. Nilai-Nilai Variabel pada Model 2 Modifikasi 2

Variabel	Model 2 Modifikasi 2		
	$\widehat{W}_{ij}$ Par W_j Var	$\widehat{W}_{ij}$ Var W_j Par	$\widehat{W}_{ij}$ Par W_j Par
α_1	1	1	1
α_2	1	1	1
α_3	1	1	1
β_1	0,5	0,5	0,5
β_2	0,5	0,5	0,5
β_3	0,5	0,5	0,5
Z_{11}	0	1	1
Z_{12}	0	1	1
Z_{13}	0	1	0
Z_{21}	1	1	1
Z_{22}	1	1	1
Z_{23}	1	1	1
Z_{31}	1	1	1
Z_{32}	1	1	1
Z_{33}	1	1	1
$\widehat{W}_{11}$	5	4	5
$\widehat{W}_{12}$	5	5	5
$\widehat{W}_{13}$	5	6	5
$\widehat{W}_{21}$	6	4	6
$\widehat{W}_{22}$	6	5	6
$\widehat{W}_{23}$	6	6	6
$\widehat{W}_{31}$	7	4	7
$\widehat{W}_{32}$	7	5	7
$\widehat{W}_{33}$	7	6	7
X_1	10.240,33	10.240	10.240
X_2	10.240,33	10.240	10.240
X_3	10.240,33	10.240	10.240,33
L_{m1}	0	0	0
L_{m2}	0	0	0
L_{m3}	0	0	0
I_1	0,8	0,8	0,8
I_2	0,9	0,9	0,9
I_3	1	1	1
$\widehat{X}_{11}$	10.240,33	10.240	10.240

$\hat{X}_{12}$	10.240,33	10.240	10.240
$\hat{X}_{13}$	10.240,33	10.240	10.239,33
$\hat{X}_{21}$	10.240,33	10.240	10.240
$\hat{X}_{22}$	10.240,33	10.240	10.240
$\hat{X}_{23}$	10.240,33	10.240	10.240,33
$\hat{X}_{31}$	10.240,33	10.240	10.240
$\hat{X}_{32}$	10.240,33	10.240	10.240
$\hat{X}_{33}$	10.240,33	10.240	10.240,33
W_1	6	4	4
W_2	6	5	5
W_3	6	6	6

Tabel 4..39 menyajikan perbandingan nilai-nilai variabel yang diperoleh pada model 2 modifikasi 2 untuk setiap kasus dalam mencapai solusi optimal. Berdasarkan Tabel 4..34 dapat dilihat bahwa terdapat beberapa nilai-nilai variabel yang sama pada tiap kasus, sedangkan nilai-nilai variabel

yang berbeda memiliki perbandingan nilai yang tidak terlalu signifikan.

Solusi optimal untuk model 2 modifikasi 2 disajikan dalam Tabel 4..40.

Tabel 4.. 40. Solusi Optimal Model 2 Modifikasi 2

Solver Status	$\widetilde{W}_{ij}$ Par W_j Var	$\widetilde{W}_{ij}$ Var W_j Par	$\widetilde{W}_{ij}$ Par W_j Par
<i>Model Class</i>	INLP		
<i>State</i>	Local optimal		
<i>Infeasibility</i>	$3,64 \cdot 10^{-12}$	$1,89 \cdot 10^{-12}$	$3,64 \cdot 10^{-12}$
<i>Iterations</i>	7	6	7
Extended Solver Status			
<i>Solver type</i>	Branch& Bound		
<i>Best Objective</i>	2.495,49	3.121,54	2.705,57
<i>Objective bound</i>	2.495,49	3.121,54	2.705,57
<i>Active</i>	0	0	0
<i>Update interval</i>	2	2	2
<i>GMU(K)</i>	40	38	40
<i>ER(sec)</i>	0	0	0

Tabel 4.40 menunjukkan solusi optimal yang diperoleh pada model 2 modifikasi 2 adalah sebesar 2.495,49 untuk $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j sebagai variabel, sedangkan untuk $\tilde{W}_{ij}$ sebagai variabel dan W_j sebagai parameter adalah sebesar 3.121,54 serta untuk $\tilde{W}_{ij}$ dan W_j sebagai parameter diperoleh solusi sebesar 2.705,57. Solusi optimal dengan pendapatan paling maksimum untuk model 2 modifikasi 2 diperoleh pada kasus $\tilde{W}_{ij}$ sebagai variabel dan W_j sebagai parameter yaitu sebesar 3.121,54 rupiah (per kbps).

Berdasarkan hasil solusi optimal pada Tabel 4..36, Tabel 4..38 dan Tabel 4..40 antara model 2 original, model 2 modifikasi 1, dan model 2 modifikasi 2. Solusi optimal dengan pendapatan paling maksimum diperoleh pada kasus $\tilde{W}_{ij}$ sebagai variabel dan W_j sebagai parameter pada model 2 modifikasi 2 yaitu sebesar 3.121,54 rupiah (per kbps).

Tabel 4.. 41. Rekapitulasi Solusi Optimal Model Jaringan *Multi* Kelas QoS

<i>Solver Status</i>	Model 1 Modifikasi 1	Model 1 Modifikasi 2	Model 2 Modifikasi 1	Model 2 Modifikasi 2
	$\tilde{W}_{ij}$ Par W_j Var	$\tilde{W}_{ij}$ Par W_j Var	$\tilde{W}_{ij}$ Var W_j Par	$\tilde{W}_{ij}$ Var W_j Par
<i>Model Class</i>	INLP			
<i>State</i>	Local optimal			
<i>Infeasibility</i>	0	0	$8,33 \cdot 10^{-17}$	$1,89 \cdot 10^{-12}$
<i>Iterations</i>	5	11	7	6
Extended Solver Status				
<i>Solver type</i>	Branch& Bound			
<i>Best Objective</i>	3.733,05	3.736,64	3.118,11	3.121,54
<i>Objective bound</i>	3.733,05	3.736,64	3.118,11	3.121,54
<i>Active</i>	0	0	0	0
<i>Update interval</i>	2	2	2	2
<i>GMU(K)</i>	36	38	36	38
<i>ER(sec)</i>	0	0	0	0

Hasil rekapitulasi pada Tabel 4.41 menunjukkan perbandingan solusi optimal terbesar yang diperoleh pada setiap model modifikasi pada jaringan *multi* kelas QoS berdasarkan Tabel 4.33, Tabel 4.35, Tabel 4.38 dan Tabel 4.40. Solusi optimal dengan total pendapatan paling maksimum diperoleh pada model 1 modifikasi 2 untuk kasus $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j sebagai variabel yaitu sebesar 3.736,64 rupiah (per kbps).

3.4 KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut,

1. Skema pembiayaan internet link tunggal optimal pada jaringan *multi* layanan diperoleh berdasarkan kasus 3, yaitu dengan total pendapatan maksimum sebesar 4.994,76 rupiah (per kbps) dengan mengatur harga dasar dan kualitas premium sebagai variabel dimana $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$.
2. Skema pembiayaan internet link tunggal optimal pada jaringan *multi* kelas QoS diperoleh berdasarkan model 1 modifikasi 2, yaitu dengan total pendapatan maksimum sebesar 3.736,64 rupiah (per kbps) dengan α sebagai konstanta dan β sebagai variabel serta menetapkan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai 201ultiple201 dan W_j sebagai variabel.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk membahas penggunaan The Improved Models dengan lebih banyak layanan, banyak pengguna dan banyak kelas pada jaringan *multi* layanan dan jaringan *multi* kelas QoS untuk skema pembiayaan internet pada link 201ultiple (multiple link).

3.5 DAFTAR PUSTAKA

- Anori, S. R. 2013. QoS [*Quality of Service*]. **Error! Hyperlink reference not valid..** Diakses pada tanggal 13 Februari 2014 pukul 19.35 WIB.
- Byun, J., & S. Chatterjee. 2004. A strategic pricing for *quality of service* (QoS) *network* business. Proceedings of the Tenth Americas Conference on Information Systems, New York.
- Indrawati, Irmeilyana, F. M. Puspita, & M. P. Lestari. 2014. Cobb-dougllass utility function in optimizing the internet pricing scheme model. TELKOMNIKA, 12(1) : 227-240.
- Irmeilyana, F. M. Puspita, & Indrawati. 2013. Model Optimasi Skema Pembiayaan Internet Menurut *Multiple QOS Network*, Laporan Tahun Pertama Hibah Bersaing. Inderalaya, Ogan Ilir: DIKTI.
- Irmeilyana, Indrawati, F. M. Puspita & Juniwati. 2014. Model and optimal solution of single link pricing scheme *multiservice network*. TELKOMNIKA, 12(1) : 173-178.
- Irmeilyana, Indrawati, F. M. Puspita, & L. Herdayana. 2014a. Improving The Models of Internet Charging in Single Link *Multiple Class QoS Networks*. Paper preSented at the 2014 International Conference on Communication & Computer Engineering (ICOCOE 2014), Melaka, Malaysia.
- Irmeilyana, Indrawati, F. M. Puspita, & L. Herdayana. 2014b. The New Improved Models of Single Link Internet Pricing Scheme in *Multiple QoS Network*. Proceedings of the International Conference Recent treads in Engineering & Technology (ICRET'2014), Batam, Indonesia.
- Puspita, F. M., K. Seman, B. M. Taib, & Z. Shafii. 2012. An improved optimization model of internet charging scheme in *multi service networks*. TELKOMNIKA, 10(3) : 592-598.
- Puspita, F. M., K. Seman, B. M. Taib, & Z. Shafii. 2013. Improved models of internet charging scheme of single bottleneck link in *multi qos networks*. Journal of Applied Sciences, 13(4) : 572-579.
- Sain, S., & S. Herpers. 2003. Profit Maximisation in *Multi Service Networks*- An Optimisation Model. Paper preSented at the Proceedings of the 11th European

- Conference on Information Systems ECIS 2003, Naples, Italy.
- Wu, S-y. & R. D. Banker. 2010. Best Pricing Strategy for Information Services. *Journal of the Association for Information System*.11(6): 339-366.
- Yang, W. 2004. Pricing *Network Resources* in Differentiated *Service Networks*. Phd Thesis. Georgia Institute of Technology.

4.1 LATAR BELAKANG MASALAH MODEL SKEMA PEMBIAYAAN INTERNET LINK *MULTIPEL* PADA JARINGAN *MULTI* KELAS (*MULTI CLASS NETWORK*) DAN JARINGAN *MULTI* LAYANAN (*MULTI SERVICE NETWORK*)

Internet saat ini menjadi hal penting dalam ekonomi global. Jaringan internet dalam kegiatan ekonomi berguna bagi semua lapisan masyarakat. Ini adalah tugas yang luar biasa bagi penyedia layanan internet (*Internet Service Provider* atau disingkat *ISP*) untuk mempromosikan pelayanan yang baik untuk mencapai informasi yang berkualitas tinggi dan menghasilkan keuntungan dari sumber daya yang tersedia. Penyediaan kualitas layanan (*Quality of Service* atau disingkat *QoS*) yang lebih baik adalah cara terbaik untuk meningkatkan pendapatan. Selain itu, pihak lain akan mampu menerapkan skema ini untuk mengembangkan produk berbasis IT (*Information and Communication Technology* atau disingkat *ICT*) baru. Namun, mekanisme penetapan harga yang tepat yang dibutuhkan oleh penyedia layanan jaringan untuk memberikan solusi teknis logis dan meyakinkan bagi pelanggan saat ini masih kurang. Byun and Chatterjee (2004) dan Soursos, et al. (2008) menjelaskan bahwa layanan jaringan yang buruk pada saat berada di lingkungan pasar yang sangat kompetitif akan menghasilkan sedikit pendapatan untuk perusahaan yang memproduksi.

Pembiayaan telah menjadi topik yang menarik dalam bisnis jaringan internet. Dalam mendukung bisnis ini, internet harus memberikan *QoS* terbaik yang artinya adalah mekanisme yang memberikan layanan jaringan yang berbeda yang didasarkan atas persyaratan layanan tertentu. Byun & Chatterjee (2004) membahas mengenai model pembiayaan bagi layanan internet berdasarkan tingkatan kualitas yang berbeda dengan memfokuskan pada skema

pembiayaan atas dasar pemakaian karena skema tersebut merefleksikan level kongesti (*congestion*) secara mendalam.

Pada dasarnya, skema pembiayaan terkini adalah didasarkan atas pembiayaan kecepatan tetap (*flat rate*) dan pembiayaan atas dasar pemakaian (*usage based*) (Indrawati, et al., 2013). Pelanggan memiliki kecenderungan menggunakan pembiayaan *flat rate* karena skema tersebut sederhana. Mereka hanya membayar biaya langganan setiap bulan dan mereka akan mendapatkan semua koneksi internet. Akan tetapi, skema pembiayaan ini pada dasarnya memiliki kerugian karena tidak menyelesaikan permasalahan kongesti.

Pada penelitian sebelumnya mengenai model yang diperbaiki pada skema pembiayaan internet link tunggal pada jaringan *multi* kelas QoS oleh Irmeilyana, et al. (2014a) dan jaringan *multi* layanan oleh Irmeilyana, et al. (2014b) berdasarkan model modifikasi dan modifikasi 1 oleh Puspita, et al. (2012) cara menetapkan biaya dasar, kualitas premium dan tingkat QoS dapat menghasilkan keuntungan maksimum bagi ISP yang lebih baik dari model sebelumnya. Pada penelitian Puspita, et al. (2012) diselesaikan skema jaringan dengan banyak layanan sebagai model optimasi untuk memperoleh pendapatan maksimal dengan menggunakan model perbaikan berdasarkan hasil dari Byun & Chatterjee (2004) dan Sain & Herpes (2003). Model yang digunakan berdasarkan harga dasar (α) ditetapkan sebagai konstanta dan kualitas premium (β) ditetapkan sebagai konstanta dan variabel. Model tersebut diterapkan pada dua *user* dengan dua kelas pada jaringan *multi* kelas QoS serta tiga layanan untuk jaringan *multi* layanan.

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang menggunakan link tunggal (Irmeilyana, et al., 2014) maka dalam penelitian ini dibahas model skema pembiayaan internet link *multipel* pada jaringan *multi* kelas dan jaringan *multi* layanan yang telah dibuat pada penelitian sebelumnya.

Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana menentukan model skema pembiayaan internet link *multipel* pada jaringan *multi* kelas dan jaringan *multi* layanan.

2. Bagaimana menentukan solusi optimal dari model skema pembiayaan internet link *multipel* pada jaringan *multi* kelas dan jaringan *multi* layanan.

Pembatasan Masalah

Permasalahan pada penelitian ini dibatasi pada penggunaan 2 link *multipel* dengan 3 pengguna layanan dengan 2 kelas untuk jaringan *multi* kelas QoS dan 2 layanan untuk jaringan *multi* layanan. Model diaplikasikan pada data file, Mail dan web. Model jaringan *multi* kelas yang dibahas adalah pada kasus model original, model modifikasi (α, β fixed), dan model modifikasi 1 (α fixed, β vary). Sedangkan untuk model jaringan *multi* layanan yang dibahas adalah pada kasus harga dasar dan kualitas premium sebagai konstanta (α, β fixed) dan kasus harga dasar sebagai konstanta dan kualitas premium sebagai variabel (α fixed, β vary).

Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menentukan model skema pembiayaan internet link *multipel* pada jaringan *multi* kelas dan jaringan *multi* layanan.
2. Menentukan solusi optimal dari model skema pembiayaan internet link *multipel* pada jaringan *multi* kelas dan jaringan *multi* layanan.

Manfaat

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, yaitu:

1. Model optimal dapat diadopsi oleh ISP (Internet Service Provider/ Penyedia Layanan Internet), sehingga diharapkan dapat menarik minat pengguna dalam subscribe ke layanan internet kelas *multipel* ini sehingga pengguna dapat memilih layanan sesuai dengan *bandwidth* yang mereka perlukan dan sesuai dengan anggaran biaya yang akan mereka keluarkan.
2. Model skema pembiayaan internet dapat digunakan untuk mempermudah ISP dalam mengelola jaringan internet dan menghubungkan ke pengguna sehingga pengguna juga dapat menggunakan layanan internet dengan lebih mudah.

4.2 PEMBAHASAN

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder yang memiliki 2 komponen yaitu data yang dikirim (*Sent*) dan diterima (*received*) dalam byte per *second*. Data ini merupakan data dari salah satu *server* lokal di Palembang, yang diambil tanggal 1 Februari 2014 sampai 1 Maret 2014 untuk *Traffic multi* kelas dan tanggal 14 Maret 2014 sampai 14 April 2014 untuk *Traffic multi* layanan.

2.1 Data *Traffic* yang Digunakan

Tabel 4.1 sampai Tabel 4.5 berikut merupakan data *Traffic* untuk *multi* kelas (data file, *Mail* dan web) dan *multi* layanan (data file,*Mail*, dan web).

Tabel. 4. 1. Data *Traffic* pada file untuk *Multi Kelas*

Waktu	<i>Traffic</i> (dalam byte per <i>second</i>)	
	<i>Sent</i>	<i>Received</i>
1 Februari 2014	4.715.924,28	4.637.215,52
2 Februari 2014	399.726,49	20.523.376,82
3 Februari 2014	2.295.270,09	19.963.902,94
4 Februari 2014	5.721.092,61	25.530.106,34
5 Februari 2014	3.164.126,75	57.123.965,92
6 Februari 2014	2.172.900,16	99.077.392,02
7 Februari 2014	9.772.991,21	45.798.173,07
8 Februari 2014	790.656,57	36.456.657,30
9 Februari 2014	67.498.324,87	14.374.452,78
10 Februari 2014	513.891,58	44.209.242,44
11 Februari 2014	7.281.166,42	73.297.551,79
12 Februari 2014	9.858.128,05	41.948.003,29
13 Februari 2014	3.049.312,10	97.343.259,44
14 Februari 2014	3.948.274,53	81.975.501,76
15 Februari 2014	2.407.373,30	85.374.031,72
16 Februari 2014	4.730.834,20	3.329.974,65
17 Februari 2014	45.596,23	3.879.630,27
18 Februari 2014	67.885.977,68	90.016.809,63
19 Februari 2014	5.856.949,42	84.541.913,01
20 Februari 2014	694.072,72	21.973.627,83

21 Februari 2014	2.037.630,14	88.111.563,41
22 Februari 2014	8.738.892,36	26.346.069,07
23 Februari 2014	62.880,83	1.419.360,43
24 Februari 2014	202.274,72	14.725.234,89
25 Februari 2014	7.286.541,94	36.419.363,68
26 Februari 2014	1.297.558,87	43.840.265,04
27 Februari 2014	1.567.584,10	73.128.822,32
28 Februari 2014	4.768.774,78	49.880.745,48
1 Maret 2014	4.771.286,79	93.109.864,29
<i>Demand</i>	8.052.965,99	47.529.519,90
<i>Demand per bulan</i>	27.791.242,95	
<i>Demand byte per second</i>	3.473.905,37	
<i>Demand kilo byte per second</i> (kbps)	3.392,49	

Keterangan:

Demand: rata-rata pemakaian *Traffic* per hari

Demand per bulan: rata-rata pemakaian *Traffic Sent* dan *received* per hari

Tabel. 4. 2. 2 Data *Traffic* pada Web untuk *Multi Kelas*

Waktu	<i>Traffic</i> (dalam byte per second)	
	<i>Sent</i>	<i>Received</i>
1 Februari 2014	18.400	327.000
2 Februari 2014	17.800	367.000
3 Februari 2014	16.200	329.000
4 Februari 2014	26.300	506.000
5 Februari 2014	658.000	369.000
6 Februari 2014	1.830.000	796.000
7 Februari 2014	413.000	482.000
8 Februari 2014	436.000	1.150.000
9 Februari 2014	16.200	328.000
10 Februari 2014	10.300	264.000
11 Februari 2014	578.000	400.000
12 Februari 2014	667.000	878.000

13 Februari 2014	1.060.000	652.000
14 Februari 2014	4.900.000	533.000
15 Februari 2014	479.000	469.000
16 Februari 2014	12.400	227.000
17 Februari 2014	12.200	429.000
18 Februari 2014	521.000	630.000
19 Februari 2014	452.000	315.000
20 Februari 2014	264.000	911.000
21 Februari 2014	295.200,46	681.000
22 Februari 2014	315.283,84	1.360.000
23 Februari 2014	20.000	522.000
24 Februari 2014	14.000	451.000
25 Februari 2014	173.000	546.000
26 Februari 2014	38.200	817.000
27 Februari 2014	339.000	510.704,18
28 Februari 2014	202.000	588.000
1 Maret 2014	17.000	358.000
<i>Demand</i>	475.913,25	540.862,25
<i>Demand per bulan</i>	508.387,75	
<i>Demandbyte per second</i>	63.548,47	
<i>Demand kilo byte per second (kbps)</i>	62,06	

Tabel. 4. 3. Data Traffic pada Mail untuk Multi Layanan

Waktu	Traffic (dalam byte per second)			
	Sent		Received	
	Jam Kerja	Luar Jam Kerja	Jam Kerja	Luar Jam Kerja
14 Maret 2014	137.320,50	253.226,57	192.711,40	135.295,81
15 Maret 2014	63.286,65	133.129,06	81.847,66	138.375,15
16 Maret 2014	60.852,28	68.245,14	31.706,44	60.032,43
17 Maret 2014	203.194,50	840.846,77	388.140,40	128.992,61
18 Maret 2014	891.274,90	260.440,54	1.111.239,00	243.100,03
19 Maret 2014	713.085,00	190.322,25	639.790,30	282.967,24
20 Maret 2014	120.084,20	5.746.940,26	1.035.985,00	327.635,19
21 Maret 2014	1.718.410,00	592.685,71	162.433,90	166.421,40
22 Maret 2014	38.327,91	155.485,16	53.077,78	114.051,23
23 Maret 2014	784.245,50	65.318,18	266.213,20	56.058,64
24 Maret 2014	818.749,90	534.485,29	359.428,60	289.398,78

25 Maret 2014	723.177,80	1.475.022,83	908.522,10	823.601,64
26 Maret 2014	170.171,10	331.196,65	291.670,00	734.116,13
27 Maret 2014	280.092,90	713.272,15	583.770,50	265.668,52
28 Maret 2014	298.019,70	328.882,93	216.210,10	514.700,59
29 Maret 2014	67.711,05	645.841,47	60.130,41	88.572,82
30 Maret 2014	56.104,21	707.729,57	37.250,71	164.563,20
31 Maret 2014	612.831,70	133.532,91	61.545,01	85.512,44
1 April 2014	695.279,60	960.523,36	352.776,00	268.027,56
2 April 2014	749.742,40	1.376.077,71	276.551,70	770.717,09
3 April 2014	1.534.427,00	1.880.274,14	468.031,70	277.952,32
4 April 2014	1.329.416,00	490.004,24	619.675,20	212.420,70
5 April 2014	450.554,30	721.317,28	204.488,50	160.676,51
6 April 2014	36.785,73	882.962,88	76.833,73	171.989,17
7 April 2014	222.346,20	173.025,40	393.957,50	499.615,54
8 April 2014	2.033.335,00	811.337,90	197.725,60	159.429,09
9 April 2014	2.323.170,00	653.576,15	367.632,30	75.262,37
10 April 2014	648.586,20	1.154.611,05	673.389,40	554.187,53
11 April 2014	628.031,90	1.537.365,07	331.247,60	1.101.833,33
12 April 2014	85.916,46	68.231,01	46.351,07	68.912,97
13 April 2014	400.216,50	648.689,75	62.726,45	81.062,15
14 April 2014	0	33.155,21	0	38.852,54
<i>Demand</i>	590.460,80	24.567.754,60	10.553.059,00	9.060.002,71
<i>Demand per bulan (Jam Kerja)</i>			5.571.760,07	
<i>Demand byte per second (Jam Kerja)</i>			696.470,01	
<i>Demand kbps (Jam Kerja)</i>			680,15	
<i>Demand per bulan (Luar Jam Kerja)</i>			16.813.878,65	
<i>Demand byte per second (Luar Jam Kerja)</i>			2.101.734,83	
<i>Demand kbps (Luar Jam Kerja)</i>			2.052,48	

Tabel. 4. 4. Data *Traffic* pada File untuk *Multi Layanan*

Waktu	<i>Traffic (dalam byte per second)</i>			
	<i>Sent</i>		<i>Received</i>	
	Jam Kerja	Luar Jam Kerja	Jam Kerja	Luar Jam Kerja
14 Maret 2014	2.317.921,56	915.948,32	127.509.651,90	37.436.011,70
15 Maret 2014	536.700,42	87.473,51	41.466.238,02	2.454.157,21
16 Maret 2014	65.234,14	4.982.281,82	2.471.341,10	6.731.259,13
17 Maret 2014	2.259.497,63	12.655.217,42	152.438.334,70	26.360.538,06
18 Maret 2014	4.660.878,16	38.589.880,60	220.803.770,00	47.724.573,81
19 Maret 2014	1.778.840,08	11.966.387,27	100.438.114,5	111.943,29
20 Maret 2014	4.071.770,61	7.613.103,17	73.707.796,04	55.052.894,71
21 Maret 2014	1.067.256,00	575.678,29	79.907.422,89	24.182.697,59
22 Maret 2014	1.043.354,76	4.733.184,82	37.248.884,92	620.390,31
23 Maret 2014	506.245,43	247.836,61	25.033.639,93	2.351.261,02
24 Maret 2014	1.803.043,05	11.494.938,45	102.138.707,50	49.785.866,10

25 Maret 2014	2.163.489,58	8.073.439,38	112.227.639,70	120.370.859,80
26 Maret 2014	1.494.640,13	19.949.069,64	100.306.623,60	8.534.138,49
27 Maret 2014	2.057.398,15	404.174,57	120.250.926,30	19.022.725,74
28 Maret 2014	1.623.339,94	11.075.885,67	115.926.637,80	21.911.070,54
29 Maret 2014	40.884.980,60	48.771,84	29.172.269,44	1.085.436,28
30 Maret 2014	32.966,71	68.907,82	348.510,00	790.617,09
31 Maret 2014	242.600,11	261.338,53	16.533.575,20	14.148.520,27
1 April 2014	1.774.045,07	4.887.932,58	93.628.305,94	28.163.782,53
2 April 2014	566.506,12	909.963,56	40.307.967,75	56.341.899,96
3 April 2014	2.119.352,22	695.904,45	135.101,47	43.375.330,37
4 April 2014	679.980,77	4.485.898,73	47.331.578,94	73.705.616,48
5 April 2014	0	1.421.420,28	0	63.975.825,93
6 April 2014	8.027.212,19	378.263,88	195.139.464,50	16.005.152,99
7 April 2014	490.078,30	487.596,42	39.739.191,77	19.385.097,72
8 April 2014	3.248.610,10	6.118.777,87	176.865.622,90	23.049.521,46
9 April 2014	504.705,67	412.383,56	44.263.530,15	17.163.209,17
10 April 2014	1.792.036,86	154.979,44	42.319.734,44	5.782.956,13
11 April 2014	181.230,72	3.619.514,17	991.460,52	1.348.104,12
<i>Demand</i>	3.034.272,93	5.424.694,92	78.400.634,81	30.993.200,26
<i>Demand per bulan (Jam Kerja)</i>			40.717.453,87	
<i>Demand byte per second (Jam Kerja)</i>			5.089.681,73	
<i>Demand kbps (Jam Kerja)</i>			4.970,39	
<i>Demand per bulan (Luar Jam Kerja)</i>			18.208.947,59	
<i>Demand byte per second (Luar Jam Kerja)</i>			2.276.118,45	
<i>Demand kbps (Luar Jam Kerja)</i>			2.222,77	

Tabel. 4. 5. Data Traffic pada Web untuk Multi Layanan

Waktu	Traffic (dalam byte per second)			
	Sent		Received	
	Jam Kerja	Luar Jam Kerja	Jam Kerja	Luar Jam Kerja
14 Maret 2014	38.107,58	431.814,94	434.508,60	1.469.079,74
15 Maret 2014	48.092,11	80.620,05	1.064.783,00	1.316.470,43
16 Maret 2014	60.869,64	79.316,37	1.294.191,00	1.564.058,60
17 Maret 2014	386.970,03	91.119,06	862.994,60	1.646.597,00
18 Maret 2014	581.571,04	91.608,45	1.354.573,00	1.670.812,91
19 Maret 2014	50.437,24	73.771,18	924.947,40	1.261.889,98
20 Maret 2014	268.886,79	72.844,39	689.444,10	1.069.442,58
21 Maret 2014	48.239,15	103.248,79	707.805,30	1.357.762,31
22 Maret 2014	47.983,21	95.480,74	594.548,90	1.100.709,39
23 Maret 2014	51.993,65	92.357,88	739.868,1	838.093,02
24 Maret 2014	906.374,16	174.892,85	1.518.227,00	520.802,00

25 Maret 2014	206.369,70	184.415,66	1.368.036,00	1.417.096,32
26 Maret 2014	82.856,69	81.491,33	163.475,80	565.732,29
27 Maret 2014	404.591,94	90.674,82	772.163,20	1.324.007,31
28 Maret 2014	202.743,76	71.038,43	497.010,30	843.928,52
29 Maret 2014	42.035,30	82.774,92	600.724,50	1.232.867,59
30 Maret 2014	40.396,98	72.589,98	630.076,00	1.219.453,43
31 Maret 2014	38.691,13	91.057,37	442.963,90	1.602.049,44
1 April 2014	641.521,61	292.621,96	1.395.563,00	1.364.869,90
2 April 2014	347.101,80	410.330,72	1.009.791,00	1.518.184,21
3 April 2014	216.336,47	121.518,22	900.588,40	1.990.275,62
4 April 2014	153.587,73	102.084,61	877.486,90	1.243.265,09
5 April 2014	41.272,91	81.579,91	431.144,40	1.294.302,34
6 April 2014	47.609,95	84.487,25	595.049,00	965.189,28
7 April 2014	951.574,46	345.927,16	683.825,30	1.044.927,02
8 April 2014	486.517,91	118.225,93	844.259,30	2.529.451,48
9 April 2014	43.330,82	85.550,66	593.308,90	1.222.886,61
10 April 2014	39.875,01	117.887,53	610.263,80	720.414,02
11 April 2014	50.438,73	79.293,78	931.292,20	917.445,26
12 April 2014	43.042,29	73.627,77	734.631,80	1.047.689,68
13 April 2014	40.815,41	81.310,89	517.652,30	1.109.867,58
14 April 2014	0	29.548,72	0	252.086,98
<i>Demand</i>	206.569,85	127.659,76	774.537,40	1.226.303,37
<i>Demand per bulan (Jam Kerja)</i>			490.553,62	
<i>Demand byte per second (Jam Kerja)</i>			61.319,20	
<i>Demand kbps (Jam Kerja)</i>			59,88	
<i>Demand per bulan (Luar Jam Kerja)</i>			676.981,57	
<i>Demand byte per second (Luar Jam Kerja)</i>			84.622,70	
<i>Demand kbps (Luar Jam Kerja)</i>			82,64	

Berdasarkan Tabel. 4.1 dan Tabel. 4.2, untuk dua jenis kelas (*file* dan *web*) rata-rata *Traffic* untuk *received* lebih tinggi daripada *Traffic* untuk *send* pada data *file* dan *web.Demand* untuk *file* (3.392,49 kbps) lebih tinggi dibanding dengan pemakaian untuk *web* (62,06 kbps).

Berdasarkan Tabel. 4.3 sampai Tabel. 4.5, untuk ketiga jenis layanan (*Mail*, *file* dan *web*) rata-rata *Traffic* untuk *received* pada saat jam kerja (*peak*) lebih tinggi daripada *Traffic* untuk *Sent*. Pemakaian untuk *file* pada saat jam kerja (4.970,39 kbps) lebih tinggi dibanding dengan pemakaian untuk *Mail* (680,15 kbps) dan untuk *web* (59,88 kbps). Begitu juga untuk data *file* dan *web* di luar jam kerja (*offpeak*), rata-rata *Traffic* untuk *received* lebih tinggi daripada *Traffic* untuk *Sent*. Tetapi untuk data *Mail*, rata-rata *Traffic* untuk *Sent* di luar jam

kerja lebih tinggi daripada *Traffic* untuk *received* . Pemakaian untuk file di luar jam kerja (2.222,77 kbps) lebih tinggi dibanding dengan pemakaian untuk *Mail* (2.052,48 kbps) dan untuk web (82,64 kbps).

2.2 Perumusan Parameter dan Variabel dalam Jaringan *Multi* Kelas

Parameter dan variabel keputusan yang digunakan untuk mengoptimalkan pembiayaan dengan jaringan *multi* kelas pada kasus model original, model modifikasi dan model modifikasi 1, disajikan pada Tabel. 4.6 sampai Tabel 4.8 berikut:

Tabel. 4. 6. Parameter-Parameter yang Digunakan untuk Memperbaiki Model pada Link *Multipel* terhadap Jaringan *Multi* Kelas

Parameter untuk model original
C_k : Total <i>bandwidth</i> pada link k(kbps)
α : Harga dasar(rupiah)
Parameter untuk model modifikasi (α β konstanta)
α : Harga dasar(rupiah)
β : Kualitas premium yang memiliki kinerja pelayanan I_j (rupiah/kbps)
C_k : Total <i>bandwidth</i> pada link k(kbps)
d_j : Nilai maksimum indeks kualitas dalam kelas j
Parameter untuk model modifikasi 1 (α konstanta β variabel)
C_k : Total <i>bandwidth</i> pada link k(kbps)
α : Harga dasar(rupiah)
d_j : Nilai maksimum indeks kualitas dalam kelas j
f_i : Nilai minimum kualitas premium untuk kelas j (rupiah/kbps)
gi : Nilai maksimum kualitas premium untuk kelas j (rupiah/kbps)

Tabel. 4. 7. Variabel Keputusan yang Digunakan untuk Formulasi Jaringan *Multi* Kelas

Variabel yang digunakan pada model original
Z_{ij} : $\begin{cases} 1, & \text{pengguna } i \text{ pada kelas } j \\ 0, & \text{yang lainnya} \end{cases}$
$\tilde{X}_{ij}$: <i>Bandwidth</i> akhir yang diperoleh pengguna i untuk kelas j (kbps)
L_j : Minimum <i>bandwidth</i> untuk kelas j (kbps)
W_j : Harga <i>sensitivitas</i> untuk kelas j (rupiah)
X_j : <i>Bandwidth</i> akhir untuk kelas j (kbps)

$\tilde{W}_{ij}$: Harga <i>sensitivitas</i> untuk pengguna <i>i</i> di kelas <i>j</i> (rupiah)
Variabel yang digunakan pada model modifikasi 1 (α β konstanta)
Z_{ij} : $\begin{cases} 1, & \text{pengguna } i \text{ pada kelas } j \\ 0, & \text{yang lainnya} \end{cases}$ $\tilde{X}_{ij}$: <i>Bandwidth</i> akhir yang diperoleh pengguna <i>i</i> untuk kelas <i>j</i> (kbps) L_j : Minimum <i>bandwidth</i> untuk kelas <i>j</i> (kbps) W_j : Harga <i>sensitivitas</i> untuk kelas <i>j</i> (rupiah) X_j : <i>Bandwidth</i> akhir untuk kelas <i>j</i> (kbps) $\tilde{W}_{ij}$: Harga <i>sensitivitas</i> untuk pengguna <i>i</i> di kelas <i>j</i> (rupiah) I_j : Indeks kualitas dari kelas <i>j</i>
Variabel yang digunakan pada model modifikasi 1 (α konstanta β variabel)
Z_{ij} : $\begin{cases} 1, & \text{pengguna } i \text{ pada kelas } j \\ 0, & \text{yang lainnya} \end{cases}$ $\tilde{X}_{ij}$: <i>Bandwidth</i> akhir yang diperoleh pengguna <i>i</i> untuk kelas <i>j</i> (kbps) L_j : Minimum <i>bandwidth</i> untuk kelas <i>j</i> (kbps) W_j : Harga <i>sensitivitas</i> untuk kelas <i>j</i> (rupiah) X_j : <i>Bandwidth</i> akhir untuk kelas <i>j</i> (kbps) $\tilde{W}_{ij}$: Harga <i>sensitivitas</i> untuk pengguna <i>i</i> di kelas <i>j</i> (rupiah) I_j : Indeks kualitas dari kelas <i>j</i> β_j : Kualitas premium kelas <i>j</i> yang memiliki kinerja pelayanan I_j (rupiah/kbps)

Nilai-nilai parameter yang digunakan dalam jaringan *multi* kelas berdasarkan data *Demand* pada Tabel. 4.1 dan Tabel. 4.2. Nilai-nilai parameter ini disajikan pada Tabel. 4.8 berikut:

Tabel. 4. 8. Nilai - Nilai Parameter dalam Jaringan *Multi* Kelas

Parameter	Nilai
Total <i>bandwidth</i> (C_1)	3.392,49
Total <i>bandwidth</i> (C_2)	62,06
Harga dasar kelas 1 (α_1)	0,2
Harga dasar kelas 2 (α_2)	0,3

2.3 Formulasi Bentuk MINLP Model Jaringan *Multi* Kelas pada Kasus Model Original

Formulasi model jaringan *multi* kelas pada kasus model original didasarkan pada Persamaan (1) dan Kendala (2) sampai Kendala (13).

Berdasarkan data *server* lokal pada Tabel 4.1 dan Tabel. 4.2, dengan total *bandwidth* $C_1 = 3.392,49$, $C_2 = 62,06$, maka dibentuk Model MINLP dengan mensubstitusikan kasus original sebagai berikut: dengan Persamaan (1) maka didapat:

$$\text{Maks } R = \left(0,2 Z_{11} + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{11}}{L_1}\right) + \left(0,2 Z_{21} + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{21}}{L_1}\right) + \left(0,3 Z_{12} + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{12}}{L_2}\right) + \left(0,3 Z_{22} + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{22}}{L_2}\right)$$

dengan Kendala (2) didapat:

$$\begin{aligned} (\tilde{X}_{11}^1 + \tilde{X}_{21}^1 + \tilde{X}_{12}^1 + \tilde{X}_{22}^1) &\leq 3.392,49 \\ (\tilde{X}_{11}^2 + \tilde{X}_{21}^2 + \tilde{X}_{12}^2 + \tilde{X}_{22}^2) &\leq 62,06 \end{aligned}$$

dengan Kendala (3) didapat:

$$\begin{aligned} \tilde{X}_{11}^1 &\geq \tilde{X}_{11} \\ \tilde{X}_{21}^1 &\geq \tilde{X}_{21} \\ \tilde{X}_{12}^1 &\geq \tilde{X}_{12} \\ \tilde{X}_{22}^1 &\geq \tilde{X}_{22} \\ \tilde{X}_{11}^2 &\geq \tilde{X}_{11} \\ \tilde{X}_{21}^2 &\geq \tilde{X}_{21} \\ \tilde{X}_{12}^2 &\geq \tilde{X}_{12} \\ \tilde{X}_{22}^2 &\geq \tilde{X}_{22} \end{aligned}$$

dengan Kendala (4) didapat:

$$\begin{aligned} \tilde{X}_{11} &= L_{11}^1 \\ \tilde{X}_{21} &= L_{21}^1 \\ \tilde{X}_{12} &= L_{12}^1 \\ \tilde{X}_{22} &= L_{22}^1 \\ \tilde{X}_{11} &= L_{11}^2 \\ \tilde{X}_{21} &= L_{21}^2 \\ \tilde{X}_{12} &= L_{12}^2 \\ \tilde{X}_{22} &= L_{22}^2 \end{aligned}$$

dengan Kendala (5) didapat:

$$\tilde{X}_{11} \geq Z_{11}$$

$$\tilde{X}_{12} \geq Z_{12}$$

$$\tilde{X}_{21} \geq Z_{21}$$

$$\tilde{X}_{22} \geq Z_{22}$$

dengan Kendala (6) didapat:

$$W_1 \leq W_{11}^1 + (1 - Z_{11})$$

$$W_1 \leq W_{21}^1 + (1 - Z_{21})$$

$$W_2 \leq W_{12}^2 + (1 - Z_{12})$$

$$W_2 \leq W_{22}^2 + (1 - Z_{22})$$

dengan Kendala (7) didapat:

$$L_1 \geq \tilde{L}_{11}^1 + (1 - Z_{11})$$

$$L_1 \geq \tilde{L}_{21}^1 + (1 - Z_{21})$$

$$L_2 \geq \tilde{L}_{12}^2 + (1 - Z_{12})$$

$$L_2 \geq \tilde{L}_{22}^2 + (1 - Z_{22})$$

dengan Kendala (8) didapat:

$$\tilde{X}_{11} \geq X_1 - (1 - Z_{11})$$

$$\tilde{X}_{21} \geq X_1 - (1 - Z_{21})$$

$$\tilde{X}_{12} \geq X_2 - (1 - Z_{12})$$

$$\tilde{X}_{22} \geq X_2 - (1 - Z_{22})$$

dengan Kendala (9) didapat:

$$\tilde{X}_{11} \geq X_1$$

$$\tilde{X}_{21} \geq X_1$$

$$\tilde{X}_{12} \geq X_2$$

$$\tilde{X}_{22} \geq X_2$$

dengan Kendala (10) didapat:

$$\tilde{X}_{11} \geq 0$$

$$\tilde{X}_{21} \geq 0$$

$$\tilde{X}_{12} \geq 0$$

$$\tilde{X}_{22} \geq 0$$

dengan Kendala (11) didapat:

$$L_1 \geq 0$$

$$L_2 \geq 0$$

dengan Kendala (12) didapat:

$$W_1 \geq 0$$

$$W_2 \geq 0$$

dengan Kendala (13) maka didapat:

$$Z_{11} = \begin{cases} 1, & \text{pengguna 1 pada kelas 1} \\ 0, & \text{yang lainnya} \end{cases}$$

$$Z_{12} = \begin{cases} 1, & \text{pengguna 1 pada kelas 2} \\ 0, & \text{yang lainnya} \end{cases}$$

$$Z_{21} = \begin{cases} 1, & \text{pengguna 2 pada kelas 1} \\ 0, & \text{yang lainnya} \end{cases}$$

$$Z_{22} = \begin{cases} 1, & \text{pengguna 2 pada kelas 2} \\ 0, & \text{yang lainnya} \end{cases}$$

dengan $i = 1, 2 ; j = 1, 2 ; k = 1, 2$

2.4 Formulasi Bentuk MINLP Model Jaringan *Multi* Kelas pada Kasus Model Modifikasi

Formulasi model jaringan *multi* kelas pada kasus model modifikasi didasarkan pada Persamaan (14) dengan menggunakan Kendala (2) sampai Kendala (13), Kendala (15), dan Kendala (16) juga ditambah dengan kendala (17) jika $\tilde{W}_{ij}$ parameter dan W_j variabel. Jika $\tilde{W}_{ij}$ variabel dan W_j parameter, maka kendala yang digunakan adalah Kendala (18).

2.4.1 Bentuk MINLP Model Modifikasi untuk $\tilde{W}_{ij}$ sebagai Parameter dan W_j sebagai Variabel

Berikut ini bentuk MINLP model jaringan *multi* kelas model modifikasi untuk $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j sebagai variabel.

Berdasarkan Persamaan (14) maka didapat:

$$\begin{aligned} Maks R = & \left((0,2 Z_{11} + 0,01 * I_1) + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{11}}{L_1} \right) + \\ & \left((0,2 Z_{21} + 0,01 * I_1) + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{12}}{L_1} \right) + \\ & \left((0,3 Z_{12} + 0,02 I_2) + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{21}}{L_2} \right) + \\ & \left((0,3 Z_{22} + 0,02 I_2) + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{22}}{L_2} \right) \end{aligned}$$

Selanjutnya, Kendala (2) sampai Kendala (13) analog dengan Sub Bab 3.3 dan ditambah dengan kendala berikut:

dengan Kendala (15) didapat:

$$\alpha_2 + \beta_2 \cdot I_2 \geq \alpha_{2-1} + \beta_{2-1} \cdot I_{2-1}$$

dengan Kendala (16) didapat:

$$0 \leq I_1 \leq 1$$

$$0 \leq I_2 \leq 1$$

dengan Kendala (17) didapat:

$$\tilde{W}_{11} = 12$$

$$\tilde{W}_{21} = 12$$

$$\tilde{W}_{12} = 15$$

$$\tilde{W}_{22} = 15$$

2.4.2 Bentuk MINLP Model Modifikasi untuk $\tilde{W}_{ij}$ sebagai Variabel dan W_j sebagai Parameter

Berikut ini bentuk MINLP model jaringan *multi* kelas model modifikasi untuk W_j sebagai parameter dan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai variabel.

Berdasarkan Persamaan (14) maka didapat:

$$\begin{aligned} Maks R = & \left((0,2 Z_{111} + 0,01 I_1) + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{11}}{L_1} \right) + \\ & \left((0,2 Z_{21} + 0,01 I_1) + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{12}}{L_1} \right) + \\ & \left((0,3 Z_{12} + 0,02 I_2) + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{21}}{L_2} \right) + \\ & \left((0,3 Z_{22} + 0,02 I_2) + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{22}}{L_2} \right) \end{aligned}$$

Selanjutnya, Kendala (2) sampai Kendala (13) analog dengan Sub Bab 3.3 dan ditambah dengan kendala berikut:

dengan Kendala (15) didapat:

$$\alpha_2 + \beta_2 \cdot I_2 \geq \alpha_{2-1} + \beta_{2-1} \cdot I_{2-1}$$

dengan Kendala (16) didapat:

$$0 \leq I_1 \leq 1$$

$$0 \leq I_2 \leq 1$$

dengan Kendala (18) didapat:

$$W_1 = 10$$

$$W_2 = 12$$

2.5 Formulasi Bentuk MINLP Model Jaringan *Multi* Kelas pada Kasus Model Modifikasi 1

Formulasi model jaringan *multi* kelas pada kasus model modifikasi 1 didasarkan pada Persamaan (14) dengan menggunakan Kendala (2) sampai Kendala (20).

2.5.1 Bentuk MINLP Model Modifikasi 1 untuk $\tilde{W}_{ij}$ sebagai Parameter dan W_j sebagai Variabel

Berdasarkan data *server* lokal pada Tabel 4.1 dan Tabel. 4.2, dengan total *bandwidth* $C_1 = 3.392,49$ dan $C_2 = 62,06$, dibentuk Model MINLP yang analog dengan Sub-Sub Bab 3.4.3 dan ditambah kendala sebagai berikut:

dengan Kendala (19) didapat:

$$\beta_2 \leq \beta_{2-1}$$

$$\beta_2 \leq \beta_1$$

dengan Kendala (20) didapat:

$$0,01 \leq \beta_1 \leq 0,04$$

$$0,02 \leq \beta_2 \leq 0,03$$

2.5.2 Bentuk MINLP Model Modifikasi 1 untuk $\tilde{W}_{ij}$ sebagai Variabel dan W_j sebagai Parameter

Berdasarkan data *server* lokal pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2, dengan total *bandwidth* $C_1 = 3.392,49$ dan $C_2 = 62,06$, dibentuk Model MINLP yang analog dengan Sub-Sub Bab 4.4.2 dan ditambah kendala sebagai berikut:

dengan Kendala (19) didapat:

$$\beta_2 \leq \beta_{2-1}$$

$$\beta_2 \leq \beta_1$$

dengan Kendala (20) didapat:

$$0,01 \leq \beta_1 \leq 0,04$$

$$0,02 \leq \beta_2 \leq 0,03$$

2.6 Solusi Model Jaringan *Multi* Kelas dengan Program Lingo pada Model Original

Tabel. 4.9 berikut menjelaskan nilai-nilai variabel pada model original. *Bandwidth* akhir ($\hat{X}_{ij}$) yang diperoleh pengguna yaitu untuk $\hat{X}_{11}$ sebesar 5 kbps, untuk $\hat{X}_{21}$ sebesar 6 kbps, untuk $\hat{X}_{12}$ sebesar 4 kbps, dan untuk $\hat{X}_{22}$ sebesar 7 kbps. Minimum *bandwidth* untuk L_1 dan L_2 adalah 6 kbps dan 7 kbps. Harga *sensitivitas* untuk kelas 1 dan kelas 2 (W_1 dan W_2) adalah 0. ISP memvariasikan harga dasar 0,2 rupiah dan 0,3 rupiah untuk semua kasus agar mampu mendapatkan kembali biaya yang dikeluarkan.

Tabel. 4. 9. Nilai-Nilai Variabel pada Model Original

Variabel	Nilai	Variabel	Nilai
Z_{11}	1	$\hat{X}_{11}$	5
Z_{21}	1	$\hat{X}_{21}$	6
Z_{12}	1	$\hat{X}_{12}$	4
Z_{22}	1	$\hat{X}_{22}$	7
$\tilde{W}_{11}$	8	X_1	5
$\tilde{W}_{21}$	7	X_2	4
$\tilde{W}_{12}$	9	W_1	0
$\tilde{W}_{22}$	10	W_2	0
L_1	6	L_1	7

Pada Tabel. 4.10 solusi model original yang diperbaiki menggunakan data *server* lokal pada Tabel. 4.1 sebagai nilai C_1 dan Tabel. 4.2 sebagai nilai C_2 yang menghasilkan solusi yang disajikan pada Tabel 4.10 berikut:

Tabel. 4. 10. Solusi Model Original

<i>Solver Status</i>	
<i>Model Class</i>	INLP
<i>State</i>	<i>Local optimal</i>
<i>Infeasibility</i>	0
<i>Iterations</i>	4
<i>Extended Solver State</i>	
<i>Solver type</i>	<i>Branch & Bound</i>
<i>Active</i>	0

<i>Update interval</i>	2
<i>GMU(K)</i>	32
<i>ER(sec)</i>	0
<i>Best Objective</i>	1
<i>Objective bound</i>	1
<i>ESS</i>	0
<i>TSI</i>	4

Generated Memory Used (GMU) menunjukkan jumlah alokasi memori yang digunakan dalam LINGO. GMU pada model ini adalah 32 kilo. *Elapsed Runtime* (ER) menjelaskan tentang total waktu yang digunakan untuk menghasilkan dan menyelesaikan model serta dipengaruhi oleh jumlah aplikasi lain yang berjalan dalam sistem ini. Pada kasus ini jumlah ER adalah 0 *second*. Total pendapatan pada model ini adalah 1 rupiah dengan 4 iterasi.

2.7 Solusi Model Jaringan *Multi Kelas* dengan Program Lingo pada Model Modifikasi

Model modifikasi dibedakan menjadi 2, yaitu:

1. $\widetilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j sebagai variabel
2. $\widetilde{W}_{ij}$ sebagai variabel dan W_j sebagai parameter

Tabel. 4. 11. Nilai-Nilai Variabel pada Model Modifikasi

Variabel	Modifikasi	Variabel	Modifikasi
	$\widetilde{W}_{ij}$ Par W_j Var		$\widetilde{W}_{ij}$ Par W_j Var
Z_{11}	1	$\hat{X}_{11}$	5
Z_{12}	1	$\hat{X}_{12}$	4
Z_{21}	1	$\hat{X}_{21}$	6
Z_{22}	1	$\hat{X}_{22}$	7
W_1	0	L_1	6
W_2	0	L_2	7
X_1	5	I_1	0
X_2	4	I_2	0

Tabel. 4.11 tersebut menjelaskan nilai-nilai variabel pada model modifikasi. *Bandwidth* akhir ($\hat{X}_{ij}$) yang diperoleh pengguna untuk kasus modifikasi yaitu untuk $\hat{X}_{11}$ sebesar 5 kbps, untuk $\hat{X}_{12}$ sebesar 4 kbps, untuk $\hat{X}_{21}$ sebesar 6 kbps, dan $\hat{X}_{22}$ sebesar 7 kbps. Kualitas premium untuk pengguna 1 sebesar 0,01 rupiah/kbps dan untuk pengguna 2 sebesar 0,02 rupiah/kbps. Minimum *bandwidth* untuk L_1 dan L_1 adalah 6 kbps dan 7 kbps. Harga *sensitivitas* untuk kelas 1 dan kelas 2 (W_1 dan W_2) adalah 0 rupiah untuk W_j sebagai variabel dan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter. ISP memvariasikan harga dasar 0,2 rupiah dan 0,3 rupiah serta kualitas premium 0,01 rupiah/kbps dan 0,02 rupiah/kbps untuk semua kasus agar ISP mendapatkan kembali biaya yang dikeluarkan dan pengguna dapat memilih kelas yang sesuai dengan kebutuhan mereka.

Tabel. 4.12 berikut ini menjelaskan solusi model modifikasi yang diperbaiki menggunakan data *server* lokal pada Tabel. 4.1 sebagai nilai C_1 dan Tabel. 4.2 sebagai nilai C_2 yang menghasilkan solusi yang disajikan dalam Tabel. 4.12 berikut:

Tabel. 4. 12. Solusi Model Modifikasi

<i>Solver Status</i>	W_j Var $\tilde{W}_{ij}$ Par
<i>Model Class</i>	<i>INLP</i>
<i>State</i>	<i>Local optimal</i>
<i>Infeasibility</i>	0
<i>Iterations</i>	4
<i>Extended Solver state</i>	
<i>Solver type</i>	<i>Branch & Bound</i>
<i>Active</i>	0
<i>Update interval</i>	2
<i>GMU(K)</i>	35
<i>ER(sec)</i>	1
<i>Best Objective</i>	1
<i>Objective bound</i>	1
<i>ESS</i>	0
<i>TSI</i>	4

Generated Memory Used (GMU) pada model ini adalah 35 kilo. *Elapsed Runtime* (ER) menjelaskan tentang total waktu yang digunakan untuk menghasilkan dan menyelesaikan model serta dipengaruhi oleh

jumlah aplikasi lain yang berjalan dalam sistem ini. Pada kasus ini jumlah ER adalah 1 *second*. *Extended Solver Steps* (ESS) tergantung pada *solver* tertentu yang sedang berjalan. Karena model memiliki pemecah jenis *Branch* dan *Bound* sehingga ESS adalah 0. ISP dapat memperoleh keuntungan maksimum pada saat W_j sebagai variabel dan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter sehingga memungkinkan ISP dapat memulihkan biaya dengan keuntungan maksimum sebesar 1 rupiah.

2.8 Solusi Model Jaringan *Multi* Kelas dengan Program Lingo pada Model Modifikasi 1

Model modifikasi 1 dibedakan menjadi 2, yaitu:

1. W_j sebagai parameter dan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai variabel
2. W_j sebagai variabel dan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter

Tabel. 4. 13. Nilai-Nilai Variabel pada Model Modifikasi 1

Variabel	Modifikasi 1	
	$\tilde{W}_{ij}$ Par W_j Var	$\tilde{W}_{ij}$ Var W_j Par
Z_{11}	1	1
Z_{12}	0	1
Z_{21}	0	1
Z_{22}	1	1
W_1	8	10
W_2	10	12
$\tilde{W}_{11}$	12	10
$\tilde{W}_{12}$	15	12
$\tilde{W}_{21}$	12	10
$\tilde{W}_{22}$	15	12
$\hat{X}_{11}$	13,79111	14,10455
$\hat{X}_{12}$	17,23889	14,10455
$\hat{X}_{21}$	13,79111	16,92545
$\hat{X}_{22}$	17,23889	16,92545
L_1	7	6
L_2	7	7
X_1	13,79111	14,10455
X_2	17,23889	16,92545
I_1	0,9	0,9
I_2	0,8	0,8

Tabel. 4.13 tersebut menjelaskan nilai-nilai variabel pada model modifikasi 1. *Bandwidth* akhir ($\hat{X}_{ij}$) yang diperoleh pengguna untuk kasus modifikasi 1 dengan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j sebagai variabel adalah untuk $\hat{X}_{11}$ dan $\hat{X}_{21}$ sebesar 13,79111 kbps serta $\hat{X}_{12}$ dan $\hat{X}_{22}$ sebesar 17,23889 kbps. Kualitas premium untuk pengguna 1 sebesar 0,04 rupiah/kbps dan untuk pengguna 2 sebesar 0,03 rupiah/kbps. Minimum *bandwidth* untuk L_1 dan L_2 adalah 7 kbps. Harga *sensitivitas* untuk kelas 1 dan kelas 2 (W_1 dan W_2) adalah 8 rupiah dan 10 rupiah. Sedangkan untuk $\tilde{W}_{ij}$ sebagai variabel dan W_j sebagai parameter, diperoleh $\hat{X}_{11}$ dan $\hat{X}_{12}$ sebesar 14,10455 kbps, serta $\hat{X}_{21}$ dan $\hat{X}_{22}$ 16,92545 kbps. ISP memvariasikan harga dasar 0,2 rupiah dan 0,3 rupiah serta kualitas premium 0,04 rupiah/kbps dan 0,03 rupiah/kbps untuk semua kasus agar ISP mendapatkan kembali biaya yang dikeluarkan dan juga dapat mempromosikan penggunaan layanan QoS tertentu yang lebih tinggi kepada pengguna.

Tabel. 4.14 berikut ini menjelaskan solusi model modifikasi 1 yang diperbaiki menggunakan data *server* lokal pada Tabel. 4.1 sebagai nilai C_1 dan Tabel. 4.2 sebagai nilai C_2 yang menghasilkan solusi sebagai berikut:

Tabel. 4. 14. Solusi Model Modifikasi 1

<i>Solver Status</i>	$\tilde{W}_{ij}$ Par W_j Var	$\tilde{W}_{ij}$ Var W_j Par
<i>Model Class</i>	INLP	
<i>State</i>	<i>Local optimal</i>	
<i>Infeasibility</i>	0	0
<i>Iterations</i>	28	19
<i>Extended Solver state</i>		
<i>Solver type</i>	Branch & Bound	
<i>Active</i>	0	0
<i>Update interval</i>	2	2
<i>GMU(K)</i>	36	34
<i>ER(sec)</i>	0	0
<i>Best Objective</i>	29,515	39,4046
<i>Objective bound</i>	29,515	39,4046
<i>ESS</i>	0	0
<i>TSI</i>	28	19

Generated Memory Used (GMU) tertinggi pada model ini adalah 36 kilo untuk kasus W_{ij} sebagai parameter dan W_j sebagai variabel, sedangkan 34 kilountuk $\tilde{W}_{ij}$ sebagai variabel dan W_j sebagai parameter. *Elapsed Runtime* (ER) menjelaskan tentang total waktu yang digunakan untuk menghasilkan dan menyelesaikan model serta dipengaruhi oleh jumlah aplikasi lain yang berjalan dalam sistem ini. Pada kasus ini jumlah ER adalah 0 *second* untuk W_{ij} sebagai parameter dan W_j sebagai variabel, serta $\tilde{W}_{ij}$ sebagai variabel dan W_j sebagai parameter. *Extended Solver Steps* (ESS) tergantung pada solver tertentu yang sedang berjalan. Karena semua model memiliki pemecah jenis Branch dan Bound sehingga ESS adalah 0. ISP dapat memperoleh keuntungan maksimum pada saat $\tilde{W}_{ij}$ sebagai variabel dan W_j sebagai parameter sehingga memungkinkan ISP dapat memulihkan biaya dengan nilai maksimum sebesar 39,4046 rupiah.

2.9 Rekapitulasi Perbandingan Total Keuntungan pada Jaringan Multi Kelas

Berdasarkan hasil formulasi solusi model jaringan *multi* kelas pada Sub Bab 2.6, 2.7, dan 2.8 didapat rekapitulasi yang ditampilkan pada tabel 4.15 berikut:

Tabel. 4. 15. Rekapitulasi Total Keuntungan pada Model Multi Kelas

Kasus	Model Original	Model Modifikasi	Model Modifikasi 1	
		W_{ij} variabel W_j parameter	W_{ij} parameter W_j variabel	W_{ij} variabel W_j parameter
Total Keuntungan	1	1	29,515	39,4046

Berdasarkan hasil rekapitulasi pada Tabel 4.15 didapat bahwa ISP dapat memperoleh keuntungan maksimal pada kasus model modifikasi 1 dengan W_{ij} sebagai variabel dan W_j sebagai parameter dengan total keuntungan 39,4046 rupiah.

2.10 Formulasi Jaringan *Multi Layanan (Multi Service Network)*

Parameter yang digunakan untuk mengoptimalkan pembiayaan internet link *multipel* menggunakan jaringan *multi layanan* pada tipe α , β konstanta (kasus α , β *fixed*) dan tipe α konstanta, β variabel (kasus α *fixed*, β *vary*) yang dapat dilihat pada Tabel. 4.3, Tabel. 4.4, dan Tabel. 4.5 dengan memakai Model Persamaan (21), Persamaan (29), dan Kendala (22) sampai Kendala (31).

Tabel. 4. 16. Parameter yang Digunakan pada Model Internet Jaringan *Multi Layanan* pada Link *Multipel*

Parameter untuk α, β konstanta	
C_k	: Total kapasitas pada link k (kbps)
m_i	: Minimum QoS untuk layanan i (kbps)
n_i	: Jumlah pengguna layanan i
p_{ik}	: Harga pengguna layanan i pada link k
α	: Harga dasar untuk setiap layanan (rupiah)
β	: Kualitas premium untuk setiap layanan (rupiah/kbps)
S	: Jumlah layanan
Parameter untuk α konstanta, β variabel	
C_k	: Total kapasitas pada link k (kbps)
m_i	: Minimum QoS untuk layanan i (kbps)
n_i	: Jumlah pengguna layanan i
p_{ik}	: Harga pengguna layanan i pada link k
α	: Harga dasar untuk setiap layanan (rupiah)
S	: Jumlah layanan
l_i	: Minimum kualitas premium untuk layanan i (rupiah/kbps)
b_i	: Maximum kualitas premium untuk layanan i (rupiah/kbps)

Variabel keputusan menggambarkan jumlah yang akan ditentukan untuk memecahkan masalah model penentuan harga internet. Variabel keputusan untuk pendekatan baru pada jaringan *multi layanan* link *multipel* dapat dilihat pada Tabel 4.17 berikut:

Tabel. 4. 17. Variabel Keputusan yang Digunakan pada Formulasi Model Harga Internet untuk Jaringan *Multi* Layanan

Variabel jika α, β konstanta	
a_{ik}	: Total kapasitas untuk layanan i pada link k (kbps)
I_i	: Indeks kualitas layanan i
x_{ik}	: Jumlah pengguna yang menggunakan layanan i pada link k
Variabel jika α konstanta, β variabel	
a_{ik}	: Total kapasitas untuk layanan i pada link k (kbps)
I_i	: Indeks kualitas layanan i
x_{ik}	: Jumlah pengguna yang menggunakan layanan i pada link k
β_i	: Kualitas premium untuk layanan i (rupiah/kbps)

Kasus 1 (α, β konstanta) dengan memodifikasi indeks kualitas layanan i (I_i) yaitu :

iv) jika $I_i = I_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$I_i - I_{i-1} = 0 \quad (32)$$

v) jika $I_i > I_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$I_i - I_{i-1} > 0 \quad (33)$$

vi) jika $I_i < I_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$I_i - I_{i-1} < 0 \quad (34)$$

Kemudian untuk kasus 2 dengan memodifikasi indeks kualitas layanan i (I_i) dan kualitas premium layanan i (β_i), sehingga ditambahkan Kendala (32) sampai Kendala (34) dan juga kendala berikut :

iv) jika $\beta_i = \beta_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$\beta_i - \beta_{i-1} = 0 \quad (35)$$

v) jika $\beta_i > \beta_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$\beta_i - \beta_{i-1} = 0 \quad (36)$$

vi) jika $\beta_i < \beta_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$\beta_i - \beta_{i-1} = 0 \quad (37)$$

Pada jaringan *multi* layanan, data *server* lokal digunakan sebagai kapasitas yang dibutuhkan untuk layanan i pada link k (d_{ik}). Nilai-nilai parameter yang digunakan untuk jaringan *multi* layanan disajikan pada Tabel. 4.18 berikut:

Tabel. 4. 18. Nilai – Nilai Parameter untuk *Multi Layanan*

i,k	Kapasitas yang Dibutuhkan (d_{ik})	Total Kapasitas (C_k)	Jumlah Pengguna Maksimum (n_i)	Harga Pengguna Layanan (p_{ik})
1,1	685,15	5.710,42	10	30
2,1	4.970,39		20	45
3,1	59,88		30	20
1,2	2.052,48	4.357,89	10	30
2,2	2.222,77		20	45
3,1	82,64		30	20

2.10.1 Bentuk MINLP Model Jaringan *Multi Layanan* pada Kasus α, β Konstanta (α, β fixed)

Formulasi model jaringan *multi layanan* pada kasus α, β konstanta didasarkan pada Persamaan (21), Kendala (22) sampai Kendala (28), dan Kendala (32) sampai Kendala (34). Jumlah layanan adalah $S = 3$, dalam hal ini $i = 1, 2, 3$.

Nilai I_i (indeks kualitas layanan i) merupakan variabel, sehingga untuk $i = 1, 2, 3$ ada 3 kasus, yaitu $I_i = I_{i-1}$, $I_i > I_{i-1}$, dan $I_i < I_{i-1}$. Nilai parameter yang digunakan untuk α, β konstanta disajikan pada Tabel 4.19 berikut:

Tabel. 4. 19. Nilai-Nilai Parameter yang Digunakan untuk α, β Konstanta

Parameter	$I_i = I_{i-1}$	$I_i > I_{i-1}$	$I_i < I_{i-1}$
α	0,1	0,1	0,1
β	0,5	0,5	0,5
p_{11}	30	30	30
p_{21}	45	45	45
p_{31}	20	20	20
p_{12}	30	30	30
p_{22}	45	45	45
p_{32}	20	20	20
Parameter	$I_i = I_{i-1}$	$I_i > I_{i-1}$	$I_i < I_{i-1}$
d_{11}	680,15	680,15	680,15
d_{21}	4.970,39	4.970,39	4.970,39
d_{31}	59,88	59,88	59,88

d_{12}	2.052,48	2.052,48	2.052,48
d_{22}	2.222,77	2.222,77	2.222,77
d_{32}	82,64	82,64	82,64
m_1	0,01	0,01	0,01
m_2	0,01	0,01	0,01
m_3	0,01	0,01	0,01
n_1	10	10	10
n_2	20	20	20
n_3	30	30	30
C_1	5.710,42	5.710,42	5.710,42
C_2	4.357,89	4.357,89	4.357,89

Berdasarkan Tabel. 4.19 nilai-nilai parameter untuk ketiga kasus bernilai sama, maka dibuat bentuk MINLP untuk salah satu kasus dengan menggunakan Persamaan (21), Kendala (22) sampai Kendala (28), dan Kendala (32) sampai Kendala (34) seperti di bawah ini:

Berdasarkan Persamaan (21) didapat:

$$\begin{aligned}
 Maks &= (0,1 + 0,5 I_1)30 x_{11} + (0,1 + 0,5 I_2)45 x_{21} + \\
 &\quad (0,1 + 0,5 I_3)20 x_{31} + (0,1 + 0,5 I_1)30 x_{12} + \\
 &\quad (0,1 + 0,5 I_2)45 x_{22} + (0,1 + 0,5 I_3)20 x_{32} \\
 &= 3x_{11} + 1,5I_1x_{11} + 4,5x_{21} + 22,5I_2x_{21} + \\
 &\quad 2x_{31} + 10I_3x_{31} + 3x_{12} + 1,5I_1x_{12} + 4,5x_{22} + \\
 &\quad 22,5I_2x_{22} + 2x_{32} + 10I_3x_{32}
 \end{aligned}$$

dengan Kendala (22) didapat:

$$\begin{aligned}
 680,15 I_1 x_{11} &\leq 5.710,42 a_{11} \\
 4.970,39 I_2 x_{21} &\leq 5.710,42 a_{21} \\
 59,88 I_3 x_{31} &\leq 5.710,42 a_{31} \\
 2.052,48 I_1 x_{12} &\leq 4.357,89 a_{12} \\
 2.222,77 I_2 x_{22} &\leq 4.357,89 a_{22} \\
 82,64 I_3 x_{32} &\leq 4.357,89 a_{32}
 \end{aligned}$$

dengan Kendala (23) didapat:

$$\begin{aligned}
 680,15 I_1 x_{11} + 4.970,39 I_2 x_{21} + 59,88 I_3 x_{31} \\
 &\leq 5.710,42 \\
 2.052,48 I_1 x_{12} + 2.222,77 I_2 x_{22} + 82,64 I_3 x_{32} \\
 &\leq 4.357,89
 \end{aligned}$$

dengan Kendala (24) didapat:

$$a_{11} + a_{21} + a_{31} = 1$$

$$a_{12} + a_{22} + a_{32} = 1$$

dengan Kendala (25) didapat:

$$0 \leq a_{11} \leq 1$$

$$0 \leq a_{21} \leq 1$$

$$0 \leq a_{31} \leq 1$$

$$0 \leq a_{12} \leq 1$$

$$0 \leq a_{22} \leq 1$$

$$0 \leq a_{32} \leq 1$$

dengan Kendala (26) didapat:

$$0,01 \leq I_1 \leq 1$$

$$0,01 \leq I_2 \leq 1$$

$$0,01 \leq I_3 \leq 1$$

dengan Kendala (27) didapat:

$$0 \leq x_{11} \leq 10$$

$$0 \leq x_{21} \leq 20$$

$$0 \leq x_{31} \leq 30$$

$$0 \leq x_{12} \leq 10$$

$$0 \leq x_{22} \leq 20$$

$$0 \leq x_{32} \leq 30$$

dengan Kendala (28) didapat:

$$\{x_{11}, x_{21}, x_{31}, x_{12}, x_{22}, x_{32}\} \text{integer}$$

Jika $I_i = I_{i-1}$, maka ditambah kendala:

$$I_2 - I_1 = 0$$

$$I_3 - I_2 = 0 \tag{32}$$

Jika $I_i > I_{i-1}$, maka ditambah kendala:

$$I_2 - I_1 > 0$$

$$I_3 - I_2 > 0 \tag{33}$$

Jika $I_i < I_{i-1}$, maka ditambah kendala:

$$I_2 - I_1 < 0$$

$$I_3 - I_2 < 0 \tag{34}$$

2.10.2 Bentuk MINLP Model Jaringan *Multi* Layanan pada Kasus α Konstanta, β Variabel

Formulasi model jaringan *multi* layanan pada kasus α konstanta, β variabel didasarkan pada Persamaan (29) dan

Kendala (21) sampai Kendala (31), juga ditambah dengan Kendala (35) sampai Kendala (37). Jumlah layanan $s = 3$.

Karena β dan I_i merupakan variabel, maka untuk setiap layanan i , terdapat 3 kasus berdasarkan indeks kualitas (I_i) dan 3 kasus berdasarkan kualitas premium (β_i). Dalam hal ini dapat dibentuk 9 model yang ditampilkan dalam Tabel. 4.20:

Tabel. 4. 20. Nilai-Nilai Parameter yang Digunakan jika α Konstanta, β Variabel

Parameter	$\beta_i = \beta_{i-1}$			$\beta_i > \beta_{i-1}$			$\beta_i < \beta_{i-1}$		
	$I_i = I_{i-1}$	$I_i > I_{i-1}$	$I_i < I_{i-1}$	$I_i = I_{i-1}$	$I_i > I_{i-1}$	$I_i < I_{i-1}$	$I_i = I_{i-1}$	$I_i > I_{i-1}$	$I_i < I_{i-1}$
α	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
p ₁₁	30	30	30	30	30	30	30	30	30
p ₂₁	45	45	45	45	45	45	45	45	45
p ₃₁	20	20	20	20	20	20	20	20	20
p ₁₂	30	30	30	30	30	30	30	30	30
p ₂₂	45	45	45	45	45	45	45	45	45
p ₃₂	20	20	20	20	20	20	20	20	20
d ₁₁	680,1 5	680,1 5	680,1 5	680,1 5	680,1 5	680,1 5	680,1 5	680,1 5	680,1 5
d ₂₁	4.970, 39	4.970, 39	4.970, 39	4.970, 39	4.970, 39	4.970, 39	4.970, 39	4.970, 39	4.970, 39
d ₃₁	59,88	59,88	59,88	59,88	59,88	59,88	59,88	59,88	59,88
d ₁₂	680,1 5	680,1 5	680,1 5	680,1 5	680,1 5	680,1 5	680,1 5	680,1 5	680,1 5
d ₂₂	4.970, 39	4.970, 39	4.970, 39	4.970, 39	4.970, 39	4.970, 39	4.970, 39	4.970, 39	4.970, 39
d ₃₂	59,88	59,88	59,88	59,88	59,88	59,88	59,88	59,88	59,88
m ₁	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
m ₂	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
m ₃	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
n ₁	10	10	10	10	10	10	10	10	10
n ₂	20	20	20	20	20	20	20	20	20
n ₃	30	30	30	30	30	30	30	30	30
C ₁	5.710, 42	5.710, 42	5.710, 42	5.710, 42	5.710, 42	5.710, 42	5.710, 42	5.710, 42	5.710, 42
C _q	4.357, 89	4.357, 89	4.357, 89	4.357, 89	4.357, 89	4.357, 89	4.357, 89	4.357, 89	4.357, 89

l_1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
l_2	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
l_3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
b_1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
b_2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
b_3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Berdasarkan Tabel. 4.20 nilai-nilai parameter untuk 9 model bernilai sama untuk setiap kasus $\beta_i = \beta_{i-1}$, $\beta_i > \beta_{i-1}$, dan $\beta_i < \beta_{i-1}$. Selanjutnya dibuat bentuk MINLP dengan menggunakan Persamaan (29) dan Kendala (22) sampai Kendala (31), juga ditambah dengan Kendala (32) sampai Kendala (37) berikut:

Berdasarkan Persamaan (29) didapat:

$$\begin{aligned}
 \text{Maks } R &= (0,1 + \beta_1 I_1)30 x_{11} + (0,1 + \beta_2 I_2)45 x_{21} + \\
 &\quad (0,1 + \beta_3 I_3)20 x_{31} + (0,1 + \beta_1 I_1)30 x_{12} + \\
 &\quad (0,1 + \beta_2 I_2)45 x_{22} + (0,1 + \beta_3 I_3)20 x_{32} \\
 &= 3x_{11} + 30\beta_1 I_1 x_{11} + 4,5x_{21} + 45\beta_2 I_2 x_{21} + 2x_{31} \\
 &\quad + 20\beta_3 I_3 x_{31} + 3x_{12} + 30\beta_1 I_1 x_{12} + 4,5x_{22} \\
 &\quad + 45\beta_2 I_2 x_{22} + 2x_{32} + 20\beta_3 I_3 x_{32}
 \end{aligned}$$

dengan Kendala (22) didapat:

$$\begin{aligned}
 680,15 I_1 x_{11} &\leq 5.710,42 a_{11} \\
 4970,39 I_2 x_{21} &\leq 5.710,42 a_{21} \\
 59,88 I_3 x_{31} &\leq 5.710,42 a_{31} \\
 2.052,48 I_1 x_{12} &\leq 4.357,89 a_{12} \\
 2.222,77 I_2 x_{22} &\leq 4.357,89 a_{22} \\
 82,64 I_3 x_{32} &\leq 4.357,89 a_{32}
 \end{aligned}$$

dengan Kendala (23) didapat:

$$\begin{aligned}
 680,15 I_1 x_{11} + 4.970,39 I_2 x_{21} + 59,88 I_3 x_{31} &\leq 5.710,42 \\
 2.052,48 I_1 x_{12} + 2.222,77 I_2 x_{22} + 82,64 I_3 x_{32} &\leq 4.357,89
 \end{aligned}$$

dengan Kendala (24) didapat:

$$\begin{aligned}
 a_{11} + a_{21} + a_{31} &= 1 \\
 a_{12} + a_{22} + a_{32} &= 1
 \end{aligned}$$

dengan Kendala (25) didapat:

$$\begin{aligned}
 0 &\leq a_{11} \leq 1 \\
 0 &\leq a_{21} \leq 1
 \end{aligned}$$

$$0 \leq a_{31} \leq 1$$

$$0 \leq a_{12} \leq 1$$

$$0 \leq a_{22} \leq 1$$

$$0 \leq a_{32} \leq 1$$

dengan Kendala (26) didapat:

$$0,01 \leq I_1 \leq 1$$

$$0,01 \leq I_2 \leq 1$$

$$0,01 \leq I_3 \leq 1$$

dengan Kendala (27) didapat:

$$0 \leq x_{11} \leq 10$$

$$0 \leq x_{21} \leq 20$$

$$0 \leq x_{31} \leq 30$$

$$0 \leq x_{12} \leq 10$$

$$0 \leq x_{22} \leq 20$$

$$0 \leq x_{32} \leq 30$$

dengan Kendala (28) didapat:

$$\{x_{11}, x_{21}, x_{31}, x_{12}, x_{22}, x_{32}\} \text{integer}$$

Jika $I_i = I_{i-1}$, maka ditambah kendala:

$$I_2 - I_1 = 0$$

$$I_3 - I_2 = 0 \quad (32)$$

Jika $I_i > I_{i-1}$, maka ditambah kendala:

$$I_2 - I_1 > 0$$

$$I_3 - I_2 > 0 \quad (33)$$

Jika $I_i < I_{i-1}$, maka ditambah kendala:

$$I_2 - I_1 < 0$$

$$I_3 - I_2 < 0 \quad (34)$$

dengan Kendala (30) maka didapat:

$$\beta_2 I_2 \geq \beta_1 I_1$$

$$\beta_3 I_3 \geq \beta_2 I_2$$

dengan Kendala (31) maka didapat:

$$0,01 \leq \beta_1 \leq 0,5$$

$$0,01 \leq \beta_2 \leq 0,5$$

$$0,01 \leq \beta_3 \leq 0,5$$

Jika $\beta_i = \beta_{i-1}$, maka ditambah kendala:

$$\beta_2 - \beta_1 = 0$$

$$\beta_3 - \beta_2 = 0 \quad (35)$$

Jika $\beta_i > \beta_{i-1}$, maka ditambah kendala:

$$\begin{aligned}\beta_2 - \beta_1 &> 0 \\ \beta_3 - \beta_2 &> 0\end{aligned}\tag{36}$$

Jika $\beta_i < \beta_{i-1}$, maka ditambah kendala:

$$\begin{aligned}\beta_2 - \beta_1 &< 0 \\ \beta_3 - \beta_2 &< 0\end{aligned}\tag{37}$$

2.11 Solusi Model Jaringan *Multi* Layanan dengan Program Lingo pada Kasus α, β Konstanta

Model yang diperoleh pada Sub Bab 2.10 selanjutnya diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan solusi optimal pada masing-masing kasus. Solusi optimal yang diperoleh adalah sebagai berikut:

2.11.1 Kasus α, β Konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$

Tabel. 4.21 sampai Tabel. 4.23 berikut ini menjelaskan solusi model yang diperbaiki untuk jaringan *multi* layanan sehingga dapat menentukan apakah dalam skema pembiayaan tersebut skema yang menawarkan pembiayaan yang lebih baik yang dapat menguntungkan telco serta menarik minat pengguna untuk menggunakan skema tersebut.

Tabel. 4. 21. Solusi Model yang Diperbaiki dalam Jaringan *Multi* Layanan α, β Konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$

<i>Solver Status</i>	
<i>Model Class</i>	MINLP
<i>State</i>	Local optimal
<i>Objective</i>	455, 1686
<i>Infeasibility</i>	0,4547474e-12
<i>Iterations</i>	13
<i>Extended Solver status</i>	
<i>Solver Type</i>	Branch and Bound
<i>Best Objective</i>	455, 1686
<i>Objective bound</i>	455, 1686
<i>Steps</i>	0
<i>Update interval</i>	2
<i>Active</i>	0

<i>GMU(K)</i>	32
<i>ER(sec)</i>	0

Pada Tabel. 4.21, nilai maksimum fungsi objektif (fungsi tujuan) pada saat $I_i=I_{i-1}$ adalah 455,1686 rupiah dengan 32 iterasi. Total waktu untuk menghasilkan model adalah 0 detik.

Tabel. 4. 22. Nilai-Nilai Variabel pada Jaringan *Multi Layanan* α, β Konstanta

Variabel	Nilai Variabel	Variabel	Nilai Variabel
x_{11}	10	a_{11}	0,063
x_{21}	20	a_{21}	0,92
x_{31}	30	a_{31}	0,017
x_{12}	10	a_{12}	0,25
x_{22}	20	a_{22}	0,54
x_{32}	30	a_{32}	0,21
I_1	0,053	I_3	0,053
I_2	0,053		

Tabel. 4. 23. Index Kualitas per Layanan pada $I_i=I_{i-1}$ dengan α, β Konstanta

Layanan	1	2	3
Kualitas premium (β)	0,5	0,5	0,5
Harga dasar (α)	0,1	0,1	0,1
Tingkat QoS (I_i)	0,053	0,053	0,053
Jumlah pengguna layanan (x_{ik})	10	20	30
Kapasitas pengguna per layanan ($I_i*d_{ik}*x_{ik}$)	1.444,7 8	7.606,25 9	226,057
Total kapasitas yang digunakan ($\sum I_i*d_{ik}*x_{ik}$)	9.277,097		
Keuntungan per layanan ($((\alpha+\beta*I_i)*p_{ik}*x_{ik})$)	75,84	227,52	151,68
Total keuntungan ($\sum (\alpha+\beta*I_i)*p_{ik}*x_{ik}$)	455,04		

ISP menawarkan 3 layanan ($S = 3$). Setiap layanan i ; $i = 1, 2, 3$ merupakan tingkat layanan yang tersedia pada jaringan sebesar 5,29%; dengan jumlah pengguna layanan 1 ada 10 orang, layanan 2 ada 20 orang, serta layanan 3 ada 30 orang. Kapasitas

pengguna pada layanan 1 sebesar 1.444,781 kbps atau sebesar $\frac{1.444,781}{9.277,097} \times 100\% = 15,57\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Kapasitas pengguna pada layanan 2 sebesar 7.606,259 kbps atau sebesar $\frac{7.606,259}{9.277,097} \times 100\% = 81,99\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Kapasitas pengguna pada layanan 3 sebesar 226,057 kbps atau sebesar $\frac{226,057}{9.277,097} \times 100\% = 2,44\%$ dari kapasitas total yang digunakan.

Jika ISP menargetkan dapat mengembalikan biaya pengguna layanan dan juga dapat memungkinkan pengguna untuk memilih layanan berdasarkan anggaran dan preferensi pengguna layanan, maka total keuntungan sebesar 455,04 rupiah. Pendapatan ini diperoleh dengan menjumlahkan semua pendapatan setiap layanan dan total kapasitas yang digunakan sebesar 9.277,10 kbps.

2.11.2 Kasus α, β Konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$

Tabel. 4.24 sampai Tabel 4.26 berikut ini menampilkan solusi model yang diperbaiki untuk jaringan *multi* layanan sehingga dapat menentukan apakah dalam skema pembiayaan tersebut menawarkan pembiayaan yang lebih baik yang dapat menguntungkan telco serta menarik minat pengguna untuk menggunakan skema tersebut.

**Tabel 4.24 Solusi Model yang Diperbaiki dalam Jaringan
Multi Layanan α, β Konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$**

**Tabel. 4. 24. Index Kualitas per Layanan pada $I_i=I_{i-1}$
dengan α, β Konstanta**

<i>Solver Status</i>	
<i>Model Class</i>	MINLP
<i>State</i>	<i>Local optimal</i>
<i>Objective</i>	996,8788
<i>Infeasibility</i>	0,5551115e-016
<i>Iterations</i>	15
<i>Extended Solver status</i>	
<i>Solver Type</i>	Branch and Bound
<i>Best Objective</i>	996,8788

<i>Objective bound</i>	996,8788
<i>Steps</i>	0
<i>Update interval</i>	2
<i>Active</i>	0
<i>GMU(K)</i>	32
<i>ER(sec)</i>	0

Pada Tabel. 4.24, nilai maksimum fungsi objektif pada saat $I_i > I_{i-1}$ adalah 996,8788 rupiah dengan 15 iterasi. Total waktu untuk menghasilkan model adalah 0 detik.

Tabel. 4. 25. Nilai-Nilai Variabel pada Jaringan *Multi Layanan* α, β Konstanta

Variabel	Nilai Variabel	Variabel	Nilai Variabel
x_{11}	10	a_{11}	0,018
x_{21}	20	a_{21}	0,66
x_{31}	30	a_{31}	0,32
x_{12}	10	a_{12}	0,047
x_{22}	20	a_{22}	0,38
x_{32}	30	a_{32}	0,57
I_1	0,01	I_3	1
I_2	0,038		

Tabel. 4. 26. Index Kualitas Layanan pada $I_i > I_{i-1}$ dengan α, β Konstanta

Layanan	1	2	3
Kualitas premium (β)	0,5	0,5	0,5
Harga dasar (α)	0,1	0,1	0,1
Tingkat QoS (I_i)	0,01	0,038	1
Jumlah pengguna layanan (x_{ik})	10	20	30
Kapasitas pengguna per layanan ($I_i * d_{ik} * x_{ik}$)	273,263	5.466,8016	4.275,6
Total kapasitas yang digunakan ($\sum I_i * d_{ik} * x_{ik}$)	10.015,6646		
Keuntungan per layanan ($((\alpha + \beta * I_i) * p_{ik} * x_{ik})$)	63	214,2	720
Total keuntungan ($\sum (\alpha + \beta * I_i) * p_{ik} * x_{ik}$)	997,2		

ISP menawarkan 3 layanan ($S = 3$). Setiap layanan i ; $i = 1, 2, 3$ merupakan tingkat layanan yang tersedia pada jaringan

sebesar 1% untuk layanan 1, dan 8% untuk layanan 2, serta 100% untuk layanan 3. Jumlah pengguna layanan 1 ada 10 orang, layanan 2 ada 20 orang, dan layanan 3 ada 30 orang. Kapasitas pengguna pada layanan 1 sebesar 273,263 kbps atau sebesar $\frac{273,263}{10.015,6646} \times 100\% = 2,73\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Kapasitas pengguna pada layanan 2 sebesar 5.466,8016 kbps atau sebesar $\frac{5.466,8016}{10.015,6646} \times 100\% = 54,58\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Kapasitas pengguna pada layanan 3 sebesar 4.275,6 kbps atau sebesar $\frac{4.275,6}{10.015,6646} \times 100\% = 42,69\%$ dari kapasitas total yang digunakan.

Jika ISP menargetkan dapat mengembalikan biaya pengguna layanan dan juga dapat memungkinkan pengguna untuk memilih layanan berdasarkan anggaran dan preferensi pengguna layanan, maka total pendapatan sebesar 997,2 rupiah. Pendapatan ini diperoleh dengan menjumlahkan semua keuntungan setiap layanan dan total kapasitas yang digunakan sebesar 10.015,6646 kbps.

2.11.3 Kasus α, β Konstanta untuk $I_i < I_{i-1}$

Tabel. 4.27 sampai Tabel 4.29 berikut ini menampilkan solusi model yang diperbaiki untuk jaringan *multi* layanan sehingga dapat menentukan apakah dalam skema pembiayaan tersebut skema yang menawarkan pembiayaan yang lebih baik yang dapat menguntungkan telco serta menarik minat pengguna untuk menggunakan skema tersebut.

Tabel. 4. 27. Solusi Model yang Diperbaiki dalam Jaringan *Multi Layanan* α, β Konstanta untuk $I_i < I_{i-1}$

<i>Solver Status</i>	
<i>Model Class</i>	MINLP
<i>State</i>	<i>Local optimal</i>
<i>Objective</i>	464,2416
<i>Infeasibility</i>	0,4547474e-012
<i>Iterations</i>	13
<i>Extended Solver status</i>	
<i>Solver Type</i>	<i>Branch and Bound</i>
<i>Best Objective</i>	464,2416

<i>Objective bound</i>	464,2416
<i>Steps</i>	0
<i>Update interval</i>	2
<i>Active</i>	0
<i>GMU(K)</i>	32
<i>ER(sec)</i>	0

Pada Tabel. 4.27, nilai maksimum fungsi objektif pada saat $I_i < I_{i-1}$ adalah 464,2416 rupiah dengan 13 iterasi. Total waktu untuk menghasilkan model adalah 0 detik.

Tabel. 4. 28. Nilai-Nilai Variabel pada Jaringan *Multi* Layanan α, β Konstanta

variabel	Nilai Variabel	Variabel	Nilai Variabel
x_{11}	10	a_{11}	0,12
x_{21}	20	a_{21}	0,87
x_{31}	30	a_{31}	0,016
x_{12}	10	a_{12}	0,46
x_{22}	20	a_{22}	0,57
x_{32}	30	a_{32}	0,028
I_1	0,098	I_3	0,0498
I_2	0,050		

Tabel. 4. 29. Index Kualitas per Layanan pada $I_i < I_{i-1}$ dengan α, β Konstanta

Layanan	1	2	3
Kualitas premium (β)	0,5	0,5	0,5
Harga dasar (α)	0,1	0,1	0,1
Tingkat QoS (I_i)	0,098	0,05	0,0498
Jumlah pengguna layanan (x_{ik})	10	20	30
Kapasitas pengguna per layanan ($I_i * d_{ik} * x_{ik}$)	2.677,97 7	7.193,1 6	212,925
Total kapasitas yang digunakan (Σ $I_i * d_{ik} * x_{ik}$)	10.084,062		
Keuntungan per layanan ($((\alpha + \beta * I_i) * p_{ik} * x_{ik})$)	89,4	225	149,88
Total keuntungan (Σ $(\alpha + \beta * I_i) * p_{ik} * x_{ik}$)	464,28		

ISP menawarkan 3 layanan ($S = 3$). Setiap layanan i ; $i = 1, 2, 3$ merupakan tingkat layanan yang tersedia pada jaringan sebesar 9,8% untuk layanan 1, dan 5% untuk layanan 2, serta 4,98% untuk layanan 3. Jumlah pengguna layanan 1 ada 10 orang, layanan 2 ada 20 orang, dan layanan 3 ada 30 orang. Kapasitas pengguna pada layanan 1 sebesar 2.677,977 kbps atau sebesar $\frac{2.677,977}{10.084,062} \times 100\% = 26,56\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Kapasitas pengguna pada layanan 2 sebesar 7.193,16 kbps atau sebesar $\frac{7.193,16}{10.084,062} \times 100\% = 71,33\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Kapasitas pengguna pada layanan 3 sebesar 212,925 kbps atau sebesar $\frac{212,925}{10.084,062} \times 100\% = 2,11\%$ dari kapasitas total yang digunakan.

Jika ISP menargetkan dapat mengembalikan biaya pengguna layanan dan juga dapat memungkinkan pengguna untuk memilih layanan berdasarkan anggaran dan preferensi pengguna layanan, maka total pendapatan sebesar 464,28 rupiah. Pendapatan ini diperoleh dengan menjumlahkan semua keuntungan setiap layanan dan total kapasitas yang digunakan sebesar 10.084,062 kbps.

2.12 Solusi Model Jaringan *Multi* Layanan dengan Program Lingo pada Kasus α Konstanta, β Variabel

2.12.1 Kasus α Konstanta, β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$

Tabel. 4.30 sampai Tabel. 4.32 berikut ini menampilkan solusi model yang diperbaiki untuk jaringan *multi* layanan sehingga dapat menentukan apakah dalam skema pembiayaan tersebut skema yang menawarkan pembiayaan yang lebih baik yang dapat menguntungkan ISP serta menarik minat pengguna untuk menggunakan skema tersebut.

Tabel. 4. 30. Solusi Model yang Diperbaiki dalam Jaringan Multi Layanan α Konstanta, β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$

Solver Status	
Model Class	MINLP
State	Local optimal
Objective	455,1686
Infeasibility	0,8417828e-08
Iterations	13
Extended Solver status	
Solver Type	Branch and Bound
Best Objective	455,1686
Objective bound	455,1686
Steps	0
Update interval	2
Active	0
GMU(K)	35
ER(sec)	0

Pada Tabel. 4.30, nilai maksimum fungsi objektif pada saat $\beta_i=\beta_{i-1}$ untuk kasus $I_i = I_{i-1}$ adalah 455,1686 rupiah dengan 13 iterasi. Total waktu untuk menghasilkan model adalah 0 detik.

Tabel. 4. 31. Nilai-Nilai Variabel pada Jaringan Multi Layanan dengan α sebagai Konstanta, β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$

variabel	Nilai Variabel	Variabel	Nilai Variabel
β_1	0,5	a_{11}	0,063
β_2	0,5	a_{21}	0,92
β_3	0,5	a_{31}	0,017
x_{11}	10	a_{12}	0,25
x_{21}	20	a_{22}	0,54
x_{31}	30	a_{32}	0,21
x_{12}	10	I_1	0,053
x_{22}	20	I_2	0,053
x_{32}	30	I_3	0,053

Tabel. 4. 32. Indeks Kualitas per Layanan pada α Konstanta, β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ dengan $I_i = I_{i-1}$

Layanan	1	2	3
Kualitas premium (β_i)	0,5	0,5	0,5
Harga dasar (α)	0,1	0,1	0,1
Tingkat QoS (I_i)	0,053	0,053	0,053
Jumlah pengguna layanan (x_i)	10	20	30
Kapasitas pengguna per layanan ($I_i * d_i * x_i$)	1.448,294	7.624,75	226,607
Total kapasitas yang digunakan ($\sum I_i * d_i * x_i$)	9.299,651		
Keuntungan per layanan ($((\alpha + \beta_i * I_i) * p_i * x_i)$)	75,9	227,7	151,8
Total keuntungan ($\sum (\alpha + \beta_i * I_i) * p_i * x_i$)	455,4		

ISP menawarkan 3 layanan ($S = 3$). Setiap layanan i ; $i = 1, 2, 3$ merupakan tingkat layanan yang tersedia pada jaringan sebesar 5,3% untuk ketiga layanan. Jumlah pengguna layanan 1 ada 10 orang, layanan 2 ada 20 orang, dan layanan 3 ada 30 orang. Kapasitas pengguna pada layanan 1 sebesar 1.448,294 kbps atau sebesar $\frac{1.448,294}{9.299,651} \times 100\% = 15,57\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Kapasitas pengguna pada layanan 2 sebesar 7.624,75 kbps atau sebesar $\frac{7.624,75}{9.299,651} \times 100\% = 81,99\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Kapasitas pengguna pada layanan 3 sebesar 226,607 kbps atau sebesar $\frac{226,607}{9.299,651} \times 100\% = 2,44\%$ dari kapasitas total yang digunakan.

Jika ISP menargetkan dapat mengembalikan biaya pengguna layanan dan juga dapat mempromosikan penggunaan layanan QoS yang lebih tinggi kepada pengguna serta memungkinkan pengguna untuk memilih layanan berdasarkan anggaran dan preferensi pengguna layanan, maka total keuntungan sebesar 455,4 rupiah. Pendapatan ini diperoleh dengan menjumlahkan semua pendapatan setiap layanan dan total kapasitas yang digunakan sebesar 9.299,651 kbps.

2.12.2 Kasus α Konstanta, β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Pada Tabel. 4.33 sampai Tabel. 4.35 berikut ini menjelaskan solusi model yang diperbaiki untuk jaringan *multi* layanan sehingga dapat menentukan apakah dalam skema pembiayaan tersebut skema yang menawarkan pembiayaan yang lebih baik yang dapat menguntungkan ISP serta menarik minat pengguna untuk menggunakan skema tersebut.

Tabel. 4. 33. Solusi Model yang Diperbaiki dalam Jaringan *Multi* α Konstanta, β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Layanan Solver Status	
<i>Model Class</i>	MINLP
<i>State</i>	<i>Local optimal</i>
<i>Objective</i>	996,8788
<i>Infeasibility</i>	0,5551115e-016
<i>Iterations</i>	15
Extended Solver status	
<i>Solver Type</i>	<i>Branch and Bound</i>
<i>Best Objective</i>	996,8788
<i>Objective bound</i>	996,8788
<i>Steps</i>	0
<i>Update interval</i>	2
<i>Active</i>	0
<i>GMU(K)</i>	35
<i>ER(sec)</i>	0

Pada Tabel. 4.33, nilai maksimum fungsi objektif pada saat $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk kasus $I_i > I_{i-1}$ adalah 996,8788 rupiah dengan 15 iterasi. Total waktu untuk menghasilkan model adalah 0 detik.

Tabel. 4. 34. Nilai-Nilai Variabel pada Jaringan *Multi* Layanan α Konstanta, β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

variabel	Nilai Variabel	Variabel	Nilai Variabel
β_1	0,5	a_{11}	0,018
β_2	0,5	a_{21}	0,66
β_3	0,5	a_{31}	0,32
x_{11}	10	a_{12}	0,047
x_{21}	20	a_{22}	0,38
x_{31}	30	a_{32}	0,57

x_{12}	10	I_1	0,01
x_{22}	20	I_2	0,038
x_{32}	30	I_3	1

Tabel. 4. 35. Indeks Kualitas per Layanan pada α Konstanta, β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ dengan $I_i > I_{i-1}$

Layanan	1	2	3
Kualitas premium (β_i)	0,5	0,5	0,5
Harga dasar (α)	0,1	0,1	0,1
Tingkat QoS (I_i)	0,01	0,038	1
Jumlah pengguna layanan (x_{ik})	10	20	30
Kapasitas pengguna per layanan ($I_i * d_{ik} * x_{ik}$)	273,263	5.466,802	4.275,6
Total kapasitas yang digunakan ($\sum I_i * d_i * x_i$)	10.015,665		
Keuntungan per layanan ($((\alpha + \beta_i * I_i) * p_i * x_i)$)	63	214,2	720
Total keuntungan ($\sum (\alpha + \beta_i * I_i) * p_i * x_i$)	997,2		

ISP menawarkan 3 layanan ($s = 3$). Setiap layanan i ; $i = 1, 2, 3$ merupakan tingkat layanan yang tersedia pada jaringan sebesar 1% untuk layanan 1, dan 8% untuk layanan 2, serta 100% untuk layanan 3. Jumlah pengguna layanan 1 ada 10 orang, layanan 2 ada 20 orang, dan layanan 3 ada 30 orang. Kapasitas pengguna pada layanan 1 sebesar 273,263 kbps atau sebesar $\frac{273,263}{10.015,665} \times 100\% = 2,73\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Kapasitas pengguna pada layanan 2 sebesar 5.466,8016 kbps atau sebesar $\frac{5.466,802}{10.015,665} \times 100\% = 54,58\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Kapasitas pengguna pada layanan 3 sebesar 4.275,6 kbps atau sebesar $\frac{4.275,6}{10.015,665} \times 100\% = 42,69\%$ dari kapasitas total yang digunakan.

Jika ISP menargetkan dapat mengembalikan biaya pengguna layanan dan juga dapat memungkinkan pengguna untuk memilih layanan berdasarkan anggaran dan preferensi pengguna layanan, maka total keuntungan sebesar 997,2 rupiah. Pendapatan ini diperoleh dengan menjumlahkan semua pendapatan setiap layanan dan total kapasitas yang digunakan sebesar 10.015,665 kbps.

2.12.3 Kasus α dan β yang Tidak Memiliki Solusi

Kasus α Konstanta dan β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ Untuk $I_i < I_{i-1}$

Pada kasus ini tidak dapat digunakan karena tidak optimal untuk tujuan dari ISP dan juga tidak menawarkan pembiayaan yang lebih baik yang dapat menguntungkan ISP.

Kasus α Konstanta, β sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$

Pada kasus ini tidak dapat digunakan karena tidak optimal untuk tujuan dari ISP dan juga tidak menawarkan pembiayaan yang lebih baik yang dapat menguntungkan ISP.

Kasus α Konstanta, β sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Pada kasus ini tidak dapat digunakan karena tidak optimal untuk tujuan dari ISP dan juga tidak menawarkan pembiayaan yang lebih baik yang dapat menguntungkan ISP.

Kasus α Konstanta, β sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$

Pada kasus ini tidak dapat digunakan karena tidak optimal untuk tujuan dari ISP dan juga tidak menawarkan pembiayaan yang lebih baik yang dapat menguntungkan ISP.

Kasus α Konstanta dan β sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$

Pada kasus ini tidak dapat digunakan karena tidak optimal untuk tujuan dari ISP dan juga tidak menawarkan pembiayaan yang lebih baik yang dapat menguntungkan ISP.

Kasus α Konstanta dan β sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Pada kasus ini tidak dapat digunakan karena tidak optimal untuk tujuan dari ISP dan juga tidak menawarkan pembiayaan yang lebih baik yang dapat menguntungkan ISP.

Kasus α Konstanta dan β sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$

Pada kasus ini tidak dapat digunakan karena tidak optimal untuk tujuan dari ISP dan juga tidak menawarkan pembiayaan yang lebih baik yang dapat menguntungkan ISP.

2.13 Rekapitulasi Perbandingan Total Keuntungan pada Jaringan *Multi Layanan*

Berdasarkan hasil formulasi solusi model jaringan *multi layanan* pada Sub Bab 2.14 dan Sub Bab 4.15 didapat rekapitulasi sebagai berikut :

Tabel. 4. 36. Rekapitulasi Kapasitas dan Total Keuntungan pada α , β Konstanta

Kasus	$I_i = I_{i-1}$	$I_i > I_{i-1}$	$I_i < I_{i-1}$
Kapasitas total yang digunakan	9.277,097	10.015,6646	10.084,062
PerSentase kapasitas total yang digunakan	91,99%	99,32%	99,99%
Total keuntungan	455,04	997,2	265,5

Berdasarkan hasil rekapitulasi pada Tabel. 4.36 didapat bahwa ISP dapat memperoleh keuntungan maksimal pada kasus $I_i > I_{i-1}$ dengan total keuntungan 997,2 rupiah.

Tabel. 4. 37. Rekapitulasi Kapasitas dan Total Keuntungan pada α Konstanta, β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$

Kasus	$I_i = I_{i-1}$	$I_i > I_{i-1}$
Kapasitas total yang digunakan	9.299,651	10.015,665
PerSentase kapasitas total yang digunakan	92,85	99,99%
Total keuntungan	455,4	997,2

Berdasarkan hasil rekapitulasi pada Tabel. 4.37 didapat bahwa ISP dapat memperoleh keuntungan maksimal pada kasus α Konstanta, β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ yaitu pada saat $I_i > I_{i-1}$ dengan total keuntungan 997,2 rupiah.

4.3 KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Jaringan *multi* kelas pada model modifikasi, ISP dapat mengadopsi $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan $\tilde{W}_j$ sebagai variabel untuk mendapatkan keuntungan maksimum sebesar 1 rupiah agar mendapatkan kembali biaya yang dikeluarkan dan

pengguna dapat memilih kelas yang sesuai dengan kebutuhan pengguna. kelas pada model modifikasi 1, ISP dapat mengadopsi $\tilde{W}_{ij}$ sebagai variabel dan $\tilde{W}_j$ sebagai parameter untuk mendapatkan keuntungan maksimum sebesar 39,4046 rupiah agar mendapatkan kembali biaya yang dikeluarkan dan juga dapat mempromosikan penggunaan layanan QoS ini kepada pengguna.

2. Pada jaringan *multi* layanan α , β sebagai konstanta untuk mendapatkan kembali biaya yang ISP keluarkan dan pengguna dapat memilih layanan yang sesuai dengan kebutuhan pengguna. ISP dapat mengadopsi kasus $I_i > I_{i-1}$ dengan perSentase kapasitas yang digunakan sebesar 99,32% dengan total keuntungan sebesar 997,2 rupiah.
3. Pada jaringan *multi* layanan saat α sebagai konstanta dan β sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk mendapatkan kembali biaya yang ISP keluarkan dan ISP juga dapat mempromosikan penggunaan layanan QoS ini kepada pengguna, maka ISP dapat mengadopsi pada kasus $I_i > I_{i-1}$ dengan perSentase kapasitas yang digunakan sebesar 99,99% dengan total keuntungan sebesar 997,2 rupiah.

Saran

Pada penelitian ini hanya dibahas model yang diperbaiki (model modifikasi) dengan α sebagai konstanta dan β sebagai konstanta dan variabel, serta solusi optimal skema pembiayaan internet link *multipel*. Untuk penelitian lainnya disarankan untuk membahas kasus α sebagai variabel dan β sebagai konstanta dan variabel dengan jumlah kelas dan layanan lebih dari tiga. Selain itu, pada pembahasan harus dijelaskan apakah model modifikasi membuat perbaikan atau bahkan lebih buruk, dan jelaskan juga penyebabnya.

5.1 LATAR BELAKANG MASALAH MODEL MODIFIKASI SKEMA PEMBIAYAAN INTERNET *MULTI LINK BOTTLENECK* PADA JARINGAN *MULTI LAYANAN (MULTI SERVICE NETWORK)* DAN *MULTI KELAS QoS (MULTI CLASS QoS NETWORK)*

Internet merupakan singkatan dari *Interconnection Networking*. Internet berasal dari bahasa latin “inter” yang berarti antara. Secara kata, internet berarti jaringan antara atau penghubung, sehinggadefinisi internet ialah hubungan antara berbagai jenis komputer dan jaringan di dunia yang berbeda sistem operasi maupun aplikasinya dan hubungan tersebut memanfaatkan kemajuan komunikasi (telepon dan satelit) yang menggunakan protokol standar dalam berkomunikasi yaitu protokol *Transmission Control/Internet Protocol (TCP/IP)* (Supriyanto, 2008).

Internet juga merupakan sarana teknologi yang digunakan untuk berbagai lapisan masyarakat menggunakan layanan jasa internet. Penyedia layanan internet (*Internet Service Provider*) yang disingkat menjadi ISP perusahaan memberikan kualitas yang terbaik bagi pengguna internet dan juga memperoleh keuntungan maksimum yaitu dengan menyediakan kualitas layanan (*Quality of Service, QoS*). Pembiayaan internet merupakan suatu masalah ekonomi global. Penetapan harga suatu produk atau jasa adalah tugas yang sulit namun penting bagi suatu perusahaan. Perusahaan dapat memperoleh pelanggan, mempertahankan pelanggan, dan membuat keuntungan dengan harga yang tepat (Byun & Chatterjee, 2004).

Menurut (Byun & Chatterjee, 2004) model pembiayaan bagi layanan internet berdasarkan tingkatan kualitas yang berbeda dengan memfokuskan pada skema pembiayaan atas dasar pemakaian karena skema tersebut merefleksikan level kongesti (gangguan) secara mendalam.

Skema pembiayaan terbaru didasarkan atas pembiayaan kecepatan tetap (*flat rate*) dan pembiayaan atas dasar pemakaian (*usage based*)(Indrawati et al., 2013). Pelanggan memiliki kecenderungan menggunakan pembiayaan *flat rate* karena skema tersebut sederhana. Pelanggan hanya membayar biaya langganan setiap bulan dan pelanggan akan mendapatkan semua koneksi internet, akan tetapi skema pembiayaan ini pada dasarnya memiliki kerugian karena tidak menyelesaikan permasalahan kongesti (kemacetan jaringan internet).

Jika pelanggan ingin mendapatkan kualitas layanan terbaik, maka pelanggan harus membayar dengan biaya yang tinggi. Jika pelanggan tidak peduli dengan kualitas, maka pembiayaan *flat rate* yang dipilih adalah kualitas layanan yang rendah. Telco seperti halnya Telkom Indonesia mengalami kesulitan dalam mencari skema pembiayaan yang tepat sehubungan dengan jaringan QoS *multipel* dan *multi* layanan. Hal ini menyebabkan pengguna akan berpindah dari satu QoS ke QoS lainnya. Pengoptimalan pembiayaan internet diperlukan dengan mempertimbangkan jaringan QoS yang *multi* link bottleneck karena situasi real atau dinamis dalam jaringan *multi* layanan. *Bottleneck* bila diartikan secara bebas merupakan leher botol. Jika secara kasar bottleneck artinya penyempitan jalur. Dengan demikian, bottleneck pada *multi* link merupakan penyempitan jalur yang mengakibatkan kongesti karena kurangnya *bandwidth* sedangkan jalur yang disediakan terlalu kecil. *Bandwidth* merupakan besaran yang menunjukkan seberapa banyak data yang dapat dilewatkan dalam koneksi melalui sebuah jaringan. Skema pembiayaan internet menjadi permasalahan kritis dan memerlukan solusi tepat yang dapat menguntungkan ISP dan pengguna.

Penelitian tentang model yang diperbaiki pada skema pembiayaan internet link tunggal menurut jaringan *multi* layanan dapat dilihat dalam Irmeilyana, et al., (2013) dan jaringan *multi* kelas QoS dapat dilihat dalam Irmeilyana et al., (2014) berdasarkan model yang telah dimodifikasi oleh Puspita et al., (2012) dengan cara menetapkan biaya dasar, kualitas premium dan tingkat QoS dapat menghasilkan keuntungan maksimum bagi ISP yang lebih baik dari model sebelumnya. Model yang digunakan berdasarkan biaya dasar (α) dan kualitas premium (β) sebagai konstanta serta α konstanta dan β variabel. Namun hasil yang diperoleh dengan menerapkan model pada 3

(tiga) layanan untuk jaringan *multi* layanan dan 2 (dua) *user* (pengguna layanan) dengan 2 (dua) kelas pada jaringan *multi* kelas QoS. Pada kenyataannya, dalam peningkatan kualitas ISP menyediakan banyak layanan dan banyak kelas kepada banyak pengguna jaringan.

Pada penelitian Irmeilyana, et al., (2014) ISP membutuhkan skema pembiayaan baru untuk memaksimalkan pendapatan dan memberikan layanan yang lebih baik kepada pelanggan. Model ini diatur dengan menetapkan harga dasar tetap, memvariasikan premium kualitas dan memperbaiki harga *sensitivitas* bagi pengguna di setiap kelas.

Pada penelitian Puspita, et al., (2012) diselesaikan skema jaringan yang banyak layanan sebagai model optimasi untuk memperoleh pendapatan maksimal dengan menggunakan model perbaikan berdasarkan hasil dari Byun & Chatterjee (2004) dan Sain & Herpers (2003). Hasil yang optimal dapat diselesaikan menggunakan software aplikasi optimasi yaitu LINGO untuk memperoleh pendapatan maksimal yang lebih baik. Kelebihan dari penelitian tersebut adalah untuk kemudahan bagi penyedia layanan internet (ISP) untuk mengatur biaya dasar dan premium kualitas.

Berdasarkan penelitian sebelumnya (Irmeilyana, et al., 2014) & (Irmeilyana, et al., 2013) yang menggunakan link tunggal maka dalam penelitian ini membahas model skema pembiayaan internet link *multipel* dalam jaringan *multi* layanan dan jaringan *multi* kelas QoS yang telah dibuat pada penelitian sebelumnya. Model ini akan diselesaikan menggunakan software LINGO 11.0.

Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas pada penelitian ini adalah menentukan model dan solusi optimal skema pembiayaan internet link *multipel bottleneck* pada jaringan *multi* layanan dan jaringan *multi* kelas QoS.

Pembatasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada penggunaan link *multipel* dengan 3 jaringan *multi* layanan dan 2 jaringan *multi* kelas QoS, menggunakan kasus dengan harga dasar (α) sebagai variabel dan kualitas premium layanan (β) sebagai variabel dan juga untuk kasus dengan harga dasar

(α) sebagai variabel dan kualitas premium (β) sebagai konstanta. Model diaplikasikan pada data *Traffic* file dan *Mail* dari salah satu *server* lokal di Palembang.

Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan model dan solusi optimal skema pembiayaan internet link *multipel bottleneck* berdasarkan jaringan *multi* layanan dan *multi* kelas QoS.

Manfaat

Manfaat penelitian ini adalah dengan dibentuknya skema pembiayaan internet yang dimodifikasi agar dapat memberikan pilihan skema pembiayaan internet bagi pengguna sesuai dengan tujuan yang dikehendaki ISP (penyedia layanan internet) untuk memaksimalkan keuntungan.

5.2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dibahas mengenai jaringan *multi* layanan dan *multi* kelas QoS pada jaringan link *multipel*.

2.1 Jaringan *Multi* Layanan (*Multi Service Network*)

Jaringan *multi* layanan digunakan untuk membawa berbagai layanan dan aplikasi dengan karakteristik yang berbeda dalam waktu, dukungan koneksi, dan kualitas dari layanan (Sain & Herpers, 2003).

Model yang diberikan pada dasarnya dapat memenuhi permintaan dan tujuan ISP. Misalkan pada i level konsumsi layanan, ISP dapat memaksimalkan surplus i konsumen pada beberapa level konsumsi tertentu, sedangkan k menunjukkan link *multipel*.

Model yang digunakan pada penelitian ini adalah :

- i. Penetapan biaya dasar dan kualitas premium sebagai variabel. ISP bermaksud untuk mendapatkan kembali biaya yang ISP keluarkan dan juga ISP dapat mempromosikan penggunaan layanan QoS yang lebih tinggi terhadap pengguna.
- ii. Penetapan biaya dasar sebagai variabel dan kualitas premium sebagai konstanta ini merupakan keputusan ISP untuk mendapatkan kembali biaya yang ISP keluarkan dan ISP juga dapat

mempromosikan penggunaan layanan QoS tertentu yang lebih tinggi kepada pengguna

Misalkan nilai α_i merupakan harga dasar layanan i dan nilai β_i merupakan kualitas premium layanan i . Untuk nilai α_i dan β_i yang digunakan dalam penelitian ini ada 2 yaitu kasus 1 yaitu α variabel dan β variabel serta kasus 2 yaitu α variabel sedangkan β konstanta.

Kasus 1 : α variabel dan β variabel.

$$\text{maks } R = \sum_{k=1}^r \sum_{i=1}^s (\alpha_i + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_{ik} \cdot x_{ik} \quad (2.1)$$

dengan kendala :

$$I_i \cdot d_{ik} \cdot x_{ik} \leq a_{ik} \cdot C_k \quad (2.2)$$

$$\sum_{k=1}^r \sum_{i=1}^s l_i \cdot d_{ik} \cdot x_{ik} \leq C_k \quad (2.3)$$

$$\sum_{k=1}^r \sum_{i=1}^s a_{ik} = 1 \quad (2.4)$$

$$0 \leq a_{ik} \leq 1 \quad (2.5)$$

$$m_i \leq I_i \leq 1; m_i \in \mathbb{Z}^+ \quad (2.6)$$

$$0 \leq x_{ik} \leq n_i; n_i \in \mathbb{Z}^+ \quad (2.7)$$

$$\{x_{ik}\} \text{ dengan } i = 1, 2, \dots, s; k = 1, 2, \dots, r \quad (2.8)$$

$$\alpha_i + \beta_i \cdot I_i \geq \alpha_{i-1} + \beta_{i-1} \cdot I_{i-1}; i > 1, \dots, s \quad (2.9)$$

$$y \leq \alpha_i \leq z; [y, z] \subseteq [0, 1] \quad (2.10)$$

Kasus 2 : α variabel dan β konstanta

Maksimalkan pendapatan dengan :

$$\text{maks } R = \sum_{k=1}^r \sum_{i=1}^s (\alpha_i + \beta \cdot I_i) \cdot p_{ik} \cdot x_{ik} \quad (2.11)$$

$$\text{dengan Kendala (2.2) sampai dengan Kendala (2.10).} \quad (2.10).$$

(Puspita, et al., 2013)

Keterangan :

R : Fungsi tujuan pendapatan.

α : Harga dasar untuk setiap Layanan.

β : Kualitas premium untuk setiap Layanan

α_i : Harga dasar kelas i , dapat untuk konstanta atau variabel.

β_i : Kualitas premium untuk kelas i .

C_k : Kapasitas total yang terdapat di link k .

s : Jumlah layanan

- r : Banyak link
 p_{ik} : Harga pengguna layanan i pada link k .
 x_{ik} : Jumlah pengguna layanan i pada link k .
 a_{ik} : Total kapasitas layanan i pada link k .
 I_i : Kualitas indeks layanan i .
 d_{ik} : Kapasitas yang dibutuhkan untuk menyediakan QoS dari layanan i link k
 m_i : Minimum QoS untuk layanan i
 n_i : Jumlah pengguna layanan i
 y : Harga dasar minimum untuk layanan i
 z : Harga dasar maksimum untuk layanan i

Berikut ini penjelasan untuk Persamaan (2.1) sampai dengan Kendala (2.11) :

1. ISP ingin mendapatkan memaksimalkan pendapatan dengan menetapkan harga dikenakan biaya untuk harga dasar dan kualitas premium dan tingkat QoS untuk memulihkan biaya dan untuk mengaktifkan pengguna untuk memilih layanan berdasarkan preferensi mereka seperti dinyatakan dalam Persamaan (2.1).
2. Kendala (2.2) menunjukkan kapasitas yang diperlukan layanan tidak lebih dari kapasitas jaringan.
3. Kendala (2.3) menjelaskan bahwa kapasitas yang dibutuhkan tidak dapat lebih besar dari kapasitas jaringan C di link k .
4. Kendala (2.4) menjelaskan bahwa jumlah total kapasitas setiap layanan sama dengan 1.
5. Kendala (2.5) menjamin bahwa kapasitas jaringan memiliki alokasi yang berbeda untuk setiap layanan yang terletak di antara 0 dan 1.
6. Kendala (2.6) menjelaskan bahwa tingkat QoS untuk setiap layanan antara rentang yang telah ditentukan oleh ISP.
7. Kendala (2.7) menunjukkan bahwa pengguna menerapkan layanan yang non negatif dan tidak dapat lebih besar dari yang tertinggi yang mungkin ditentukan oleh penyedia layanan.
8. Kendala (2.8) menyatakan bahwa jumlah pengguna haruslah bilangan bulat positif.
9. Kendala (2.9) menjelaskan bahwa penjumlahan biaya dasar dan kualitas premium memiliki tingkat yang berbeda untuk setiap

layanan yang setidaknya tingkat yang sama atau tingkat yang lebih rendah.

10. Kendala (2.10) menunjukkan bahwa harga dasar harus disesuaikan antara harga dasar yang ditentukan dari ISP.
11. Persamaan (2.11) menunjukkan untuk pengoptimalan biaya premium dengan biaya harga dasar.

2.2 Jaringan *Multi Kelas QoS (Multi Class QoS Network)*

Quality of Service (QoS) memiliki fungsi sebagai suatu pengukuran tentang seberapa baik jaringan dan merupakan suatu usaha untuk mendefinisikan karakteristik dan sifat dari suatu layanan. QoS memiliki tujuan untuk memenuhi kebutuhan-kebutuhan layanan yang berbeda yang menggunakan infrastruktur yang sama. QoS menawarkan kemampuan untuk mendefinisikan atribut-atribut layanan yang disediakan, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Tujuan akhir dari QoS adalah memberikan layanan jaringan yang lebih baik dan terencana.

Penelitian Byun & Chatterjee (2004) merupakan penelitian yang mempelajari tentang pembiayaan internet yang berfokus pada sudut pandang ekonomi. Artikel tersebut mendiskusikan mengenai pendesainan model pembiayaan untuk layanan internet pada beragam level kualitas yang berfokus pada skema pembiayaan *usage based* karena skema ini menunjukkan level kongesti secara detail. Parameter yang digunakan didasarkan atas *bandwidth*. Parameter ini digunakan untuk memperoleh formulasi pembiayaan yang dapat digunakan untuk mengembangkan penelitian pada model pembiayaan dengan menentukan formulasi yang tepat. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa dengan mendesain skema pembiayaan yang tepat dengan indeks kualitas dalam formulasi pembiayaan akan menghasilkan formulasi yang lebih sederhana tetapi cukup dinamis. Perubahan yang memungkinkan dalam pembiayaan layanan dan perubahan pendapatan juga dapat dilakukan.

Odlyzko (1998) mengusulkan skema pembiayaan jaringan. Pada kasus ini, kelas layanan yang berbeda akan memiliki biaya yang berbeda pula. Pengguna memiliki pilihan untuk memilih channel dan biaya yang harus dibayar. Skema tersebut pada dasarnya mempartisi pengguna berdasarkan kelas dan akan berubah ke kelas yang lain bila

ada layanan yang sama dari kelas lain tetapi dengan biaya unit yang lebih rendah.

Model skema pembiayaan internet menurut jaringan *multi* kelas QoS yang digunakan adalah sebagai berikut :

7) Model original

Maksimumkan pendapatan :

$$maks R = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \alpha_j \cdot Z_{ij} + W_j \cdot \log \frac{\hat{X}_{ij}}{L_j} \quad (2.12)$$

dengan kendala

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \hat{X}_{ij}^k \leq C_k, \quad k = 1, \dots, r \quad (2.13)$$

$$\tilde{X}_{ij}^k = \hat{X}_{ij} \quad (2.14)$$

$$\hat{X}_{ij} = \tilde{L}_{ij}^k \quad (2.15)$$

$$\hat{X}_{ij} \geq Z_{ij} \quad (2.16)$$

$$W_j \leq \tilde{W}_{ij}^k + (1 - Z_{ij}) \quad (2.17)$$

$$L_j \leq \tilde{L}_{ij}^k + (1 - Z_{ij}) \quad (2.18)$$

$$\hat{X}_{ij} \geq X_j - (1 - Z_{ij}) \quad (2.19)$$

$$\hat{X}_{ij} \geq X_j \quad (2.20)$$

$$\hat{X}_{ij} \geq 0 \quad (2.21)$$

$$L_j \geq 0 \quad (2.22)$$

$$W_j \geq 0 \quad (2.23)$$

$$Z_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{jika pengguna } i \text{ berada di kelas } j \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} \quad (2.24)$$

dengan $i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m; k = 1, \dots, r$

(Yang, 2004)

Nilai c_j ditentukan sebagai nilai *sensitivitas* harga batas atas untuk masing-masing pengguna i di kelas j pada link k .

8) Model modifikasi dengan β_j sebagai konstanta

a. $\tilde{W}_{ij}$ parameter dan W_j variabel

$$\text{maks } R = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n ((\alpha_j \cdot Z_{ij} + \beta_j \cdot I_j) + w_j \log \frac{\tilde{x}_{ij}}{L_{mj}}) \quad (2.25)$$

dengan Persamaan (2.12) sampai Kendala (2.23). Selain itu juga ditambahkan Kendala sebagai berikut:

$$\alpha_j + \beta_j \cdot I_j \geq \alpha_{j-1} + \beta_{j-1} \cdot I_{j-1} \quad (2.26)$$

$$0 \leq I_j \leq d_j. \quad (2.27)$$

$$\tilde{W}_{ij} = c_j \quad (2.28)$$

b. $\tilde{W}_{ij}$ parameter dan W_j parameter

Jika $\tilde{W}_{ij}$ parameter dan w_j parameter, maka ditambahkan kendala sebagai berikut:

$$W_j = c_j \quad (2.29)$$

(Puspita, et al., 2013)

Nilai d_j sebagai batas atas indeks kualitas dalam kelas j .

9) Model modifikasi dengan β_j variabel

a. $\tilde{W}_{ij}$ parameter dan W_j variabel

Model ini berdasarkan fungsi objektif (2.25) dengan Kendala (2.13) sampai Kendala (2.24) serta Kendala (2.26) sampai Kendala (2.29). Selain itu ditambahkan juga kendala sebagai berikut :

$$\beta_j \leq \beta_{j-1} \quad (2.30)$$

$$f \leq \beta_j \leq g \quad (2.31)$$

b. $\tilde{W}_{ij}$ parameter dan W_j parameter

Model ini berdasarkan fungsi objektif (2.23) dan Kendala (2.13) sampai Kendala (22), Kendala (2.24) sampai Kendala (2.31).

Puspita, et al. (2013)

dengan :

α_j : Harga dasar untuk kelas j .

$Z_{ij} : \begin{cases} 1, & \text{jika pengguna } i \text{ berada di kelas } j \\ 0, & \text{lainnya.} \end{cases}$

W_j : Harga sensitivitas untuk kelas j .

$\tilde{X}_{ij}^k$: *Bandwidth* akhir yang diperoleh pengguna i untuk kelas j pada link k .

$\tilde{L}_{ij}^k$: *Bandwidth* minimum untuk layanan i kelas j dan link k .

L_j : *Bandwidth* minimum untuk kelas j .

Q : Total *bandwidth*.

$\tilde{W}_{ij}$: Harga sensitivitas pengguna i di kelas j .

V_i : *Bandwidth* minimum yang dibutuhkan oleh pengguna i .

X_j : *Bandwidth* untuk tiap individu di kelas j .

β_j : Kualitas premium untuk kelas j yang memiliki kinerja pelayanan I_j

I_j : Indeks kualitas dari kelas j .

r : Banyak link

f : Nilai kualitas premium minimum untuk kelas j

g : Nilai kualitas premium maksimum untuk kelas j

Berikut ini dijelaskan Persamaan (2.12) dan Persamaan (2.23) serta penjelasan Kendala (2.13) sampai Kendala (2.29) tanpa Persamaan (2.23).

1. Persamaan (2.12) menyatakan bahwa ISP ingin memaksimalkan pendapatan dengan memaksimalkan fungsi objektif dengan α_j sebagai harga dasar yang harus diperbaiki untuk memulihkan biaya.
2. Kendala (2.13) menjelaskan bahwa *bandwidth* total akhir dari semua pengguna tidak dapat melebihi total *bandwidth* yang tersedia.
3. Kendala (2.14) menjelaskan bahwa *bandwidth* total akhir dengan pengguna i di kelas j dan link k sama dengan *bandwidth* total akhir dengan pengguna i di kelas j .
4. Kendala (2.15) menjelaskan bahwa *bandwidth* total akhir dengan pengguna i di kelas j sama dengan *bandwidth* minimum dengan pengguna i di kelas j link k .

5. Kendala (2.16) menjelaskan bahwa *bandwidth* yang diperoleh pengguna i di kelas j harus melebihi pengguna i yang berada di kelas j .
6. Kendala (2.17) menjelaskan bahwa harga *sensitivitas* untuk kelas j harus kurang dari harga *sensitivitas* untuk pengguna i di kelas j jika pengguna i berada di kelas j dan link k .
7. Kendala (2.18) menjelaskan bahwa *bandwidth* minimum untuk kelas j harus kurang dari *bandwidth* minimum untuk pengguna i di kelas j pada link k .
8. Kendala (2.19) menjelaskan bahwa *bandwidth* yang diperoleh pengguna i di kelas j harus melebihi *bandwidth* untuk tiap individu dalam kelas j jika pengguna i berada di kelas j .
9. Kendala (2.20) menjelaskan bahwa *bandwidth* yang diperoleh pengguna i di kelas j tidak boleh melebihi *bandwidth* yang ditetapkan untuk setiap pengguna individu di kelas j .
10. Kendala (2.21) menjelaskan bahwa *bandwidth* yang diperoleh pengguna i di kelas j harus lebih besar dari nol.
11. Kendala (2.22) menjelaskan bahwa *bandwidth* minimum untuk kelas j harus lebih besar dari nol.
12. Kendala (2.23) menjelaskan bahwa harga *sensitivitas* untuk kelas j harus lebih dari nol.
13. Kendala (2.24) menjelaskan bahwa nilai pengguna i berada di kelas j atau tidak.
14. Kendala (2.25) menjelaskan bahwa ISP ingin memaksimalkan pendapatan dengan memaksimalkan fungsi utilitas dengan α_j sebagai harga dasar yang harus diperbaiki untuk memulihkan biaya dan juga kualitas premium harus diperbaiki untuk memungkinkan pengguna memilih kelas berdasarkan anggaran dan preferensi mereka dengan memilih tingkat QoS.
15. Kendala (2.26) menjelaskan bahwa penjumlahan harga dasar dan kualitas premium untuk menghasilkan pelayanan yang sempurna untuk kelas j harus melebihi satu kelas $(j-1)$ dengan $j > 1$.
16. Kendala (2.27) menjelaskan bahwa indeks kualitas tidak boleh lebih dari batasnya.
17. Kendala (2.28) menjelaskan bahwa harga sensitivitas pengguna i di kelas j adalah konstanta.

18. Kendala (2.29) menjelaskan bahwa harga *sensitivitas* untuk kelas j dan untuk pengguna i di kelas j telah ditetapkan ISP.
19. Kendala (2.30) menunjukkan bahwa kualitas premium di kelas j tidak boleh melebihi kualitas premium di kelas sebelumnya.
20. Kendala (2.31) menunjukkan bahwa nilai kualitas premium terletak pada rentang $[f, g]$ dengan $f \geq 0, g \geq 0$ dan nilai keduanya telah ditetapkan oleh ISP.

5.3 PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas model skema pembiayaan dan solusi optimal internet link *multipel*. Pada penelitian ini menggunakan jenis data sekunder yang diperoleh dari salah satu *server* instansi lokal Palembang. Data tersebut terdiri dari dua komponen yaitu *Sent* (dikirim) dan *received* (diterima). Data diambil dalam jangka waktu 1 bulan dari tanggal 14 Maret 2014 sampai 14 April 2014. Data *Traffic* yang digunakan untuk *multi* layanan yaitu data *Traffic* file, *Traffic* web dan *Traffic* Mail. Sedangkan untuk *multi* kelas menggunakan data *Traffic* file dan *Traffic* Mail.

3.1 Pendeskripsian Data

Tabel–tabel berikut ini menunjukkan data *Traffic* untuk *multi* layanan dan *multi* kelas QoS. Pada jam kerja dimulai dari jam 08.00 WIB sampai dengan jam 15.59 WIB. Sedangkan untuk diluar jam kerja dimulai dari jam 16.01 WIB sampai dengan jam 07.59 WIB.

Tabel.4 1. Data *Traffic* untuk File dalam *Multi* Layanan dan *Multi* Kelas QoS

No.	Tanggal	<i>Traffic</i> (dalam bit per second)			
		<i>Sent</i>		<i>Received</i>	
		Jam Kerja	Di Luar Jam Kerja	Jam Kerja	Di Luar Jam Kerja
1.	14 Maret 2014	2.317.921	915.948	127.509.652	37.436.011
2.	15 Maret 2014	536.700	87.473	41.466.238	2.454.157
3.	16 Maret 2014	65.234	4.982.281	2.471.341	6.731.259
4.	17 Maret 2014	2.259.497	12.655.217	152.438.334	26.360.538

5.	18 Maret 2014	4.660.878	38.589.880	220.803.770	47.724.573
6.	19 Maret 2014	1.778.840	11.966.387	100.438.114	111.943.293
7.	20 Maret 2014	4.071.770	7.613.103	73.707.796,04	55.052.894
8.	21 Maret 2014	1.067.256	575.678	79.907.422	24.182.697
9.	22 Maret 2014	1.043.354	4.733.184	37.248.884	620.390
No.	Tanggal	Traffic (dalam bit per second)			
		Sent		Received	
		Jam Kerja	Di Luar Jam Kerja	Jam Kerja	Di Luar Jam Kerja
10.	23 Maret 2014	506.245	247.836	25.033.639	2.351.261
11.	24 Maret 2014	1.803.043	1.149.4938	102.138.707	49.785.866
12.	25 Maret 2014	2.163.489	8.073.439	112.227.639	12.037.085
13.	26 Maret 2014	1.494.640	19.949.069	100.306.623	8.534.138
14.	27 Maret 2014	2.057.398	404.174	120.250.926	19.022.725
15.	28 Maret 2014	1.623.339	11.075.885	115.926.637	21.911.070
16.	29 Maret 2014	40.884.980	48.772	29.172.269	1.085.436
17.	30 Maret 2014	32.966	68.908	348.510	790.617,09
18.	31 Maret 2014	242.600	261.338	13.568.482.174	14.148.520
19.	01 April 2014	1.774.045	4.887.932	93.628.305	28.163.782
20.	02 April 2014	566.506	909.963	40.307.967	56.341.900
21.	03 April 2014	2.119.352	695.904	135.101.469	43.375.330
22.	04 April 2014	679.980	4.485.899	47.331.579	73.705.616
23.	05 April 2014	0	0	0	0
24.	06 April 2014	0	0	0	0
25.	07 April 2014	0	1.421.420	0	63.975.826
26.	08 April 2014	8.027.212	378.264	195.139.464	16.005.153
27.	09 April 2014	490.078	487.596	39.739.192	19.385.098

28.	10 April 2014	3.248.610	6.118.778	176.865.623	23.049.521
29.	11 April 2014	504.705	412.383	44.263.530	17.163.209
30.	12 April 2014	1.792.036	154.979	42.319.734	5.782.956
31.	13 April 2014	181.230	3.619.514	991.460	1.348.104
32.	14 April 2014	0	0	0	0
<i>Demand</i>		3.034.272,93	5.424.694,9 2	545.709.207,2	30.993.200, 2
<i>Demand</i> per bulan (jam kerja)				274.371.740,1	
<i>Demand</i> byte per <i>second</i> (jam kerja)				34.296.467,51	
<i>Demand</i> kilo byte per <i>second</i> (jam kerja)				33.492,64405	
<i>Demand</i> per bulan (diluar jam kerja)				18.208.947,59	
<i>Demand</i> byte per <i>second</i> (diluar jam kerja)				2.276.118,45	
<i>Demand</i> kilo byte per <i>second</i> (diluar jam kerja)				2.222,78	

Berdasarkan Tabel.4 1 dapat dilihat bahwa *Demand* (permintaan) *Traffic* data *Sent* pada jam kerja lebih kecil dibandingkan pada saat di luar jam kerja. *Demand Traffic* data *received* pada jam kerja lebih besar dibandingkan pada saat di luar jam kerja. Pada jam kerja dan di luar jam kerja *Traffic* data *Sent* lebih kecil dibandingkan pada *Traffic* data *received*.

Tabel.4 2. Data *Traffic* untuk Web dalam *Multi Layanan*

No.	Tanggal	<i>Traffic</i> (dalam bit per second)			
		<i>Sent</i>		<i>Received</i>	
		Jam Kerja	Di Luar Jam Kerja	Jam Kerja	Di Luar Jam Kerja
1.	14 Maret 2014	38.107	431.815	434.508,6	1.469.079,74
2.	15 Maret 2014	48.092	80.620	1.064.783	1.316.470,43
3.	16 Maret 2014	60.869	79.316	1.294.191	1.564.058,60
4.	17 Maret 2014	386.970	91.119	862.994,6	1.646.596,99
5.	18 Maret 2014	581.571	91.608	1.354.573	1.670.812,91
6.	19 Maret 2014	50.437	73.771	924.947,4	1.261.889,97
7.	20 Maret 2014	268.886	72.844	689.444,1	1.069.442,58
8.	21 Maret 2014	48.239	103.248	707.805,3	1.357.762,31
9.	22 Maret 2014	47.983	95.480	594.548,9	1.100.709,39
10.	23 Maret 2014	51.993	92.358	739.868,1	838.093,02
11.	24 Maret 2014	906.374	174.893	1.518.227	520.802
12.	25 Maret 2014	206.369	184.415	1.368.036	1.417.096,32
13.	26 Maret 2014	82.856	81.491	163.475,8	565.732,29
14.	27 Maret 2014	404.592	90.675	772.163,2	1.324.007,31
15.	28 Maret 2014	202.744	71.038	497.010,3	843.928,52
16.	29 Maret 2014	42.035	82.775	600.724,5	1.232.867,59
17.	30 Maret 2014	40.396	72.590	630.076	1.219.453,43
18.	31 Maret 2014	38.691	91.057	442.963,9	1.602.049,44
19.	01 April 2014	641.521	292.622	1.395.563	1.364.869,90
20.	02 April 2014	347.101	410.330	1.009.791	1.518.184,21
21.	03 April 2014	216.336	121.518	900.588,4	1.990.275,62
22.	04 April 2014	153.587	102.084	877.486,9	1.243.265,09
23.	05 April 2014	41.273	81.580	431.144,4	1.294.302,34

24.	06 April 2014	47.610	84.487	595.049	965.189,27
25.	07 April 2014	951.574	345.927	683.825,3	1.044.927,02
26.	08 April 2014	486.518	118.226	844.259,3	2.529.451,48
27.	09 April 2014	43.331	85.550	593.308,9	1.222.886,61
28.	10 April 2014	39.875	117.887	610.263,8	720.414,02
29.	11 April 2014	50.439	79.294	931.292,2	917.445,26
30.	12 April 2014	43.042	73.628	734.631,8	1.047.689,67
31.	13 April 2014	40.815	81.311	517.652,3	1.109.867,58
32.	14 April 2014	0	29.548	0	252.086,98
<i>Demand</i>		206.571	127.659,76	774.537,4	1.226.303,37
<i>Demand per bulan (jam kerja)</i>			490.553,62		
<i>Demand byte per second (jam kerja)</i>			61.319,20		
<i>Demand kilo byte per second (jam kerja)</i>			59,88		
<i>Demand per bulan (diluar jam kerja)</i>			676.981,56		
<i>Demand byte per second (diluar jam kerja)</i>			84.622,70		
<i>Demand kilo byte per second (diluar jam kerja)</i>			82,64		

Berdasarkan Tabel.4 2 dapat dilihat bahwa *Demand* (permintaan) *Traffic data Sent* pada jam kerja lebih besar dibandingkan pada saat di luar jam kerja. *Demand Traffic data received* pada jam kerja lebih kecil dibandingkan pada saat di luar jam kerja. Pada jam kerja dan di luar jam kerja *Traffic data Sent* lebih kecil dibandingkan pada *Traffic data received* .

Tabel.4 3. Data *Traffic* untuk *Mail* dalam *Multi* Layanan dan *Multi* Kelas QoS

No	Tanggal	<i>Traffic</i> (dalam bit per second)			
		<i>Sent</i>		<i>Received</i>	
		Jam Kerja	Di Luar Jam Kerja	Jam Kerja	Di Luar Jam Kerja
1.	14 Maret 2014	137.320	253.226	192.711	135.296
2.	15 Maret 2014	63.286	133.129	81.847	138.375
3.	16 Maret 2014	60.852	68.245	31.706	60.032
4.	17 Maret 2014	203.194	840.846	388.140	128.992
5.	18 Maret 2014	891.275	260.440	1.111.239	243.100
6.	19 Maret 2014	713.085	190.322	639.790	282.967
7.	20 Maret 2014	120.084	5.746.940	1.035.985	327.635
8.	21 Maret 2014	1.718.410	592.685	162.434	166.421
9.	22 Maret 2014	38.328	155.485	53.078	114.051
10.	23 Maret 2014	784.245	65.318	266.213	56.058
11.	24 Maret 2014	818.750	534.485	359.428	289.398
12.	25 Maret 2014	723.178	1.475.023	908.522	823.601
13.	26 Maret 2014	170.171	331.196	291.670	734.116
14.	27 Maret 2014	280.093	713.272	583.770	265.668
15.	28 Maret 2014	298.020	328.883	216.210	514.700
16.	29 Maret 2014	67.711	645.841	60.130	88.573
17.	30 Maret 2014	56.104	707.729	37.251	164.563
18.	31 Maret 2014	612.832	133.533	61.545	85.512
19.	01 April 2014	695.279	960.523	352.776	268.027
20.	02 April 2014	749.742	1.376.077	276.552	770.717
21.	03 April 2014	1.534.427	1.880.274	468.032	277.952
22.	04 April 2014	1.329.416	490.004	619.675	212.421

23.	05 April 2014	450.554	721.317	204.488	160.676
24.	06 April 2014	36.786	882.963	76.834	171.989
25.	07 April 2014	222.346	173.025	393.957	499.615
26.	08 April 2014	2.033.335	811.338	197.725	159.429
27.	09 April 2014	2.323.170	653.576	367.632	75.262
28.	10 April 2014	648.586	1.154.611	673.389	554.187
29.	11 April 2014	628.032	1.537.365	331.247	1.101.833
30.	12 April 2014	85.916	68.231	46.351	68.913
31.	13 April 2014	400.216	648.689	62.726	81.062
32.	14 April 2014	0	33.155	0	38.852
Demand		590.460,8	24.567.754,6	10.553.059	9.060.002,9
Demand per bulan (jam kerja)			5.571.760		
Demand byte per second (jam kerja)			696.470		
Demand kilo byte per second (jam kerja)			680,1465		
Demand per bulan (diluar jam kerja)			16.813.879		
Demand byte per second (diluar jam kerja)			2.101.735		
Demand kilo byte per second (diluar jam kerja)			2.052,475		

Berdasarkan Tabel.4 3 dapat dilihat bahwa *Demand Traffic* data *Sent* pada jam kerja lebih kecil dibandingkan pada saat di luar jam kerja. *Demand Traffic* data *received* pada jam kerja lebih besar dibandingkan pada saat di luar jam kerja. Pada jam kerja data *Sent* lebih kecil dibandingkan pada *Traffic* data *received* . Sedangkan di luar jam kerja *Traffic* data *Sent* lebih besar dibandingkan pada *Traffic* data *received* .

Berdasarkan data *Traffic* untuk file dapat dilihat *Demand* (dalam kbps) pada jam kerja lebih besar dibandingkan di luar jam kerja. Pada

data *Traffic* untuk web dapat dilihat *Demand* (dalam kbps) pada jam kerja lebih kecil dibandingkan di luar jam kerja. Pada data *Traffic* untuk *Mail* dapat dilihat bahwa *Demand* (dalam kbps) pada saat jam kerja lebih kecil dibandingkan di luar jam kerja. Secara keseluruhan, pada saat jam kerja dan di luar jam kerja data *Traffic* pada file lebih besar daripada web dan *Mail*.

3.2 Pendefinisian Parameter dan Variabel Keputusan Pada Model Jaringan *Multi Layanan*

Pada skema pembiayaan internet link *multipel* pada jaringan *multi* layanan dan *multi* kelas QoS terdapat beberapa parameter dan variabel yang diketahui. Pada jaringan *multi* layanan terdapat dua kasus yang dibahas yaitu kasus 1 dan kasus 2. Kasus 1 yaitu α dan β variabel dan kasus 2 yaitu α variabel dan β konstanta. Berikut ini merupakan penjelasan parameter–parameter yang digunakan pada tiap kasus dan variabel–variabel yang digunakan pada tiap kasus.

Tabel.4 4. Parameter untuk Setiap Kasus pada Model Jaringan *Multi Layanan*

Parameter untuk kasus 1 : α dan β sebagai variabel	
p_{ik}	: sensitivitas harga pengguna layanan i dengan link k
C_k	: kapasitas total pada link k
d_{ik}	: kapasitas yang dibutuhkan untuk menyediakan QoS dari layanan i link k
m_i	: level minimum QoS untuk layanan i
n_i	: jumlah pengguna maksimum layanan i
S	: jumlah layanan
b_i	: kualitas premium minimum untuk layanan i
u_i	: kualitas premium maksimum untuk layanan i
c_i	: harga dasar minimum untuk layanan i
g_i	: harga dasar maksimum untuk layanan i
Parameter untuk kasus 2 : α variabel dan β konstanta	
β	: kualitas premium layanan
p_{ik}	: sensitivitas harga pengguna layanan i dengan link k
C_k	: kapasitas total
d_{ik}	: kapasitas yang dibutuhkan untuk menyediakan QoS dari layanan i link k
m_i	: level minimum QoS untuk layanan i
n_i	: jumlah pengguna maksimum layanan i
S	: jumlah layanan
c_i	: harga dasar minimum untuk layanan i
g_i	: harga dasar maksimum untuk layanan i

Tabel.4 5. Variabel Keputusan untuk Setiap Kasus pada Model Jaringan *Multi Layanan*

Variabel keputusan untuk kasus 1 : α dan β sebagai variabel	
a_{ik}	: jumlah cadangan kapasitas total untuk layanan i
I_i	: indeks kualitas layanan i
x_{ik}	: jumlah pengguna yang menggunakan layanan i
α_i	harga dasar untuk layanan i
β_i	: kualitas premium untuk layanan i
Variabel keputusan untuk kasus 2 : α variabel dan β konstanta	
a_{ik}	: jumlah cadangan kapasitas total untuk layanan i
I_i	: indeks kualitas layanan i
x_{ik}	: jumlah pengguna yang menggunakan layanan i
α_i	harga dasar untuk layanan i

3.3 Pemodelan Skema Pembiayaan Internet Menurut Jaringan *Multi Layanan*

Setelah dirumuskan parameter dan variabel untuk jaringan *multi layanan* maka didapatkan model untuk memaksimalkan pendapatan ISP pada masing–masing jaringan dan kendala–kendala yang terdapat pada jaringan *multi layanan* terdapat kasus 1 dan kasus 2 yang akan dimodifikasi berdasarkan index *quality*, base price,dan kualitas premium setiap layanan.

3.3.1 Penggunaan Model Skema Pembiayaan Pada Kasus 1(α dan β sebagaiVariabel)

Model persamaan umum untuk kasus 1 sebagai berikut dengan kendala yang digunakan seperti pada Persamaan (2.1) sampai dengan Kendala (2.10) dengan memasukkan nilai parameter pada kendala dengan banyaknya layanan adalah 3.

Data *Traffic* digunakan sebagai nilai kapasitas yang dibutuhkan untuk layanan i (d_{ik}) dengan satuan kilo byte per *second* (kbps). Keterbatasan data menyebabkan nilai-nilai parameter untuk jaringan *multi layanan* ditentukan berdasarkan asumsi yang disesuaikan dengan kendala-kendala pada model. Tabel 4.6 berikut menyajikan nilai-nilai parameter yang ditetapkan pada jaringan *multi layanan* untuk kasus 1. Nilai C_1 didapatkan dari jumlah *Demand* (dalam kbps) pada saat jam kerja untuk 3 layanan sedangkan C_2

didapatkan dari jumlah *Demand* (dalam kbps) pada saat di luar jam kerja untuk 3 layanan.

Tabel.4 6. Nilai-Nilai Parameter dalam Jaringan *Multi* Layanan untuk Kasus 1

Parameter	Layanan (i)		
	1 (<i>file</i>) kbps	2 (<i>web</i>) kbps	3 (<i>Mail</i>) kbps
Kapasitas total (C_k) :			
C_1	34.232	34.232	34.232
C_2	4.357	4.357	4.357
Kapasitas yang dibutuhkan (d_{ik})			
d_{i1}	33.492	60	680
d_{i2}	2.223	82	2.052
Jumlah pengguna maksimum (n_i)	10	10	10
Level minimum QoS untuk layanan i (m_i)	0,01	0,01	0,01
Kualitas indeks layanan (I_i)	0,01	0,01	0,01
<i>Sensitivitas</i> harga pengguna (p_{ik})			
p_{i1}	3	45	15
p_{i2}	6	56	24

Keterangan :

Layanan i ; $i=1,2,3$

Layanan 1 menyatakan layanan *file*

Layanan 2 menyatakan layanan *web*

Layanan 3 menyatakan layanan *Mail*

Link k ; $k=1,2$

Link 1 menyatakan jam kerja

Link 2 menyatakan di luar jam kerja

Penggunaan model skema pembiayaan pada *multi* layanan pada kasus 1 dengan memasukkan nilai parameter pada Tabel.4 6 ke dalam Persamaan (2.1) dan Kendala (2.2) sampai Kendala (2.10) sehingga didapatkan formulasi sebagai berikut:

Berdasarkan fungsi objektif pada Persamaan (2.1) :

$$\begin{aligned}
 maks R &= \sum_{k=1}^r \sum_{i=1}^s (\alpha_i + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_{ik} \cdot x_{ik} \\
 &= (\alpha_1 + \beta_1 \cdot I_1)3x_{11} + (\alpha_2 + \beta_2 \cdot I_2)45x_{21} + (\alpha_3 + \beta_3 \\
 &\quad \cdot I_3)15x_{31} + (\alpha_1 + \beta_1 \cdot I_1)6x_{12} + (\alpha_2 + \beta_2 \\
 &\quad \cdot I_2)56x_{22} + (\alpha_3 + \beta_3 \cdot I_3)24x_{32} \quad (4.1)
 \end{aligned}$$

dengan kendala :

$$I_1 \cdot 34.232x_{11} \leq 34.232 a_{11} \quad (4.2)$$

$$I_1 \cdot 2.223 x_{12} \leq 4.357 a_{12} \quad (4.3)$$

$$I_2 \cdot 60x_{21} \leq 34.232 a_{21} \quad (4.4)$$

$$I_2 \cdot 82x_{22} \leq 4.357 a_{22} \quad (4.5)$$

$$I_3 \cdot 680x_{31} \leq a_{31} \cdot C_1 \quad (4.6)$$

$$I_3 \cdot 2.052 x_{32} \leq a_{32} \cdot C_2 \quad (4.7)$$

$$(I_1 \cdot 33.492x_{11}) + (I_2 \cdot 60x_{21}) + (I_3 \cdot 680x_{31}) \leq 34.232 \quad (4.8)$$

$$(I_1 \cdot 2.223x_{12}) + (I_2 \cdot 82 x_{22}) + (I_3 \cdot 2.052 x_{32}) \leq 4.357 \quad (4.9)$$

$$a_{11} + a_{21} + a_{31} = 1 \quad (4.10)$$

$$a_{12} + a_{22} + a_{32} = 1 \quad (4.11)$$

$$0 \leq a_{11} \leq 1 \quad (4.12)$$

$$0 \leq a_{12} \leq 1 \quad (4.13)$$

$$0 \leq a_{21} \leq 1 \quad (4.14)$$

$$0 \leq a_{22} \leq 1 \quad (4.15)$$

$$0 \leq a_{31} \leq 1 \quad (4.16)$$

$$0 \leq a_{32} \leq 1 \quad (4.17)$$

$$0,01 \leq I_1 \leq 1 \quad (4.18)$$

$$0,01 \leq I_2 \leq 1 \quad (4.19)$$

$$0,01 \leq I_3 \leq 1 \quad (4.20)$$

$$0 \leq x_{11} \leq 10 \quad (4.21)$$

$$0 \leq x_{12} \leq 10 \quad (4.22)$$

$$0 \leq x_{21} \leq 10 \quad (4.23)$$

$$0 \leq x_{22} \leq 10 \quad (4.24)$$

$$0 \leq x_{31} \leq 10 \quad (4.25)$$

$$0 \leq x_{32} \leq 10 \quad (4.26)$$

$$\alpha_2 + \beta_2 \cdot I_2 \geq \alpha_1 + \beta_1 \cdot I_1 \quad (4.27)$$

$$\alpha_3 + \beta_3 \cdot I_3 \geq \alpha_2 + \beta_2 \cdot I_2 \quad (4.28)$$

dengan memodifikasi indeks kualitas layanan (I_i), harga dasar layanan(α_i), dan kualitas premium layanan (β_i)yaitu :

vii) jika $I_i = I_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$I_i - I_{i-1} = 0$$

viii) jika $I_i > I_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$I_i - I_{i-1} > 0$$

ix) jika $I_i < I_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$I_i - I_{i-1} < 0 \quad (4.29)$$

x) jika $\beta_i = \beta_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$\beta_i - \beta_{i-1} = 0$$

xi) jika $\beta_i > \beta_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$\beta_i - \beta_{i-1} > 0$$

xii) jika $\beta_i < \beta_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$\beta_i - \beta_{i-1} < 0 \quad (4.30)$$

xiii) jika $\alpha_i = \alpha_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$\alpha_i - \alpha_{i-1} = 0$$

xiv) jika $\alpha_i > \alpha_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$\alpha_i - \alpha_{i-1} > 0$$

xv) jika $\alpha_i < \alpha_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$\alpha_i - \alpha_{i-1} < 0 \quad (4.31)$$

3.3.2 Penggunaan Model Skema Pembiayaan pada Kasus 2 (α sebagai Variabel dan β sebagai Konstanta)

Model persamaan umum untuk kasus 2 yaitu dengan kendala yang digunakan seperti pada Persamaan (2.11) dengan Kendala (2.2) sampai Kendala (2.10) dengan memasukkan nilai parameter pada kendala dengan banyaknya layanan adalah 3.

Data *Traffic* digunakan sebagai nilai kapasitas yang dibutuhkan untuk layanan i (d_{ik}) dengan satuan kilo byte per *second* (kbps). Keterbatasan data menyebabkan nilai-nilai parameter untuk jaringan *multi* layanan ditentukan berdasarkan asumsi yang disesuaikan dengan kendala-kendala pada model. Tabel.4 7 berikut menyajikan nilai-nilai parameter yang ditetapkan pada jaringan *multi* layanan untuk kasus 1. Nilai C_1 didapatkan dari jumlah *Demand* (dalam kbps) pada saat jam kerja untuk 3 layanan sedangkan C_2

didapatkan dari jumlah *Demand* (dalam kbps) pada saat di luar jam kerja untuk 3 layanan.

Tabel.4 7. Nilai-Nilai Parameter dalam Jaringan *Multi* Layanan untuk Kasus 2

Parameter	Layanan (i)		
	1 (<i>file</i>) kbps	2 (<i>web</i>) kbps	3 (<i>Mail</i>) kbps
Kapasitas total (C_k) :			
C_1	34.232	34.232	34.232
C_2	4.357	4.357	4.357
Kapasitas yang dibutuhkan (d_{ik})			
d_{i1}	33.492	60	680
d_{i2}	2.223	82	2.052
Parameter	Layanan (i)		
	1 (<i>file</i>) kbps	2 (<i>web</i>) kbps	3 (<i>Mail</i>) kbps
Jumlah pengguna maksimum (n)	10	10	10
Level minimum QoS untuk layanan i (m)	0,01	0,01	0,01
Kualitas indeks layanan i (I_i)	0,01	0,01	0,01
<i>Sensitivitas</i> harga pengguna (p_{ik})			
p_{i1}	3	45	15
p_{i2}	6	56	24
Kualitas premium layanan (β)	0,01	0,01	0,01

Keterangan : Layanan i ; $i=1,2,3$
 Layanan 1 menyatakan layanan *file*
 Layanan 2 menyatakan layanan *web*
 Layanan 3 menyatakan layanan *Mail*
 Link k ; $k=1,2$
 Link 1 menyatakan jam kerja
 Link 2 menyatakan di luar jam kerja

Penggunaan model skema pembiayaan pada *multi* layanan pada kasus 2 dengan memasukkan nilai parameter pada Tabel.4 7 ke dalam

Persamaan (2.11) dan Kendala (2.2) sampai Kendala (2.10) sehingga didapatkan formulasi sebagai berikut :

Berdasarkan fungsi objektif pada Persamaan (2.1) :

$$\begin{aligned}
 maks R &= \sum_{k=1}^r \sum_{i=1}^s (\alpha_i + \beta \cdot I_i) \cdot p_{ik} \cdot x_{ik} \\
 &= (\alpha_1 + \beta \cdot I_1)3x_{11} + (\alpha_2 + \beta \cdot I_2)45x_{21} + (\alpha_3 + \beta \cdot I_3)15x_{31} + (\alpha_1 + \beta \cdot I_1)6x_{12} + (\alpha_2 + \beta \cdot I_2)56x_{22} + (\alpha_3 + \beta \cdot I_3)24x_{32}
 \end{aligned}
 \tag{4.32}$$

dengan Kendala (2.2) sampai Kendala (2.10) yang dianalogkan dengan Persamaan (4.2) sampai (4.28) pada kasus 1. Pada kasus 2 yang dimodifikasi yaitu indeks kualitas pelayanan (I_i) dan harga dasar layanan (α_i), sehingga ditambahkan Kendala (4.29) dan Kendala (4.31).

3.4 Solusi Model pada Jaringan *Multi Layanan* dengan Program LINGO 11.0 untuk Kasus 1 : α dan β sebagai Variabel

Penggunaan model yang diperoleh dari sub bagian (4.3.1) diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan solusi yang optimal dan nilai – nilai variabel yang digunakan pada kasus 1 dengan memodifikasi berdasarkan kualitas indeks layanan (I_i), harga dasar layanan (α_i), dan kualitas premium layanan (β_i) sehingga pada kasus 1 terdapat 27 solusi, yaitu terdiri dari :

Kombinasi antar harga dasar layanan (α_i) terdiri dari 3 yaitu :

$$\alpha_i = \alpha_{i-1}$$

$$\alpha_i > \alpha_{i-1}$$

$$\alpha_i < \alpha_{i-1}$$

dengan kualitas premium layanan (β_i) terdiri dari 3 yaitu :

$$\beta_i = \beta_{i-1}$$

$$\beta_i > \beta_{i-1}$$

$$\beta_i < \beta_{i-1}$$

untuk indeks layanan (I_i) terdiri dari 3 yaitu :

$$I_i = I_{i-1}$$

$$I_i > I_{i-1}$$

$$I_i < I_{i-1}$$

Berdasarkan hasil yang diperoleh dengan menyelesaikan model menggunakan program LINGO 11.0, solusi yang diperoleh dari 27 solusi hanya 1 solusi yaitu pada α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$ yang menghasilkan solusi optimal. Sedangkan, untuk 26 solusi lainnya dikatakan bukan solusi optimal dikarenakan nilai indeks kualitas layanan, harga dasar layanan serta kualitas premium layanan tidak sesuai dengan kondisi keadaan solusi masing – masing. Pemrograman LINGO 11.0 beserta hasil solusi pada α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$ dapat dilihat pada lampiran 1.

Tabel.4 8 menyajikan hasil solusi optimal dengan nilai variabel dan solusi lanjut dari skema pembiayaan internet pada jaringan *multi* layanan dengan solusi α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$.

Tabel.4 8. Solusi Optimal untuk Kasus 1 dengan α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$

<i>Solver Status</i>	
<i>Model Class</i>	MINLP
<i>State</i>	<i>Local Optimal</i>
<i>Objective</i>	1.564,5
<i>Infeasibility</i>	$1,15 \cdot 10^{-3}$
<i>Iterations</i>	33
<i>Extended Solver Status</i>	
<i>Solver Type</i>	<i>Branch and Bound</i>
<i>Best Objective</i>	1.564,5
<i>Objective bound</i>	1.564,5
<i>Steps</i>	1
<i>Update Interval</i>	2
<i>Active</i>	0
<i>GMU (K)</i>	34
<i>ER (sec)</i>	0

Tabel.4 8 menunjukkan hasil solusi optimal pada kasus 1. Solusi optimal diperoleh sebesar 1.564,5 dengan menggunakan iterasi sebanyak 33 iterasi dengan infeasibility sebesar $1,15 \cdot 10^{-3}$ yang artinya mendekati nol. Extended solver status menunjukkan metode penyelesaian yang branch and bound dengan nilai objektif sebesar

1.564,5. *Generated Memory Used* (GMU) menunjukkan jumlah alokasi memori yang digunakan yaitu sebesar 34K dan *Elapsed Runtime* (ER) menjelaskan tentang total waktu yang digunakan untuk menghasilkan dan menyelesaikan model yaitu 0 detik.

Tabel.4 9. Nilai Variabel dalam Jaringan *Multi Layanan* pada Kasus 1 dengan α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i=I_{i-1}$

Variabel	Layanan (i)		
	1	2	3
I_i	0,1	0,1	0,1
x_{ik}	10	10	10
α	1	1	1
β	0,5	0,5	0,5

Berdasarkan nilai parameter pada Tabel.4 6 dan Tabel.4 9, maka diperoleh Tabel.4 10 yang merupakan tabel solusi lanjutan untuk kasus 1.

Tabel.4 10. Nilai Variabel dalam Jaringan *Multi Layanan* pada Kasus 1 dengan α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i=I_{i-1}$

Solusi Lanjut	Layanan (i)		
	1	2	3
Kapasitas yang digunakan			
$(I_i \cdot d_{ik} \cdot x_{ik})$	34.232	60	680
$(I_i \cdot d_{i1} \cdot x_{i1})$	2.223	82	2.052
$(I_i \cdot d_{i2} \cdot x_{i2})$			
Kapasitas layanan i	36.455	142	2.732
Total kapasitas yang digunakan	39.329		
Pendapatan $((\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_{ik} \cdot x_{ik})$			
$((\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_{i1} \cdot x_{i1})$	31,5	472,5	157,5
$((\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_{i2} \cdot x_{i2})$	63	588	252
Pendapatan dari layanan i	94,5	1.060,5	409,5
Total pendapatan	1.564,5		

Tabel.4 8 sampai Tabel.4 10 menunjukkan Total pendapatan maksimum untuk kasus 1 dengan α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$ diperoleh sebesar 1.564,5 rupiah (dalam kbps). Harga dasar dan kualitas premium layanan secara berurutan yaitu sebesar 1 dan 0,5 untuk setiap layanan dengan nilai tingkat QoS untuk setiap layanan adalah 0,1 atau sebesar 10%. Jumlah pengguna setiap layanan i pada link k yaitu sebanyak 10 pengguna, artinya penyedia layanan menawarkan semua layanan kepada pengguna. Total kapasitas yang digunakan sebesar 39.329 kbps atau sebesar 100% dari kapasitas yang disediakan sebesar 39.329 kbps. Pendapatan terbesar didapatkan pada layanan kedua yaitu sebesar 1.060,5 rupiah (per kbps) atau sebesar 67,8%. Kapasitas terbesar terdapat pada layanan pertama yaitu sebesar 36.455 kbps atau sebesar 92,7% dari total kapasitas yang digunakan.

3.5 Solusi Model pada Jaringan *Multi* Layanan dengan Program LINGO 11.0 untuk Kasus 2 : α sebagai Variabel dan β sebagai Konstanta

Penggunaan model yang diperoleh dari Sub Bagian 4.3.1 diselesaikan dengan program LINGO 11.0 untuk mendapatkan solusi yang optimal dan nilai-nilai variabel yang digunakan pada kasus 1 dengan memodifikasi berdasarkan kualitas indeks layanan (I_i), harga dasar layanan (α_i), sehingga pada kasus 2 terdapat 9 solusi, yaitu terdiri dari :

Kombinasi harga dasar layanan (α_i) terdiri dari 3 yaitu :

$$\alpha_i = \alpha_{i-1}$$

$$\alpha_i > \alpha_{i-1}$$

$$\alpha_i < \alpha_{i-1}$$

untuk indeks layanan (I_i) terdiri dari 3 yaitu :

$$I_i = I_{i-1}$$

$$I_i > I_{i-1}$$

$$I_i < I_{i-1}$$

Berdasarkan hasil yang diperoleh dengan menyelesaikan model menggunakan program LINGO 11.0, solusi yang diperoleh dari 9 solusi hanya 1 solusi yaitu pada α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β sebagai konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$ yang menghasilkan solusi optimal. Sedangkan, untuk 8 solusi lainnya dikatakan bukan solusi optimal dikarenakan nilai indeks

kualitas layanan dan harga dasar layanan tidak sesuai dengan kondisi keadaan solusi masing – masing.

Tabel.4 11 menyajikan hasil solusi optimal dengan nilai variabel dan solusi lanjut dari skema pembiayaan internet pada jaringan *multi* layanan dengan solusi α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β sebagai konstanta untuk $I_i=I_{i-1}$.

Tabel.4 11. Solusi Optimal untuk Kasus 2 dengan α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β sebagai Konstanta untuk $I_i=I_{i-1}$

Solver Status	
Model Class	MINLP
State	Local Optimal
Objective	1.491,49
Infeasibility	$4,54 \cdot 10^{-13}$
Iterations	20
Extended Solver Status	
Solver Type	Branch and Bound
Best Objective	1.491,49
Objective bound	1.491,49
Steps	0
Update Interval	2
Active	0
GMU (K)	33
ER (sec)	0

Tabel.4 11 menunjukkan hasil solusi optimal pada kasus 2. Solusi optimal diperoleh sebesar 1.491,49 dengan menggunakan iterasi sebanyak 20 iterasi dengan infeasibility sebesar $4,54 \cdot 10^{-13}$ yang artinya mendekati nol. Extended solver status dengan menggunakan metode penyelesaian yang branch and bound menghasilkan nilai objektif sebesar 1.491,49. *Generated Memory Used* (GMU) menunjukkan jumlah alokasi memori yang digunakan yaitu sebesar 33K dan *Elapsed Runtime* (ER) menjelaskan tentang total waktu yang digunakan untuk menghasilkan dan menyelesaikan model yaitu 0 detik.

Tabel.4 12. Nilai Variabel dalam Jaringan *Multi Layanan* Pada Kasus 2 dengan α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β sebagai Konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$

Variabel	Layanan (i)		
	1	2	3
I_i	0,1	0,1	0,1
x_{ik}	10	10	10
α	1	1	1

Tabel.4 13. Solusi Lanjut Kasus 2 dengan α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β sebagai Konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$

Solusi Lanjut	Layanan (i)		
	1	2	3
Kapasitas yang digunakan ($I_i \cdot d_{ik} \cdot x_{ik}$)	34.232	60	680
($I_i \cdot d_{i1} \cdot x_{i1}$)	2.223	82	2.052
($I_i \cdot d_{i2} \cdot x_{i2}$)			
Kapasitas layanan i	36.455	142	2732
Total kapasitas yang digunakan	39.329		
Pendapatan (($\alpha + \beta_i \cdot I_i$) $\cdot p_{ik} \cdot x_{ik}$)			
(($\alpha + \beta_i \cdot I_i$) $\cdot p_{i1} \cdot x_{i1}$)	30,03	450,45	150,15
(($\alpha + \beta_i \cdot I_i$) $\cdot p_{i2} \cdot x_{i2}$)	60,06	560,56	240,24
Pendapatan dari layanan i	90,09	1.011,01	390,39
Total pendapatan	1.491,49		

Tabel.4 11 sampai Tabel.4 13 menunjukkan total pendapatan maksimum untuk kasus 1 dengan α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$ diperoleh sebesar 1.491,49 rupiah (per kbps). Harga dasar layanan yaitu sebesar 1 dan 0,5 untuk setiap layanan dengan nilai tingkat QoS untuk setiap layanan adalah 0,1 atau sebesar 10%. Jumlah pengguna setiap layanan i pada link k yaitu sebanyak 10 pengguna, artinya penyedia layanan menawarkan semua layanan kepada pengguna. Total kapasitas yang digunakan sebesar 39.329 kbps atau sebesar 100% dari kapasitas yang disediakan sebesar 39.329 kbps. Pendapatan terbesar didapatkan pada layanan kedua yaitu sebesar 1.011,01 rupiah (per kbps) atau sebesar 67,78%. Kapasitas terbesar

terdapat pada layanan pertama yaitu sebesar 36.455 kbps atau sebesar 92,7% dari total kapasitas yang digunakan.

3.6 Rekapitulasi Solusi Penggunaan Model Pada *Multi* Layanan

Berdasarkan hasil solusi model jaringan *multi* layanan pada Sub Bab 3.4 dan Sub Bab 3.5 diperoleh rekapitulasi solusi penggunaan model pada *multi* layanan yang terdapat pada Tabel.4 14 berikut :

Tabel.4 14. Rekapitulasi Solusi Model pada Jaringan *Multi* Layanan

Solusi	Kasus	
	1	2
Kapasitas total yang digunakan (kbps)	39.329	39.329
PerSentase kapasitas total yang digunakan	100%	100%
Pendapatan terbesar per layanan	1.060,5	1.011,01
Total pendapatan	1.564,5	1.491,49

Hasil rekapitulasi perbandingan solusi optimal berdasarkan kasus 1 dan kasus 2 pada Tabel.4 14 menunjukan bahwa solusi yang lebih optimal adalah kasus 1 yaitu pada saat α_i sebagai $\alpha_i=\alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i=\beta_{i-1}$ untuk $I_i=I_{i-1}$ memiliki total pendapatan maksimum sebesar 1.564,5 rupiah (per kbps). Jadi, ISP dapat menggunakan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multi* layanan dengan mengatur harga dasar dan kualitas premium bersifat variabel dengan syarat harga dasar, kualitas premium dan tingkat QoS yang sama besar untuk setiap layanan.

3.7 Pendefinisian Parameter dan Variabel Keputusan pada Model Jaringan *Multi* Kelas QoS

Model skema pembiayaan internet link *multipel* dalam jaringan *multi* kelas QoS terbagi menjadi 3 model yaitu :

- 1) model original
- 2) model modifikasi 1 dengan β_j sebagai konstanta
- 3) model modifikasi 2 dengan β_j sebagai variabel

Parameter dan variabel keputusan yang digunakan pada setiap model tersebut dapat dilihat pada Tabel.4 15 dan Tabel.4 16.

Tabel.4 15. Parameter untuk Setiap Model pada Jaringan *Multi* Kelas QoS

Parameter untuk modeloriginal	
α_j	: harga dasar kelas j
C_k	: kapasitas total yang terdapat pada link k
$\tilde{L}_{ij}^k$	: <i>bandwidth</i> minimum pengguna i untuk kelas j pada link k
$\tilde{W}_{ij}^k$	: harga <i>sensitivitas</i> pengguna i untuk kelas j pada link k nilai yang telah ditentukan dari batas atas untuk harga
c_j	: <i>sensitivitas</i> pengguna i dalam kelas j
Parameter untuk model modifikasi 1 dengan β_j sebagai konstanta	
α_j	: harga dasar kelas j
β_j	: kualitas premium kelas j
C_k	: kapasitas total yang terdapat pada link k
$\tilde{L}_{ij}^k$	: <i>bandwidth</i> minimum pengguna i untuk kelas j pada link k
$\tilde{W}_{ij}^k$	: harga <i>sensitivitas</i> pengguna iuntuk kelas j pada link k
c_j	: nilai yang telah ditentukan dari batas atas untuk harga <i>sensitivitas</i> pengguna i dalam kelas j
d_j	: nilai indeks kualitas maksimum untuk kelas j
Parameter untuk model modifikasi 2 dengan β_j variabel	
α_j	: harga dasar kelas j
C_k	: kapasitas total yang terdapat pada link k
$\tilde{L}_{ij}^k$	: <i>bandwidth</i> minimum pengguna i untuk kelas j pada link k
$\tilde{W}_{ij}^k$	: harga <i>sensitivitas</i> pengguna i untuk kelas j pada link k nilai yang telah ditentukan dari batas atas untuk harga
c_j	: <i>sensitivitas</i> pengguna i dalam kelas j
d_j	: nilai indeks kualitas maksimum untuk kelas j
f	: nilai kualitas premium minimum untuk kelas j
g	: nilai kualitas premium maksimum untuk kelas j

Tabel.4 16. Variabel Keputusan untuk Setiap Model pada Jaringan Multi Kelas QoS

Variabel keputusan untuk model 1 original	
Z_{ij}	: $\begin{cases} 1, & \text{jika pengguna } i \text{ berada di kelas } j \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases}$
$\hat{X}_{ij}$	: bandwidth akhir yang diperoleh pengguna i untuk kelas j
$\tilde{X}_{ij}^k$	: bandwidth akhir yang diperoleh pengguna i untuk kelas j pada link k
W_j	: harga sensitivitas untuk kelas j
L_j	: bandwidth minimum untuk kelas j
X_j	: bandwidth untuk tiap individu di kelas j
Variabel keputusan untuk model modifikasi 1 dengan β_j sebagai konstanta	
Z_{ij}	: $\begin{cases} 1, & \text{jika pengguna } i \text{ berada di kelas } j \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases}$
$\hat{X}_{ij}$	: bandwidth akhir yang diperoleh pengguna i untuk kelas j
$\tilde{X}_{ij}^k$	: bandwidth akhir yang diperoleh pengguna i untuk kelas j pada link k
I_j	: indeks kualitas kelas j
W_j	: harga sensitivitas untuk kelas j
L_j	: bandwidth minimum untuk kelas j
X_j	: bandwidth untuk tiap individu di kelas j
Variabel keputusan untuk model modifikasi 2 dengan β_j sebagai variabel	
Z_{ij}	: $\begin{cases} 1, & \text{jika pengguna } i \text{ berada di kelas } j \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases}$
$\hat{X}_{ij}$	: bandwidth akhir yang diperoleh pengguna i untuk kelas j
$\tilde{X}_{ij}^k$	: bandwidth akhir yang diperoleh pengguna i untuk kelas j pada link k
W_j	: harga sensitivitas untuk kelas j
L_j	: bandwidth minimum untuk kelas j
X_j	: bandwidth untuk tiap individu di kelas j
I_j	: indeks kualitas kelas j
β_j	: kualitas premium kelas j

3.8 Penggunaan Model pada Jaringan *Multi* Kelas QoS

Nilai C_k untuk setiap model pada jaringan *multi* kelas QoS diperoleh dari nilai akhir pada data *Traffic* yaitu $C_1 = 34.172$ dan $C_2 = 4.275$.

3.8.1 Model Original

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multi* kelas QoS untuk model original didapatkan dengan memasukkan nilai parameter pada Tabel.4 15 ke dalam Persamaan (2.12) dengan Kendala (2.13) sampai Kendala (2.24).

Tabel.4 17. Nilai – Nilai Parameter pada Model Original

Parameter	Kelas (j)	
	1	2
α_j	0,3	0,4

Berdasarkan fungsi objektif pada Persamaan (2.12) :

$$\begin{aligned} Maks\ R = & \left(0,3 \cdot Z_{11} + W_1 \cdot \log \frac{\hat{X}_{11}}{L_1} \right) \\ & + \left(0,3 \cdot Z_{21} + W_1 \cdot \log \frac{\hat{X}_{21}}{L_1} \right) \\ & + \left(0,4 \cdot Z_{12} + W_2 \cdot \log \frac{\hat{X}_{12}}{L_2} \right) \\ & + \left(0,4 \cdot Z_{22} + W_2 \cdot \log \frac{\hat{X}_{22}}{L_2} \right) \end{aligned} \tag{4.33}$$

dengan Kendala (2.13) :

$$\begin{aligned} X_{111} + X_{211} + X_{121} + X_{221} &\leq 34.172 \\ X_{112} + X_{212} + X_{122} + X_{222} &\leq 4.275 \end{aligned} \tag{4.34}$$

dengan Kendala (2.14):

$$\begin{aligned} \tilde{X}_{111} &= \hat{X}_{11} \\ \tilde{X}_{211} &= \hat{X}_{21} \\ \tilde{X}_{121} &= \hat{X}_{12} \\ \tilde{X}_{221} &= \hat{X}_{22} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\tilde{X}_{112} &= \hat{X}_{11} \\
\tilde{X}_{212} &= \hat{X}_{21} \\
\tilde{X}_{122} &= \hat{X}_{12} \\
\tilde{X}_{222} &= \hat{X}_{22}
\end{aligned} \tag{4.35}$$

dengan Kendala (2.15):

$$\begin{aligned}
\hat{X}_{11} &= \tilde{L}_{111} \\
\hat{X}_{21} &= \tilde{L}_{211} \\
\hat{X}_{12} &= \tilde{L}_{121} \\
\hat{X}_{22} &= \tilde{L}_{221} \\
\hat{X}_{11} &= \tilde{L}_{112} \\
\hat{X}_{21} &= \tilde{L}_{212} \\
\hat{X}_{12} &= \tilde{L}_{122} \\
\hat{X}_{22} &= \tilde{L}_{222}
\end{aligned} \tag{4.36}$$

dengan Kendala (2.16):

$$\begin{aligned}
\hat{X}_{11} &\geq Z_{11} \\
\hat{X}_{21} &\geq Z_{21} \\
\hat{X}_{12} &\geq Z_{12} \\
\hat{X}_{22} &\geq Z_{22}
\end{aligned} \tag{4.37}$$

dengan Kendala (2.17):

$$\begin{aligned}
W_1 &\leq \tilde{W}_{111} + (1 - Z_{11}) \\
W_1 &\leq \tilde{W}_{211} + (1 - Z_{21}) \\
W_2 &\leq \tilde{W}_{122} + (1 - Z_{12}) \\
W_2 &\leq \tilde{W}_{222} + (1 - Z_{22})
\end{aligned} \tag{4.38}$$

dengan Kendala (2.18):

$$\begin{aligned}
L_1 &\leq \tilde{L}_{111} + (1 - Z_{11}) \\
L_1 &\leq \tilde{L}_{211} + (1 - Z_{21}) \\
L_2 &\leq \tilde{L}_{122} + (1 - Z_{12}) \\
L_2 &\leq \tilde{L}_{222} + (1 - Z_{22})
\end{aligned} \tag{4.39}$$

dengan Kendala (2.19)

$$\begin{aligned}
\hat{X}_{11} &\geq X_1 - (1 - Z_{11}) \\
\hat{X}_{21} &\geq X_1 - (1 - Z_{21}) \\
\hat{X}_{12} &\geq X_2 - (1 - Z_{12}) \\
\hat{X}_{22} &\geq X_2 - (1 - Z_{22})
\end{aligned} \tag{4.40}$$

dengan Kendala (2.20):

$$\begin{aligned}\hat{X}_{11} &\geq X_1 \\ \hat{X}_{21} &\geq X_1 \\ \hat{X}_{12} &\geq X_2 \\ \hat{X}_{22} &\geq X_2\end{aligned}\tag{4.41}$$

dengan Kendala (2.21):

$$\begin{aligned}\hat{X}_{11} &\geq 0 \\ \hat{X}_{21} &\geq 0 \\ \hat{X}_{12} &\geq 0 \\ \hat{X}_{22} &\geq 0\end{aligned}\tag{4.42}$$

dengan Kendala (2.22):

$$\begin{aligned}L_1 &\geq 0 \\ L_2 &\geq 0\end{aligned}\tag{4.43}$$

dengan Kendala (2.23)

$$\begin{aligned}W_1 &\geq 0 \\ W_2 &\geq 0\end{aligned}\tag{4.44}$$

dengan Kendala (2.24)

$$\begin{aligned}Z_{11} &= \begin{cases} 1, & \text{pengguna 1 berada di kelas 1} \\ 0, & \text{yang lainnya} \end{cases} \\ Z_{21} &= \begin{cases} 1, & \text{pengguna 2 berada di kelas 1} \\ 0, & \text{yang lainnya} \end{cases} \\ Z_{12} &= \begin{cases} 1, & \text{pengguna 1 berada di kelas 2} \\ 0, & \text{yang lainnya} \end{cases} \\ Z_{22} &= \begin{cases} 1, & \text{pengguna 2 berada di kelas 2} \\ 0, & \text{yang lainnya} \end{cases}\end{aligned}\tag{4.45}$$

3.8.2 Model Modifikasi 1 dengan β_j sebagai Konstanta

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multi* kelas QoS untuk model modifikasi dengan β_j sebagai konstanta diperoleh dengan memasukkan nilai parameter pada Tabel.4 18 kedalam Persamaan (2.25) dengan Kendala (2.13) sampai (2.24) dan Kendala (2.26) sampai (2.29).

Tabel.4 18 Nilai-Nilai Parameter pada Model Modifikasi 1 dengan β_j sebagai Konstanta

Parameter	Kelas (j)	
	1	2
α_j	0,3	0,4
β_j	0,01	0,05
c_j	4	5
d_j	0,8	0,9

Berdasarkan fungsi objektif pada Persamaan (2.25) dengan α dan β sebagai konstanta:

$$\begin{aligned}
 Maks\ R = & \left((0,3 \cdot Z_{11} + 0,01 \cdot I_1) + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{11}}{L_{m_1}} \right) + \\
 & \left((0,3 \cdot Z_{21} + 0,01 \cdot I_1) + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{21}}{L_{m_1}} \right) + \\
 & \left((0,4 \cdot Z_{12} + 0,05 \cdot I_2) + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{12}}{L_{m_2}} \right) + \\
 & \left((0,4 \cdot Z_{22} + 0,05 \cdot I_2) + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{22}}{L_{m_2}} \right)
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, digunakan Kendala (2.13) sampai Kendala (2.24) yang di analog kan dengan Kendala (4.34) sampai Kendala (4.45) di Sub Bab 3.8.1 pada bagian model original dan juga ditambahkan dengan kendala – kendala berikut :

dengan Kendala (2.26):

$$0,4 + 0,05 \cdot I_2 \geq 0,3 + 0,01 \cdot I_1 \tag{4.46}$$

dengan Kendala (2.27):

$$\begin{aligned}
 0 & \leq I_1 \leq 0,8 \\
 0 & \leq I_2 \leq 0,9
 \end{aligned}
 \tag{4.47}$$

Model modifikasi 1 dengan β_j sebagai konstanta dibagi menjadi dua, yaitu :

- 1) Jika $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j sebagai variabel maka ditambahkan dengan Kendala (2.28) berikut ini :

$$W_{1j} = 5$$

$$W_{2j} = 6 \quad (4.48)$$

- 2) Jika $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j sebagai parameter maka ditambahkan dengan Kendala (2.29) berikut ini:

$$\begin{aligned} W_1 &= 5 \\ W_2 &= 6 \end{aligned} \quad (4.49)$$

3.8.3 Model Modifikasi 2 dengan β_j sebagai Variabel

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multi* kelas QoS untuk model modifikasi dengan β_j sebagai variabel diperoleh dengan memasukkan nilai parameter pada Tabel.4 19 kedalam Persamaan (2.25) dengan Kendala (2.13) sampai (2.24) dan Kendala (2.26) sampai (2.29).

Tabel.4 19. Tabel 4.19 Nilai-Nilai Parameter pada Model Modifikasi β_j sebagai Variabel

Parameter	Kelas (j)	
	1	2
α_j	0,3	0,4
c_j	4	5
d_j	0,8	0,9
f	0,01	0,01
g	0,5	0,5

Berdasarkan fungsi objektif pada Persamaan (2.25) dengan α sebagai konstanta dan β sebagai variabel :

$$\begin{aligned} \text{Maks R} = & \left((0,3 \cdot Z_{11} + \beta_1 \cdot I_1) + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{11}}{L_{m_1}} \right) + \\ & \left((0,3 \cdot Z_{21} + \beta_1 \cdot I_1) + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{21}}{L_{m_1}} \right) + \\ & \left((0,4 \cdot Z_{12} + \beta_2 \cdot I_2) + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{12}}{L_{m_2}} \right) + \\ & \left((0,4 \cdot Z_{22} + \beta_2 \cdot I_2) + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{22}}{L_{m_2}} \right) \end{aligned}$$

Selanjutnya, menggunakan Kendala (2.13) sampai Kendala (2.24) serta Kendala (2.26) sampai Kendala (2.29) yang dianalogkan dengan Kendala (4.34) sampai Kendala (4.45) di Sub Bab 3.8.1 pada

bagian model original serta Kendala (4.46) sampai Kendala(4.49)di Sub Bab 3.8.2 pada bagian modifikasi β_j sebagai konstantadan juga ditambahkan dengan kendala–kendala berikut :

dengan Kendala (2.30):

$$\beta_2 \leq \beta_1 \tag{4.50}$$

dengan Kendala (2.31):

$$\begin{aligned} 0,01 &\leq \beta_1 \leq 0,5 \\ 0,01 &\leq \beta_2 \leq 0,5 \end{aligned} \tag{4.51}$$

Model modifikasi 2 dengan β_j sebagai variabel dibagi menjadi dua, yaitu :

- 1) Jika $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j sebagai variabel maka ditambahkan dengan Kendala (4.28).
- 2) Jika $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j sebagai parameter maka ditambahkan dengan Kendala (4.29).

3.9 Solusi Model Jaringan *Multi* Kelas QoS dengan Program LINGO 11.0

3.9.1 Model Original

Berdasarkan model original pada Sub Bab 4.8.1, dengan menggunakan Program LINGO 11.0 diperoleh solusi pada Tabel 4.20 dan hasil Pemrograman LINGO 11.0 beserta solusi dapat dilihat pada Lampiran 2.

Tabel.4 20. Solusi Optimal Model Original

<i>Solver Status</i>	
<i>Model Class</i>	MINLP
<i>State</i>	<i>Local Optimal</i>
<i>Objective</i>	115,759
<i>Infeasibility</i>	0
<i>Iterations</i>	8
<i>Extended Solver Status</i>	
<i>Solver Type</i>	<i>Branch and Bound</i>
<i>Best Objective</i>	115,759
<i>Objective bound</i>	115,759
<i>Steps</i>	0
<i>Update Interval</i>	2

Active	0
GMU (K)	33
ER (sec)	0

Tabel.4 20 ini menunjukkan solusi optimal pada model original sebesar 115,759. Hasil tersebut didapatkan melalui 8 iterasi dengan infeasibility yang mencapai 0. *Extended solver* status menggunakan metode *branch and bound* menghasilkan nilai objektif sebesar 115,759. *Generated Memory Used* (GMU) menunjukkan jumlah alokasi memori yang digunakan yaitu sebesar 33K dan *Elapsed Runtime* (ER) menjelaskan tentang total waktu yang digunakan untuk menghasilkan dan menyelesaikan model adalah 0 detik. Nilai – nilai variabel yang diperoleh dari model original dalam mencapai hasil optimal sebesar 115,759 disajikan pada Tabel.4 21.

3.9.2 Solusi Model Modifikasi 1 dengan β_j sebagai Konstanta
Tabel.4 21. Nilai-Nilai Variabel pada Model Original dan Model Modifikasi 1 dengan β_j sebagai Konstanta

Variabel	Model 1 Original	Model Modifikasi 1	
		$\widetilde{W}_{ij}$ Par W _j Var	$\widetilde{W}_{ij}$ Par W _j Par
Z_{11}	1	1	1
Z_{12}	1	0	1
Z_{21}	0	0	1
Z_{22}	1	1	1
$\widetilde{W}_{11}$	4	4	5
$\widetilde{W}_{12}$	4	5	4
$\widetilde{W}_{21}$	5	4	5
$\widetilde{W}_{22}$	5	5	4
X_1	4	968	990
X_2	3	1.210	1.188
L_{m1}	0	0	0
L_{m2}	0	0	0
I_1	-	0,8	0,8
I_2	-	0,9	0,9
$\hat{X}_{11}$	5	968	990
$\hat{X}_{12}$	2.173	1.210	1.188

$\hat{X}_{21}$	6	968	990
$\hat{X}_{22}$	2.173	1.210	1.188
W_1	0	8	5
W_2	10	10	6
$\tilde{X}_{111}$	5	968	990
$\tilde{X}_{211}$	6	968	990
$\tilde{X}_{121}$	2.173	1.210	1.188
$\tilde{X}_{221}$	2.173	1.210	1.188
$\tilde{X}_{112}$	5	968	990
$\tilde{X}_{212}$	6	968	990
$\tilde{X}_{122}$	2.173	1.210	1.188
$\tilde{X}_{222}$	2.173	1.210	1.188

Tabel.4 21 ini menunjukkan perbandingan nilai-nilai variabel yang diperoleh pada model original dan model modifikasi dengan β_j sebagai konstanta untuk setiap kasus agar memperoleh solusi optimal. Nilai Z_{ij} menunjukkan keberadaan pengguna i di kelas j . Jika $Z_{ij} = 1$ menyatakan bahwa pengguna i berada di kelas j , sedangkan jika $Z_{ij} = 0$ menyatakan sebaliknya yaitu pengguna i tidak berada di kelas j . Berdasarkan Tabel 4.21 dapat dilihat bahwa nilai perbandingan X_{ij} pada setiap model menunjukkan bahwa pada model original cukup jauh perbedaan nilainya tetapi jika yang dibandingkan antar model modifikasi 1 nilainya tidak jauh berbeda. Nilai perbandingan X_{ijk} pada setiap model menunjukkan bahwa pada model original cukup jauh perbedaan nilainya dibandingkan pada model modifikasi 1. Solusi optimal untuk model modifikasi dengan β_j sebagai konstanta dapat dilihat pada Tabel.4 22.

Tabel.4 22. Solusi Optimal untuk Model Modifikasi 1 dengan β_j sebagai Konstanta

Solver Status	$\widetilde{W}_{ij}$ Par W_j Var	$\widetilde{W}_{ij}$ Par W_j Par
Model Class	MINLP	
State	Local optimal	
Infeasibility	0	$4,54 \cdot 10^{-13}$
Iterations	25	18
Extended Solver state		

<i>Solver type</i>	<i>Branch & bound</i>	
<i>Best Objective</i>	182,733	114,18
<i>Objective bound</i>	182,733	114,18
<i>Active</i>	0	0
<i>Update interval</i>	2	2
<i>GMU(K)</i>	36	36
<i>ER(sec)</i>	0	0

Tabel.4 22 menunjukkan solusi optimal yang diperoleh pada model modifikasi dengan β_j sebagai konstanta untuk $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j sebagai variabel adalah sebesar 182,733 yang diselesaikan dengan 25 iterasi. Sedangkan, solusi optimal untuk $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j sebagai parameter adalah sebesar 114,18 yang diselesaikan dengan 18 iterasi. Pemrograman LINGO 11.0 beserta hasil solusinya dapat dilihat pada Lampiran 3.

Berdasarkan hasil solusi optimal pada Tabel.4 20 dan Tabel.4 22 model original pendapatan paling maksimum diperoleh pada model modifikasi dengan β_j sebagai konstanta untuk kasus $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j sebagai variabel yaitu sebesar 182,733 rupiah (per kbps).

3.9.3 Solusi Model Modifikasi 2 dengan β_j sebagai Variabel

Tabel.4 23. Nilai – Nilai Variabel pada Model Original dan Model Modifikasi 2 dengan β_j Sebagai Variabel

Variabel	Model Original	Model Modifikasi2	
		$\tilde{W}_{ij}$ Par W_j Var	$\tilde{W}_{ij}$ Par W_j Par
β_1	-	0,05	0,05
β_2	-	0,05	0,05
Z_{11}	1	1	1
Z_{12}	1	0	1
Z_{21}	0	0	1
Z_{22}	1	1	1
$\tilde{W}_{11}$	4	5	5
$\tilde{W}_{12}$	4	4	4
$\tilde{W}_{21}$	5	5	5
$\tilde{W}_{22}$	5	4	4

X_1	4	968	990
X_2	3	1.210	1.188
L_{m1}	0	0	0
L_{m2}	0	0	0
I_1	-	0,8	0,8
I_2	-	0,9	0,9
$\hat{X}_{11}$	5	968	990
$\hat{X}_{12}$	2.173	1.210	1.188
$\hat{X}_{21}$	6	968	990
$\hat{X}_{22}$	2.173	1.210	1.188
W_1	0	8	5
W_2	10	10	6
$\tilde{X}_{111}$	5	968	990
$\tilde{X}_{211}$	6	968	990
$\tilde{X}_{121}$	2.173	1.210	1.188
$\tilde{X}_{221}$	2.173	1.210	1.188
$\tilde{X}_{112}$	5	968	990
$\tilde{X}_{212}$	6	968	990
$\tilde{X}_{122}$	2.173	1.210	1.188
$\tilde{X}_{222}$	2.173	1.210	1.188

Tabel.4 23 ini menunjukkan perbandingan nilai – nilai variabel yang diperoleh pada model modifikasi dengan β_j sebagai variabel untuk setiap kasus agar memperoleh solusi optimal. Nilai Z_{ij} menunjukkan keberadaan pengguna i di kelas j. Jika $Z_{ij} = 1$ menyatakan bahwa pengguna i berada di kelas j, sedangkan jika $Z_{ij} = 0$ menyatakan sebaliknya yaitu pengguna i tidak berada di kelas j. Berdasarkan Tabel 4.23 dapat dilihat bahwa nilai nilai perbandingan X_{ij} pada setiap model menunjukkan bahwa pada model original cukup jauh perbedaan nilainya tetapi jika yang dibandingkan antar model modifikasi 2 nilainya tidak jauh berbeda. Nilai perbandingan X_{ijk} pada setiap model menunjukkan bahwa pada model original cukup jauh perbedaan nilainya dibandingkan pada model modifikasi 2. Solusi optimal untuk model modifikasi dengan β_j sebagai variabel dapat dilihat pada Tabel.4 24.

Tabel.4 24. Solusi Optimal untuk Model Modifikasi 2 dengan β_j sebagai Variabel

Solver Status	$\widetilde{W}_{ij}$ Par W_j Var	$\widetilde{W}_{ij}$ Par W_j Par
<i>Model Class</i>	MINLP	
<i>State</i>	<i>Local optimal</i>	
<i>Infeasibility</i>	0	0
<i>Iterations</i>	33	28
<i>Extended Solver state</i>		
<i>Solver type</i>	<i>Branch & bound</i>	
<i>Best Objective</i>	182,797	114,244
<i>Objective bound</i>	182,797	114,244
<i>Active</i>	0	0
<i>Update interval</i>	2	2
<i>GMU(K)</i>	37	37
<i>ER(sec)</i>	0	0

Tabel.4 24 menunjukkan solusi optimal yang diperoleh pada model modifikasi dengan β_j sebagai variabel untuk $\widetilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j sebagai variabel adalah sebesar 182,797 yang diselesaikan dengan 33 iterasi. Sedangkan, solusi optimal untuk $\widetilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j sebagai parameter adalah sebesar 114,244 yang diselesaikan dengan 28 iterasi.

Berdasarkan hasil solusi optimal pada Tabel 4.24 model modifikasi dengan β_j sebagai variabel. Solusi optimal dengan pendapatan paling maksimum diperoleh pada model modifikasi dengan β_j sebagai variabel untuk kasus $\widetilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j sebagai variabel yaitu sebesar 182,797 rupiah (per kbps).

3.10. Rekapitulasi Solusi Model Original dan Model Modifikasi

Berdasarkan Tabel.4 21 dan 4.23 maka didapatkan bahwa nilai-nilai variabel X_{ij} dan X_{ijk} untuk model modifikasi 1 dan model modifikasi 2 diperoleh nilai yang sama besar. Berdasarkan solusi optimal Tabel.4 22 dan Tabel.4 24 maka didapatkan hasil rekapitulasi seperti pada tabel berikut ini:

Tabel.4 25. Rekapitulasi Solusi Model Original dan Model Modifikasi

Solver Status	Model Original	Model Modifikasi 1		Model Modifikasi 2	
		$\widetilde{W}_{ij}$ Par W_j Var	$\widetilde{W}_{ij}$ Par W_j Par	$\widetilde{W}_{ij}$ Par W_j Var	$\widetilde{W}_{ij}$ Par W_j Par
Model Class	MINLP				
State	Local Optimal				
Infeasibility	0	0	4,54 $\cdot 10^{-13}$	0	0
Iterations	8	25	18	33	28
Extended Solver state					
Solver type	Branch and Bound				
Best Objective	115,759	182,733	114,18	182,797	114,244
Objective bound	115,759	182,733	114,18	182,797	114,244
Active	0	0	0	0	0
Update interval	2	2	2	2	2
GMU(K)	33	36	36	37	37
ER(sec)	0	0	0	0	0

Hasil rekapitulasi perbandingan solusi optimal antara model original, model modifikasi 1 dan model modifikasi 2 pada Tabel.4 25 menunjukkan bahwa solusi yang lebih optimal adalah pada model modifikasi 1 dan model modifikasi 2 dengan $\widetilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j sebagai variabel dengan best objective masing-masing sebesar 182,733 dan 182,797 (dalam kbps). Jadi, ISP bisa menggunakan model skema pembiayaan internet pada *multi* kelas dengan mengatur $\widetilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j sebagai variabel.

5.4 KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Pada jaringan *multi* layanan pada kasus 1 (α dan β sebagai variabel) hanya menghasilkan 1 solusi optimal pada saat α_i

sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$ dengan total pendapatan sebesar 1564,5 rupiah (dalam kbps). Sedangkan, pada kasus 2 (α sebagai variabel dan β konstanta) juga menghasilkan 1 solusi optimal pada saat α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β sebagai konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$ dengan total pendapatan sebesar 1.491,49 rupiah (dalam kbps).

2. Pada jaringan *multi* kelas didapatkan solusi optimal pada model modifikasi 1 dan model modifikasi 2 dengan $\tilde{W}_{ij}$ sebagai parameter dan W_j sebagai variabel dengan best objective masing-masing sebesar 182,733 dan 182,797 (dalam kbps).

Saran

Pada penelitian ini hanya membahas model yang dimodifikasi dan solusi optimal skema pembiayaan internet link *multipel*, disarankan pada penelitian selanjutnya untuk membahas skema pembiayaan internet dengan jumlah jaringan *multi* layanan lebih dari tiga dan jumlah jaringan *multi* kelas QoS lebih dari dua dengan link *multipel*.

5.5 DAFTAR PUSTAKA

- Byun, J., & Chatterjee, S. 2004. A strategic pricing for *quality of service* (QoS) *network* business. Paper presented at the Proceedings of the Tenth Americas Conference on Information Systems, New York.
- Indrawati, Irmeilyana, Puspita, F.M., & Lestari, M.P. 2014. "Cobb-Douglas Utility Function in Optimizing the Internet Pricing Scheme Model." TELKOMNIKA **12**(1), 227-240.
- Irmeilyana, Indrawati, Puspita, F.M., & Herdayana, L. 2013. Model yang Diperbaiki dan Solusi Skema Pembiayaan Internet Link Tunggal pada Jaringan *Multi* Layanan (*Multi Service Network*). Seminar Hasil Penelitian Universitas Sriwijaya. Universitas Sriwijaya, Inderalaya, Indonesia

- Irmeilyana, Indrawati, Puspita, F.M., & Juniwati. 2014. "Model and optimal solution of single link pricing scheme *multiservice network*." TELKOMNIKA **12**(1), 173-178.
- Irmeilyana, Indrawati, Puspita, F.M., & Herdayana, L. 2014. Improving the Models of Internet Charging in Single Link Multiple Class QoS Networks. 2014 International Conference on Computer and Communication Engineering (ICOCOE'2014), Melaka, Malaysia.
- Irmeilyana, Indrawati, Puspita, F. M., & Herdayana, L. 2014. The New Improved Models of Single Link Internet Pricing Scheme in *Multiple QoS Network*. Paper preSented at the International Conference Recent trends in Engineering & Technology (ICRET'2014), Batam (Indonesia).
- Odlyzko, A. 1998. Paris Metro Pricing for the Internet. Proceedings of 1st ACM Conference on Electronic Commerce.
- Puspita, F. M., Seman, K., Taib, B. M., & Shafii, Z. 2012. "An improved optimization model of internet charging scheme in *multi service networks*." TELKOMNIKA, **10**(3), 592-598.
- Puspita, F. M., Seman, K., Taib, B. M., & Shafii, Z. 2013. An Improved Model of Internet Pricing Scheme of *Multi Service Network* in *Multiple Link QoS Networks*. Paper preSented at the The 2013 International Conference on Computer Science and Information Technology (CSIT-2013), Universitas Teknologi Yogyakarta.
- Puspita, F. M., Seman, K., Taib, B. M., & Shafii, Z. 2013. Improved Models of Internet Charging Scheme of Single Bottleneck Link in *Multi QoS Networks*. Journal of Applied Sciences, **13**(4), 572-579.

Sain, S., & Herpers, S. 2003. Profit Maximisation in *Multi Service Networks*- An Optimisation Model. Paper preSented at the Proceedings of the 11th European Conference on Information Systems ECIS 2003, Naples, Italy

Supriyanto. 2008. Teknologi Informasi. Salemba Empat.Jakarta.

Yang, W. 2004. "Pricing *Network Resources* in Differentiated *Service Networks*." Phd Thesis. Georgia Institute of Technology.

6.1 LATAR BELAKANG MASALAH *THE NEW IMPROVED MODELS* UNTUK SKEMA PEMBIAYAAN INTERNET *MULTI LINK BOTTLENEC* PADA JARINGAN MULTI LAYANAN QoS (*MULTI SERVICE NETWORK*)

Seiring dengan kemajuan zaman, manusia di era modern ini tak lepas dari internet. Semua kalangan dan lapisan masyarakat menggunakan internet untuk menunjang kehidupan. Bahkan bagi pelajar ataupun mahasiswa internet menjadi kebutuhan primer yang harus dipenuhi.

Internet berasal dari bahasa latin yaitu “ *inter* ” yang berarti antara. Secara kata internet adalah jaringan atau penghubung. Sehingga definisi internet adalah kumpulan jaringan-jaringan komputer yang saling terhubung satu sama lain. Agar dapat di akses internet menggunakan protokol standar dalam berkomunikasi yaitu *protocol Transmission Control* (TCP) atau *Internet Protocol* (IP). Protokol memberikan sebuah alamat (address) dan identitas (identity) yang unik pada setiap komputer diseluruh dunia agar tidak terjadi kesalahan dalam pengiriman data (Maryono & Istiana, 2008).

Semakin banyaknya pengguna internet, tuntutan terhadap kualitas juga semakin besar. Ini merupakan tugas yang besar bagi penyedia layanan internet (*Internet Service Provider*) atau biasa disingkat (ISP) untuk menyediakan kualitas layanan (*Quality of Service*) atau disingkat QoS yang lebih baik dan berbeda kepada *user* atau pengguna dalam mencapai kualitas informasi terbaik dengan biaya yang efisien.

Pembiayaan internet merupakan suatu masalah ekonomi global. Karena itu ISP dituntut untuk memberikan mekanisme perencanaan biaya internet yang tepat agar dapat menguntungkan ISP sebagai penyedia layanan dan *user* sebagai pengguna internet.

Skema pembiayaan internet yang sering digunakan adalah *flat rate*, *usage-based* dan *two-part tariff*. Tiga skema pembiayaan internet

tersebut pernah digunakan oleh (Indrawati et al., 2014) dalam penelitiannya. Skema pembiayaan *flat rate* adalah pengguna membayar biaya langganan internet setiap bulan dan pengguna dapat mengakses semua koneksi internet. Skema pembiayaan internet usage-based adalah pelanggan membayar biaya internet sesuai dengan pemakaian. Pada umumnya pelanggan cenderung menggunakan skema pembayaran internet *flat rate* yang relatif lebih murah karena dalam sebulan dapat mengakses berbagai koneksi internet akan tetapi memiliki kualitas yang rendah karena seringnya terjadi kongesti (penyempitan jaringan internet). Jika pengguna tidak ingin mengalami kongesti pengguna dapat memilih skema pembiayaan internet usage-based namun pengguna harus membayar dengan biaya tinggi. Hal ini menyebabkan pengguna berpindah dari satu QoS ke QoS lainnya untuk mendapatkan akses internet yang lancar dengan biaya yang murah.

Pembiayaan internet yang optimal diperlukan dengan mempertimbangkan jaringan QoS yang *multi link bottleneck* dalam jaringan *multi* layanan. Secara kata *bottleneck* diartikan leher botol. Jika secara kasar *bottleneck* diartikan penyempitan jalur. Dengan demikian *bottleneck* pada jaringan *multi* layanan adalah penyempitan jalur yang mengakibatkan kongesti karena kurangnya *bandwidth* sedangkan jalur yang disediakan tidak mampu menampung *bandwidth* yang ada. *Bandwidth* adalah besaran yang menunjukkan banyaknya data yang dapat lewat dalam sebuah koneksi jaringan. Skema pembiayaan internet menjadi permasalahan kritis dan memerlukan solusi tepat untuk menguntungkan ISP dan *user* (pengguna).

Pada penelitian ini *The New Improved Models* diaplikasikan untuk model skema pembiayaan internet *multi link* pada jaringan *multi* layanan. Berdasarkan penelitian sebelumnya yang menggunakan link tunggal (Irmeilyana et al., 2014) dan *multi link* dengan 3 layanan (Puspita et al., 2014) maka penelitian ini akan membahas skema pembiayaan internet dengan lebih banyak layanan, jumlah pengguna, dan banyak link yang telah dibuat pada penelitian sebelumnya.

Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang ditemukan masalah-masalah sebagai berikut :

1. Menentukan model modifikasi yang tepat agar dapat menghasilkan solusi optimal.
2. Skema pembiayaan diharapkan dapat menguntungkan pengguna maupun penyedia layanan internet.
3. Data yang banyak sangat sulit diselesaikan secara manual karena hasil akan menjadi tidak efisien sehingga dibutuhkan bantuan program LINGO.

Batasan Masalah

Dalam penelitian ini penulis membatasi masalah dengan penggunaan link *multipel* yang terdiri dari 4 layanan dan 3 link untuk jaringan *multi* layanan QoS. Model digunakan untuk kasus 4 kasus yaitu :

1. Harga dasar (α) dan kualitas premium (β) sebagai konstanta.
2. Harga dasar (α) sebagai konstanta dan kualitas premium (β) sebagai variabel.
3. Harga dasar (α) dan kualitas premium (β) sebagai variabel.
4. Harga dasar (α) sebagai variabel dan kualitas premium (β) sebagai konstanta.

Perumusan Masalah

1. Bagaimana menentukan modifikasi model skema pembiayaan internet ?
2. Bagaimana mendapatkan solusi optimal dari modifikasi model skema pembiayaan internet yang telah ditentukan ?

Tujuan

Tujuan dilakukan penelitian ini yaitu :

1. Untuk menentukan modifikasi model skema pembiayaan internet link *multipel* dalam jaringan *multi* layanan.
2. Untuk memperoleh solusi optimal dari modifikasi model skema pembiayaan internet link *multipel* dalam jaringan *multi* layanan

Manfaat

Manfaat dari penelitian skripsi ini yaitu diharapkan solusi optimal yang didapatkan bisa menjadi pilihan untuk membantu ISP sebagai penyedia layanan internet dalam menetapkan alternatif harga tarif yang dapat memaksimalkan keuntungan dan bagi pengguna (*user*) dapat menetapkan pilihan harga tarif yang sesuai dengan kebutuhan dan anggaran pengguna (*user*) dalam penggunaan dan pemanfaatan internet.

6.2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jaringan Multi Layanan (*Multi Service Network*)

Menurut (Sain & Herpers, 2003) jaringan *multi* layanan dimaksudkan untuk membawa berbagai variasi layanan dan aplikasi dengan karakteristik yang berbeda dan bervariasi dalam waktu, koneksi dan kualitas layanan yang berbeda.

Model yang diberikan umumnya dapat memenuhi permintaan dan pendapatan ISP. Model yang digunakan (Puspita et al., 2014) dengan menambahkan parameter, variabel keputusan, dan kendala dengan mempertimbangkan harga dasar dan kualitas premium layanan yang dapat menghasilkan pendapatan maksimal.

Penyusunan strategi dalam pembiayaan internet yang digunakan (Byun & Chatterjee, 2004) berdasarkan target yang menjadi tujuan ISP dengan menetapkan harga dasar (α) dan kualitas premium (β) sebagai konstanta ataupun sebagai variabel, berdasarkan tabel dibawah ini :

Tabel 2 1. Strategi Pembiayaan Internet Berdasarkan Target ISP

Target	β konstanta	β variabel
α konstanta	Mendapatkan kembali biaya yang dikeluarkan dan pengguna dapat memilih layanan yang sesuai dengan kebutuhan.	Mendapatkan kembali biaya yang di dikeluarkan dan mempromosikan penggunaan layanan tertentu.
α variabel	Bersaing di pasar dan pengguna dapat memilih layanan yang sesuai dengan kebutuhan.	Bersaing dipasar dan mempromosikan penggunaan layanan tertentu.

Harga dasar (α) dan kualitas premium (β) dapat dibedakan menjadi 4 (empat) kasus yang dapat digunakan ISP dalam menetapkan harga tarif yang dapat memenuhi permintaan pengguna (*user*) dan sesuai dengan tujuan ISP, yaitu :

- Menetapkan harga dasar (α) dan kualitas premium (β) sebagai konstanta jika ISP ingin mendapatkan kembali biaya yang telah dikeluarkan dan menyediakan pilihan yang dapat digunakan oleh pengguna (*user*) dalam memilih layanan yang sesuai dengan kebutuhan dan anggaran pengguna (*user*).
- Menetapkan harga dasar (α) sebagai konstanta dan kualitas premium (β) sebagai variabel jika ISP ingin mendapatkan kembali biaya yang telah dikeluarkan dan ISP juga dapat mempromosikan penggunaan layanan tertentu kepada pengguna.
- Menetapkan harga dasar (α) dan kualitas premium (β) sebagai variabel jika ISP ingin bersaing dalam pasar dan mempromosikan penggunaan layanan tertentu kepada pengguna (*user*).
- Menetapkan harga dasar (α) sebagai variabel dan kualitas premium (β) sebagai konstanta jika ISP ingin bersaing dalam pasar dan menyediakan pilihan-pilihan yang dapat digunakan oleh pengguna (*user*) dalam memilih layanan yang sesuai dengan kebutuhan dan anggaran pengguna (*user*).

Model skema pembiayaan internet *multi* link yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu :

Kasus 1 : α konstanta dan β konstanta

Maksimumkan pendapatan :

$$Maks R = \sum_{k=1}^r \sum_{i=1}^s (\alpha + \beta \cdot I_i) \cdot p_{ik} \cdot x_{ik} \quad (2.1)$$

dengan kendala :

$$I_i \cdot d_{ik} \cdot x_{ik} \leq a_i \cdot C_k \quad (2.1 a)$$

$$\sum_{k=1}^r \sum_{i=1}^s l_i \cdot d_{ik} \cdot x_{ik} \leq C_k \quad (2.1 b)$$

$$\sum_{k=1}^r \sum_{i=1}^s a_{ik} \leq 1 \quad (2.1 c)$$

$$0 \leq a_{ik} \leq 1 \quad (2.1 \text{ d})$$

$$m_i \leq I_i \leq 1 ; m_i \in \mathbb{Z}^+ \quad (2.1 \text{ e})$$

$$0 \leq x_{ik} \leq n_i ; n_i \in \mathbb{Z}^+ \quad (2.1 \text{ f})$$

$$\{x_{ik}\} \subseteq \mathbb{Z}^+ \text{ dengan } i = 1, 2, \dots, s ; k = 1, 2, \dots, r \quad (2.1 \text{ g})$$

Kasus 2 : α konstanta dan β variabel

Maksimumkan pendapatan :

$$Maks R = \sum_{k=1}^r \sum_{i=1}^s (\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_{ik} \cdot x_{ik} \quad (2.2)$$

dengan kendala mengikuti kendala (2.1 a) dan (2.1 b), serta ditambahkan kendala :

$$\beta_i \cdot I_i \geq \beta_{i-1} \cdot I_{i-1} ; i > 1, \dots, s \quad (2.2 \text{ a})$$

$$l_i \leq \beta_i \leq b_i \quad (2.2 \text{ b})$$

Kasus 3 : α dan β variabel

Maksimumkan pendapatan :

$$\begin{aligned} Maks R \\ = \sum_{k=1}^r \sum_{i=1}^s (\alpha_i + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_{ik} \cdot x_{ik} \end{aligned} \quad (2.3)$$

dengan kendala mengikuti kendala (2.1 a) sampai (2.1 g) dan (2.2 a), serta ditambahkan kendala :

$$\alpha_i + \beta_i \cdot I_i \geq \alpha_{i-1} + \beta_i \cdot I_{i-1} ; i > 1, \dots, s \quad (2.3 \text{ a})$$

$$c_i \leq \alpha_i \leq g_i ; [c_i, g_i] \subseteq [0, 1] \quad (2.3 \text{ b})$$

Kasus 4 : α variabel dan β konstanta

Maksimumkan pendapatan :

$$Maks R = \sum_{k=1}^r \sum_{i=1}^s (\alpha_i + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_{ik} \cdot x_{ik}$$

dengan kendala mengikuti (2.1 a) sampai (2.2 g) dan juga kendala (2.3 b), serta ditambahkan kendala berikut :

$$\alpha_i + I_i \geq \alpha_{i-1} + I_{i-1} ; i > 1, \dots, s \quad (2.4 \text{ a})$$

(Puspita et al., 2015)

Keterangan :

R : Fungsi tujuan pendapatan

α : Harga dasar untuk setiap layanan

- β : Kualitas premium untuk setiap layanan
 α_i : Harga dasar untuk layanan i
 β_i : Kualitas premium untuk layanan i
 r : Jumlah link
 s : Jumlah layanan
 I_i : Kualitas indeks layanan i
 p_{ik} : Harga pengguna layanan i pada link k
 x_{ik} : Jumlah pengguna layanan i pada link k
 d_{ik} : Kapasitas yang dibutuhkan untuk layanan i pada link k
 C_k : Kapasitas total yang terdapat pada link k
 a_{ik} : Kapasitas total layanan i pada link k
 m_i : Minimum QoS untuk layanan i
 n_i : Jumlah pengguna layanan i
 l_i : Minimum kualitas premium untuk layanan i
 b_i : Maksimum kualitas premium untuk layanan i
 y : Harga dasar minimum untuk layanan i
 z : Harga dasar maksimum untuk layanan i

Berikut adalah penjelasan untuk Persamaan (2.1) sampai dengan kendala (2.4) :

1. Fungsi tujuan pada persamaan (2.1) menyatakan bahwa ISP ingin memaksimalkan keuntungan dengan menetapkan harga yang dikenakan biaya untuk harga dasar, kualitas premium dan tingkat QoS untuk memulihkan biaya dan memungkinkan pengguna untuk memilih layanan berdasarkan kebutuhan.
2. Kendala (2.1 a) menjelaskan bahwa kapasitas yang diperlukan layanan tidak melebihi kapasitas jaringan yang disediakan.
3. Kendala (2.1 b) menjelaskan bahwa kapasitas yang diperlukan layanana tidak dapat lebih besar dari kapasitas total jaringan di link k .
4. Kendala (2.1 c) menjelaskan bahwa jumlah kapasitas total setiap layanan sama dengan 1.
5. Kendala (2.1 d) menjelaskan bahwa kapasitas jaringan memiliki alokasi yang berbeda untuk setiap layanan yang terletak antara 0 dan 1.

6. Kendala (2.1 e) menyatakan bahwa tingkat QoS harus berada dalam rentang tingkat QoS yang telah ditetapkan untuk setiap layanan dan nilai tingkat QoS merupakan bilangan bulat positif.
7. Kendala (2.1 f) menjelaskan bahwa pengguna menerapkan layanan nonnegatif dan tidak melebihi jumlah pengguna layanan maksimum yang telah ditentukan oleh penyedia layanan.
8. Kendala (2.1 g) menyatakan bahwa jumlah pengguna layanan haruslah bilangan bulat positif.
9. Fungsi tujuan pada persamaan (2.2) menjelaskan bahwa penyedia layanan ISP ingin memaksimalkan pendapatan dengan menyiapkan harga dasar, kualitas premium dan tingkat QoS untuk mendapatkan kembali biaya yang telah dikeluarkan dan mempromosikan layanan tertentu kepada pengguna.
10. Kendala (2.2 a) menjelaskan bahwa kualitas premium memiliki tingkat yang berbeda untuk setiap layanan setidaknya pada tingkat yang sama ataupun tingkat yang lebih rendah.
11. Kendala (2.2 b) menjelaskan bahwa harga nilai kualitas premium berada diantara rentang nilai yang telah ditentukan.
12. Fungsi tujuan pada persamaan (2.3) menjelaskan bahwa penyedia layanan ISP ingin memaksimalkan pendapatan dengan mengatur harga dasar dan kualitas premium untuk bisa bersaing di pasar serta penyedia layanan ISP dapat mempromosikan pengguna layanan tertentu untuk jumlah pengguna dari semua layanan.
13. Kendala (2.3 a) menjelaskan bahwa nilai harga dasar dan kualitas premium setidaknya berada pada tingkat yang sama ataupun tingkat yang lebih rendah untuk setiap layanan.
14. Kendala (2.3 b) menyatakan bahwa nilai harga dasar berada diantara rentang nilai yang telah ditentukan.
15. Fungsi tujuan pada persamaan (2.4) menjelaskan bahwa penyedia layanan ISP ingin memaksimalkan pendapatan dengan mengatur harga dasar, menetapkan kualitas premium dan tingkat QoS untuk dapat bersaing di pasar dan pengguna dapat memilih layanan yang sesuai dengan kebutuhan dan preferensi pengguna.
16. Kendala (2.4a) menjelaskan bahwa harga dasar setidaknya bernilai sama ataupun lebih rendah untuk setiap layanan.

6.3 PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas *The Improved Models* (Modifikasi Model) untuk skema pembiayaan dan solusi optimal internet *multi* link. Untuk permasalahan optimasi skema pembiayaan memerlukan data agar mendapatkan solusi optimal. Dalam penelitian ini digunakan data sekunder yang diperoleh dari salah satu *server* lokal di Palembang yaitu Politeknik Sriwijaya (Polsri). Data ini diambil dalam jangka waktu 1 bulan yaitu di mulai dari tanggal 10 Februari 2015 sampai 10 Maret 2015. Di dalam data ini memiliki 2 unsur yaitu *Sent* (dikirim) dan *received* (diterima) yang dinyatakan dalam byte per *second*. Data *Traffic* yang digunakan adalah *Traffic Digilib*, *Traffic movie*, *Traffic Mail* dan *Traffic proxy*.

3.1 Data *Traffic* yang Digunakan

Tabel. 4 1 sampai 4 4 akan menyajikan data *Traffic Digilib*, *Traffic movie*, *Traffic Mail* dan *Traffic proxy* dan Tabel. 4.5 sampai 4.8 menyajikan tabel yang akan diolahuntuk jaringan *multi service* (*multi* layanan)

Tabel. 4 1. Data *TrafficDigilib*

No	Waktu	Traffic (dalam bit per second)	
		Sent	Received
1	10 Februari 2015	0,000	0,000
2	11 Februari 2015	30.131,572	121.050,316
3	12 Februari 2015	250.953,216	1.702.947,899
4	13 Februari 2015	384.233,862	7.431.049,618
5	14 Februari 2015	59.568,098	778.005,413
6	15 Februari 2015	60.784,451	833.019,384
7	16 Februari 2015	244.578,987	2.061.594,086
8	17 Februari 2015	202.972,894	1.501.186,157
9	18 Februari 2015	167.946,680	1.939.366,286
10	19 Februari 2015	107.535,815	2.105.130,071
11	20 Februari 2015	154.749,890	1.630.599,868
12	21 Februari 2015	74.227,117	1.199.179,758
13	22 Februari 2015	72.812,363	981.360,620
14	23 Februari 2015	393.985,071	5.275.167,739
15	24 Februari 2015	216.383,125	1.917.973,013
16	25 Februari 2015	448.084,596	2.705.074,972

17	26 Februari 2015	184.700,736	2.269.703,862
18	27 Februari 2015	169.122,249	1.892.392,000
19	28 Februari 2015	101.213,689	2.385.999,378
20	01 Maret 2015	77.330,866	56.708,205
21	02 Maret 2015	204.303,429	1.545.079,123
22	03 Maret 2015	212.444,105	2.246.093,099
23	04 Maret 2015	198.815,333	2.191.977,997
24	05 Maret 2015	234.101,187	1.927.914,229
25	06 Maret 2015	184.718,279	2.017.097,711
26	07 Maret 2015	133.163,823	870.029,611
27	08 Maret 2015	150.839,729	2.480.605,579
28	09 Maret 2015	246.832,104	2.059.620,270
29	10 Maret 2015	223.058,183	1.406.032,188
<i>Demand</i>		178.951,429	1.914.895,119
<i>Demand</i> perbulan dalam bit per second		1.046.923,274	
<i>Demand</i> byte per second (bps)		130.865,409	
<i>Demand</i> kilobyte per second (kbps)		129,561	

Tabel. 4 2. Data Traffic Mail

No	Waktu	<i>Traffic</i> (dalam bit per second)	
		<i>Sent</i>	<i>Received</i>
1	10 Februari 2015	8.617,929	43.284,386
2	11 Februari 2015	82.600,445	132.542,995
3	12 Februari 2015	103.275,758	270.964,273
4	13 Februari 2015	85.010,226	138.779,228
5	14 Februari 2015	86.050,628	80.446,017
6	15 Februari 2015	80.626,847	93.793,339
7	16 Februari 2015	864.159,577	167.994,573
8	17 Februari 2015	84.883,608	147.440,215
9	18 Februari 2015	83.042,721	167.760,549
10	19 Februari 2015	81.697,270	130.173,993
11	20 Februari 2015	90.026,566	129.179,416
12	21 Februari 2015	82.502,890	98.954,704
13	22 Februari 2015	75.774,033	94.287,849
14	23 Februari 2015	110.428,922	193.745,687
15	24 Februari 2015	95.786,173	167.185,048

16	25 Februari 2015	83.709,997	152.563,571
17	26 Februari 2015	113.816,559	206.960,265
18	27 Februari 2015	87.334,756	184.084,340
19	28 Februari 2015	88.962,268	110.053,243
20	01 Maret 2015	78.021,071	109.194,139
21	02 Maret 2015	326.966,672	276.405,111
22	03 Maret 2015	91.391,651	113.863,746
23	04 Maret 2015	101.375,304	158.496,063
24	05 Maret 2015	101.113,572	163.360,193
25	06 Maret 2015	101.795,111	152.895,442
26	07 Maret 2015	93.068,631	75.905,859
27	08 Maret 2015	86.687,044	84.947,001
28	09 Maret 2015	100.355,847	152.622,496
29	10 Maret 2015	76.650,667	107.757,703
<i>Demand</i>		122.266,646	141.573,843
<i>Demand per bulan dalam bit per second</i>		131.920,245	
<i>Demand dalam byte per second</i>		16.490,031	
<i>Demand dalam kilobyte per second</i>		16,104	

Tabel. 4 3. Data Traffic Movie

No	Waktu	Traffic (dalam bit per second)	
		<i>Sent</i>	<i>Received</i>
1	10 Februari 2015	449.147,455	17.013.694,789
2	11 Februari 2015	504.558,000	14.835.411,419
3	12 Februari 2015	129.305.925,441	302.133.420,835
4	13 Februari 2015	46.078.523,189	283.453.799,933
5	14 Februari 2015	2.215.677,815	104.855.642,348
6	15 Februari 2015	1.774.602,985	87.738.758,700
7	16 Februari 2015	88.817.912,142	260.580.078,535
8	17 Februari 2015	30.234.178,324	303.236.059,252
9	18 Februari 2015	45.265.416,675	279.206.299,581
10	19 Februari 2015	1.806.160,674	79.468.758,524
11	20 Februari 2015	4.735.717,470	239.003.967,389
12	21 Februari 2015	3.487.986,490	150.032.599,670
13	22 Februari 2015	2.041.604,850	90.922.741,123
14	23 Februari 2015	40.943.653,375	749.899.443,350

15	24 Februari 2015	12.478.001,375	684.101.496,320
16	25 Februari 2015	31.657.652,726	673.286.731,030
17	26 Februari 2015	12.799.712,467	652.673.245,879
18	27 Februari 2015	9.245.774,045	451.259.281,358
19	28 Februari 2015	3.105.619,431	156.575.775,977
20	01 Maret 2015	2.238.627,761	109.464.670,749
21	02 Maret 2015	13.763.556,380	694.532.984,027
22	03 Maret 2015	8.223.726,179	458.931.286,876
23	04 Maret 2015	33.029.395,186	630.270.786,523
24	05 Maret 2015	7.667.114,221	367.307.360,279
25	06 Maret 2015	66.136.009,107	600.167.341,737
26	07 Maret 2015	5.739.591,446	240.386.790,819
27	08 Maret 2015	13.578.714,872	147.871.275,456
28	09 Maret 2015	6.746.974,808	368.790.064,904
29	10 Maret 2015	39.584.844,877	301.341.409,310
<i>Demand</i>		22.884.702,751	327.563.488,851
<i>Demand per bulan bit per second</i>		175.224.095,801	
<i>Demand byte per second (bps)</i>		21.903.011,975	
<i>Demand kilobyte per second (kbps)</i>		21.389,660	

Tabel. 4 4. Data Traffic Proxy

No	Waktu	<i>Traffic (dalam bit per second)</i>	
		<i>Sent</i>	<i>Received</i>
1	10 Februari 2015	1.012,368	118,220
2	11 Februari 2015	10.737,983	1.204,251
3	12 Februari 2015	11.989,688	1.451,225
4	13 Februari 2015	11.419,364	1.359,556
5	14 Februari 2015	11.072,411	1.274,750
6	15 Februari 2015	11.599,487	1.870,081
7	16 Februari 2015	11.170,290	1.226,255
8	17 Februari 2015	11.491,972	1.322,414
9	18 Februari 2015	11.967,465	1.158,876
10	19 Februari 2015	12.253,853	1.354,838
11	20 Februari 2015	11.762,069	1.295,433
12	21 Februari 2015	12.598,730	1.221,577
13	22 Februari 2015	11.699,488	1.179,870

14	23 Februari 2015	12.717,056	1.161,713
15	24 Februari 2015	11.530,186	1.179,061
16	25 Februari 2015	11.745,174	1.136,960
17	26 Februari 2015	11.684,567	1.545,038
18	27 Februari 2015	12.479,595	1.258,706
19	28 Februari 2015	12.249,787	1.209,940
20	01 Maret 2015	11.949,214	1.222,802
21	02 Maret 2015	12.256,853	1.248,598
22	03 Maret 2015	13.191,805	1.295,669
23	04 Maret 2015	20.422,905	1.774,120
24	05 Maret 2015	19.490,010	1.763,445
25	06 Maret 2015	19.619,631	1.709,536
26	07 Maret 2015	19.708,512	1.773,759
27	08 Maret 2015	19.823,875	1.708,402
28	09 Maret 2015	20.040,611	1.820,618
29	10 Maret 2015	11.985,644	1.332,578
<i>Demand</i>		13.161,055	1.350,975
<i>Demand per bulan dalam bit per second</i>		7.256,015	
<i>Demand per byte per second (bps)</i>		907,002	
<i>Demand per kilobyte per second (kbps)</i>		0,886	

Tabel. 4 5. Data Traffic pada Mail untuk Multi Layanan

Waktu	Traffic (dalam bit per second)					
	Sent			Received		
	link 1	link 2	link 3	link 1	link 2	link 3
10/02/2015	0,000	0,000	8.617,929	0,000	0,000	43.284,386
11/02/2015	26.079,928	30.414,908	26.105,609	22.487,907	62.173,926	47.881,162
12/02/2015	27.880,690	47.132,613	28.262,455	79.817,511	114.003,303	77.143,458
13/02/2015	28.275,537	31.570,358	25.164,332	28.133,739	63.853,402	46.792,088
14/02/2015	25.157,147	24.516,421	36.377,059	21.456,518	20.959,962	38.029,538
15/02/2015	27.901,831	27.138,764	25.586,252	23.886,916	35.735,828	34.170,596
16/02/2015	26.506,208	802.814,273	34.839,096	23.052,571	75.528,459	69.413,543
17/02/2015	29.927,205	29.425,681	25.530,722	26.213,583	74.072,063	47.154,570
18/02/2015	27.023,631	29.347,663	26.671,427	17.752,497	83.092,777	50.439,351

19/02/2015	26.094,976	27.700,519	27.901,775	35.427,589	43.008,301	51.738,103
20/02/2015	32.151,774	31.434,297	26.440,494	36.044,653	34.212,950	58.921,813
21/02/2015	27.810,117	90.026,566	26.012,649	24.341,669	25.026,242	49.586,793
22/02/2015	26.111,016	25.126,185	24.536,832	38.211,280	35.066,519	21.010,050
23/02/2015	34.353,109	45.227,132	30.848,681	30.106,509	81.872,516	81.766,662
24/02/2015	27.821,057	42.271,664	25.693,452	36.285,143	85.272,329	45.627,576
25/02/2015	30.082,281	74.398,987	48.082,303	30.082,281	74.398,987	48.082,303
26/02/2015	53.704,020	99.723,210	53.533,035	53.704,020	99.723,210	53.533,035
27/02/2015	26.663,580	31.729,181	28.941,994	50.469,527	109.678,556	23.936,257
28/02/2015	26.445,699	25.816,829	36.699,741	22.737,534	47.236,671	40.079,038
01/03/2015	28.382,062	24.932,286	24.706,722	24.610,817	46.969,145	37.614,178
02/03/2015	27.033,649	28.696,186	271.236,837	23.404,703	64.445,274	188.555,133
03/03/2015	32.601,552	31.800,170	26.989,929	28.420,779	62.917,065	22.525,902
04/03/2015	32.980,224	37.116,499	31.278,581	26.853,725	70.710,470	60.931,868
05/03/2015	34.335,657	32.459,603	32.459,603	27.464,174	71.500,053	64.395,966
06/03/2015	39.009,088	32.250,714	32.250,714	31.846,776	63.113,326	57.935,340
07/03/2015	24.808,570	23.091,430	28.005,859	23.091,430	23.091,430	28.005,859
08/03/2015	29.975,169	28.927,417	27.784,458	29.975,169	37.332,079	22.051,334
09/03/2015	32.553,642	38.510,143	29.292,062	77.668,238	74.954,257	38.138,337
10/03/2015	28.195,665	28.227,592	20.227,410	23.598,506	28.227,592	20.227,410
Deman	28.960,865	62.821,631	37588,9	31625,72	58902,645	50654,195
Deman perbulan bit persecond (link1)				44.773,723		
Deman byte persecond (link1)				5.596,715		
Deman kilobyte persecond (link1)				5,466		
Deman perbulan bit persecond (link2)				60.862,138		
Deman byte persecond (link2)				7.607,767		
Deman kilobyte persecond (link2)				7,435		
Deman perbulan bit persecond (link3)				44.121,546		
Deman byte persecond (link3)				5.515,193		
Deman kilobyte persecond (link3)				5,386		

Tabel. 4 6. Data Traffic pada Digilib untuk Multi Layanan

Waktu	Traffic (dalam bit per second)					
	Sent			Received		
	link 1	link 2	link 3	link 1	link 2	link 3
10/02/2015	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
11/02/2015	0,000	0,000	30.131,572	0,000	0,000	121.050,316
12/02/2015	15.825,667	123.801,940	111.325,608	165.057,844	656.951,286	880.938,769
13/02/2015	20.761,696	115.876,182	247.595,983	184.005,585	697.449,561	6.549.594,472
14/02/2015	20.070,053	384.233,862	25.306,267	145.792,557	7.431.049,618	520.697,095
15/02/2015	18.760,650	15.855,743	26.168,059	76.687,801	200.474,022	555.857,561
16/02/2015	15.443,676	136.532,269	1.280.746,612	270.673,773	510.173,701	1.280.746,612
17/02/2015	20.328,360	100.946,632	81.697,902	110.193,100	680.345,387	710.647,670
18/02/2015	35.746,650	82.150,898	50.049,131	862.906,648	457.782,326	618.677,313
19/02/2015	21.410,468	58.034,286	28.091,062	136.282,430	1.376.041,318	592.806,323
20/02/2015	26.572,533	60.357,896	67.819,462	276.742,122	670.600,208	683.257,538
21/02/2015	21.663,568	24.047,897	28.515,652	150.187,975	444.238,713	604.753,070
22/02/2015	32.422,500	18.473,121	21.916,743	261.597,775	311.005,308	408.757,537
23/02/2015	14.087,399	290.684,805	89.212,867	258.720,088	4.524.610,489	491.837,162
24/02/2015	22.857,661	121.986,830	71.538,634	311.856,415	874.253,471	731.863,127
25/02/2015	21.129,881	361.133,705	65.821,010	160.593,420	1.739.790,411	804.691,141
26/02/2015	16.675,531	103.924,366	64.100,839	93.176,483	1.525.057,074	651.470,304
27/02/2015	33.350,991	68.629,413	67.141,845	431.297,830	551.433,793	909.660,377
28/02/2015	27.088,577	29.357,493	44.767,618	384.961,446	909.651,707	1.091.386,225
01/03/2015	15.134,415	18.878,732	43.317,720	153.415,436	362.355,548	378.549,365
02/03/2015	24.410,897	80.981,912	98.910,620	116.372,233	938.124,802	490.582,088
03/03/2015	22.454,831	106.348,225	83.641,050	108.275,182	1.337.379,243	800.438,674
04/03/2015	33.699,088	98.204,351	66.911,893	327.384,752	1.265.275,149	599.318,095
05/03/2015	27.008,812	116.156,900	80.027,582	241.310,922	786.346,743	900.256,563
06/03/2015	31.944,961	73.789,377	78.983,941	365.227,558	1.030.064,160	621.805,994
07/03/2015	51.465,908	38.560,087	43.137,828	307.935,320	328.400,246	233.694,045
08/03/2015	50.592,719	53.578,555	46.668,455	890.044,298	992.653,531	597.907,750
09/03/2015	50.198,830	116.315,794	80.317,480	385.375,067	1.115.723,321	558.521,883
10/03/2015	36.318,247	118.904,325	67.835,611	308.482,087	917.749,525	179.800,575
Demand	25.083,606	100.611,917	106.610,312	258.088,143	1.125.344,161	812.743,712
Demand perbulan bit persecond (link1)				141.585,874		
Demand byte persecond (link 1)				17.698,234		
Demand kilobyte persecond (link1)				17,283		
Demand perbulan bit persecond (link2)				612.978,039		
Demand byte persecond (link2)				76.622,255		
Demand kilobyte persecond (link2)				74,826		
Demand perbulan bit persecond (link3)				459.677,012		
Demand byte persecond (link3)				57.459,626		
Demand kilobyte persecond (link3)				56,113		

Tabel. 4 7. Data Traffic pada Movie untuk Multi Layanan

Waktu	Traffic(dalam bit persecond)					
	Sent			Received		
	link 1	link 2	link 3	link 1	link 2	link 3
10/02/2015	0,000	0,000	449.147,455	0,000	0,000	17.013.694,789
11/02/2015	3.800,621	2.940.420,090	1.690.451,455	368,567	157.040.863,910	105.338.086,883
12/02/2015	179.439,226	97.705.518,837	31.420.967,377	5.540.008,643	162.803.529,787	133.789.882,404
13/02/2015	3.973,402	3.521.479,425	42.553.070,362	343,088	193.438.464,019	90.014.992,827
14/02/2015	3.798,632	867.306,680	1.344.572,502	340,112	46.742.008,184	58.113.294,052
15/02/2015	3.723,070	535.210,645	1.235.669,271	493,142	23.233.716,674	64.504.548,884
16/02/2015	30.972,771	87.121.608,415	1.665.330,956	1.477.652,843	150.542.798,908	108.559.626,784
17/02/2015	3.777,226	3.577.648,027	26.652.753,071	288,745	185.159.710,063	118.076.060,445
18/02/2015	279.617,930	2.581.785,858	42.404.012,886	12.294.102,700	158.547.333,167	108.364.863,714
19/02/2015	234.849,217	1.012.820,486	558.490,971	9.822.605,240	46.735.578,520	22.910.574,764
20/02/2015	3.844,606	4.003.603,592	728.269,272	496,958	188.546.586,773	50.456.883,658
21/02/2015	4.273,629	1.805.856,958	2.080.716,904	494,529	88.639.489,464	61.392.615,678
22/02/2015	3.706,133	742.294,643	1.295.604,074	497,887	40.493.665,060	50.428.578,176
23/02/2015	980.993,553	34.559.778,238	5.402.881,584	55.790.670,555	429.468.791,343	264.639.981,452
24/02/2015	584.087,014	7.227.370,361	4.666.544,000	22.992.727,967	390.652.598,471	270.456.169,882
25/02/2015	216.785,417	7.786.603,809	23.654.263,501	12.871.430,730	445.932.263,591	214.483.036,709
26/02/2015	211.966,708	8.216.834,886	4.370.910,873	12.324.515,695	458.262.640,889	182.086.089,295
27/02/2015	4.084,219	6.461.327,732	2.780.362,093	340,651	314.583.002,995	136.675.937,712
28/02/2015	4.386,006	2.543.348,745	557.884,680	337,702	117.654.517,216	38.920.921,059
01/03/2015	4.055,774	1.385.559,527	799.171,125	288,568	83.909.753,496	25.554.628,686
02/03/2015	59.206,984	8.994.646,093	4.709.703,303	9.430.984,783	425.818.642,622	259.283.356,622

03/03/2015	4.415,930	5.648.895,067	2.570.415,183	500,894	343.542.690,026	115.388.095,955
04/03/2015	6.809,167	29.275.457,776	3.823.789,875	309,228	344.178.124,770	286.092.352,525
05/03/2015	161.814,675	4.385.076,373	3.120.223,173	7.131.903,453	240.617.528,980	119.557.927,845
06/03/2015	6.518,789	60.749.117,292	5.380.373,026	375,324	317.227.510,911	282.939.455,502
07/03/2015	2.968.760,147	1.789.480,485	981.350,815	96.925.165,832	97.413.023,448	46.048.601,540
08/03/2015	1.930.179,244	11.364.791,991	283.743,637	85.066.119,900	46.856.217,341	15.948.938,215
09/03/2015	285.772,416	3.832.591,683	2.628.610,709	21.415.829,858	190.295.088,414	157.079.146,632
10/03/2015	275.794,313	3.424.597,457	35.884.453,107	25.818.350,492	200.165.642,548	75.357.416,270
Deman	291.772,649	13.933.139,006	8.817.025,422	13.065.777,382	203.051.785,572	119.981.922,723
Demand perbulan dalam bit persecond (link 1)				6.678.775,016		
Demand byte persecond (link 1)				834.846,877		
Demand kilobyte persecond (link 1)				815,280		
Demand perbulan dalam bit persecond (link 2)				108.492.462,289		
Demand byte persecond (link 2)				13.561.557,786		
Demand kilobyte persecond (link 2)				13.243,709		
Demand perbulan dalam bit persecond (link 3)				64.399.474,072		
Demand byte persecond (link 3)				8.049.934,259		
Demand kilobyte persecond (link 3)				7.861,264		

Tabel. 4 8.Data Traffic pada Proxy untuk Multi Layanan

Waktu	Traffic (dalam bit per second)					
	Sent			Received		
	link 1	link 2	link 3	link 1	link 2	link 3
10/02/2015	0,000	0,000	1.012,368	0,000	0,000	118,220
11/02/2015	3.583,487	3.555,946	3.598,551	390,566	398,913	414,772
12/02/2015	3.773,789	4.223,211	3.992,688	520,845	426,969	503,410
13/02/2015	3.970,626	3.704,153	3.744,585	430,919	483,241	445,396
14/02/2015	3.519,045	3.809,923	3.743,443	401,355	456,947	416,448
15/02/2015	4.177,284	3.687,391	3.734,813	972,562	519,162	378,357
16/02/2015	3.605,667	3.753,597	3.811,026	369,955	412,343	443,957
17/02/2015	3.529,647	3.874,444	4.087,881	427,225	443,577	451,612
18/02/2015	3.994,676	4.006,219	3.966,570	388,411	385,498	384,967

19/02/2015	3.942,214	4.000,762	4.310,877	443,611	474,863	436,364
20/02/2015	3.928,187	3.998,895	3.834,988	403,853	482,426	409,155
21/02/2015	4.302,298	4.163,435	4.132,997	402,247	413,319	406,011
22/02/2015	3.745,126	3.969,378	3.984,985	383,208	389,026	407,636
23/02/2015	4.389,823	4.206,540	4.120,693	399,920	388,439	373,354
24/02/2015	3.827,109	3.935,344	3.767,732	369,766	419,826	389,468
25/02/2015	3.817,791	3.972,764	3.954,619	381,678	374,195	381,088
26/02/2015	3.920,849	4.000,133	3.763,585	698,842	382,680	463,516
27/02/2015	4.197,201	4.222,448	4.059,946	388,993	445,775	423,938
28/02/2015	429,910	388,498	3.816,786	429,910	388,498	391,532
01/03/2015	4.104,243	3.913,435	3.931,537	407,789	400,738	414,274
02/03/2015	3.893,021	3.864,491	4.499,342	379,140	388,523	480,934
03/03/2015	4.538,402	4.020,194	4.633,209	470,584	398,516	426,568
04/03/2015	7.062,161	6.795,670	6.565,074	609,044	550,811	614,265
05/03/2015	6.625,944	6.426,171	6.437,895	621,955	576,261	565,229
06/03/2015	552,504	6.446,186	6.603,231	552,504	556,196	600,836
07/03/2015	6.686,693	6.541,144	6.480,675	587,043	576,360	610,355
08/03/2015	6.631,133	6.552,962	6.639,780	551,229	514,981	642,192
09/03/2015	6.551,633	6.684,399	6.804,580	586,011	645,256	589,350
10/03/2015	4.481,639	4.000,352	3.503,653	591,002	453,640	287,935
Demand	4.061,452	4.231,658	4.397,866	467,592	439,551	443,832
Demand perbulan dalam bit persecond (link 1)				2.264,522		
Demand byte persecond (link 1)				283,065		
Demand kilobyte persecond (link 1)				0,276		
Demand perbulan dalam bit persecond (link 2)				2.335,604		
Demand byte persecond (link 2)				291,951		
Demand kilobyte persecond (link 2)				0,285		
Demand perbulan dalam bit persecond (link 3)				2.420,849		
Demand byte persecond (link 3)				302,606		
Demand kilobyte persecond (link 3)				0,296		

Ket : link 1 *Demand* dari jam (23:01 – 07.00)
link 2 *Demand* dari jam (07:01 – 15.00)
link 3 *Demand* dari jam (15:01 – 23.00)

3.2 Pendefinisian Parameter dan Variabel Keputusan Pada Model Jaringan *Multi Layanan*

Model untuk jaringan *multi* layanan sebelumnya telah di bahas pada penelitian terdahulu. Seperti pada penelitian (Irmeilyana et al ., 2014), (Irmeilyana et al ., 2014a) dan (Irmeilyana et al .,2014b) yang membahas tentang jaringan *multi* layanan single link, lalu selanjutnya penelitian berkembang dengan masalah yang lebih kompleks dengan menambahkan link terhadap jaringan *multi* layanan. Pada penelitian (Puspita et al .,2014) ini digunakan 3 layanan dan 2 link. Untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan keadaan yang terjadi kita memerlukan modifikasi yang lebih kompleks untuk jaringan *multi* layanan dan *multi* link. Berdasarkan hal tersebut penulis mengembangkan penelitian terdahulu sehingga di dapatkan modifikasi dengan menggunakan 4 layanan dan 3 link. Karena data ini diolah menggunakan program lingo, untuk kasus 4 layanan dan 3 link merupakan batas kemampuan dari program lingo.

Pada skema pembiayaan internet *multi* link pada jaringan *multi* layanan QoS terdapat beberapa parameter dan variabel yang digunakan untuk mengoptimalkan pembiayaan internet. Dalam hal ini terdapat 4 kasus yaitu :

- a) α dan β konstanta.
- b) α konstanta dan β sebagai variabel.
- c) α dan β sebagai variabel.
- d) α variabel dan β sebagai konstanta.

Tabel. 4 9. Parameter Untuk Setiap Kasus Pada Model Jaringan *Multi Layanan*

Parameter untuk kasus 1 : α dan β konstanta	
α	: Harga dasar untuk setiap layanan
β	: Kualitas premium untuk setiap layanan
s	: Jumlah layanan
p_{ik}	: Harga pengguna layanan i pada link k
C_k	: Kapasitas total yang terdapat pada link k
m_i	: Minimum QoS untuk layanan i
n_i	: Jumlah pengguna layanan i pada link k
Parameter untuk kasus 2 : α konstanta dan β variabel	
α	: Harga dasar untuk setiap layanan
s	: Jumlah layanan
p_{ik}	: Harga pengguna layanan i pada link k

C_k	: Kapasitas total yang terdapat pada link k
m_i	: Minimum QoS untuk layanan i
n_i	: Jumlah pengguna layanan i pada link k
l_i	: Minimum kualitas premium untuk layanan i
b_i	: Maksimum kualitas premium untuk layanan i
Parameter untuk kasus 3 : α variabel dan β konstanta	
s	: Jumlah layanan
p_{ik}	: Harga pengguna layanan i pada link k
d_{ik}	: Kapasitas yang dibutuhkan untuk layanan i pada link k
C_k	: Kapasitas total yang terdapat pada link k
m_i	: Minimum QoS untuk layanan i
n_i	: Jumlah pengguna layanan i
l_i	: Minimum kualitas premium untuk layanan i
b_i	: Maksimum kualitas premium untuk layanan i
c_i	: Harga dasar minimum untuk layanan i
g_i	: Harga dasar maksimum untuk layanan i
Parameter untuk kasus 4 : α dan β variabel	
β	: Kualitas premium untuk setiap layanan
s	: Jumlah layanan
p_{ik}	: Harga pengguna layanan i pada link k
d_{ik}	: Kapasitas yang dibutuhkan untuk layanan i pada link k
C_k	: Kapasitas total yang terdapat pada link k
m_i	: Minimum QoS untuk layanan i
n_i	: Jumlah pengguna layanan i
c_i	: Harga dasar minimum untuk layanan i
g_i	: Harga dasar maksimum untuk layanan i

Tabel. 4 10. Variabel Keputusan Untuk Setiap Kasus Pada Model Jaringan Multi Layanan

Variabel Keputusan untuk kasus 1 : α dan β konstanta	
I_i	: Kualitas indeks layanan i
x_{ik}	: Jumlah pengguna layanan i pada link k
a_{ik}	: Kapasitas total layanan i pada link k
Variabel Keputusan untuk kasus 2 : α konstanta dan β variabel	
β_i	: Kualitas premium untuk layanan i
I_i	: Kualitas indeks layanan i
x_{ik}	: Jumlah pengguna layanan i pada link k
a_{ik}	: Kapasitas total layanan i pada link k
Variabel Keputusan untuk kasus 3 : α dan β variabel	
α_i	: Harga dasar untuk layanan i

β_i	: Kualitas premium untuk layanan i
I_i	: Kualitas indeks layanan i
x_{ik}	: Jumlah pengguna layanan i pada link k
a_{ik}	: Kapasitas total layanan i pada link k
Variabel Keputusan untuk kasus 4 : α variabel dan β konstanta	
α_i	: Harga dasar untuk layanan i
I_i	: Kualitas indeks layanan i
x_{ik}	: Jumlah pengguna layanan i pada link k
a_{ik}	: Kapasitas total layanan i pada link k

3.3 Pemodelan Skema Pembiayaan Internet Menurut Jaringan *Multi* Layanan

Setelah perumusan parameter dan variabel diformulasikan untuk jaringan *multi* layanan maka diperoleh model untuk memaksimumkan keuntungan pendapatan ISP pada masing-masing fungsi tujuan dan kendala-kendala yang terdapat pada jaringan *multi* layanan. Terdapat 4 kasus dalam jaringan *multi* layanan yang akan dimodifikasi berdasarkan index *quality*, base price, dan kualitas premium setiap layanan.

3.3.1 Penggunaan Model Skema Pembiayaan Internet Pada Kasus 1 (α dan β konstata)

Model persamaan yang digunakan untuk kasus 1 menggunakan fungsi tujuan pada persamaan (2.1) dan kendala dari persamaan (2.1a) sampai (2.1g) dengan menginputkan nilai parameter pada kendala dengan banyaknya jumlah layanan (s) sebanyak 4 (empat) dengan $i = 1, 2, 3, 4$.

Tabel. 4.11 berikut akan menampilkan nilai-nilai parameter yang digunakan pada jaringan *multi* layanan untuk kasus 1. Nilai C_1 diperoleh dari jumlah demans (kbps) link 1, nilai C_2 diperoleh dari jumlah demans (kbps) link 2, dan nilai C_3 diperoleh dari jumlah demans (kbps) link 3. Masing – masing C_1, C_2, C_3 untuk 4 layanan.

**Tabel. 4 11. Nilai-Nilai Parameter Kasus 1 Pada Model Jaringan
Multi Layanan**

Parameter	Layanan (i)			
	1. Mail (kbps)	2. Digilib (kbps)	3. movie (kbps)	4. proxy (kbps)
α	0,1	0,1	0,1	0,1
β	0,5	0,5	0,5	0,5
C_1	838	838	838	838
C_2	13.326	13.326	13.326	13.326
C_3	7.922	7.922	7.922	7.922
d_{i1}	5	17	815	1
d_{i2}	7	75	13.244	1
d_{i3}	5	56	7.861	1
n_i	10	10	10	10
m_i	0,01	0,01	0,01	0,01
p_{i1}	3	45	15	11
p_{i2}	6	21	24	18
p_{i3}	9	30	26	12

Keterangan :

- i : Layanan
- k : Link
- $C_{1,2,3}$: Kapasitas total
- d_{11} : Kapasitas yang dibutuhkan layanan Mail link 1
- d_{21} : Kapasitas yang dibutuhkan layanan Digilib link 1
- d_{31} : Kapasitas yang dibutuhkan layanan Mail link 1
- d_{41} : Kapasitas yang dibutuhkan layanan Digilib link 1
- d_{12} : Kapasitas yang dibutuhkan layanan Mail link 2
- d_{22} : Kapasitas yang dibutuhkan layanan Digilib link 2
- d_{32} : Kapasitas yang dibutuhkan layanan Mail link 2
- d_{42} : Kapasitas yang dibutuhkan layanan Digilib link 2
- d_{13} : Kapasitas yang dibutuhkan layanan Mail link 3
- d_{23} : Kapasitas yang dibutuhkan layanan Digilib link 3
- d_{33} : Kapasitas yang dibutuhkan layanan Mail link 3
- d_{43} : Kapasitas yang dibutuhkan layanan Digilib link 3
- n_i : Jumlah pengguna maksimum i = 1,2,3,4
- m_i : Level minimum QoS untuk layanan i i = 1,2,3,4
- p_{11} : Sensitivitas harga pengguna layanan Mail link 1
- p_{21} : Sensitivitas harga pengguna layanan Digilib link 1

- p_{31} : Sensitivitas harga pengguna layanan *movie* link 1
 p_{41} : Sensitivitas harga pengguna layanan *proxy* link 1
 p_{12} : Sensitivitas harga pengguna layanan *Mail* link 2
 p_{22} : Sensitivitas harga pengguna layanan *Digilib* link 2
 p_{32} : Sensitivitas harga pengguna layanan *movie* link 2
 p_{42} : Sensitivitas harga pengguna layanan *proxy* link 2
 p_{13} : Sensitivitas harga pengguna layanan *Mail* link 3
 p_{23} : Sensitivitas harga pengguna layanan *Digilib* link 3
 p_{33} : Sensitivitas harga pengguna layanan *movie* link 3
 p_{43} : Sensitivitas harga pengguna layanan *proxy* link 3

Penggunaan model skema pembiayaan internet *multi* layanan pada kasus 1 α & β konstanta dengan memasukkan nilai parameter pada tabel 4.12 ke dalam persamaan (2.1) dan kendala (2.1 a) sampai kendala (2.1 g) sehingga diperoleh formulasi sebagai berikut :

Berdasarkan fungsi objektif pada Persamaan (2.1) :

$$\begin{aligned}
 Maks R &= \sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^4 (\alpha + \beta \cdot I_l) \cdot p_{ik} \cdot x_{ik} \\
 &= (0,1+0,5 \cdot I_1)3x_{11} + (0,1+0,5 \cdot I_2)45x_{21} + (0,1+0,5 \cdot I_3)15x_{31} + \\
 &\quad (0,1+0,5 \cdot I_4)11x_{41} + (0,1+0,5 \cdot I_1)6x_{12} + (0,1+0,5 \cdot I_2)21x_{22} \\
 &\quad + (0,1+0,5 \cdot I_3)24x_{32} + (0,1+0,5 \cdot I_4)18x_{42} + (0,1 + 0,5 \cdot \\
 &\quad I_1) 9x_{13} + (0,1+0,5 \cdot I_2)30x_{23} + (0,1+0,5 \cdot I_3)26x_{33} + (0,1+0,5 \cdot \\
 &\quad I_4)12x_{43} \\
 &= 0,3x_{11} + 1,5I_1x_{11} + 4,5x_{21} + 22,5I_2x_{21} + 1,5x_{31} + \\
 &\quad 0,75I_3x_{31} + 1,1x_{41} + 5,5I_4x_{41} + 0,6x_{12} + 3I_1x_{12} + 2,1x_{22} + \\
 &\quad 10,5I_2x_{22} + 2,4x_{32} + 12I_3x_{32} + 1,8x_{42} + 9I_4x_{42} + \\
 &\quad 0,9x_{13} + 4,5I_1x_{13} + 3x_{23} + 15I_2x_{23} + 2,6x_{33} + \\
 &\quad 13I_3x_{33} + 1,2x_{41} + 6I_4x_{41}
 \end{aligned}$$

Dengan kendala (2.1 a) didapat :

$$\begin{aligned}
 5 I_1 x_{11} &\leq 838 a_{11} \\
 17 I_2 x_{21} &\leq 838 a_{21} \\
 815 I_3 x_{31} &\leq 838 a_{31} \\
 1I_4 x_{41} &\leq 838 a_{41} \\
 7 I_1 x_{12} &\leq 13.244 a_{12} \\
 75 I_2 x_{22} &\leq 13.244 a_{22}
 \end{aligned}$$

$$13.244 I_3 x_{32} \leq 13.244 a_{32}$$

$$1I_4 x_{42} \leq 13.244 a_{42}$$

$$5 I_1 x_{13} \leq 7.922 a_{13}$$

$$56 I_2 x_{23} \leq 7.922 a_{23}$$

$$7.861 I_3 x_{33} \leq 7.922 a_{33}$$

$$1I_4 x_{43} \leq 7.922 a_{43}$$

Dengan kendala (2.1b) didapat :

$$5 I_1 x_{11} + 17 I_2 x_{21} + 815 I_3 x_{31} + 1I_4 x_{41} \leq 838$$

$$7 I_1 x_{12} + 75 I_2 x_{22} + 13.244 I_3 x_{32} + 1I_4 x_{42} \leq 13.326$$

$$5 I_1 x_{13} + 56 I_2 x_{23} + 7.861 I_3 x_{33} + 1I_4 x_{43} \leq 7.922$$

Dengan kendala (2.1c) didapat :

$$a_{11} + a_{21} + a_{31} + a_{41} = 1$$

$$a_{12} + a_{22} + a_{32} + a_{42} = 1$$

$$a_{13} + a_{23} + a_{33} + a_{43} = 1$$

Dengan kendala (2.1d) didapat :

$$0 \leq a_{11} \leq 1$$

$$0 \leq a_{21} \leq 1$$

$$0 \leq a_{31} \leq 1$$

$$0 \leq a_{41} \leq 1$$

$$0 \leq a_{12} \leq 1$$

$$0 \leq a_{22} \leq 1$$

$$0 \leq a_{32} \leq 1$$

$$0 \leq a_{42} \leq 1$$

$$0 \leq a_{13} \leq 1$$

$$0 \leq a_{23} \leq 1$$

$$0 \leq a_{33} \leq 1$$

$$0 \leq a_{43} \leq 1$$

Dengan kendala (2.1e) didapat :

$$0,01 \leq I_1 \leq 1$$

$$0,01 \leq I_2 \leq 1$$

$$0,01 \leq I_3 \leq 1$$

$$0,01 \leq I_4 \leq 1$$

Dengan kendala (2.1f) didapat :

$$0 \leq x_{11} \leq 10$$

$$0 \leq x_{21} \leq 10$$

$$0 \leq x_{31} \leq 10$$

$$0 \leq x_{41} \leq 10$$

$$0 \leq x_{12} \leq 10$$

$$0 \leq x_{22} \leq 10$$

$$0 \leq x_{32} \leq 10$$

$$0 \leq x_{42} \leq 10$$

$$0 \leq x_{13} \leq 10$$

$$0 \leq x_{23} \leq 10$$

$$0 \leq x_{33} \leq 10$$

$$0 \leq x_{43} \leq 10$$

Dengan kendala (2.1g) didapat :

$$\{x_{11}, x_{21}, x_{31}, x_{41}, x_{12}, x_{22}, x_{32}, x_{42}, x_{13}, x_{23}, x_{33}, x_{43}\} \subseteq \mathbb{Z}^+$$

Dengan memodifikasi indeks kualitas layanan i (I_i) yaitu :

xvi) jika $I_i = I_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$I_2 - I_1 = 0$$

$$I_3 - I_2 = 0$$

$$I_4 - I_3 = 0$$

jika $I_i > I_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$I_2 - I_1 > 0$$

$$I_3 - I_2 > 0$$

$$I_4 - I_3 > 0$$

jika $I_i < I_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$I_2 - I_1 < 0$$

$$I_3 - I_2 < 0$$

$$I_4 - I_3 < 0$$

3.3.2 Penggunaan Model Skema Pembiayaan Internet Pada Kasus 2 (α konstanta dan β variabel)

Model persamaan yang digunakan untuk kasus 2 menggunakan fungsi tujuan pada persamaan (2.2) dan kendala dari persamaan (2.1a) sampai (2.2b) dengan menginputkan nilai parameter pada kendala dengan banyaknya jumlah layanan (s) sebanyak 4 (empat) dengan $i = 1, 2, 3, 4$.

Tabel. 4.12 berikut akan menampilkan nilai-nilai parameter yang digunakan pada jaringan *multi* layanan untuk kasus 2.

**Tabel. 4 12. Nilai-Nilai Parameter Kasus 2 Pada Model Jaringan
Multi Layanan**

Parameter	Layanan (i)			
	1. Mail (kbps)	2. Digilib (kbps)	3. movie (kbps)	4. proxy (kbps)
α	0,1	0,1	0,1	0,1
C_1	6.706	6.706	6.706	6.706
C_2	106.610	106.610	106.610	106.610
C_3	63.384	63.384	63.384	63.384
d_{i1}	44	138	6.522	2
d_{i2}	59	599	105.950	2
d_{i3}	43	449	62.890	2
n_i	10	10	10	10
m_i	0,01	0,01	0,01	0,01
p_{i1}	3	45	15	11
p_{i2}	6	21	24	18
p_{i3}	9	30	26	12
I_i	0,01	0,01	0,01	0,01
b_i	0,5	0,5	0,5	0,5

Berdasarkan fungsi objektif pada Persamaan (2.1) :

$$\begin{aligned}
 Maks R &= \sum_{k=1}^3 \sum_{i=1}^4 (\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_{ik} \cdot x_{ik} \\
 &= (0,1 + \beta_1 \cdot I_1) 3x_{11} + (0,1 + \beta_2 \cdot I_2) 45x_{21} + (0,1 + \beta_3 \cdot I_3) \\
 &\quad 15x_{31} + (0,1 + \beta_4 \cdot I_4) 11x_{41} + (0,1 + \beta_1) 6x_{12} + (0,1 + \beta_2 \cdot I_2) \\
 &\quad 21x_{22} + (0,1 + \beta_3 \cdot I_3) 24x_{32} + (0,1 + \beta_4 \cdot I_4) 18x_{42} + \\
 &\quad (0,1 + \beta_1) 9x_{13} + (0,1 + \beta_2 \cdot I_2) 30x_{23} + (0,1 + \beta_3 \cdot I_3) 26x_{33} + (0,1 \\
 &\quad + \beta_4 \cdot I_4) 12x_{43} \\
 &= 0,3x_{11} + 3\beta_1 I_1 x_{11} + 4,5x_{21} + 45\beta_2 I_2 x_{21} + 1,5x_{31} + \\
 &\quad 15\beta_3 I_3 x_{31} + 1,1x_{41} + 11\beta_4 I_4 x_{41} + 0,6x_{12} + 6\beta_1 I_1 x_{12} + 2,1x_{22} \\
 &\quad + 21\beta_2 I_2 x_{22} + 2,4x_{32} + 24\beta_3 I_3 x_{32} + 1,8x_{42} + 18\beta_4 I_4 x_{42} + \\
 &\quad 0,9x_{13} + 9\beta_1 I_1 x_{13} + 3x_{23} + 30\beta_2 I_2 x_{23} + 2,6x_{33} + \\
 &\quad 26\beta_3 I_3 x_{33} + 1,2x_{43} + 12\beta_4 I_4 x_{43}
 \end{aligned}$$

Dengan kendala (2.1 a) didapat : $5 I_1 x_{11} \leq 838 a_{11}$

$$17 I_2 x_{21} \leq 838 a_{21}$$

$$815 I_3 x_{31} \leq 838 a_{31}$$

$$1I_4 x_{41} \leq 838 a_{41}$$

$$7 I_1 x_{12} \leq 13.244 a_{12}$$

$$75 I_2 x_{22} \leq 13.244 a_{22}$$

$$13.244 I_3 x_{32} \leq 13.244 a_{32}$$

$$1I_4 x_{42} \leq 13.244 a_{42}$$

$$5 I_1 x_{13} \leq 7.922 a_{13}$$

$$56 I_2 x_{23} \leq 7.922 a_{23}$$

$$7.861 I_3 x_{33} \leq 7.922 a_{33}$$

$$1I_4 x_{43} \leq 7.922 a_{43}$$

Dengan kendala (2.1b) didapat :

$$5 I_1 x_{11} + 17 I_2 x_{21} + 815 I_3 x_{31} + 1I_4 x_{41} \leq 838$$

$$7 I_1 x_{12} + 75 I_2 x_{22} + 13.244 I_3 x_{32} + 1I_4 x_{42} \leq 13.326$$

$$5 I_1 x_{13} + 56 I_2 x_{23} + 7.861 I_3 x_{33} + 1I_4 x_{43} \leq 7.922$$

Dengan kendala (2.1c) didapat :

$$a_{11} + a_{21} + a_{31} + a_{41} = 1$$

$$a_{12} + a_{22} + a_{32} + a_{42} = 1$$

$$a_{13} + a_{23} + a_{33} + a_{43} = 1$$

Dengan kendala (2.1d) didapat :

$$0 \leq a_{11} \leq 1$$

$$0 \leq a_{21} \leq 1$$

$$0 \leq a_{31} \leq 1$$

$$0 \leq a_{41} \leq 1$$

$$0 \leq a_{12} \leq 1$$

$$0 \leq a_{22} \leq 1$$

$$0 \leq a_{32} \leq 1$$

$$0 \leq a_{42} \leq 1$$

$$0 \leq a_{13} \leq 1$$

$$0 \leq a_{23} \leq 1$$

$$0 \leq a_{33} \leq 1$$

$$0 \leq a_{43} \leq 1$$

Dengan kendala (2.1e) didapat :

$$0,01 \leq I_1 \leq 1$$

$$0,01 \leq I_2 \leq 1$$

$$0,01 \leq I_3 \leq 1$$

$$0,01 \leq I_4 \leq 1$$

Dengan kendala (2.1f) didapat :

$$0 \leq x_{11} \leq 10$$

$$0 \leq x_{21} \leq 10$$

$$0 \leq x_{31} \leq 10$$

$$0 \leq x_{41} \leq 10$$

$$0 \leq x_{12} \leq 10$$

$$0 \leq x_{22} \leq 10$$

$$0 \leq x_{32} \leq 10$$

$$0 \leq x_{42} \leq 10$$

$$0 \leq x_{13} \leq 10$$

$$0 \leq x_{23} \leq 10$$

$$0 \leq x_{33} \leq 10$$

$$0 \leq x_{43} \leq 10$$

Dengan kendala (2.1g) didapat :

$$\{x_{11}, x_{21}, x_{31}, x_{41}, x_{12}, x_{22}, x_{32}, x_{42}, x_{13}, x_{23}, x_{33}, x_{43}\} \subseteq \mathbb{Z}^+$$

Dengan kendala 2.2a maka didapat :

$$\beta_2 I_2 \geq \beta_1 I_1$$

$$\beta_3 I_3 \geq \beta_2 I_2$$

$$\beta_4 I_4 \geq \beta_3 I_3$$

Dengan kendala 2.2b maka didapat :

$$0,01 \leq \beta_1 \leq 0,5$$

$$0,01 \leq \beta_2 \leq 0,5$$

$$0,01 \leq \beta_3 \leq 0,5$$

$$0,01 \leq \beta_4 \leq 0,5$$

Dengan memodifikasi indeks kualitas layanan i (I_i) dan kualitas premium layanan (β_i) yaitu :

jika $I_i = I_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$I_2 - I_1 = 0$$

$$I_3 - I_2 = 0$$

$$I_4 - I_3 = 0$$

jika $I_i > I_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$I_2 - I_1 > 0$$

$$I_3 - I_2 > 0$$

$$I_4 - I_3 > 0$$

jika $I_i < I_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$I_2 - I_1 < 0$$

$$I_3 - I_2 < 0$$

$$I_4 - I_3 < 0$$

jika $\beta_i = \beta_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$\beta_2 - \beta_1 = 0$$

$$\beta_3 - \beta_2 = 0$$

$$\beta_4 - \beta_3 = 0$$

jika $\beta_i > \beta_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$\beta_2 - \beta_1 > 0$$

$$\beta_3 - \beta_2 > 0$$

$$\beta_4 - \beta_3 > 0$$

jika $\beta_i < \beta_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$\beta_2 - \beta_1 < 0$$

$$\beta_3 - \beta_2 < 0$$

$$\beta_4 - \beta_3 < 0$$

3.3.3 Penggunaan Model Skema Pembiayaan Internet Pada Kasus 3 (α dan β variabel)

Model persamaan yang digunakan untuk kasus 2 menggunakan fungsi tujuan pada persamaan (2.3) dan kendala dari persamaan (2.1a) sampai (2.2b) dan kendala (2.3a) serta (2.3b) dengan menginputkan nilai parameter pada kendala dengan banyaknya jumlah layanan (s) sebanyak 4 (empat) dengan $i = 1, 2, 3, 4$.

Tabel. 4 13 berikut akan menampilkan nilai-nilai parameter yang digunakan pada jaringan *multi* layanan untuk kasus 3.

Tabel. 4 13. Nilai-Nilai Parameter Kasus 3 Pada Model Jaringan *Multi* Layanan

Parameter	Layanan (i)			
	1. <i>Mail</i> (kbps)	2. <i>Digilib</i> (kbps)	3. <i>movie</i> (kbps)	4. <i>proxy</i> (kbps)
C_1	838	838	838	838
C_2	13.326	13.326	13.326	13.326
C_3	7.922	7.922	7.922	7.922
d_{i1}	5	17	815	1
d_{i2}	7	75	13.244	1
d_{i3}	5	56	7.861	1
p_{i1}	3	45	15	11
p_{i2}	6	21	24	18
p_{i3}	9	30	26	12
I_i	0,01	0,01	0,01	0,01
b_i	0,5	0,5	0,5	0,5

Berdasarkan fungsi objektif pada Persamaan (2.4) :

$$\begin{aligned}
 \text{Maks } R &= \sum_{k=1}^3 \sum_{i=1}^4 (\alpha_i + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_{ik} \cdot x_{ik} \\
 &= (\alpha_1 + \beta_1 \cdot I_1) 3x_{11} + (\alpha_2 + \beta_2 \cdot I_2) 45x_{21} + (\alpha_3 + \beta_3 \cdot I_3) \\
 &\quad 15x_{31} + (\alpha_4 + \beta_4 \cdot I_4) 11x_{41} + (\alpha_1 + \beta_1) 6x_{12} + (\alpha_2 + \beta_2 \cdot I_2) 21x_{22} \\
 &\quad + (\alpha_3 + \beta_3 \cdot I_3) 24x_{32} + (\alpha_4 + \beta_4 \cdot I_4) 18x_{42} + (\alpha_1 + \beta_1) 9x_{13} + (\alpha_2 + \beta_2 \cdot I_2) \\
 &\quad 30x_{23} + (\alpha_3 + \beta_3 \cdot I_3) 26x_{33} + (\alpha_4 + \beta_4 \cdot I_4) 12x_{43}
 \end{aligned}$$

Dengan kendala (2.1 a) didapat :

$$\begin{aligned}
 5 I_1 x_{11} &\leq 838 a_{11} \\
 17 I_2 x_{21} &\leq 838 a_{21} \\
 815 I_3 x_{31} &\leq 838 a_{31} \\
 1 I_4 x_{41} &\leq 838 a_{41} \\
 7 I_1 x_{12} &\leq 13.244 a_{12} \\
 75 I_2 x_{22} &\leq 13.244 a_{22} \\
 13.244 I_3 x_{32} &\leq 13.244 a_{32} \\
 1 I_4 x_{42} &\leq 13.244 a_{42} \\
 5 I_1 x_{13} &\leq 7.922 a_{13} \\
 56 I_2 x_{23} &\leq 7.922 a_{23} \\
 7.861 I_3 x_{33} &\leq 7.922 a_{33} \\
 1 I_4 x_{43} &\leq 7.922 a_{43}
 \end{aligned}$$

Dengan kendala (2.1b) didapat :

$$\begin{aligned}
 5 I_1 x_{11} + 17 I_2 x_{21} + 815 I_3 x_{31} + 1 I_4 x_{41} &\leq 838 \\
 7 I_1 x_{12} + 75 I_2 x_{22} + 13.244 I_3 x_{32} + 1 I_4 x_{42} &\leq 13.326 \\
 5 I_1 x_{13} + 56 I_2 x_{23} + 7.861 I_3 x_{33} + 1 I_4 x_{43} &\leq 7.922
 \end{aligned}$$

Dengan kendala (2.1c) didapat :

$$\begin{aligned}
 a_{11} + a_{21} + a_{31} + a_{41} &= 1 \\
 a_{12} + a_{22} + a_{32} + a_{42} &= 1 \\
 a_{13} + a_{23} + a_{33} + a_{43} &= 1
 \end{aligned}$$

Dengan kendala (2.1d) didapat :

$$\begin{aligned}
 0 &\leq a_{11} \leq 1 \\
 0 &\leq a_{21} \leq 1 \\
 0 &\leq a_{31} \leq 1 \\
 0 &\leq a_{41} \leq 1 \\
 0 &\leq a_{12} \leq 1 \\
 0 &\leq a_{22} \leq 1 \\
 0 &\leq a_{32} \leq 1 \\
 0 &\leq a_{42} \leq 1 \\
 0 &\leq a_{13} \leq 1
 \end{aligned}$$

$$0 \leq a_{23} \leq 1$$

$$0 \leq a_{33} \leq 1$$

$$0 \leq a_{43} \leq 1$$

Dengan kendala (2.1e) didapat :

$$0,01 \leq I_1 \leq 1$$

$$0,01 \leq I_2 \leq 1$$

$$0,01 \leq I_3 \leq 1$$

$$0,01 \leq I_4 \leq 1$$

Dengan kendala (2.1f) didapat :

$$0 \leq x_{11} \leq 10$$

$$0 \leq x_{21} \leq 10$$

$$0 \leq x_{31} \leq 10$$

$$0 \leq x_{41} \leq 10$$

$$0 \leq x_{12} \leq 10$$

$$0 \leq x_{22} \leq 10$$

$$0 \leq x_{32} \leq 10$$

$$0 \leq x_{42} \leq 10$$

$$0 \leq x_{13} \leq 10$$

$$0 \leq x_{23} \leq 10$$

$$0 \leq x_{33} \leq 10$$

$$0 \leq x_{43} \leq 10$$

Dengan kendala (2.1g) didapat :

$$\{x_{11}, x_{21}, x_{31}, x_{41}, x_{12}, x_{22}, x_{32}, x_{42}, x_{13}, x_{23}, x_{33}, x_{43}\} \subseteq \mathbb{Z}^+$$

Dengan kendala 2.2b maka didapat :

$$0,01 \leq \beta_1 \leq 0,5$$

$$0,01 \leq \beta_2 \leq 0,5$$

$$0,01 \leq \beta_3 \leq 0,5$$

$$0,01 \leq \beta_4 \leq 0,5$$

Dengan kendala 2.3a maka didapat :

$$\alpha_2 + \beta_2 I_2 \geq \alpha_1 + \beta_1 I_1$$

$$\alpha_3 + \beta_3 I_3 \geq \alpha_2 + \beta_2 I_2$$

$$\alpha_4 + \beta_4 I_4 \geq \alpha_3 + \beta_3 I_3$$

Dengan kendala 2.3b maka didapat :

$$0 \leq \alpha_1 \leq 1$$

$$0 \leq \alpha_2 \leq 1$$

$$0 \leq \alpha_3 \leq 1$$

$$0 \leq \alpha_4 \leq 1$$

Dengan memodifikasi indeks kualitas layanan i (I_i) harga dasar layanan (α_i), dan kualitas premium layanan (β_i) yaitu :

jika $I_i = I_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$I_2 - I_1 = 0$$

$$I_3 - I_2 = 0$$

$$I_4 - I_3 = 0$$

jika $I_i > I_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$I_2 - I_1 > 0$$

$$I_3 - I_2 > 0$$

$$I_4 - I_3 > 0$$

jika $I_i < I_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$I_2 - I_1 < 0$$

$$I_3 - I_2 < 0$$

$$I_4 - I_3 < 0$$

jika $\beta_i = \beta_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$\beta_2 - \beta_1 = 0$$

$$\beta_3 - \beta_2 = 0$$

$$\beta_4 - \beta_3 = 0$$

jika $\beta_i > \beta_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$\beta_2 - \beta_1 > 0$$

$$\beta_3 - \beta_2 > 0$$

$$\beta_4 - \beta_3 > 0$$

jika $\beta_i < \beta_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$\beta_2 - \beta_1 < 0$$

$$\beta_3 - \beta_2 < 0$$

$$\beta_4 - \beta_3 < 0$$

jika $\alpha_i = \alpha_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$\alpha_2 - \alpha_1 = 0$$

$$\alpha_3 - \alpha_2 = 0$$

$$\alpha_4 - \alpha_3 = 0$$

jika $\alpha_i > \alpha_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$\alpha_2 - \alpha_1 > 0$$

$$\alpha_3 - \alpha_2 > 0$$

$$\alpha_4 - \alpha_3 > 0$$

jika $\alpha_i < \alpha_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$\alpha_2 - \alpha_1 < 0$$

$$\alpha_3 - \alpha_2 < 0$$

$$\alpha_4 - \alpha_3 < 0$$

3.3.4 Penggunaan Model Skema Pembiayaan Internet Pada Kasus 4 (α variabel dan β konstanta)

Model persamaan yang digunakan untuk kasus 4 menggunakan fungsi tujuan pada persamaan (2.4) dan kendala dari persamaan (2.1a) sampai (2.1g) dan ditambahkan kendala (2.4a) dengan menginputkan nilai parameter pada kendala dengan banyaknya jumlah layanan (s) sebanyak 4 (empat) dengan $i = 1, 2, 3, 4$.

Tabel. 4.14 berikut akan menampilkan nilai-nilai parameter yang digunakan pada jaringan *multi* layanan untuk kasus 4.

Tabel. 4 14. Nilai-Nilai Parameter Kasus 4 Pada Model Jaringan *Multi* Layanan

Parameter	Layanan (i)			
	1. Mail (kbps)	2. Digilib (kbps)	3. movie (kbps)	4. proxy (kbps)
β_i	0,5	0,5	0,5	0,5
C_1	838	838	838	838
C_2	13.326	13.326	13.326	13.326
C_3	7.922	7.922	7.922	7.922
d_{i1}	5	17	815	1
d_{i2}	7	75	13.244	1
d_{i3}	5	56	7.861	1
n_i	10	10	10	10
I_i	0,01	0,01	0,01	0,01

Berdasarkan fungsi objektif pada Persamaan (2.4) :

$$\begin{aligned}
 Maks\ R &= \sum_{k=1}^3 \sum_{i=1}^4 (\alpha_i + \beta \cdot I_i) \cdot p_{ik} \cdot x_{ik} \\
 &= (\alpha_1 + 0,5 \cdot I_1) 3x_{11} + (\alpha_2 + 0,5 \cdot I_2) 45x_{21} + (\alpha_3 + 0,5 \cdot I_3) 15x_{31} + \\
 &\quad (\alpha_4 + 0,5 \cdot I_4) 11x_{41} + (\alpha_1 + 0,5 \cdot I_1) 6x_{12} + (\alpha_2 + 0,5 \cdot I_2) 21x_{22} + \\
 &\quad (\alpha_3 + 0,5 \cdot I_3) 24x_{32} + (\alpha_4 + 0,5 \cdot I_4) 18x_{42} + (\alpha_1 + 0,5 \cdot I_1) 9x_{13} + \\
 &\quad (\alpha_2 + 0,5 \cdot I_2) 30x_{23} + (\alpha_3 + 0,5 \cdot I_3) 26x_{33} + (\alpha_4 + 0,5 \cdot I_4) 12x_{43} \\
 &= 3\alpha_1 x_{11} + 1,5I_1 x_{11} + 45\alpha_2 x_{21} + 22,5I_2 x_{21} + 15\alpha_3 x_{31} + \\
 &\quad 0,75I_3 x_{31} + 11\alpha_4 x_{41} + 5,5I_4 x_{41} + 6\alpha_1 x_{12} + 3I_1 x_{12} + 21\alpha_2 x_{22} \\
 &\quad + 10,5I_2 x_{22} + 24\alpha_3 x_{32} + 12I_3 x_{32} + 18\alpha_4 x_{42} + 9I_4 x_{42} +
 \end{aligned}$$

$$9\alpha_1x_{13}+4,5I_1x_{13}+30\alpha_2x_{23}+15I_2x_{23} + 26\alpha_3x_{33} + \\ 13I_3x_{33}+12\alpha_4x_{43}+ 6I_4x_{43}$$

Dengan kendala (2.1 a) didapat :

$$\begin{aligned} 5 I_1x_{11} &\leq 838 a_{11} \\ 17 I_2x_{21} &\leq 838 a_{21} \\ 815 I_3x_{31} &\leq 838 a_{31} \\ 1I_4x_{41} &\leq 838 a_{41} \\ 7 I_1x_{12} &\leq 13.244 a_{12} \\ 75 I_2x_{22} &\leq 13.244 a_{22} \\ 13.244 I_3x_{32} &\leq 13.244 a_{32} \\ 1I_4x_{42} &\leq 13.244 a_{42} \\ 5 I_1x_{13} &\leq 7.922 a_{13} \\ 56 I_2x_{23} &\leq 7.922 a_{23} \\ 7.861 I_3x_{33} &\leq 7.922 a_{33} \\ 1I_4x_{43} &\leq 7.922 a_{43} \end{aligned}$$

Dengan kendala (2.1b) didapat :

$$\begin{aligned} 5 I_1x_{11} + 17 I_2x_{21} + 815 I_3x_{31} + 1I_4x_{41} &\leq 838 \\ 7 I_1x_{12} + 75 I_2x_{22} + 13.244 I_3x_{32} + 1I_4x_{42} &\leq 13.326 \\ 5 I_1x_{13} + 56 I_2x_{23} + 7.861 I_3x_{33} + 1I_4x_{43} &\leq 7.922 \end{aligned}$$

Dengan kendala (2.1c) didapat :

$$\begin{aligned} a_{11} + a_{21} + a_{31} + a_{41} &= 1 \\ a_{12} + a_{22} + a_{32} + a_{42} &= 1 \\ a_{13} + a_{23} + a_{33} + a_{43} &= 1 \end{aligned}$$

Dengan kendala (2.1d) didapat :

$$\begin{aligned} 0 &\leq a_{11} \leq 1 \\ 0 &\leq a_{21} \leq 1 \\ 0 &\leq a_{31} \leq 1 \\ 0 &\leq a_{41} \leq 1 \\ 0 &\leq a_{12} \leq 1 \\ 0 &\leq a_{22} \leq 1 \\ 0 &\leq a_{32} \leq 1 \\ 0 &\leq a_{42} \leq 1 \\ 0 &\leq a_{13} \leq 1 \\ 0 &\leq a_{23} \leq 1 \\ 0 &\leq a_{33} \leq 1 \\ 0 &\leq a_{43} \leq 1 \end{aligned}$$

Dengan kendala (2.1e) didapat :

$$0,01 \leq I_1 \leq 1$$

$$0,01 \leq I_2 \leq 1$$

$$0,01 \leq I_3 \leq 1$$

$$0,01 \leq I_4 \leq 1$$

Dengan kendala (2.1f) didapat :

$$0 \leq x_{11} \leq 10$$

$$0 \leq x_{21} \leq 10$$

$$0 \leq x_{31} \leq 10$$

$$0 \leq x_{41} \leq 10$$

$$0 \leq x_{12} \leq 10$$

$$0 \leq x_{22} \leq 10$$

$$0 \leq x_{32} \leq 10$$

$$0 \leq x_{42} \leq 10$$

$$0 \leq x_{13} \leq 10$$

$$0 \leq x_{23} \leq 10$$

$$0 \leq x_{33} \leq 10$$

$$0 \leq x_{43} \leq 10$$

Dengan kendala (2.1g) didapat :

$$\{x_{11}, x_{21}, x_{31}, x_{41}, x_{12}, x_{22}, x_{32}, x_{42}, x_{13}, x_{23}, x_{33}, x_{43}\} \subseteq \mathbb{Z}^+$$

Dengan kendala 2.3b maka didapat :

$$0 \leq \alpha_1 \leq 1$$

$$0 \leq \alpha_2 \leq 1$$

$$0 \leq \alpha_3 \leq 1$$

$$0 \leq \alpha_4 \leq 1$$

Dengan kendala 2.4a maka didapat :

$$\alpha_2 + I_2 \geq \alpha_1 + I_1$$

$$\alpha_3 + I_3 \geq \alpha_2 + I_2$$

$$\alpha_4 + I_4 \geq \alpha_3 + I_3$$

Dengan memodifikasi indeks kualitas layanan i (I_i) harga dasar layanan (α_i), dan yaitu :

jika $I_i = I_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$I_2 - I_1 = 0$$

$$I_3 - I_2 = 0$$

$$I_4 - I_3 = 0$$

jika $I_i > I_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$I_2 - I_1 > 0$$

$$I_3 - I_2 > 0$$

$$I_4 - I_3 > 0$$

jika $I_i < I_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$I_2 - I_1 < 0$$

$$I_3 - I_2 < 0$$

$$I_4 - I_3 < 0$$

jika $\alpha_i = \alpha_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$\alpha_2 - \alpha_1 = 0$$

$$\alpha_3 - \alpha_2 = 0$$

$$\alpha_4 - \alpha_3 = 0$$

jika $\alpha_i > \alpha_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$\alpha_2 - \alpha_1 > 0$$

$$\alpha_3 - \alpha_2 > 0$$

$$\alpha_4 - \alpha_3 > 0$$

jika $\alpha_i < \alpha_{i-1}$, maka ditambah kendala

$$\alpha_2 - \alpha_1 < 0$$

$$\alpha_3 - \alpha_2 < 0$$

$$\alpha_4 - \alpha_3 < 0$$

3.4 Solusi Model pada Jaringan *Multi* Layanan dengan Program LINGO

Kasus 1 : α dan β sebagai Konstanta

Model yang diperoleh pada sub bab 3.3.1 diselesaikan menggunakan Program LINDO 11.0. Untuk memperoleh solusi optimal pada kasus 1 digunakan modifikasi indeks layanan i (I_i) sehingga dalam kasus 1 terdapat 3 kasus, yaitu :

- 1) α dan β sebagai konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$
- 2) α dan β sebagai konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$
- 3) α dan β sebagai konstanta untuk $I_i < I_{i-1}$

Dengan menyelesaikan setiap kasus menggunakan program LINDO 11.0 diperoleh solusi optimal pada kasus α dan β sebagai konstanta yang menghasilkan solusi yang memenuhi dan sesuai dengan kondisi adalah pada $I_i = I_{i-1}$ dan $I_i < I_{i-1}$. Tabel berikut akan menyajikan hasil solusi optimal, nilai variabel dan solusi lanjut

untuk model skema pembiayaan internet untuk kasus α dan β konstanta dan $I_i = I_{i-1}$ dan $I_i < I_{i-1}$

Tabel. 4 15. Solusi kasus 1 α dan β konstanta dan $I_i = I_{i-1}$

Solver Status	
Model Class	MINLP
State	Local Optimal
Objective	930
Infeasibility	$8,50 \cdot 10^{-17}$
Iterations	217
Extended Solver Status	
Solver Type	Branch and Bound
Best Objective	930
Objective bound	930
Steps	6
Update Interval	2
Active	0
GMU (K)	37
ER (sec)	1

Tabel. 4.15 menampilkan solusi optimal yaitu sebesar 930. Hasil ini didapatkan dengan iterasi sebanyak 213 dan infesibility bernilai $8,50 \cdot 10^{-17}$. Extended solver status menunjukkan metode yang digunakan, dalam penyelesaian kasus ini digunakan metode Branch and Bound dengan nilai objektif 930. *Generated Memory Used* (GMU) menunjukkan jumlah alokasi memori yang digunakan yaitu sebesar 37K dan *Elapsed Runtime* (ER) menuunjukkan total waktu yang digunakan untuk menghasilkan dan menyelesaikan model yaitu 1 detik.

Tabel. 4 16. Nilai Variabel dalam Jaringan *Multi Layanan* pada Kasus 1 untuk $I_i = I_{i-1}$

Variabel	Layanan (i)			
	1	2	3	4
I_i	1	1	1	1
x_i	10	10	10	10

Tabel. 4 17. Solusi Lanjut Kasus 1 untuk $I_i = I_{i-1}$

Solusi Lanjut	Layanan (i)			
	1	2	3	4
Kapasitas yang digunakan				
$(I_i \cdot d_{ik} \cdot x_{ik})$	50	170	8.150	10
$(I_i \cdot d_{i1} \cdot x_{i1})$	70	750	132.440	10
$(I_i \cdot d_{i2} \cdot x_{i2})$	50	560	78.610	10
$(I_i \cdot d_{i1} \cdot x_{i3})$				
Kapasitas layanan i	170	1480	219.200	30
Total kapasitas yang digunakan	220.880			
Pendapatan $((\alpha + \beta \cdot I_i) \cdot p_{ik} \cdot x_{ik})$				
$((\alpha + \beta \cdot I_i) \cdot p_{i1} \cdot x_{i1})$	153	2.295	765	561
$((\alpha + \beta \cdot I_i) \cdot p_{i2} \cdot x_{i2})$	306	1.071	1.224	918
$((\alpha + \beta \cdot I_i) \cdot p_{i2} \cdot x_{i3})$	459	1.530	1.326	612
Pendapatan dari layanan i	918	4.896	3.315	2.091
Total pendapatan	11.220			

Berdasarkan tabel di atas dapat diperoleh kapasitas pengguna untuk setiap layanan. Untuk layanan 1 memiliki total kapasitas pengguna 170 dari 220880 atau $\frac{170}{220880} \times 100\% = 0,07\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Untuk layanan 2 memiliki total kapasitas pengguna 1480 dari 220880 atau $\frac{1480}{220880} \times 100\% = 0,67\%$ dari total kapasitas yang disediakan. Untuk layanan 3 memiliki kapasitas pengguna 219200 dari 220880 atau $\frac{219200}{220880} \times 100\% = 99,24\%$. Untuk layanan 4 memiliki kapasitas pengguna 30 dari 220880 atau $\frac{30}{220880} \times 100\% = 0,01\%$. Keuntungan yang di peroleh yaitu sebesar 11.220 rupiah dengan total kapasitas layanan sebesar 220.880 kbps.

Tabel. 4 18. Solusi kasus 1 α dan β konstanta dan $I_i < I_{i-1}$

Solver Status	
Model Class	MINLP
State	Local Optimal
Objective	834,897
Infeasibility	$4,34 \cdot 10^{-17}$
Iterations	64
Extended Solver Status	
Solver Type	Branch and Bound
Best Objective	834,897

<i>Objective bound</i>	834,897
<i>Steps</i>	3
<i>Update Interval</i>	2
<i>Active</i>	0
<i>GMU (K)</i>	37
<i>ER (sec)</i>	0

Tabel. 4 18 menampilkan solusi optimal yaitu sebesar 834,897. Hasil ini didapatkan dengan iterasi sebanyak 64 dan infesibility bernilai $4,34 \cdot 10^{-17}$. *Extended solver* status menunjukkan metode yang digunakan, dalam penyelesaian kasus ini digunakan metode Branch and Bound dengan nilai objektif 834,897. *Generated Memory Used* (GMU) menunjukkan jumlah alokasi memori yang digunakan yaitu sebesar 37K dan *Elapsed Runtime* (ER) menuunjukkan total waktu yang digunakan untuk menghasilkan dan menyelesaikan model yaitu 0 detik

Tabel. 4 19. Nilai Variabel dalam Jaringan *Multi Layanan* pada Kasus 1 Untuk $I_i < I_{i-1}$

Variabel	Layanan (i)			
	1	2	3	4
I_i	1	1	0,93	0,93
x_i	10	10	10	10

Tabel. 4 20. Solusi Lanjut Kasus 1 untuk $I_i < I_{i-1}$

Solusi Lanjut	Layanan (i)			
	1	2	3	4
Kapasitas yang digunakan				
$(I_i \cdot d_{ik} \cdot x_{ik})$	50	170	7.579,5	9,3
$(I_i \cdot d_{i1} \cdot x_{i1})$	70	750	123.169,2	9,3
$(I_i \cdot d_{i2} \cdot x_{i2})$	50	560	73.107,3	9,3
$(I_i \cdot d_{i1} \cdot x_{i3})$				
Kapasitas layanan i	170	1.480	203.856	27,9
Total kapasitas yang digunakan	205.533,9			

Pendapatan $((\alpha+\beta \cdot I_i) \cdot p_{ik} \cdot x_{ik})$				
$((\alpha+\beta \cdot I_i) \cdot p_{i1} \cdot x_{i1})$	153	2.295	712,5	522,5
$((\alpha+\beta \cdot I_i) \cdot p_{i2} \cdot x_{i2})$	306	1.071	1.140	855
$((\alpha+\beta \cdot I_i) \cdot p_{i2} \cdot x_{i3})$	459	1.530	1.235	570
Pendapatan dari layanan i	918	4.896	3.087,5	1.947,5
Total pendapatan	10.849			

Berdasarkan tabel di atas dapat diperoleh kapasitas pengguna untuk setiap layanan. Untuk layanan 1 memiliki total kapasitas pengguna 170 dari 205.533,9 atau $\frac{170}{205533,9} \times 100\% = 0,08 \%$ dari kapasitas total yang digunakan. Untuk layanan 2 memiliki total kapasitas pengguna 1480 dari 205533,9 atau $\frac{1480}{205533,9} \times 100\% = 0,72 \%$ dari total kapasitas yang disediakan. Untuk layanan 3 memiliki kapasitas pengguna 203856 dari 205533,9 atau $\frac{203856}{205533,9} \times 100\% = 99,18 \%$. Untuk layanan 4 memiliki kapasitas pengguna 27,3 dari 205533,9 atau $\frac{27,3}{205533,9} \times 100\% = 0,13 \%$. Keuntungan yang di peroleh yaitu sebesar 10.849 rupiah dengan total kapasitas layanan sebesar 205.533,9 kbps.

Tabel. 4 21. Rekapitulasi Kapasitas dan Total Keuntungan pada kasus 1

Kasus	$I_i = I_{i-1}$	$I_i < I_{i-1}$
Kapasitas total yang digunakan	220.880	205.533,9
PerSentase kapasitas total yang digunakan	100%	93,05%
Total keuntungan	11.220	10.849

Berdasarkan rekapitulasi dari tabel di atas diperoleh bahwa penyedia layanan atau ISP mendapatkan keuntungan maksimal sebesar Rp.11.220 per kbps pada kasus 1 α, β Konstanta dan $I_i = I_{i-1}$.

Kasus 2 : α Konstanta dan β Variabel

Model yang diperoleh pada sub bab 4.3.2 diselesaikan menggunakan Progam LINDO 11.0. Untuk memperoleh solusi optimal pada kasus 2 digunakan modifikasi indeks layanan i (Ii) dan

kualitas premium layanan i (β_i) sehingga dalam kasus 2 terdapat 9 kasus, yaitu :

- 10) α konstanta dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i=I_{i-1}$
- 11) α konstanta dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i>I_{i-1}$
- 12) α konstanta dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i<I_{i-1}$
- 13) α konstanta dan β_i sebagai $\beta_i> \beta_{i-1}$ untuk $I_i=I_{i-1}$
- 14) α konstanta dan β_i sebagai $\beta_i> \beta_{i-1}$ untuk $I_i>I_{i-1}$
- 15) α konstanta dan β_i sebagai $\beta_i> \beta_{i-1}$ untuk $I_i<I_{i-1}$
- 16) α konstanta dan β_i sebagai $\beta_i< \beta_{i-1}$ untuk $I_i=I_{i-1}$
- 17) α konstanta dan β_i sebagai $\beta_i< \beta_{i-1}$ untuk $I_i>I_{i-1}$
- 18) α konstanta dan β_i sebagai $\beta_i< \beta_{i-1}$ untuk $I_i<I_{i-1}$

Dengan menyelesaikan setiap kasus meggunakan program LINDO 11.0 diperoleh solusi optimal pada kasus α konstanta dan β sebagai variabel yang menghasilkan solusi yang memenuhi dan sesuai dengan kondisi adalah pada $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i=I_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i>I_{i-1}$. Tabel berikut akan menyajikan hasil solusi optimal, nilai variabel dan solusi lanjut untuk model skema pembiayaan internet untuk kasus α konstanta, $\beta_i = \beta_{i-1}$, $I_i=I_{i-1}$ dan α konstanta $\beta_i = \beta_{i-1}$, $I_i>I_{i-1}$

Tabel. 4 22. Solusi optimal kasus 2 α konstanta $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$.

Solver Status	
Model Class	MINLP
State	Local Optimal
Objective	930
Infeasibility	$8,5 \cdot 10^{-17}$
Iterations	264
Extended Solver Status	
Solver Type	Branch and Bound
Best Objective	930
Objective bound	930
Steps	6
Update Interval	2
Active	0
GMU (K)	39
ER (sec)	1

Tabel. 4 22 menampilkan solusi optimal yaitu sebesar 930. Hasil ini didapatkan dengan iterasi sebanyak 264 dan infesibility bernilai $8,5 \cdot 10^{-17}$. Extended solver status menunjukkan metode yang digunakan, dalam penyelesaian kasus ini digunakan metode Branch and Bound dengan nilai objektif 930. *Generated Memory Used* (GMU) menunjukkan jumlah alokasi memori yang digunakan yaitu sebesar 39K dan *Elapsed Runtime* (ER) menuunjukkan total waktu yang digunakan untuk menghasilkan dan menyelesaikan model yaitu 1 detik.

Tabel. 4 23. Nilai Variabel dalam Jaringan *Multi* Layanan pada Kasus 2 untuk $\beta_i = \beta_{i-1}$ dan $I_i = I_{i-1}$

Variabel	Layanan (i)			
	1	2	3	4
I_i	1	1	1	1
x_i	10	10	10	10
β_i	1	1	1	1

Tabel. 4 24. Solusi Lanjut Kasus 2 untuk $\beta_i < \beta_{i-1}$ dan $I_i > I_{i-1}$

Solusi Lanjut	Layanan (i)			
	1	2	3	4
Kapasitas yang digunakan				
$(I_i \cdot d_{ik} \cdot x_{ik})$	50	170	8.150	10
$(I_i \cdot d_{i1} \cdot x_{i1})$	70	750	132.440	10
$(I_i \cdot d_{i2} \cdot x_{i2})$	50	560	78.610	10
$(I_i \cdot d_{i1} \cdot x_{i3})$				
Kapasitas layanan i	170	1.480	219.200	30
Total kapasitas yang digunakan	220.880			
Pendapatan $((\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_{ik} \cdot x_{ik})$				
$((\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_{i1} \cdot x_{i1})$	33	495	165	121
$((\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_{i2} \cdot x_{i2})$	66	230,1	264	198
$((\alpha + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_{i2} \cdot x_{i3})$	99	330	286	132
Pendapatan dari layanan i	198	1055,1	715	451
Total pendapatan	3276,2			

Berdasarkan tabel di atas dapat diperoleh kapasitas pengguna untuk setiap layanan. Untuk layanan 1 memiliki total kapasitas pengguna 170 dari 220880 atau $\frac{170}{220880} \times 100\% = 0,07 \%$ dari kapasitas

total yang digunakan. Untuk layanan 2 memiliki total kapasitas pengguna 1480 dari 220880 atau $\frac{1480}{220880} \times 100\% = 0,67\%$ dari total kapasitas yang disediakan. Untuk layanan 3 memiliki kapasitas pengguna 219200 dari 220880 atau $\frac{219200}{220880} \times 100\% = 99,24\%$. Untuk layanan 4 memiliki kapasitas pengguna 30 dari 220880 atau $\frac{30}{220880} \times 100\% = 0,01\%$. Keuntungan yang di peroleh yaitu sebesar 1.973,6 rupiah dengan total kapasitas layanan sebesar 220.880 kbps.

Tabel. 4 25. Solusi kasus 2 α konstanta dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ konstanta dan $I_i > I_{i-1}$.

Solver Status	
Model Class	MINLP
State	Local Optimal
Objective	831,343
Infeasibility	$1,31 \cdot 10^{-16}$
Iterations	240
Extended Solver Status	
Solver Type	Branch and Bound
Best Objective	831,343
Objective bound	831,343
Steps	7
Update Interval	2
Active	4
GMU (K)	39
ER (sec)	1

Tabel. 4 25 menampilkan solusi optimal yaitu sebesar 831,343. Hasil ini didapatkan dengan iterasi sebanyak 240 dan infesibility bernilai $1,31 \cdot 10^{-16}$. Extended solver status menunjukkan metode yang digunakan, dalam penyelesaian kasus ini digunakan metode Branch and Bound dengan nilai objektif 834,897. *Generated Memory Used* (GMU) menunjukkan jumlah alokasi memori yang digunakan yaitu sebesar 39K dan *Elapsed Runtime* (ER) menuunjukkan total waktu yang digunakan untuk menghasilkan dan menyelesaikan model yaitu 0 detik

Tabel. 4 26. Nilai Variabel dalam Jaringan *Multi* Layanan pada α konstanta dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ konstanta dan $I_i > I_{i-1}$

Variabel	Layanan (i)			
	1	2	3	4
I_i	0,94	0,94	0,94	1
x_i	10	10	10	10
β_i	1	1	1	1

Tabel. 4 27. Solusi Lanjut Kasus 2 untuk $\beta_i = \beta_{i-1}$, $I_i > I_{i-1}$

Solusi Lanjut	Layanan (i)			
	1	2	3	4
Kapasitas yang digunakan ($I_i \cdot d_{ik} \cdot x_{ik}$)	47	159,8	7661	9,4
($I_i \cdot d_{i1} \cdot x_{i1}$)	65,8	705	124493,6	9,4
($I_i \cdot d_{i2} \cdot x_{i2}$)	47	526,4	73893,4	9,4
($I_i \cdot d_{i1} \cdot x_{i3}$)				
Kapasitas layanan i	159,8	1391,2	206048	28,2
Total kapasitas yang digunakan	207627,2			
Pendapatan (($\alpha + \beta \cdot I_i$) $\cdot p_{ik} \cdot x_{ik}$)				
(($\alpha + \beta \cdot I_i$) $\cdot p_{i1} \cdot x_{i1}$)	31,2	468	156	114,4
(($\alpha + \beta \cdot I_i$) $\cdot p_{i2} \cdot x_{i2}$)	62,4	218,4	249,6	187,2
(($\alpha + \beta \cdot I_i$) $\cdot p_{i2} \cdot x_{i3}$)	93,6	312	270,4	124,8
Pendapatan dari layanan i	187,2	998,4	676	426,4
Total pendapatan	2.288			

Berdasarkan tabel di atas dapat diperoleh kapasitas pengguna untuk setiap layanan. Untuk layanan 1 memiliki total kapasitas pengguna 170 dari 220880 atau $\frac{170}{220880} \times 100\% = 0,07\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Untuk layanan 2 memiliki total kapasitas pengguna 1480 dari 220880 atau $\frac{1480}{220880} \times 100\% = 0,67\%$ dari total kapasitas yang disediakan. Untuk layanan 3 memiliki kapasitas pengguna 219200 dari 220880 atau $\frac{219200}{220880} \times 100\% = 99,24\%$. Untuk layanan 4 memiliki kapasitas pengguna 30 dari 220880 atau $\frac{30}{220880} \times 100\% = 0,01\%$. Keuntungan yang di peroleh yaitu sebesar 2.288 rupiah dengan total kapasitas layanan sebesar 220.880 kbps.

Tabel. 4 28. Rekapitulasi Kapasitas dan Total Keuntungan pada kasus 2

Kasus	$I_i = I_{i-1}$	$I_i > I_{i-1}$
Kapasitas total yang digunakan	220.880	207.627,2
PerSentase kapasitas total yang digunakan	100%	94,02%
Total keuntungan	3.276,2	2.288

Berdasarkan rekapitulasi dari tabel di atas diperoleh bahwa penyedia layanan atau ISP mendapatkan keuntungan maksimal sebesar Rp.3276,2 per kbps pada kasus 2 α konstanta, dan pada saat $\beta_i = \beta_{i-1}$ dan $I_i > I_{i-1}$ dengan keuntungan maksimal.

Kasus 3 : α Variabel dan β Konstanta

Model yang diperoleh pada sub bab 4.3.4 diselesaikan menggunakan Program LINDO 11.0. Untuk memperoleh solusi optimal pada kasus 3 digunakan modifikasi harga dasar layanan i (α_i), dan indeks layanan i (I_i) sehingga dalam kasus 3 terdapat 9 kasus, yaitu :

- 10) α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β sebagai konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$
- 11) α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β sebagai konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$
- 12) α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β sebagai konstanta untuk $I_i < I_{i-1}$
- 13) α_i sebagai $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β sebagai konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$
- 14) α_i sebagai $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β sebagai konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$
- 15) α_i sebagai $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β sebagai konstanta untuk $I_i < I_{i-1}$
- 16) α_i sebagai $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β sebagai konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$
- 17) α_i sebagai $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β sebagai konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$
- 18) α_i sebagai $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β sebagai konstanta untuk $I_i < I_{i-1}$

Dengan menyelesaikan setiap kasus menggunakan program LINDO 11.0 diperoleh solusi optimal pada kasus α variabel dan β sebagai konstanta yang menghasilkan solusi yang memenuhi dan sesuai dengan kondisi adalah pada $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$ dan $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$. Tabel berikut akan menyajikan hasil solusi optimal, nilai variabel dan solusi lanjut untuk model skema pembiayaan internet untuk kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$, β konstanta, $I_i = I_{i-1}$ dan $\alpha_i = \alpha_{i-1}$, β konstanta, $I_i > I_{i-1}$

Tabel. 4 29. Solusi kasus 3 $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β konstanta untuk $I_i=I_{i-1}$

Solver Status	
Model Class	MINLP
State	Local Optimal
Objective	2309,99
Infeasibility	$1,05 \cdot 10^{-4}$
Iterations	30
Extended Solver Status	
Solver Type	Branch and Bound
Best Objective	2309,99
Objective bound	2309,99
Steps	0
Update Interval	2
Active	0
GMU (K)	40
ER (sec)	1

Tabel. 4 29 menampilkan solusi optimal yaitu sebesar 2309,99. Hasil ini didapatkan dengan iterasi sebanyak 30 dan infesibility bernilai $1,05 \cdot 10^{-4}$. Extended solver status menunjukkan metode yang digunakan, dalam penyelesaian kasus ini digunakan metode Branch and Bound dengan nilai objektif 2309,99. *Generated Memory Used* (GMU) menunjukkan jumlah alokasi memori yang digunakan yaitu sebesar 40K dan *Elapsed Runtime* (ER) menuunjukkan total waktu yang digunakan untuk menghasilkan dan menyelesaikan model yaitu 1 detik.

Tabel. 4 30.Nilai Variabel dalam Jaringan *Multi Layanan* pada Kasus 3 $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β konstanta untuk $I_i=I_{i-1}$

Variabel	Layanan (i)			
	1	2	3	4
I_i	0,01	0,01	0,01	0,01
x_i	10	10	10	10
α_i	1	1	1	1

Tabel. 4 31. Solusi Lanjut Kasus 3 $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β konstanta untuk $I_i=I_{i-1}$

Solusi Lanjut	Layanan (i)			
	1	2	3	4
Kapasitas yang digunakan				
$(I_i \cdot d_{ik} \cdot x_{ik})$	0,5	1,7	81,5	0,1
$(I_i \cdot d_{i1} \cdot x_{i1})$	0,7	7,5	1.324,4	0,1
$(I_i \cdot d_{i2} \cdot x_{i2})$	0,5	5,6	786,1	0,1
$(I_i \cdot d_{i1} \cdot x_{i3})$				
Kapasitas layanan i	1,7	14,8	2.192	0,3
Total kapasitas yang digunakan	2.208,8			
Pendapatan $((\alpha_i + \beta \cdot I_i) \cdot p_{ik} \cdot x_{ik})$				
$((\alpha_i + \beta \cdot I_i) \cdot p_{i1} \cdot x_{i1})$	30,15	452,25	150,75	110,55
$((\alpha_i + \beta \cdot I_i) \cdot p_{i2} \cdot x_{i2})$	60,3	211,05	241,2	180,9
$((\alpha_i + \beta \cdot I_i) \cdot p_{i2} \cdot x_{i3})$	90,45	301,5	261,3	120,6
Pendapatan dari layanan i	180,9	964,8	653,25	412,05
Total pendapatan	2.211			

Berdasarkan tabel di atas dapat diperoleh kapasitas pengguna untuk setiap layanan. Untuk layanan 1 memiliki total kapasitas pengguna 1,7 dari 2.208,8 atau $\frac{1,7}{2.208,8} \times 100\% = 0,07\%$ dari kapasitas total yang digunakan. Untuk layanan 2 memiliki total kapasitas pengguna 148 dari 2.208,8 atau $\frac{148}{2208,8} \times 100\% = 0,67\%$ dari total kapasitas yang disediakan. Untuk layanan 3 memiliki kapasitas pengguna 2.192 dari 2.208,8 atau $\frac{2192}{2208,8} \times 100\% = 99,24\%$. Untuk layanan 4 memiliki kapasitas pengguna 0,3 dari 2.208,8 atau $\frac{0,3}{2.208,8} \times 100\% = 0,01\%$. Keuntungan yang di peroleh yaitu sebesar 2.211 rupiah dengan total kapasitas layanan sebesar 2.208,8 kbps.

Tabel. 4 32. Solusi kasus 3 $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β konstanta untuk $I_i>I_{i-1}$

Solver Status	
Model Class	MINLP
State	Local Optimal
Objective	2493,54
Infeasibility	$1,14 \cdot 10^{-13}$
Iterations	162

Extended Solver Status	
Solver Type	Branch and Bound
Best Objective	2493,54
Objective bound	2493,54
Steps	5
Update Interval	2
Active	0
GMU (K)	40
ER (sec)	0

Tabel. 4 32 menampilkan solusi optimal yaitu sebesar 2493,54. Hasil ini didapatkan dengan iterasi sebanyak 30 dan infesibility bernilai $1,14 \cdot 10^{-13}$. Extended solver status menunjukkan metode yang digunakan, dalam penyelesaian kasus ini digunakan metode Branch and Bound dengan nilai objektif 2493,54. *Generated Memory Used* (GMU) menunjukkan jumlah alokasi memori yang digunakan yaitu sebesar 40K dan *Elapsed Runtime* (ER) menuunjukkan total waktu yang digunakan untuk menghasilkan dan menyelesaikan model yaitu 0 detik.

Tabel. 4 33. Nilai Variabel dalam Jaringan *Multi* Layanan pada Kasus 3 $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$

Variabel	Layanan (i)			
	1	2	3	4
I_i	0,09	0,09	0.09	1
x_i	10	10	10	10
α_i	1	1	1	1

Tabel. 4 34. Solusi Lanjut Kasus 3 $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$

Solusi Lanjut	Layanan (i)			
	1	2	3	4
Kapasitas yang digunakan ($I_i \cdot d_{ik} \cdot x_{ik}$)	4,5	15,3	733,5	10
($I_i \cdot d_{i1} \cdot x_{i1}$)	6,3	67,5	11.919,6	10
($I_i \cdot d_{i2} \cdot x_{i2}$)	4,5	50,4	7.074,9	10
($I_i \cdot d_{i1} \cdot x_{i3}$)				
Kapasitas layanan i	15,3	133,2	19.728	30
Total kapasitas yang digunakan	19.906,5			
Pendapatan $((\alpha_i + \beta \cdot I_i) \cdot p_{ik} \cdot x_{ik})$				
$((\alpha_i + \beta \cdot I_i) \cdot p_{i1} \cdot x_{i1})$	31,35	470,25	156,75	165
$((\alpha_i + \beta \cdot I_i) \cdot p_{i2} \cdot x_{i2})$	62,7	219,45	250,8	270
$((\alpha_i + \beta \cdot I_i) \cdot p_{i2} \cdot x_{i3})$	94,05	313,5	271,7	180
Pendapatan dari layanan i	188,1	1003,2	679,25	615
Total pendapatan	2.485,55			

Berdasarkan tabel di atas dapat diperoleh kapasitas pengguna untuk setiap layanan. Untuk layanan 1 memiliki total kapasitas pengguna 15,3 dari 19.906,5 atau $\frac{15,3}{19.906,5} \times 100\% = 0,08 \%$ dari kapasitas total yang digunakan. Untuk layanan 2 memiliki total kapasitas pengguna 133,2 dari 19.906,5 atau $\frac{133,2}{19.906,5} \times 100\% = 0,67 \%$ dari total kapasitas yang disediakan. Untuk layanan 3 memiliki kapasitas pengguna 19.728 dari 19.906,5 atau $\frac{19.728}{19.906,5} \times 100\% = 99,10 \%$. Untuk layanan 4 memiliki kapasitas pengguna 30 dari 19.906,5 atau $\frac{30}{19.906,5} \times 100\% = 0,15 \%$. Keuntungan yang di peroleh yaitu sebesar 2.485,55 rupiah dengan total kapasitas layanan sebesar 19.906,5 kbps.

Tabel. 4 35. Rekapitulasi Kapasitas dan Total Keuntungan pada kasus 3

Kasus	$I_i = I_{i-1}$	$I_i > I_{i-1}$
Kapasitas total yang digunakan	2.208,8	19.906,5
PerSentase kapasitas total yang digunakan	11,10%	100%
Total keuntungan	2.088,8	2.485,55

Berdasarkan rekapitulasi dari tabel di atas diperoleh bahwa penyedia layanan atau ISP mendapatkan keuntungan maksimal sebesar Rp.2.485,55 per kbps pada kasus 3 α konstanta, $\beta_i = \beta_{i-1}$ dan $I_i > I_{i-1}$

Kasus 4 : α dan β sebagai Variabel

Model yang diperoleh pada sub bab 4.3.3 diselesaikan menggunakan Program LINDO 11.0. Untuk memperoleh solusi optimal pada kasus 3 digunakan modifikasi kasus berdasarkan harga dasar layanan i (α_i), kualitas premium layanan i (β_i), dan indeks layanan i (I_i) sehingga dalam kasus 1 terdapat 27 kasus, yaitu :

- 28) α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$
- 29) α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$
- 30) α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$
- 31) α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$
- 32) α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$
- 33) α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$
- 34) α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$
- 35) α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$
- 36) α_i sebagai $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$
- 37) α_i sebagai $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$
- 38) α_i sebagai $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$
- 39) α_i sebagai $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$
- 40) α_i sebagai $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$
- 41) α_i sebagai $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$
- 42) α_i sebagai $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$
- 43) α_i sebagai $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$
- 44) α_i sebagai $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$
- 45) α_i sebagai $\alpha_i > \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$

- 46) α_i sebagai $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$
- 47) α_i sebagai $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$
- 48) α_i sebagai $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$
- 49) α_i sebagai $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$
- 50) α_i sebagai $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$
- 51) α_i sebagai $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$
- 52) α_i sebagai $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$
- 53) α_i sebagai $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$
- 54) α_i sebagai $\alpha_i < \alpha_{i-1}$ dan β_i sebagai $\beta_i < \beta_{i-1}$ untuk $I_i < I_{i-1}$.

Dengan menyelesaikan setiap kasus menggunakan program LINDO 11.0 diperoleh solusi optimal pada kasus α dan β sebagai variabel yang menghasilkan solusi yang memenuhi dan sesuai dengan kondisi adalah pada $\alpha_i = \alpha_{i-1}$, $\beta_i > \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$ dan $\alpha_i = \alpha_{i-1}$, $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$. Tabel berikut akan menyajikan hasil solusi optimal, nilai variabel dan solusi lanjut untuk model skema pembiayaan internet untuk kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$, $\beta_i = \beta_{i-1}$, $I_i = I_{i-1}$ dan $\alpha_i = \alpha_{i-1}$, $\beta_i = \beta_{i-1}$, $I_i > I_{i-1}$

Tabel. 4 36. Solusi kasus 4 $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i = I_{i-1}$

Solver Status	
Model Class	MINLP
State	Local Optimal
Objective	2309,99
Infeasibility	$1,98 \cdot 10^{-5}$
Iterations	31
Extended Solver Status	
Solver Type	Branch and Bound
Best Objective	2309,99
Objective bound	2309,99
Steps	1
Update Interval	2
Active	0
GMU (K)	42
ER (sec)	0

Tabel. 4 36 menampilkan solusi optimal yaitu sebesar 2309,99. Hasil ini didapatkan dengan iterasi sebanyak 31 kali dan infesibility bernilai $1,98 \cdot 10^{-5}$. Extended solver status menunjukkan metode yang

digunakan, dalam penyelesaian kasus ini digunakan metode Branch and Bound dengan nilai objektif 2309,99. *Generated Memory Used* (GMU) menunjukkan jumlah alokasi memori yang digunakan yaitu sebesar 42K dan *Elapsed Runtime* (ER) menuunjukkan total waktu yang digunakan untuk menghasilkan dan menyelesaikan model yaitu 0 detik.

Tabel. 4 37. Nilai Variabel dalam Jaringan *Multi* Layanan pada Kasus 1 untuk

Variabel	Layanan (i)			
	1	2	3	4
I_i	0,01	0,01	0,01	0,01
x_i	10	10	10	10
α_i	0,5	0,5	0,5	0,5
β_i	1	1	1	1

Tabel. 4 38. Solusi Lanjut Kasus 4 $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i=I_{i-1}$

Solusi Lanjut	Layanan (i)			
	1	2	3	4
Kapasitas yang digunakan				
$(I_i \cdot d_{ik} \cdot x_{ik})$	5	17	815	1
$(I_i \cdot d_{i1} \cdot x_{i1})$	7	75	13.244	1
$(I_i \cdot d_{i2} \cdot x_{i2})$	5	56	7.861	1
$(I_i \cdot d_{i1} \cdot x_{i3})$				
Kapasitas layanan i	17	56	175362	3
Total kapasitas yang digunakan	22.088			
Pendapatan $((\alpha_i + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_{ik} \cdot x_{ik})$				
$((\alpha_i + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_{i1} \cdot x_{i1})$	15,3	229,5	76,5	56,1
$((\alpha_i + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_{i2} \cdot x_{i2})$	30,6	107,1	122,4	91,8
$((\alpha_i + \beta_i \cdot I_i) \cdot p_{i2} \cdot x_{i3})$	45,9	153	132,6	61,2
Pendapatan dari layanan i	91,8	489,6	331,5	209,1
Total pendapatan	1.122			

Berdasarkan tabel di atas dapat diperoleh kapasitas pengguna untuk setiap layanan. Untuk layanan 1 memiliki total kapasitas pengguna 1,7 dari 2.208,8 atau $\frac{17}{22088} \times 100\% = 0,07 \%$ dari kapasitas total yang digunakan. Untuk layanan 2 memiliki total kapasitas

pengguna 148 dari 22088 atau $\frac{148}{22088} \times 100\% = 0,67\%$ dari total kapasitas yang disediakan. Untuk layanan 3 memiliki kapasitas pengguna 21920 dari 22088 atau $\frac{21920}{22088} \times 100\% = 99,24\%$. Untuk layanan 4 memiliki kapasitas pengguna 3 dari 22088 atau $\frac{03}{22088} \times 100\% = 0,01\%$. Keuntungan yang di peroleh yaitu sebesar 1.122 rupiah dengan total kapasitas layanan sebesar 22088 kbps.

Tabel. 4 39. Solusi kasus 4 $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ konstanta untuk $I_i > I_{i-1}$

Solver Status	
Model Class	MINLP
State	Local Optimal
Objective	2493,54
Infeasibility	$1,14 \cdot 10^{-13}$
Iterations	166
Extended Solver Status	
Solver Type	Branch and Bound
Best Objective	2493,54
Objective bound	2493,54
Steps	6
Update Interval	2
Active	0
GMU (K)	40
ER (sec)	0

Tabel. 4 39 menampilkan solusi optimal yaitu sebesar 2493,54. Hasil ini didapatkan dengan iterasi sebanyak 166 dan infesibility bernilai $1,14 \cdot 10^{-13}$. Extended solver status menunjukkan metode yang digunakan, dalam penyelesaian kasus ini digunakan metode Branch and Bound dengan nilai objektif 2493,54. *Generated Memory Used* (GMU) menunjukkan jumlah alokasi memori yang digunakan yaitu sebesar 40K dan *Elapsed Runtime* (ER) menuunjukkan total waktu yang digunakan untuk menghasilkan dan menyelesaikan model yaitu 0 detik.

Tabel. 4 40. Nilai Variabel dalam Jaringan *Multi* Layanan pada Kasus 4 $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Variabel	Layanan (i)			
	1	2	3	4
I_i	0,09	0,09	0,09	1
x_i	10	10	10	10
α_i	0,5	0,5	0,5	0,5
β_i	1	1	1	1

Tabel. 4 41. Solusi Lanjut Kasus 4 $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Solusi Lanjut	Layanan (i)			
	1	2	3	4
Kapasitas yang digunakan				
$(I_i \cdot d_{ik} \cdot x_{ik})$	4,5	15,3	733,5	10
$(I_i \cdot d_{i1} \cdot x_{i1})$	6,3	67,5	11.919,6	10
$(I_i \cdot d_{i2} \cdot x_{i2})$	4,5	50,4	7.074,9	10
$(I_i \cdot d_{i1} \cdot x_{i3})$				
Kapasitas layanan i	15,3	133,2	19.728	30
Total kapasitas yang digunakan	19.906,5			
Pendapatan $((\alpha_i + \beta \cdot I_i) \cdot p_{ik} \cdot x_{ik})$				
$((\alpha_i + \beta \cdot I_i) \cdot p_{i1} \cdot x_{i1})$	17,7	265,5	88,5	55
$((\alpha_i + \beta \cdot I_i) \cdot p_{i2} \cdot x_{i2})$	35,4	123,9	141,6	90
$((\alpha_i + \beta \cdot I_i) \cdot p_{i2} \cdot x_{i3})$	53,1	177	153,4	60
Pendapatan dari layanan i	106,2	566,4	383,5	205
Total pendapatan	1.261,1			

Berdasarkan tabel di atas dapat diperoleh kapasitas pengguna untuk setiap layanan. Untuk layanan 1 memiliki total kapasitas pengguna 15,3 dari 19.906,5 atau $\frac{15,3}{19.906,5} \times 100\% = 0,08 \%$ dari kapasitas total yang digunakan. Untuk layanan 2 memiliki total kapasitas pengguna 133,2 dari 19.906,5 atau $\frac{133,2}{19.906,5} \times 100\% = 0,67 \%$ dari total kapasitas yang disediakan. Untuk layanan 3 memiliki kapasitas pengguna 19.728 dari 19.906,5 atau $\frac{19.728}{19.906,5} \times 100\% = 99,10 \%$. Untuk layanan 4 memiliki kapasitas pengguna 30 dari

19.906,5 atau $\frac{30}{19.906,5} \times 100\% = 0,15 \%$. Keuntungan yang di peroleh yaitu sebesar 1.261,1 rupiah dengan total kapasitas layanan sebesar 19.906,5 kbps.

Tabel. 4 42. Rekapitulasi Kapasitas dan Total Keuntungan pada kasus 4

Kasus	$I_i = I_{i-1}$	$I_i > I_{i-1}$
Kapasitas total yang digunakan	2.208,8	19.906,5
PerSentase kapasitas total yang digunakan	11,10%	100%
Total keuntungan	1.122	1.261,1

Berdasarkan rekapitukasi dari tabel di atas diperoleh bahwa penyedia layanan atau ISP mendapatkan keuntungan maksimal sebesar Rp.1.261,1 per kbps pada kasus 4 $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ untuk $I_i > I_{i-1}$

Berdasarkan hasil solusi model jaringan *multi* layanan pada Sub Bab 3.4 sampai Sub Bab 3.7 diperoleh rekapitulasi solusi dari penggunaan model skema pembiayaan internet pada setiap kasus yang dapat dilihat dalam Tabel. 4.43

Tabel. 4 43. Rekapitulasi Solusi Model pada Jaringan *Multi* Layanan

Solusi Lanjut	Kasus			
	1	2	3	4
Kapasitas total yang digunakan (kpbs)	220.880	220.880	19.906,5	19.906,5
PerSentase kapasitas total yang digunakan	100%	100%	100%	100%
Pendapatan terbesar per layanan (Rp/kpbs)	4.896	1.055,1	1.003,2	566,4
Total pendapatan (Rp/kpbs)	11.220	3.276,2	2.485,55	1.261,1

Hasil rekapitulasi pada Tabel. 4 43 menunjukkan bahwa total pendapatan maksimal diperoleh pada kasus 1 dengan α dan β konstanta untuk $I_i = I_{i-1}$ yaitu sebesar 11.220 rupiah (per kpbs). Jadi, ISP dapat mengadopsi model skema pembiayaan internet pada jaringan *multi*

layanan dengan mengatur harga dasar layanan i (α_i) dengan nilai indeks layanan lebih kecil dari indeks layanan awal dan kualitas premium β sebagai konstanta serta indeks layanan i (I_i) dengan syarat nilai harga dasar dan tingkat QoS sama untuk setiap layanan dan nilai indeks layanan harus lebih besar dari indeks layanan awal.

3.5 Perbandingan Model Modifikasi *Multi* Layanan

Setelah memodifikasi model dan menambahkan variabel pada jaringan *multi* layanan. Dengan 4 layanan dan 3 link serta memodifikasikan α, β sebagai konstanta ataupun variabel sehingga terdapat 4 kasus. Dari keempat kasus tersebut diantaranya adalah

- kasus 1 α, β sebagai konstanta memiliki 3 subkasus. Dari setiap subkasus yang ada pada kasus 1, dicari nilai optimal. Pada kasus 1 nilai optimal diperoleh pada subkasus α, β sebagai konstanta dengan $I_i = I_{i-1}$
- kasus 2 α konstanta dan β variabel memiliki 9 sub kasus. Dari setiap subkasus yang ada pada kasus 2, dicari nilai optimal. Pada kasus 2 nilai optimal diperoleh pada sub kasus α konstanta $\beta_i = \beta_{i-1}$ dengan $I_i < I_{i-1}$
- kasus 3 α variabel dan β konstanta memiliki 9 subkasus. Dari setiap subkasus yang ada pada kasus 3, dicari nilai optimal. Pada kasus 3 nilai optimal diperoleh pada sub kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β sebagai konstanta dengan $I_i > I_{i-1}$
- kasus 4 α, β variabel memiliki 27 subkasus. Dari setiap subkasus yang ada pada kasus 4, dicari nilai optimal. Pada kasus 4 nilai optimal diperoleh pada sub kasus $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ dengan $I_i > I_{i-1}$.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan (Sapitri, 2014) dan (Demupa, 2014) dalam skripsinya. Mereka membahas jaringan *multi* layanan dengan 3 layanan dan 2 link. Namun hasil yang didapat untuk memperoleh kasus atau subkasus dengan nilai yang optimal berbeda dengan kasus yang sedang saya teliti. Pada skripsi mereka subkasus optimal pada saat :

- untuk kasus 1 solusi optimal berada pada subkasus dengan α, β sebagai konstanta dengan $I_i = I_{i-1}$
- untuk kasus 2 solusi optimal berada pada subkasus dengan α konstanta $\beta_i = \beta_{i-1}$ dengan $I_i > I_{i-1}$

- untuk kasus 3 solusi optimal berada pada subkasus dengan $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan β sebagai konstanta dengan $I_i = I_{i-1}$
- untuk kasus 4 solusi optimal berada pada subkasus dengan $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $\beta_i = \beta_{i-1}$ dengan $I_i = I_{i-1}$

berdasarkan hasil di atas dapat terlihat perbedaan solusi optimal pada jaringan *multi* layanan dengan 4 atau 3 serta dengan link 3 atau 2. Jika dilihat profit untuk kasus layanan yang lebih banyak yaitu 4 layanan dan 3 link memiliki profit yang lebih besar daripada kasus *multi* layanan dengan 3 layanan dan 2 link. Model ini diselesaikan dengan bantuan program LINGO.011 namun untuk kasus 4 layanan dan 3 link ini merupakan batas kemampuan dari program LINGO.011.

6.4 KESIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari bab 4 dapat di simpulkan bahwa :

1. Untuk jaringan *multi* layanan pada kasus 1 dengan α dan β sebagai konstanta. Jika ISP menargetkan biaya yang di keluarkan harus kembali dan pengguna dapat memilih layanan yang sesuai dengan keinginan pengguna maka ISP dapat mengadopsi layanan yang telah mengalami modifikasi untuk $I_i = I_{i-1}$ dengan perSentase kapasitas layanan sebesar 100% dan keuntungan sebesar 11.220 Rp/kBps.
2. Untuk jaringan *multi* layanan pada kasus 2 dengan α konstanta dan β variabel. Jika ISP menargetkan biaya yang dikeluarkan harus kembali dan ISP dapat mempromosikan layanan-layanan QoS tertentu terhadap pengguna maka ISP dapat mengadopsi model yang telah mengalami modifikasi untuk $\beta_i = \beta_{i-1}$ dan $I_i < I_{i-1}$ dengan perSentase kapasitas layanan sebesar 100% dan keuntungan sebesar 3.276,2 Rp/kBps.
3. Untuk jaringan *multi* layanan pada kasus 3 dengan α variabel dan β konstanta. Jika ISP ingin bersaing di pasar dan pengguna dapat memilih layanan QoS yang sesuai dengan kebutuhan maka ISP dapat mengadopsi model yang telah mengalami modifikasi untuk $\alpha_i = \alpha_{i-1}$ dan $I_i > I_{i-1}$ dengan perSentase kapasitas

layanan sebesar 100% dan keuntungan sebesar 2.485,55 Rp/kBps.

4. Untuk jaringan layanan pada kasus 4 dengan α dan β variabel. Jika ISP ingin bersaing dipasar dan mempromosikan layanan-layanan QoS terhadap pengguna maka ISP dapat mengadopsi model yang telah mengalami modifikasi untuk $\alpha_i = \alpha_{i-1}$, $\beta_i = \beta_{i-1}$ dan $I_i > I_{i-1}$ dengan persentase layanan sebesar 100% dan keuntungan sebesar 1.261,1 Rp/kBps.

SARAN

Pada penelitian ini membahas modifikasi layanan *multiple* dengan jumlah layanan yaitu 4 dan jumlah link yaitu 3 dan model ini diselesaikan dengan bantuan program LINGO.11. Namun ini merupakan limit dari program LINGO.11 yang hanya bisa menyelesaikan model dengan layanan paling banyak 4 dan link paling banyak 3. Untuk penelitian selanjutnya disarankan mengembangkan model dengan jaringan yang lebih dari 4 dan link lebih dari 3 serta mencari program baru yang dapat membantu menyelesaikan model yang nantinya akan dibuat.

6.5 DAFTAR PUSTAKA

- Byun, J., & Chatterjee, S. (2004). A strategic pricing for *quality of service* (QoS) *network* business. Paper preSented at the Proceedings of the Tenth Americas Conference on Information Systems, New York.
- Demupa, L. (2014). MODEL SKEMA PEMBIAYAAN INTERNET LINK *MULTIPEL* PADA JARINGAN *MULTI* KELAS (*MULTI CLASS NETWORK*) DAN JARINGAN *MULTI* LAYANAN (*MULTI SERVICE NETWORK*). Universitas Sriwijaya, Palembang.
- Indrawati, Irmeilyana, Puspita, F. M., & Lestari, M. P. (2014). Cobb-Douglass Utility Function in Optimizing the Internet Pricing Scheme Model. *TELKOMNIKA*, 12(1).
- Irmeilyana, Indrawati, Puspita, F. M., & Amelia, R. T. (2014). Generalized Model and Optimal Solution of Internet Pricing Scheme in Single Link under *Multiservice Networks*. Paper preSented at the 1st International Conference on Computer Science and Engineering, Palembang, South Sumatera, Indonesia.
- Irmeilyana, Indrawati, Puspita, F. M., & Juniwati. (2014a). Model and optimal solution of single link pricing scheme *multiservice network*. *TELKOMNIKA*, 12(1), 173-178.
- Irmeilyana, Indrawati, Puspita, F. M., & Juniwati. (2014b). Model Dan Solusi Optimal Skema Pembiayaan Internet Link Tunggal Pada Jaringan *Multi Qos* (*Multiple Qos Network*). Paper preSented at the Seminar Nasional dan Rapat Tahunan bidang MIPA 2014, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Maryono, Y., & Istiana, B. P. (2008). Teknologi Informasi dan Komunikasi. In A. B. Darmadi (Ed.): Quadra.

- Puspita, F. M., Irmeilyana, & Indrawati. (2014). An Improved Model of Internet Pricing Scheme of *Multi Link Multi Service Network* with Various Value of Base Price, *Quality Premium* and *QoS Level*. Paper preSented at the 1st International Conference on Computer Science and Engineering, Palembang, South Sumatera, Indonesia.
- Puspita, F. M., Irmeilyana, Indrawati, Juniwati, & Dumepa, L. (2014). *Multi Link Internet Charging Scheme Serving Multi Class QoS*. Paper preSented at the International Conference on Education, Technology and Sciences, Jambi.
- Puspita, F. M., Irmeilyana, Indrawati, Susanti, E., Yuliza, E., & Sapitri, R. O. (2014). Model and optimal solution of *multi link pricing scheme in multiservice network*. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, September, 106-112.
- Puspita, F. M., Seman, K., & Taib, B. M. (2015). The Improved Models of Internet Pricing Scheme of *Multi Service Multi Link Networks* with Various Capacity Links. In H. A. Sulaiman, M. A. Othman, M. F. I. Othman, Y. A. Rahim & N. C. Pee (Eds.), *Advanced Computer and Communication Engineering Technology* (Vol. 315). Switzeland: Springer International Publishing.
- Sain, S., & Herpers, S. (2003). Profit Maximisation in *Multi Service Networks*- An Optimisation Model. Paper preSented at the Proceedings of the 11th European Conference on Information Systems ECIS 2003, Naples, Italy
- Sapitri, R. O. (2014). MODEL MODIFIKASI SKEMA PEMBIAYAAN INTERNET *MULTI LINK BOTTLENECK* PADA JARINGAN *MULTI LAYANAN*

(MULTI SERVICE NETWORK) DAN *MULTI KELAS QoS (MULTI CLASS QoS NETWORK)*. Universitas Sriwijaya, Palembang.

7.1 LATAR BELAKANG MASALAH MODEL SKEMA PEMBIAYAAN INTERNET NIRKABEL DALAM MELAYANI JARINGAN MULTIPLE QUALITY OF SERVICE (QoS)

Internet adalah seluruh jaringan komputer yang saling terhubung menggunakan standar sistem global *Transmission Control Protocol/Internet Protocol Suite* (TCP/IP) sebagai protokol pertukaran paket (*packet switching communication protocol*) untuk melayani miliaran pengguna di seluruh dunia.

Semakin banyak pengguna internet, tuntutan terhadap kualitas juga semakin besar. Ini merupakan tugas besar bagi penyedia layanan internet (*Internet Service Provider* atau disingkat ISP) untuk menyediakan kualitas layanan (*Quality of Service* atau disingkat QoS) yang lebih baik dan berbeda kepada *user* atau pengguna dalam mencapai kualitas informasi terbaik dengan biaya yang efisien. Terlebih di era saat ini, penggunaan internet sudah mencapai pada penggunaan internet nirkabel (tanpa kabel). Maka dari itu, sangat wajar apabila ISP bersaing dalam menentukan model pembiayaan internet nirkabel yang dapat memaksimalkan keuntungannya, namun dengan tidak melupakan kualitas layanan internetnya.

Pembiayaan internet merupakan suatu masalah ekonomi global. Pada dasarnya, skema pembiayaan terkini adalah didasarkan atas pembiayaan kecepatan tetap (*flatrate*) dan pembiayaan atas dasar pemakaian (*usage*). Pelanggan memiliki kecenderungan menggunakan pembiayaan *flatrate* karena skema tersebut sederhana. Namun, skema pembiayaan ini pada dasarnya memiliki kerugian karena tidak menyelesaikan permasalahan kongesti, dengan kata lain adanya kemacetan atau koneksi tidak berjalan, tetapi koneksi tidak berhenti, hanya lambat. Hal ini menyebabkan pembiayaan internet yang

didasarkan pada *flat rate* kurang tepat bagi perusahaan telekomunikasi (telcos) sebab skema dengan kecepatan tetap memiliki efek buruk dalam memaksimalkan laba dan ketidakmampuan skema dalam menghindari kongesti. Pelanggan harus membayar dengan biaya tinggi jika ingin mendapatkan kualitas layanan internet terbaik.

Jaringan *multipel* pada dasarnya merupakan bentuk jaringan sesungguhnya dalam internet generasi ketiga dengan konsep pengguna dapat berpindah dari satu QoS ke QoS lainnya karena keadaan tertentu yang berlaku. Akan tetapi, telcos sendiri mengalami kesulitan dalam mencari skema pembiayaan yang tepat pada jaringan *multipel* QoS ini. Itulah kenapa diperlukan pengoptimalan pembiayaan internet dengan mempertimbangkan jaringan nirkabel *multipel* QoS yang pada dasarnya dapat menguntungkan ISP dan pengguna.

Sebelumnya, penelitian mengenai pemodelan skema pembiayaan nirkabel nonlinier pernah dilakukan oleh Wallenius & Hämäläinen (2002). Disamping itu, beberapa penelitian sebelumnya telah membahas skema pembiayaan internet pada *multipel* QoS untuk link tunggal (Irmeilyana et al., 2014), pembiayaan internet *wireless* dengan pendekatan program *nonlinier* (Irmeilyana et al., 2015b), skema pembiayaan internet *wireless* untuk atribut QoS *bandwidth*, *Bit Error Rate* (BER), dan *end-to-end delay* (Puspita et al., 2015) dengan menggunakan pengembangan model yang diusulkan Wallenius & Hämäläinen (2002) dan Yang (2004). Penelitian lainnya yang berkaitan yaitu mengenai skema pembiayaan internet *wireless* untuk atribut QoS *bandwidth* dan *end-to-end delay* berupa *Mixed Integer Nonlinear Programming Model* (Irmeilyana et al., 2015a).

Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana mengaplikasikan jaringan *multipel* ke dalam model skema pembiayaan internet nirkabel yang optimal pada jaringan *multi* kelas QoS untuk masing-masing atribut QoS.

Pembatasan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini dibatasi pada layanan tunggal dengan 2 pengguna layanan dan 2 kelas layanan. Model diaplikasikan ke dalam data *Traffic Digilib* dan *Mail*. Model jaringan *multipel* QoS

yang dibahas adalah pada kasus model original dan model modifikasi. Model yang digunakan diterapkan pada kasus PQ_{ij} (perubahan biaya) dan x (perubahan nilai QoS) meningkat, kasus PQ_{ij} meningkat dan x menurun, kasus PQ_{ij} menurun dan x meningkat, serta pada kasus PQ_{ij} menurun dan x menurun.

Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengaplikasikan jaringan *multipel* ke dalam model skema pembiayaan internet nirkabel yang optimal pada jaringan *multi* kelas QoS untuk masing-masing atribut QoS.

Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, yaitu :

1. Dapat membuat formulasi baru dalam skema pembiayaan internet nirkabel yang mampu memaksimalkan keuntungan telco serta menarik minat pengguna dalam menggunakan skema tersebut.
2. Model yang dibentuk diharapkan dapat membantu ISP dalam menentukan pembiayaan internet secara tepat.

7.2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jaringan *Multipel* QoS (QoS *Multiple Network*)

Teknologi QoS adalah teknologi yang memungkinkan administrator jaringan untuk dapat menangani berbagai efek akibat terjadinya kongesti pada lalu lintas aliran paket dari berbagai layanan. Penanganan QoS dilakukan dengan memanfaatkan sumber daya jaringan secara optimal, dibandingkan dengan menambah kapasitas fisik jaringan tersebut. Meningkatnya berbagai layanan akan meningkatkan lalu lintas aliran paket dengan berbagai laju kecepatan, yang akan membutuhkan kemampuan jaringan melakukan aliran paket pada laju kecepatan tertentu. QoS bertujuan untuk menyediakan kualitas layanan yang berbeda-beda untuk beragam kebutuhan akan layanan dalam jaringan Internet Protocol (IP), sebagai contoh untuk menyediakan *bandwidth* yang khusus, menurunkan hilangnya paket-paket, menurunkan waktu tunda dan variasi waktu tunda dalam proses transmisinya (Bandung, 2008).

Yang (2004) menggambarkan skema pembiayaan internet berbasis lelang untuk mengalokasikan QoS dan memaksimalkan pendapatan ISP menggunakan parameter QoS tunggal yaitu *bandwidth* dalam penelitiannya mengenai jaringan *multi* kelas QoS. Sedangkan pada jaringan terdapat banyak sekali parameter yang mempengaruhi QoS yang dapat dipertimbangkan.

Model skema pembiayaan internet menurut jaringan *multi* kelas QoS yang digunakan adalah sebagai berikut :

2.1.1 Model Original

Model yang digunakan sebagai model original pada penelitian ini didasarkan pada model yang dikemukakan oleh Wallenius & Hämäläinen (2002). Model dibentuk dengan mencari informasi mengenai parameter dan variabel.

Dengan demikian, fungsi objektifnya adalah memaksimumkan

$$\begin{aligned} & r \\ & = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (PR_{ij} \\ & \pm PQ_{ij}) \end{aligned} \quad (2.1)$$

Persamaan (2.1) merepresentasikan fungsi objektif adalah memaksimumkan jumlah biaya total yang terdiri atas biaya untuk melakukan koneksi dengan QoS yang tersedia (PR_{ij}) dan perubahan biaya sepanjang perubahan QoS (PQ_{ij}).

Berikut adalah tabel pembiayaan berdasarkan perubahan atribut QoS yang telah disusun oleh Wallenius & Hämäläinen (2002).

Tabel 2. 1 Biaya Sepanjang Perubahan Atribut QoS

QoS attribute	Conversational class nominal/change quantity	Streaming class nominal/change quantity	Interactive class nominal/change quantity	Background class nominal/change quantity	Price factor/ quantity change (PQ_{ij})
<i>Bandwidth</i>	1 kb/s	1 kb/s	N/A	N/A	$\left(1 \pm \frac{x}{2000}\right) PB_{ij} Lx$
<i>End-to-end delay</i>	1 ms	1 ms	N/A	N/A	$\left(1 \pm \frac{x}{350}\right) PB_{ij} Lx$
BER	10^{-6}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-7}	$\left(1 \pm \frac{x}{10^{-6(-7)}}\right) PB_{ij} L$

Keterangan : N/A = Not Available (tidak ada), kb/s = kilobit per second

Berdasarkan Tabel2.1, nilai maksimum untuk *bandwidth* adalah 2 Mbps, untuk *end-to-end delay* adalah 350 Kbps, dan untuk BER adalah 10^{-6} atau 10^{-7} tergantung jenis *Traffic*.

Dalam penelitian ini dibahas 4 kasus pada model original pada masing-masing atribut QoS. Untuk setiap kasus, fungsi objektif akan berubah tergantung kasusnya masing-masing. Keempat kasus itu adalah :

i. Kasus 1 : PQ_{ij} meningkat dan x meningkat

Fungsi objektifnya adalah memaksimumkan :

$$\begin{aligned}
 & r \\
 & = \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 (PR_{ij} \\
 & + PQ_{ij})
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

dengan kendala :

$$PQ_{ij} = \left(1 + \frac{x}{Q_{bij}} \right) PB_{ij} Lx \quad (2.2a)$$

$$PB_{ij} = a_{ij}(e - e^{-xB})T_l/100 \quad (2.2b)$$

$$L_x = a(e - e^{-xB}) \quad (2.2c)$$

$$f \leq a_{ij} \leq g \quad (2.2d)$$

$$h \leq T_l \leq k \quad (2.2e)$$

$$0 \leq x \leq 1 \quad (2.2f)$$

$$0.8 \leq B \leq 1.07 \quad (2.2g)$$

$$a = 1 \quad (2.2h)$$

(Wallenius & Hämäläinen, 2002)

ii. Kasus 2 : PQ_{ij} meningkat dan x menurun

Fungsi objektifnya adalah memaksimumkan :

$$r = \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 (PR_{ij} + PQ_{ij}) \quad (2.3)$$

dengan kendala :

$$PQ_{ij} = \left(1 - \frac{x}{Q_{bij}} \right) PB_{ij} Lx \quad (2.3a)$$

dan kendala selanjutnya mengikuti Kendala (2.2b) sampai (2.2h).

iii. Kasus 3 : PQ_{ij} menurun dan x meningkat

Fungsi objektifnya adalah memaksimumkan :

$$\begin{aligned} & r \\ &= \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 (PR_{ij} \\ & \quad - PQ_{ij}) \end{aligned} \quad (2.4)$$

dengan mengikuti Kendala (2.2a) sampai (2.2h).

iv. Kasus 4 : PQ_{ij} menurun dan x menurun

Fungsi objektifnya adalah memaksimumkan :

$$\begin{aligned} & r \\ &= \sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 (PR_{ij} \\ & \quad - PQ_{ij}) \end{aligned} \quad (2.5)$$

dengan mengikuti Kendala (2.3a) yang dilanjutkan oleh Kendala (2.2b) sampai (2.2h).

dengan :

r : revenue atau pendapatan

PR_{ij} : biaya untuk melakukan koneksi dengan QoS yang tersedia

PQ_{ij} : perubahan biaya sepanjang perubahan QoS

x : sejumlah kenaikan atau penurunan nilai QoS

Q_{bij} : nilai nominal atribut QoS dalam jaringan operator

PB_{ij} : biaya dasar untuk suatu koneksi dengan pengguna i dan kelas j

Lx : faktor kelinieritasan

a_{ij} : faktor biaya linier dalam pengguna i dan kelas j

T_l : muatan *Traffic*

a : parameter linier yang ditetapkan

B : parameter linier yang ditetapkan

f dan g : batasan nilai yang telah ditetapkan penyedia layanan

untuk a_{ij}

- h dan k : batasan muatan *Traffic* yang diperbolehkan untuk T_l
 i : pengguna (*user*), dengan $i = 1, 2$
 j : kelas (*class*), dengan $j = 1, 2$

Berikut adalah penjelasan untuk Persamaan (2.2), (2.2a) sampai (2.2h), (2.3), (2.3a), (2.4), dan (2.5) :

1. Fungsi objektif pada Persamaan (2.2), (2.3), (2.4), dan (2.5) untuk memaksimumkan jumlah biaya total yang terdiri atas PR_{ij} yang merupakan biaya untuk melakukan koneksi dengan QoS yang tersedia dan PQ_{ij} merupakan perubahan biaya sepanjang perubahan QoS. Pada kasus (i) dan (ii), fungsi objektif sama dikarenakan perubahan biaya sepanjang perubahan QoS dianggap meningkat. Sedangkan pada kasus (iii) dan (iv) nilai PQ_{ij} menjadi negatif disebabkan oleh perubahan biaya sepanjang perubahan QoS dianggap menurun.
2. Kendala (2.2a) dan (2.3a) menjelaskan perubahan biaya bergantung pada faktor biaya yang melibatkan masing-masing atribut QoS *bandwith*, *end-to-end delay*, dan BER, biaya dasar dengan pengguna i dan kelas j , serta faktor kelinieritasan. Pada kasus (i) dan (iii) menggunakan Kendala (2.2a) disebabkan oleh perubahan nilai QoS dianggap meningkat, sedangkan untuk kasus (ii) dan (iv) menggunakan Kendala (2.3a) karena perubahan nilai QoS dianggap menurun.
3. Kendala (2.2b) menjelaskan biaya dasar untuk suatu koneksi dengan pengguna i dan kelas j yang bergantung pada faktor biaya dalam pengguna i dan kelas j , faktor $(e - e^{-xB})$, dan besar muatan *Traffic*.
4. Kendala (2.2c) menjelaskan faktor kelinieritasan yang bergantung pada parameter a dan $(e - e^{-xB})$.
5. Kendala (2.2d) menjelaskan batasan nilai faktor linier a_{ij} yang berada pada nilai yang telah ditetapkan penyedia layanan.
6. Kendala (2.2e) menjelaskan range muatan *Traffic* yang diperbolehkan T_l yang juga ditentukan oleh penyedia layanan.
7. Kendala (2.2f) menjelaskan sejumlah kenaikan atau penurunan nilai QoS, yang ditetapkan 0 dan 1 yang menunjukkan secara

implisit bahwa jika 0 artinya berada dalam kondisi best effort dan 1 berada dalam kondisi layanan yang sempurna.

8. Nilai B pada Kendala (2.2g) diatur berada antara 0,8 dan 1,07, karena dalam range ini kualitas layanan terbaik terjadi.
9. Nilai a pada Kendala (2.2h) merupakan parameter linier yang harus ditentukan, dengan parameter a menetapkan tingkat dasar harga.

2.1.1. Model Modifikasi

Model modifikasi dalam penelitian ini menggunakan model yang telah disediakan oleh Wallenius & Hämäläinen (2002) pada model original, yang kemudian dikombinasikan dengan model Yang (2004). Akan tetapi, pendekatan tidak dilakukan dengan simulasi. Model dibentuk dengan mencari informasi mengenai parameter dan variabel.

Dengan demikian, fungsi objektifnya adalah memaksimumkan

$$r = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (PR_{ij} \pm PQ_{ij} + \alpha_j Z_{ij} + W_j \log \frac{\tilde{X}_{ij}}{L_{m_j}}) \quad (2.6)$$

Fungsi objektif tersebut berguna untuk memaksimumkan jumlah biaya total yang terdiri atas biaya melakukan koneksi dengan QoS yang tersedia (PR_{ij}), perubahan biaya sepanjang perubahan QoS (PQ_{ij}), dan model fomulasi pembiayaan internet pada *multi class QoS network* yang diusulkan oleh Yang (2004) dimana α_j merupakan harga dasar untuk masing-masing kelas j . Himpunan kendala yang berperan sebagai pembatas fungsi objektif yang harus dipenuhi dalam tujuan memperoleh hasil optimal.

Sama halnya dengan model original, pada model modifikasi ini terdapat 4 kasus untuk masing-masing atribut QoS.

i. Kasus 1 : PQ_{ij} meningkat dan x meningkat

Fungsi objektifnya adalah memaksimumkan :

$$r = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (PR_{ij} + PQ_{ij} + \alpha_j Z_{ij} + W_j \log \frac{\tilde{X}_{ij}}{L_{mj}}) \quad (2.7)$$

dengan kendala mengikuti Kendala (2.2a) sampai (2.2h), yang selanjutnya diikuti oleh kendala-kendala sebagai berikut :

$$\sum_{j=1}^2 \sum_{i=1}^2 \tilde{X}_{ij} \leq Q \quad (2.7a)$$

$$\begin{aligned} \tilde{X}_{ij} &\geq L_{mj} \\ &- (1 \\ &- Z_{ij}) \end{aligned} \quad (2.7b)$$

$$\begin{aligned} W_j &\leq W_{ij} \\ &+ (1 \\ &- Z_{ij}) \end{aligned} \quad (2.7c)$$

$$\begin{aligned} \tilde{X}_{ij} &\geq V_i \\ &- (1 \\ &- Z_{ij}) \end{aligned} \quad (2.7d)$$

$$\begin{aligned} \tilde{X}_{ij} &\geq X_j \\ &- (1 \\ &- Z_{ij}) \end{aligned} \quad (2.7e)$$

$$\tilde{X}_{ij} \geq Z_{ij} \quad (2.7f)$$

$$\tilde{X}_{ij} \geq 0 \quad (2.7g)$$

$$\begin{aligned} L_{m_j} \\ \geq 0.01 \end{aligned} \quad (2.7h)$$

$$\begin{aligned} W_j \\ \geq 0 \end{aligned} \quad (2.7i)$$

$$\begin{aligned} \tilde{X}_{ij} \\ \leq X_j \end{aligned} \quad (2.7j)$$

$$\begin{aligned} Z_{ij} \\ = \begin{cases} 1, & \text{jika pengguna } i \text{ berada di kelas } j \\ 0, & \text{pengguna } i \text{ tidak berada di kelas } j \end{cases} \end{aligned} \quad (2.7k)$$

dengan $i = 1, 2 ; j = 1, 2$ (Yang, 2004)

ii. Kasus 2 : PQ_{ij} meningkat dan x menurun

Fungsi objektifnya adalah memaksimumkan :

$$\begin{aligned} r = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (PR_{ij} + PQ_{ij} + \alpha_j Z_{ij} \\ + W_j \log \frac{\tilde{X}_{ij}}{L_{m_j}}) \end{aligned} \quad (2.8)$$

dengan kendala selanjutnya mengikuti Kendala (2.3a), (2.2b) sampai (2.2h), dan Kendala (2.7a) sampai (2.7k).

iii. Kasus 3 : PQ_{ij} menurun dan x meningkat

Fungsi objektifnya adalah memaksimumkan :

$$\begin{aligned} r = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (PR_{ij} - PQ_{ij} + \alpha_j Z_{ij} \\ + W_j \log \frac{\tilde{X}_{ij}}{L_{m_j}}) \end{aligned} \quad (2.9)$$

dengan mengikuti Kendala (2.2a) sampai (2.2h) dan dilanjutkan oleh Kendala (2.7a) sampai Kendala (2.7k).

iv. Kasus 4 : PQ_{ij} menurun dan x menurun

Fungsi objektifnya adalah memaksimumkan :

$$r = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n (PR_{ij} - PQ_{ij} + \alpha_j Z_{ij} + W_j \log \frac{\tilde{X}_{ij}}{L_{mj}}) \quad (2.10)$$

dengan Kendala (2.3a) yang dilanjutkan oleh Kendala (2.2b) sampai (2.2h) dan Kendala (2.7a) sampai (2.7k).

Parameter serta variabel yang terlibat dalam model modifikasi ini juga meliputi parameter dan variabel yang terlibat dalam model original, hanya saja terdapat beberapa tambahan variabel yang masuk ke dalam fungsi objektif dan fungsi kendalanya, yaitu :

- r : revenue atau pendapatan
- α_j : harga dasar untuk kelas j
- Z_{ij} : $\begin{cases} 1, & \text{jika pengguna } i \text{ berada di kelas } j \\ 0, & \text{pengguna } i \text{ tidak berada di kelas } j \end{cases}$
- W_j : harga *sensitivitas* untuk kelas j
- $\tilde{X}_{ij}$: *bandwidth* akhir yang diperoleh pengguna i untuk kelas j
- L_{mj} : *bandwidth* minimum untuk kelas j
- Q : total *bandwidth*
- W_{ij} : harga *sensitivitas* pengguna i di kelas j
- V_i : *bandwidth* minimum yang dibutuhkan oleh pengguna i
- X_j : *bandwidth* untuk tiap individu di kelas j

Berikut adalah penjelasan untuk Persamaan (2.7), (2.7a) sampai (2.7k), (2.8), (2.9), dan (2.10) :

1. Fungsi objektif pada Persamaan (2.7), (2.8), (2.9), dan (2.10) untuk memaksimumkan jumlah biaya total yang terdiri atas PR_{ij} yang merupakan biaya untuk melakukan koneksi dengan QoS yang tersedia dan PQ_{ij} merupakan perubahan biaya sepanjang perubahan QoS, serta model fomulasi pembiayaan internet pada *multi class QoS network* yang diusulkan oleh Yang (2004) dimana α_j merupakan harga dasar untuk masing-masing kelas j . Pada kasus (i) dan (ii), fungsi objektif sama dikarenakan perubahan biaya sepanjang perubahan QoS dianggap meningkat.

Sedangkan pada kasus (iii) dan (iv) nilai PQ_{ij} menjadi negatif disebabkan oleh perubahan biaya sepanjang perubahan QoS dianggap menurun.

2. Kendala (2.7a) menyatakan bahwa *bandwidth* total akhir dari semua pengguna tidak dapat melebihi total *bandwidth* yang tersedia.
3. Kendala (2.7b) menyatakan bahwa *bandwidth* yang diperoleh pengguna harus melebihi *bandwidth* minimum untuk kelas j jika pengguna i berada di kelas j atau sebaliknya.
4. Kendala (2.7c) menyatakan bahwa harga *sensitivitas* untuk kelas j harus kurang dari harga *sensitivitas* untuk pengguna i di kelas j jika pengguna i berada di kelas j .
5. Kendala (2.7d) menyatakan bahwa *bandwidth* yang diperoleh oleh pelanggan untuk kelas j harus melebihi *bandwidth* minimum yang dibutuhkan oleh pengguna i jika pengguna i berada di kelas j .
6. Kendala (2.7e) menyatakan bahwa *bandwidth* yang diperoleh pengguna i di kelas j harus melebihi *bandwidth* untuk tiap individu dalam kelas j jika pengguna i berada di kelas j .
7. Kendala (2.7f) menjelaskan bahwa *bandwidth* yang diperoleh pengguna i di kelas j harus melebihi pengguna i yang berada di kelas j .
8. Kendala (2.7g) menunjukkan bahwa *bandwidth* yang diperoleh pengguna i di kelas j harus lebih besar dari ketersediaan pengguna i di kelas j dan harus nonnegatif.
9. Kendala (2.7h) menunjukkan syarat nonnegatif untuk minimum *bandwidth* pada kelas j .
10. Kendala (2.7i) menunjukkan persyaratan nonnegatif terjadi pada harga *sensitivitas* kelas j .
11. Kendala (2.7j) menunjukkan bahwa *bandwidth* yang diperoleh pengguna i di kelas j tidak boleh melebihi *bandwidth* yang ditetapkan untuk setiap pengguna individu di kelas j .
12. Kendala (2.7k) menyatakan bahwa nilai pengguna i berada di kelas j atau tidak.

7.3 PEMBAHASAN

Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data sekunder yang diperoleh dari salah satu *server* lokal di Palembang yaitu Politeknik Sriwijaya (Polsri). Data ini diambil dalam jangka waktu 1 bulan yaitu dari tanggal 10 Februari 2015 sampai 10 Maret 2015. Terdapat 2 komponen dalam data ini yakni data pengiriman (*Sent*) dan data penerimaan (*recieved*) yang keduanya dinyatakan dalam byte per *second*. Data *Traffic* yang digunakan adalah *Traffic Digilib* dan *Traffic Mail*.

3.1 Pendeskripsian Data *Traffic*

Tabel 4.1 dan 4.2 menyajikan data *Traffic* untuk jaringan *multi* kelas QoS yang diperoleh dari salah satu *server* lokal di Palembang yang memuat data *Traffic* pada *Digilib* dan *Mail*.

Tabel.4. 1. Data *Traffic* pada *Digilib* untuk Jaringan *Multi* Kelas QoS

No	Waktu	Traffic (dalam bit per second)	
		<i>Sent</i>	<i>Received</i>
1	10 Februari 2015	0,000	0,000
2	11 Februari 2015	30.131,572	121.050,316
3	12 Februari 2015	250.953,216	1.702.947,899
4	13 Februari 2015	384.233,862	7.431.049,618
5	14 Februari 2015	59.568,098	778.005,413
6	15 Februari 2015	60.784,451	833.019,384
7	16 Februari 2015	244.578,987	2.061.594,086
8	17 Februari 2015	202.972,894	1.501.186,157
9	18 Februari 2015	167.946,680	1.939.366,286
10	19 Februari 2015	107.535,815	2.105.130,071
11	20 Februari 2015	154.749,890	1.630.599,868
12	21 Februari 2015	74.227,117	1.199.179,758
13	22 Februari 2015	72.812,363	981.360,620
14	23 Februari 2015	393.985,071	5.275.167,739
15	24 Februari 2015	216.383,125	1.917.973,013
16	25 Februari 2015	448.084,596	2.705.074,972
17	26 Februari 2015	184.700,736	2.269.703,862
18	27 Februari 2015	169.122,249	1.892.392,000

19	28 Februari 2015	101.213,689	2.385.999,378
20	01 Maret 2015	77.330,866	56.708,205
21	02 Maret 2015	204.303,429	1.545.079,123
22	03 Maret 2015	212.444,105	2.246.093,099
23	04 Maret 2015	198.815,333	2.191.977,997
24	05 Maret 2015	234.101,187	1.927.914,229
25	06 Maret 2015	184.718,279	2.017.097,711
26	07 Maret 2015	133.163,823	870.029,611
27	08 Maret 2015	150.839,729	2.480.605,579
28	09 Maret 2015	246.832,104	2.059.620,270
29	10 Maret 2015	223.058,183	1.406.032,188
<i>Demand</i>		178.951,429	1.914.895,119
<i>Demand per bulan dalam bit per second</i>		1.046.923,274	
<i>Demand dalam byte per second (bps)</i>		130.865,409	
<i>Demand dalam kilobyte per second (kbps)</i>		127,798	

Tabel.4. 2. Data *Traffic* pada *Mail* untuk Jaringan *Multi* Kelas QoS

No	Waktu	<i>Traffic</i> (dalam bit per second)	
		<i>Sent</i>	<i>Received</i>
1	10 Februari 2015	8.617,929	43.284,386
2	11 Februari 2015	82.600,445	132.542,995
3	12 Februari 2015	103.275,758	270.964,273
4	13 Februari 2015	85.010,226	138.779,228
5	14 Februari 2015	86.050,628	80.446,017
6	15 Februari 2015	80.626,847	93.793,339
7	16 Februari 2015	864.159,577	167.994,573
8	17 Februari 2015	84.883,608	147.440,215
9	18 Februari 2015	83.042,721	167.760,549
10	19 Februari 2015	81.697,270	130.173,993
11	20 Februari 2015	90.026,566	129.179,416
12	21 Februari 2015	82.502,890	98.954,704
13	22 Februari 2015	75.774,033	94.287,849
14	23 Februari 2015	110.428,922	193.745,687

15	24 Februari 2015	95.786,173	167.185,048
16	25 Februari 2015	83.709,997	152.563,571
17	26 Februari 2015	113.816,559	206.960,265
18	27 Februari 2015	87.334,756	184.084,340
19	28 Februari 2015	88.962,268	110.053,243
20	01 Maret 2015	78.021,071	109.194,139
21	02 Maret 2015	326.966,672	276.405,111
22	03 Maret 2015	91.391,651	113.863,746
23	04 Maret 2015	101.375,304	158.496,063
24	05 Maret 2015	101.113,572	163.360,193
25	06 Maret 2015	101.795,111	152.895,442
26	07 Maret 2015	93.068,631	75.905,859
27	08 Maret 2015	86.687,044	84.947,001
28	09 Maret 2015	100.355,847	152.622,496
29	10 Maret 2015	76.650,667	107.757,703
<i>Demand</i>		122.266,646	141.573,843
<i>Demand per bulan dalam bit per second</i>		131.920,245	
<i>Demand dalam byte per second (bps)</i>		16.490,031	
<i>Demand dalam kilobyte per second (kbps)</i>		16,104	

Keterangan :

- Demand* : nilai rata-rata pemakaian dari masing-masing *Traffic*
- Demand per bulan dalam bit per second* : nilai rata-rata *Demand Sent* dan *Demand recieved*.
- Demand dalam byte per second* : nilai rata-rata *Demand Sent* dan *Demand recieved* setelah dibagi 8.
- Demand dalam kilobyte per second* : nilai *Demand* dalam byte per second setelah dibagi 1024.

Berdasarkan Tabel.4.1 dan Tabel.4.2 dapat dilihat bahwa nilai *Demand* untuk *Sent* pada kedua *Traffic* lebih rendah dibandingkan nilai *Demand* untuk *recieved*. Rata-rata pemakaian total dalam satu bulan (dalam kbps) pada *Digilib* (127,798 kbps) lebih tinggi dibandingkan dengan pemakaian untuk *Mail* (16,104 kbps).

3.2 Perumusan Parameter dan Variabel

Parameter dan variabel keputusan yang digunakan untuk mengoptimalkan pembiayaan internet nirkabel dalam melayani jaringan *multipel* QoS pada kasus model original dan model modifikasi disajikan pada Tabel.4.3 dan Tabel.4.4 berikut:

Tabel.4. 3. Parameter untuk Setiap Model pada Jaringan *Multipel* QoS

PR_{ij}	: Biaya untuk melakukan koneksi dengan QoS yang tersedia (rupiah)
a	
Q_{bij}	: Parameter linier yang ditetapkan
f	: Nilai nominal atribut QoS dalam jaringan operator (kbps)
g	: Nilai minimum yang telah ditetapkan penyedia layanan untuk
h	a_{ij}
k	: Nilai maksimum yang telah ditetapkan penyedia layanan untuk
	a_{ij}
	: Jumlah muatan trafik minimum yang diperbolehkan untuk T_l (kbps)
	: Jumlah muatan trafik maksimum yang diperbolehkan untuk T_l (kbps)
Parameter untuk model modifikasi	
PR_{ij}	: Biaya untuk melakukan koneksi dengan QoS yang tersedia (rupiah)
a	
Q_{bij}	: Parameter linier yang ditetapkan
f	: Nilai nominal atribut QoS dalam jaringan operator (kbps)
g	: Nilai minimum yang telah ditetapkan penyedia layanan untuk
h	a_{ij}
k	: Nilai maksimum yang telah ditetapkan penyedia layanan untuk
α_j	a_{ij}
Q	: Jumlah muatan trafik minimum yang diperbolehkan untuk T_l (kbps)
V_i	: Jumlah muatan trafik maksimum yang diperbolehkan untuk T_l (kbps)
	: Harga dasar untuk kelas j (rupiah)
	: Total <i>bandwidth</i> (kbps)
	: <i>Bandwidth</i> minimum yang dibutuhkan oleh pengguna i

Variabel keputusan merepreSentasikan jumlah yang ditentukan untuk memecahkan masalah model penentuan harga internet.

Tabel.4. 4. Parameter untuk Setiap Model pada Jaringan *Multipel* QoS

Variabel keputusan untuk model original	
PQ_{ij}	: Perubahan biaya sepanjang perubahan QoS (rupiah)
PB_{ij}	: Biaya dasar untuk suatu koneksi dengan pengguna i dan kelas j
Lx	: Faktor kelinieritasan
a_{ij}	: Faktor biaya linier dalam pengguna i dan kelas j
T_l	: Muatan trafik
x	: Jumlah kenaikan atau penurunan nilai QoS
B	: Parameter linier yang ditetapkan
Variabel keputusan untuk model modifikasi	
PQ_{ij}	: Perubahan biaya sepanjang perubahan QoS (rupiah)
PB_{ij}	: Biaya dasar untuk suatu koneksi dengan pengguna i dan kelas j
Lx	: Faktor kelinieritasan
a_{ij}	: Faktor biaya linier dalam pengguna i dan kelas j
T_l	: Muatan trafik
x	: Jumlah kenaikan atau penurunan nilai QoS
B	: Parameter linier yang ditetapkan
Z_{ij}	: $\begin{cases} 1, & \text{jika pengguna } i \text{ berada di kelas } j \\ 0, & \text{pengguna } i \text{ tidak berada di kelas } j \end{cases}$
W_j	: Harga sensitivitas untuk kelas j
$\tilde{X}_{ij}$	: <i>Bandwidth</i> akhir yang diperoleh pengguna i untuk kelas j
L_{mj}	: <i>Bandwidth</i> minimum untuk kelas j
W_{ij}	: Harga sensitivitas pengguna i di kelas j
X_j	: <i>Bandwidth</i> untuk tiap individu di kelas j

Nilai-nilai parameter yang digunakan dalam jaringan *multipel* QoS disajikan pada Tabel.4.5 dan Tabel.4.6 berikut:

Tabel.4. 5. Nilai - Nilai Parameter dalam Jaringan *Multipel* QoS untuk Model Original

Parameter	Nilai
Biaya melakukan koneksi pengguna 1 kelas 1 (PR_{11})	0,5
Biaya melakukan koneksi pengguna 1 kelas 2 (PR_{12})	0,6
Biaya melakukan koneksi pengguna 2 kelas 1 (PR_{21})	0,4
Biaya melakukan koneksi pengguna 2 kelas 2 (PR_{22})	0,7
Parameter linier (a)	1
Nilai nominal atribut QoS <i>bandwidth</i>	2000
Nilai nominal atribut QoS <i>end-to-end delay</i>	350
Nilai nominal atribut QoS BER	10^{-7}
Batasan nilai a_{11}	$0,05 \leq a_{11} \leq 0,15$
Batasan nilai a_{12}	$0,06 \leq a_{12} \leq 0,14$
Batasan nilai a_{21}	$0,07 \leq a_{12} \leq 0,13$
Batasan nilai a_{22}	$0,08 \leq a_{12} \leq 0,12$
Batasan muatan trafik untuk T_l	$50 \leq T_l \leq 1000$

Tabel.4. 6. Nilai - Nilai Parameter dalam Jaringan *Multipel* QoS untuk Model Modifikasi

Parameter	Nilai
Biaya melakukan koneksi pengguna 1 kelas 1 (PR_{11})	0,5
Biaya melakukan koneksi pengguna 1 kelas 2 (PR_{12})	0,6
Biaya melakukan koneksi pengguna 2 kelas 1 (PR_{21})	0,4
Biaya melakukan koneksi pengguna 2 kelas 2 (PR_{22})	0,7
Parameter linier (a)	1
Nilai nominal atribut QoS <i>bandwidth</i>	2000
Nilai nominal atribut QoS <i>end-to-end delay</i>	350
Nilai nominal atribut QoS BER	10^{-7}
Batasan nilai a_{11}	$0,05 \leq a_{11} \leq 0,15$
Batasan nilai a_{12}	$0,06 \leq a_{12} \leq 0,14$
Batasan nilai a_{21}	$0,07 \leq a_{12} \leq 0,13$
Batasan nilai a_{22}	$0,08 \leq a_{12} \leq 0,12$
Batasan muatan trafik untuk T_l	$50 \leq T_l \leq 143,89$
Harga dasar untuk kelas 1 (α_1)	0,1
Harga dasar untuk kelas 2 (α_2)	0,2
Total <i>bandwidth</i> (Q)	102400
Minimum <i>bandwidth</i> pengguna 1 (V_1)	6
Minimum <i>bandwidth</i> pengguna 2 (V_2)	5

3.3 Model Skema Pembiayaan Internet Nirkabel pada Model Original

Model skema pembiayaan internet nirkabel pada model original untuk setiap atribut QoS dibagi menjadi 4 kasus menurut nilai PQ_{ij} dan x . Model original disusun berdasarkan Persamaan (2.2) sampai Persamaan (2.5).

3.3.1 Model Original pada Atribut QoS *Bandwidth*

- Kasus 1 : PQ_{ij} meningkat dan x meningkat

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multiple* QoS pada model original untuk atribut QoS *bandwidth* pada kasus 1 diperoleh dengan mensubstitusikan nilai parameter pada Tabel.4.5 ke dalam Persamaan (2.2) dengan Kendala (2.2a) sampai (2.2h), sehingga diperoleh :

$$\text{maksimumkan } r = (0,5 + PQ_{11}) + (0,6 + PQ_{12}) + (0,4 + PQ_{21}) + (0,7 + PQ_{22}) \quad (4.1)$$

dengan Kendala (2.2a):

$$\begin{aligned} PQ_{11} &= \left(1 + \frac{x}{2000}\right) PB_{11} Lx \\ PQ_{12} &= \left(1 + \frac{x}{2000}\right) PB_{12} Lx \\ PQ_{21} &= \left(1 + \frac{x}{2000}\right) PB_{21} Lx \\ PQ_{22} &= \left(1 + \frac{x}{2000}\right) PB_{22} Lx \end{aligned} \quad (4.1a)$$

dengan Kendala (2.2b):

$$\begin{aligned} PB_{11} &= a_{11}(e - e^{-xB})T_l/100 \\ PB_{12} &= a_{12}(e - e^{-xB})T_l/100 \\ PB_{21} &= a_{21}(e - e^{-xB})T_l/100 \\ PB_{22} &= a_{22}(e - e^{-xB})T_l/100 \end{aligned} \quad (4.1b)$$

dengan Kendala (2.2c):

$$L_x = (e - e^{-xB}) \quad (4.1c)$$

dengan Kendala (2.2d):

$$\begin{aligned} 0,05 &\leq a_{11} \leq 0,15 \\ 0,06 &\leq a_{12} \leq 0,14 \\ 0,07 &\leq a_{21} \leq 0,13 \\ 0,08 &\leq a_{22} \leq 0,12 \end{aligned} \quad (4.1d)$$

dengan Kendala (2.2e):

$$50 \leq T_l \leq 1000 \quad (4.1e)$$

dengan Kendala (2.2f):

$$0 \leq x \leq 1 \quad (4.1f)$$

dengan Kendala (2.2g):

$$0.8 \leq B \leq 1.07 \quad (4.1g)$$

dengan Kendala (2.2h):

$$a = 1 \quad (4.1h)$$

- Kasus 2 : PQ_{ij} meningkat dan x menurun

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multipel* QoS pada model original untuk atribut QoS *bandwidth* pada kasus 2 diperoleh dengan mensubstitusikan nilai parameter pada Tabel 4.5 ke dalam Persamaan (2.3) dengan Kendala (2.3a) serta Kendala (2.2b) sampai (2.2h), sehingga diperoleh :

$$\text{maksimumkan } r = (0,5 + PQ_{11}) + (0,6 + PQ_{12}) + (0,4 + PQ_{21}) + (0,7 + PQ_{22}) \quad (4.2)$$

dengan Kendala (2.3a):

$$PQ_{11} = \left(1 - \frac{x}{2000}\right) PB_{11} Lx$$

$$PQ_{12} = \left(1 - \frac{x}{2000}\right) PB_{12} Lx$$

$$PQ_{21} = \left(1 - \frac{x}{2000}\right) PB_{21} Lx$$

$$PQ_{22} = \left(1 - \frac{x}{2000}\right) PB_{22} Lx \quad (4.2a)$$

dan mengikuti Kendala (4.1b) sampai (4.1h).

- Kasus 3 : PQ_{ij} menurun dan x meningkat

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multipel* QoS pada model original untuk atribut QoS *bandwidth* pada kasus 3 diperoleh dengan mensubstitusikan nilai parameter pada Tabel 4.5 ke dalam Persamaan (2.4) dengan kendala (2.2a) sampai (2.2h), sehingga diperoleh :

$$\text{maksimumkan } r = (0,5 - PQ_{11}) + (0,6 - PQ_{12}) + (0,4 - PQ_{21}) + (0,7 - PQ_{22}) \quad (4.3)$$

dengan Kendala (4.1a) sampai (4.1h).

- Kasus 4 : PQ_{ij} menurun dan x menurun

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multipel* QoS pada model original untuk atribut QoS *bandwidth* pada kasus 4 diperoleh dengan mensubstitusikan nilai parameter pada Tabel 4.5 ke dalam Persamaan (2.5) dengan Kendala (2.3a) serta Kendala (2.2b) sampai (2.2h), sehingga diperoleh :

$$\text{maksimumkan } r = (0,5 - PQ_{11}) + (0,6 - PQ_{12}) + (0,4 - PQ_{21}) + (0,7 - PQ_{22}) \quad (4.4)$$

dengan Kendala (4.2a), diikuti Kendala (4.1b) sampai (4.1h).

3.3.2 Model Original pada Atribut QoS *End-to-end delay*

- Kasus 1 : PQ_{ij} meningkat dan x meningkat

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multipel* QoS pada model original untuk atribut QoS *end-to-end delay* pada kasus 1 diperoleh dengan mensubstitusikan nilai parameter pada Tabel 4.5 ke dalam Persamaan (2.2) dengan Kendala (2.2a) sampai (2.2h), sehingga diperoleh:

$$\text{maksimumkan } r = (0,5 + PQ_{11}) + (0,6 + PQ_{12}) + (0,4 + PQ_{21}) + (0,7 + PQ_{22}) \quad (4.5)$$

dengan Kendala (2.2a):

$$PQ_{11} = \left(1 + \frac{x}{350}\right) PB_{11} Lx$$

$$PQ_{12} = \left(1 + \frac{x}{350}\right) PB_{12} Lx$$

$$PQ_{21} = \left(1 + \frac{x}{350}\right) PB_{21} Lx$$

$$PQ_{22} = \left(1 + \frac{x}{350}\right) PB_{22} Lx \quad (4.5a)$$

dan mengikuti Kendala (4.1b) sampai (4.1h).

- Kasus 2 : PQ_{ij} meningkat dan x menurun

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multipel* QoS pada model original untuk atribut QoS *end-to-end delay* pada kasus 2 diperoleh dengan mensubstitusikan nilai parameter pada Tabel 4.5 ke dalam

Persamaan (2.3) dengan Kendala (2.3a) serta Kendala (2.2b) sampai (2.2h), sehingga diperoleh :

$$\text{maksimumkan } r = (0,5 + PQ_{11}) + (0,6 + PQ_{12}) + (0,4 + PQ_{21}) + (0,7 + PQ_{22}) \quad (4.6)$$

dengan Kendala (2.3a):

$$PQ_{11} = \left(1 - \frac{x}{350}\right) PB_{11}Lx$$

$$PQ_{12} = \left(1 - \frac{x}{350}\right) PB_{12}Lx$$

$$PQ_{21} = \left(1 - \frac{x}{350}\right) PB_{21}Lx$$

$$PQ_{22} = \left(1 - \frac{x}{350}\right) PB_{22}Lx \quad (4.6a)$$

dan mengikuti Kendala (4.1b) sampai (4.1h).

▪ Kasus 3 : PQ_{ij} menurun dan x meningkat

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multipel* QoS pada model original untuk atribut QoS *end-to-end delay* pada kasus 3 diperoleh dengan mensubstitusikan nilai parameter pada Tabel 4.5 ke dalam Persamaan (2.4) dengan Kendala (2.2a) sampai (2.2h), sehingga diperoleh :

$$\text{maksimumkan } r = (0,5 - PQ_{11}) + (0,6 - PQ_{12}) + (0,4 - PQ_{21}) + (0,7 - PQ_{22}) \quad (4.7)$$

dengan Kendala (4.5a) diikuti Kendala (4.2b) sampai (4.2h).

▪ Kasus 4 : PQ_{ij} menurun dan x menurun

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multipel* QoS pada model original untuk atribut QoS *end-te-end delay* pada kasus 4 diperoleh dengan mensubstitusikan nilai parameter pada Tabel 4.5 ke dalam Persamaan (2.5) dengan Kendala (2.3a) serta Kendala (2.2b) sampai (2.2h), sehingga diperoleh :

$$\text{maksimumkan } r = (0,5 - PQ_{11}) + (0,6 - PQ_{12}) + (0,4 - PQ_{21}) + (0,7 - PQ_{22}) \quad (4.8)$$

dengan Kendala (4.6a) diikuti Kendala (4.1b) sampai (4.1h).

3.3.3 Model Original pada Atribut QoS BER

- Kasus 1 : PQ_{ij} meningkat dan x meningkat

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multipel* QoS pada model original untuk atribut QoS BER pada kasus 1 diperoleh dengan mensubstitusikan nilai parameter pada Tabel 4.5 ke dalam Persamaan (2.2) dengan Kendala (2.2a) sampai (2.2h), sehingga diperoleh: maksimumkan $r = (0,5 + PQ_{11}) + (0,6 + PQ_{12}) + (0,4 + PQ_{21}) + (0,7 + PQ_{22})$ (4.9)

dengan Kendala (2.1a):

$$PQ_{11} = \left(1 + \frac{x}{10^{-7}}\right) PB_{11} Lx$$

$$PQ_{12} = \left(1 + \frac{x}{10^{-7}}\right) PB_{12} Lx$$

$$PQ_{21} = \left(1 + \frac{x}{10^{-7}}\right) PB_{21} Lx$$

$$PQ_{22} = \left(1 + \frac{x}{10^{-7}}\right) PB_{22} Lx \quad (4.9a)$$

dan mengikuti Kendala (4.1b) sampai (4.1h).

- Kasus 2 : PQ_{ij} meningkat dan x menurun

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multipel* QoS pada model original untuk atribut QoS BER pada kasus 2 diperoleh dengan mensubstitusikan nilai parameter pada Tabel 4.5 ke dalam Persamaan (2.3) dengan Kendala (2.3a) serta Kendala (2.2b) sampai (2.2h), sehingga diperoleh :

$$\text{maksimumkan } r = (0,5 + PQ_{11}) + (0,6 + PQ_{12}) + (0,4 + PQ_{21}) + (0,7 + PQ_{22}) \quad (4.10)$$

dengan Kendala (2.3a):

$$PQ_{11} = \left(1 - \frac{x}{10^{-7}}\right) PB_{11} Lx$$

$$PQ_{12} = \left(1 - \frac{x}{10^{-7}}\right) PB_{12} Lx$$

$$PQ_{21} = \left(1 - \frac{x}{10^{-7}}\right) PB_{21} Lx$$

$$PQ_{22} = \left(1 - \frac{x}{10^{-7}}\right) PB_{22} Lx \quad (4.10a)$$

dan diikuti Kendala (4.1b) sampai (4.1h).

- Kasus 3 : PQ_{ij} menurun dan x meningkat

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multipel* QoS pada model original untuk atribut QoS BER pada kasus 3 diperoleh dengan mensubstitusikan nilai parameter pada Tabel 4.5 ke dalam Persamaan (2.4) dengan Kendala (2.2a) sampai (2.2h), sehingga diperoleh:

$$\text{maksimumkan } r = (0,5 - PQ_{11}) + (0,6 - PQ_{12}) + (0,4 - PQ_{21}) + (0,7 - PQ_{22}) \quad (4.11)$$

dengan Kendala (4.9a) diikuti Kendala (4.1b) sampai (4.1h).

- Kasus 4 : PQ_{ij} menurun dan x menurun

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multipel* QoS pada model original untuk atribut QoS BER pada kasus 4 diperoleh dengan mensubstitusikan nilai parameter pada Tabel 4.5 ke dalam Persamaan (2.5) dengan Kendala (2.3a) serta Kendala (2.2b) sampai (2.2h), sehingga diperoleh :

$$\text{maksimumkan } r = (0,5 - PQ_{11}) + (0,6 - PQ_{12}) + (0,4 - PQ_{21}) + (0,7 - PQ_{22}) \quad (4.12)$$

dengan Kendala (2.10a) diikuti Kendala (4.1b) sampai (4.1h).

3.4 Model Skema Pembiayaan Internet Nirkabel pada Model Modifikasi

Model skema pembiayaan internet nirkabel pada model modifikasi untuk setiap atribut QoS dibagi menjadi 4 kasus menurut nilai PQ_{ij} dan x . Model modifikasi disusun berdasarkan Persamaan (2.7) sampai Persamaan (2.10).

3.4.1 Model Modifikasi pada Atribut QoS *Bandwidth*

- Kasus 1 : PQ_{ij} meningkat dan x meningkat

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multipel* QoS pada model modifikasi untuk atribut QoS *bandwidth* pada kasus 1 diperoleh dengan mensubstitusikan nilai parameter pada Tabel 4.6 ke dalam Persamaan (2.7) dengan Kendala (2.2a) sampai (2.2h), dilanjutkan dengan Kendala (2.7a) sampai (2.7k).

Maksimumkan

$$\begin{aligned}
 r = & \left(0,5 + PQ_{11} + 0,1 \cdot Z_{11} + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{11}}{L_{m_1}} \right) + \\
 & \left(0,6 + PQ_{12} + 0,2 \cdot Z_{12} + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{12}}{L_{m_2}} \right) + \\
 & \left(0,4 + PQ_{21} + 0,1 \cdot Z_{21} + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{21}}{L_{m_1}} \right) + \\
 & \left(0,7 + PQ_{22} + 0,2 \cdot Z_{22} + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{22}}{L_{m_2}} \right) \quad (4.13)
 \end{aligned}$$

Persamaan (4.13) diperoleh dari Persamaan (2.7) dengan Kendala (4.1a) sampai (4.1h), yang selanjutnya diikuti oleh Kendala(4.13a) sampai (4.13k).

dengan Kendala (2.7a):

$$\tilde{X}_{11} + \tilde{X}_{12} + \tilde{X}_{21} + \tilde{X}_{22} \leq 102400 \quad (4.13a)$$

dengan Kendala (2.7b):

$$\begin{aligned}
 \tilde{X}_{11} & \geq L_{m_1} - (1 - Z_{11}) \\
 \tilde{X}_{12} & \geq L_{m_2} - (1 - Z_{12}) \\
 \tilde{X}_{21} & \geq L_{m_1} - (1 - Z_{21}) \\
 \tilde{X}_{22} & \geq L_{m_2} - (1 - Z_{22}) \quad (4.13b)
 \end{aligned}$$

dengan Kendala (2.7c):

$$\begin{aligned}
 W_1 & \leq W_{11} + (1 - Z_{11}) \\
 W_2 & \leq W_{12} + (1 - Z_{12}) \\
 W_1 & \leq W_{21} + (1 - Z_{21}) \\
 W_2 & \leq W_{22} + (1 - Z_{22}) \quad (4.13c)
 \end{aligned}$$

dengan Kendala (2.7d):

$$\begin{aligned}
 \tilde{X}_{11} & \geq V_1 - (1 - Z_{11}) \\
 \tilde{X}_{12} & \geq V_1 - (1 - Z_{12}) \\
 \tilde{X}_{21} & \geq V_2 - (1 - Z_{21}) \\
 \tilde{X}_{22} & \geq V_2 - (1 - Z_{22}) \quad (4.13d)
 \end{aligned}$$

dengan Kendala (2.7e):

$$\begin{aligned}
 \tilde{X}_{11} & \geq X_1 - (1 - Z_{11}) \\
 \tilde{X}_{12} & \geq X_2 - (1 - Z_{12}) \\
 \tilde{X}_{21} & \geq X_1 - (1 - Z_{21}) \\
 \tilde{X}_{22} & \geq X_2 - (1 - Z_{22}) \quad (4.13e)
 \end{aligned}$$

dengan Kendala (2.7f):

$$\begin{aligned}\tilde{X}_{11} &\geq Z_{11} \\ \tilde{X}_{12} &\geq Z_{12} \\ \tilde{X}_{21} &\geq Z_{21} \\ \tilde{X}_{22} &\geq Z_{22}\end{aligned}\quad (4.13f)$$

dengan Kendala (2.7g):

$$\begin{aligned}\tilde{X}_{11} &\geq 0 \\ \tilde{X}_{12} &\geq 0 \\ \tilde{X}_{21} &\geq 0 \\ \tilde{X}_{22} &\geq 0\end{aligned}\quad (4.13g)$$

dengan Kendala (2.7h):

$$\begin{aligned}L_{m_1} &\geq 0.01 \\ L_{m_2} &\geq 0.01\end{aligned}\quad (4.13h)$$

dengan Kendala (2.7i):

$$\begin{aligned}W_1 &\geq 0 \\ W_2 &\geq 0\end{aligned}\quad (4.13i)$$

dengan Kendala (2.7j):

$$\begin{aligned}\tilde{X}_{11} &\leq X_1 \\ \tilde{X}_{12} &\leq X_2 \\ \tilde{X}_{21} &\leq X_1 \\ \tilde{X}_{22} &\leq X_{12}\end{aligned}\quad (4.13j)$$

dengan kendala (2.7k):

$$\begin{aligned}Z_{11} &= \begin{cases} 1, & \text{pengguna 1 berada di kelas 1} \\ 0, & \text{pengguna 1 tidak berada di kelas 1} \end{cases} \\ Z_{12} &= \begin{cases} 1, & \text{pengguna 1 berada di kelas 2} \\ 0, & \text{pengguna 1 tidak berada di kelas 2} \end{cases} \\ Z_{21} &= \begin{cases} 1, & \text{pengguna 2 berada di kelas 1} \\ 0, & \text{pengguna 2 tidak berada di kelas 1} \end{cases} \\ Z_{22} &= \begin{cases} 1, & \text{pengguna 2 berada di kelas 2} \\ 0, & \text{pengguna 2 tidak berada di kelas 2} \end{cases}\end{aligned}\quad (4.13k)$$

- Kasus 2 : PQ_{ij} meningkat dan x menurun

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multipel* QoS pada model modifikasi untuk atribut QoS *bandwidth* pada kasus 2 diperoleh dengan mensubstitusikan nilai parameter pada Tabel 4.6 ke dalam

Persamaan (2.8) dengan kendala selanjutnya mengikuti Kendala (2.3a), (2.2b) sampai (2.2h), dan Kendala (2.7a) sampai (2.7k).

maksimumkan

$$r = \left(0,5 + PQ_{11} + 0,1 \cdot Z_{11} + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{11}}{L_{m_1}} \right) + \\ \left(0,6 + PQ_{12} + 0,2 \cdot Z_{12} + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{12}}{L_{m_2}} \right) + \\ \left(0,4 + PQ_{21} + 0,1 \cdot Z_{21} + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{21}}{L_{m_1}} \right) + \\ \left(0,7 + PQ_{22} + 0,2 \cdot Z_{22} + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{22}}{L_{m_2}} \right) \quad (4.14)$$

Persamaan (4.14) diperoleh dari Persamaan (2.8) dengan Kendala (4.2a) dan Kendala (4.1b) sampai (4.1h), yang selanjutnya diikuti oleh Kendala(4.13a) sampai (4.13k).

- Kasus 3 : PQ_{ij} menurun dan x meningkat

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multipe*l QoS pada model modifikasi untuk atribut QoS *bandwidth* pada kasus 3 diperoleh dengan mensubstitusikan nilai parameter pada Tabel 4.6 ke dalam Persamaan (2.9) dengan kendala selanjutnya mengikuti Kendala (2.2a) sampai (2.2h) dan dilanjutkan oleh Kendala (2.7a) sampai (2.7k).

maksimumkan

$$r = \left(0,5 - PQ_{11} + 0,1 \cdot Z_{11} + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{11}}{L_{m_1}} \right) + \\ \left(0,6 - PQ_{12} + 0,2 \cdot Z_{12} + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{12}}{L_{m_2}} \right) + \\ \left(0,4 - PQ_{21} + 0,1 \cdot Z_{21} + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{21}}{L_{m_1}} \right) + \\ \left(0,7 - PQ_{22} + 0,2 \cdot Z_{22} + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{22}}{L_{m_2}} \right) \quad (4.15)$$

Persamaan (4.15) diperoleh dari Persamaan (2.9) dengan Kendala (4.1a) sampai (4.1h), yang selanjutnya diikuti oleh Kendala(4.13a) sampai (4.13k).

- Kasus 4 : PQ_{ij} menurun dan x menurun

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multipel* QoS pada model modifikasi untuk atribut QoS *bandwidth* pada kasus 4 diperoleh dengan mensubstitusikan nilai parameter pada Tabel 4.6 ke dalam Persamaan (2.10) dengan kendala selanjutnya mengikuti Kendala (2.3a) yang dilanjutkan oleh Kendala (2.2b) sampai (2.2h) dan Kendala (2.7a) sampai (2.7k).

maksimumkan

$$r = \left(0,5 - PQ_{11} + 0,1 \cdot Z_{11} + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{11}}{L_{m_1}} \right) + \left(0,6 - PQ_{12} + 0,2 \cdot Z_{12} + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{12}}{L_{m_2}} \right) + \left(0,4 - PQ_{21} + 0,1 \cdot Z_{21} + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{21}}{L_{m_1}} \right) + \left(0,7 - PQ_{22} + 0,2 \cdot Z_{22} + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{22}}{L_{m_2}} \right) \quad (4.16)$$

Persamaan (4.16) diperoleh dari Persamaan (2.10) dengan Kendala (4.2a) dan Kendala (4.1b) sampai (4.1h), yang selanjutnya diikuti oleh Kendala(4.13a) sampai (4.13k).

3.4.2 Model Modifikasi pada Atribut QoS *End-to-end delay*

- Kasus 1 : PQ_{ij} meningkat dan x meningkat

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multipel* QoS pada model modifikasi untuk atribut QoS *end-to-end delay* pada kasus 1 diperoleh dengan mensubstitusikan nilai parameter pada Tabel 4.6 ke dalam Persamaan (2.7) dengan kendala (2.2a) sampai (2.2h), dilanjutkan dengan kendala (2.7a) sampai (2.7k).

maksimumkan

$$\begin{aligned}
 r = & \left(0,5 + PQ_{11} + 0,1 \cdot Z_{11} + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{11}}{L_{m_1}} \right) + \\
 & \left(0,6 + PQ_{12} + 0,2 \cdot Z_{12} + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{12}}{L_{m_2}} \right) + \\
 & \left(0,4 + PQ_{21} + 0,1 \cdot Z_{21} + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{21}}{L_{m_1}} \right) + \\
 & \left(0,7 + PQ_{22} + 0,2 \cdot Z_{22} + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{22}}{L_{m_2}} \right) \quad (4.17)
 \end{aligned}$$

Persamaan (4.17) diperoleh dari Persamaan (2.7) dengan Kendala (4.5a) dan Kendala (4.1b) sampai (4.1h), yang selanjutnya diikuti oleh Kendala(4.13a) sampai (4.13k).

- Kasus 2 : PQ_{ij} meningkat dan x menurun

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multipel* QoS pada model modifikasi untuk atribut QoS *end-to-end delay* pada kasus 2 diperoleh dengan mensubstitusikan nilai parameter pada Tabel 4.6 ke dalam Persamaan (2.8) dengan kendala selanjutnya mengikuti Kendala (2.3a), (2.2b) sampai (2.2h), dan (2.7a) sampai (2.7k).

maksimumkan

$$\begin{aligned}
 r = & \left(0,5 + PQ_{11} + 0,1 \cdot Z_{11} + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{11}}{L_{m_1}} \right) + \\
 & \left(0,6 + PQ_{12} + 0,2 \cdot Z_{12} + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{12}}{L_{m_2}} \right) + \\
 & \left(0,4 + PQ_{21} + 0,1 \cdot Z_{21} + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{21}}{L_{m_1}} \right) + \\
 & \left(0,7 + PQ_{22} + 0,2 \cdot Z_{22} + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{22}}{L_{m_2}} \right) \quad (4.18)
 \end{aligned}$$

Persamaan (4.18) diperoleh dari Persamaan (2.8) dengan Kendala (4.6a), (4.1b) sampai (4.1h), yang selanjutnya diikuti oleh Kendala(4.13a) sampai (4.13k).

- Kasus 3 : PQ_{ij} menurun dan x meningkat

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multipel* QoS pada model modifikasi untuk atribut QoS *end-to-end delay* pada kasus 3 diperoleh dengan mensubstitusikan nilai parameter pada Tabel 4.6 ke dalam Persamaan (2.9) dengan kendala selanjutnya mengikuti Kendala (2.2a) sampai (2.2h) dan dilanjutkan oleh Kendala (2.7a) sampai (2.7k).

maksimumkan

$$\begin{aligned}
 r = & \left(0,5 - PQ_{11} + 0,1 \cdot Z_{11} + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{11}}{L_{m_1}} \right) + \\
 & \left(0,6 - PQ_{12} + 0,2 \cdot Z_{12} + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{12}}{L_{m_2}} \right) + \\
 & \left(0,4 - PQ_{21} + 0,1 \cdot Z_{21} + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{21}}{L_{m_1}} \right) + \\
 & \left(0,7 - PQ_{22} + 0,2 \cdot Z_{22} + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{22}}{L_{m_2}} \right)
 \end{aligned}
 \tag{4.19}$$

Persamaan (4.19) diperoleh dari Persamaan (2.9) dengan Kendala (4.5a) dan Kendala (4.1b) sampai (4.1h), yang selanjutnya diikuti oleh Kendala(4.13a) sampai (4.13k).

- Kasus 4 : PQ_{ij} menurun dan x menurun

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multipel* QoS pada model modifikasi untuk atribut QoS *end-to-end delay* pada kasus 4 diperoleh dengan mensubstitusikan nilai parameter pada Tabel 4.6 ke dalam Persamaan (2.10) dengan kendala selanjutnya mengikuti Kendala (2.3a) yang dilanjutkan oleh Kendala (2.2b) sampai (2.2h) dan Kendala (2.7a) sampai (2.7k).

maksimumkan

$$\begin{aligned}
 r = & \left(0,5 - PQ_{11} + 0,1 \cdot Z_{11} + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{11}}{L_{m_1}} \right) + \\
 & \left(0,6 - PQ_{12} + 0,2 \cdot Z_{12} + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{12}}{L_{m_2}} \right) + \\
 & \left(0,4 - PQ_{21} + 0,1 \cdot Z_{21} + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{21}}{L_{m_1}} \right) + \\
 & \left(0,7 - PQ_{22} + 0,2 \cdot Z_{22} + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{22}}{L_{m_2}} \right) \quad (4.20)
 \end{aligned}$$

Persamaan (4.20) diperoleh dari Persamaan (2.10) dengan Kendala (4.6a) dan Kendala (4.1b) sampai (4.1h), yang selanjutnya diikuti oleh Kendala(4.13a) sampai (4.13k).

3.4.3 Model Modifikasi pada Atribut QoS BER

- Kasus 1 : PQ_{ij} meningkat dan x meningkat

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multipe*l QoS pada model modifikasi untuk atribut QoS BER pada kasus 1 diperoleh dengan mensubstitusikan nilai parameter pada Tabel 4.6 ke dalam Persamaan (2.7) dengan Kendala (2.2a) sampai (2.2h), dilanjutkan dengan Kendala (2.7a) sampai (2.7k).

maksimumkan

$$\begin{aligned}
 r = & \left(0,5 + PQ_{11} + 0,1 \cdot Z_{11} + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{11}}{L_{m_1}} \right) + \\
 & \left(0,6 + PQ_{12} + 0,2 \cdot Z_{12} + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{12}}{L_{m_2}} \right) + \\
 & \left(0,4 + PQ_{21} + 0,1 \cdot Z_{21} + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{21}}{L_{m_1}} \right) + \\
 & \left(0,7 + PQ_{22} + 0,2 \cdot Z_{22} + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{22}}{L_{m_2}} \right) \quad (4.21)
 \end{aligned}$$

Persamaan (4.21) diperoleh dari Persamaan (2.7) dengan Kendala (4.9a) dan Kendala (4.1b) sampai (4.1h),

yang selanjutnya diikuti oleh Kendala(4.13a) sampai (4.13k).

- Kasus 2 : PQ_{ij} meningkat dan x menurun

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multipel* QoS pada model modifikasi untuk atribut QoS BER pada kasus 2 diperoleh dengan mensubstitusikan nilai parameter pada Tabel 4.6 ke dalam Persamaan (2.8) dengan kendala selanjutnya mengikuti Kendala (2.3a), (2.2b) sampai (2.2h), dan (2.7a) sampai (2.7k).

maksimumkan

$$r = \left(0,5 + PQ_{11} + 0,1 \cdot Z_{11} + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{11}}{L_{m_1}} \right) + \left(0,6 + PQ_{12} + 0,2 \cdot Z_{12} + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{12}}{L_{m_2}} \right) + \left(0,4 + PQ_{21} + 0,1 \cdot Z_{21} + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{21}}{L_{m_1}} \right) + \left(0,7 + PQ_{22} + 0,2 \cdot Z_{22} + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{22}}{L_{m_2}} \right) \quad (4.22)$$

Persamaan (4.22) diperoleh dari Persamaan (2.8) dengan Kendala (4.10a) dan Kendala (4.1b) sampai (4.1h), yang selanjutnya diikuti oleh Kendala(4.13a) sampai (4.13k).

- Kasus 3 : PQ_{ij} menurun dan x meningkat

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multipel* QoS pada model modifikasi untuk atribut QoS BER pada kasus 3 diperoleh dengan mensubstitusikan nilai parameter pada Tabel 4.6 ke dalam Persamaan (2.9) dengan kendala selanjutnya mengikuti Kendala (2.2a) sampai (2.2h) dan dilanjutkan oleh Kendala (2.7a) sampai (2.7k).

maksimumkan

$$\begin{aligned}
 r = & \left(0,5 - PQ_{11} + 0,1 \cdot Z_{11} + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{11}}{L_{m_1}} \right) + \\
 & \left(0,6 - PQ_{12} + 0,2 \cdot Z_{12} + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{12}}{L_{m_2}} \right) + \\
 & \left(0,4 - PQ_{21} + 0,1 \cdot Z_{21} + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{21}}{L_{m_1}} \right) + \\
 & \left(0,7 - PQ_{22} + 0,2 \cdot Z_{22} + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{22}}{L_{m_2}} \right) \quad (4.23)
 \end{aligned}$$

Persamaan (4.23) diperoleh dari Persamaan (2.9) dengan Kendala (4.9a) dan Kendala (4.1b) sampai (4.1h), yang selanjutnya diikuti oleh Kendala(4.13a) sampai (4.13k).

- Kasus 4 : PQ_{ij} menurun dan x menurun

Penggunaan model skema pembiayaan internet pada jaringan *multiple* QoS pada model modifikasi untuk atribut QoS BER pada kasus 4 diperoleh dengan mensubstitusikan nilai parameter pada Tabel 4.6 ke dalam Persamaan (2.10) diikuti Kendala (2.3a) yang dilanjutkan oleh Kendala (2.2b) sampai (2.2h) dan Kendala (2.7a) sampai (2.7k).

maksimumkan

$$\begin{aligned}
 r = & \left(0,5 - PQ_{11} + 0,1 \cdot Z_{11} + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{11}}{L_{m_1}} \right) + \\
 & \left(0,6 - PQ_{12} + 0,2 \cdot Z_{12} + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{12}}{L_{m_2}} \right) + \\
 & \left(0,4 - PQ_{21} + 0,1 \cdot Z_{21} + W_1 \log \frac{\tilde{X}_{21}}{L_{m_1}} \right) + \\
 & \left(0,7 - PQ_{22} + 0,2 \cdot Z_{22} + W_2 \log \frac{\tilde{X}_{22}}{L_{m_2}} \right) \quad (4.24)
 \end{aligned}$$

Persamaan (4.24) diperoleh dari Persamaan (2.10) dengan Kendala (4.10a) dan Kendala (4.1b) sampai (4.1h), yang selanjutnya diikuti oleh Kendala(4.13a) sampai (4.13k).

3.5 Solusi Model Original Skema Pembiayaan Internet Nirkabel pada Jaringan *Multipel QoS* dengan Program LINGO

Berdasarkan formulasi model original untuk masing-masing atribut QoS tiap kasus yang telah dibahas pada Subbab 3.3, didapat solusi model original sebagai berikut:

3.5.1 Solusi Model Original pada Atribut QoS *Bandwidth*

Solusi optimal yang diperoleh untuk model original pada QoS *bandwidth* setiap kasus dapat dilihat pada Tabe.4.7.

Tabel.4. 7. Solusi Optimal Model Original Skema Pembiayaan Internet Nirkabel untuk QoS *Bandwidth*

	Kasus			
	1	2	3	4
Solver Status	PQ_{ij} increase x increase	PQ_{ij} increase x decrease	PQ_{ij} decrease x increase	PQ_{ij} decrease x decrease
Model Class	NLP	NLP	NLP	NLP
State	Local Optimal	Local Optimal	Local Optimal	Local Optimal
Objective	32,6816	32,6512	1,81618	1,81618
Infeasibility	0	0	$1,3877 \cdot 10^{-17}$	$1,3877 \cdot 10^{-17}$
Iterations	11	11	9	9
GMU	24K	25K	25K	25K
ER	1s	0s	0s	0s

Pada kasus 1 solusi optimal yang diperoleh adalah sebesar 32,6816 yang didapatkan melalui 11 iterasi dengan infeasibility bernilai 0. *Generated Memory Used* (GMU) menunjukkan jumlah alokasi memori yang digunakan yaitu sebesar 24K dan *Elapsed Runtime* (ER) menjelaskan tentang total waktu yang digunakan untuk menghasilkan dan menyelesaikan model yaitu 1 detik.

Pada kasus 2 solusi optimal yang diperoleh adalah sebesar 32,6512 yang didapatkan melalui 11 iterasi dengan *infeasibility* bernilai 0, dengan GMU sebesar 25K dan ER sebesar 0 detik.

Pada kasus 3 dan 4 solusi optimal yang diperoleh adalah sebesar 1,81618 yang didapatkan dengan melakukan pengulangan

sebanyak 9 iterasi dengan infeasibility bernilai $1,3877 \cdot 10^{-17}$ atau mendekati 0, dengan GMU sebesar 25K dan ER sebesar 0 detik.

Berdasarkan solusi optimal dari keempat kasus diperoleh solusi yang paling optimal berada pada kasus 1 dengan nilai objektif sebesar 32,6816.

Nilai-nilai variabel yang diperoleh pada model original pada atribut QoS *bandwidth* masing-masing kasus dalam mencapai solusi optimalnya disajikan dalam Tabel.4.8.

Tabel.4. 8. Nilai-Nilai Variabel pada Model Original untuk QoS *Bandwidth*

	Kasus			
	1	2	3	4
Variables	<i>PQ_{ij}</i> <i>increase x</i> <i>increase</i>	<i>PQ_{ij}</i> <i>increase x</i> <i>decrease</i>	<i>PQ_{ij}</i> <i>decrease x</i> <i>increase</i>	<i>PQ_{ij}</i> <i>decrease x</i> <i>decrease</i>
PQ ₁₁	8,467116	8,458654	0,07381231	0,07381231
PQ ₁₂	7,902642	7,894743	0,08857477	0,08857477
PQ ₂₁	7,338168	7,330833	0,1033372	0,1033372
PQ ₂₂	6,773693	6,766923	0,1180997	0,1180997
X	1	1	0	0
PB ₁₁	3,562910	3,562910	0,04295705	0,04295705
PB ₁₂	3,325383	3,325383	0,05154845	0,05154845
PB ₂₁	3,087855	3,087855	0,06013986	0,06013986
PB ₂₂	2,850328	2,850328	0,06873127	0,06873127
a ₁₁	0,15	0,15	0,05	0,05
a ₁₂	0,14	0,14	0,06	0,06
a ₂₁	0,13	0,13	0,07	0,07
a ₂₂	0,12	0,12	0,08	0,08
<i>L_x</i>	2,375273	2,375273	1,718282	1,718282
<i>T_l</i>	1000	1000	50	50
B	1,07	1,07	0,8	0,8

Tabel.4.8 menyajikan perbandingan nilai-nilai variabel yang diperoleh pada model original untuk atribut QoS *bandwidth* masing-masing kasus dalam mencapai solusi optimal. Berdasarkan Tabel.4.8 dapat dilihat bahwa nilai-nilai variabel untuk kasus 1 dan kasus 2 sama, kecuali nilai variabel *PQ_{ij}* yang sedikit berbeda. Kedua kasus

ini sangat jauh berbeda dengan kasus 3 dan kasus 4. Kasus 3 dan kasus 4 memiliki nilai-nilai variabel yang sama.

3.5.2 Solusi Model Original pada Atribut QoS End-to-end delay

Solusi optimal yang diperoleh untuk model original pada QoS end-to-end delay setiap kasus dapat dilihat pada Tabel.4.9.

Tabel.4. 9. olusi Optimal Model OriginalSkema Pembiayaan Internet Nirkabel untuk QoS End-to-end delay

	Kasus			
	1	2	3	4
Solver Status	PQ_{ij} increase x increase	PQ_{ij} increase x decrease	PQ_{ij} decrease x increase	PQ_{ij} decrease x decrease
Model Class	NLP	NLP	NLP	NLP
State	Local Optimal	Local Optimal	Local Optimal	Local Optimal
Objective	32,7534	32,5793	1,81618	1,81618
Infeasibility	0	0	1,3877 $\cdot 10^{-17}$	1,3877 $\cdot 10^{-17}$
Iterations	11	11	9	9
GMU	24K	25K	25K	25K
ER	0s	0s	0s	0s

Berdasarkan solusi optimal dari keempat kasus diperoleh solusi yang paling optimal berada pada kasus 1 dengan nilai objektif sebesar 32,7534.

Nilai-nilai variabel yang diperoleh pada model original pada atribut QoS end-to-end delay masing-masing kasus dalam mencapai solusi optimalnya disajikan dalam Tabel.4.10.

**Tabel.4. 10. Nilai-Nilai Variabel pada Model Original untuk QoS
End-to-end delay**

	Kasus			
	1	2	3	4
Variables	PQ_{ij} increase x increase	PQ_{ij} increase x decrease	PQ_{ij} decrease x increase	PQ_{ij} decrease x decrease
PQ_{11}	8,487065	8,438705	0,07381231	0,07381231
PQ_{12}	7,921260	7,876125	0,08857477	0,08857477
PQ_{21}	7,355456	7,313545	0,1033372	0,1033372
PQ_{22}	6,789652	6,750964	0,1180997	0,1180997
X	1	1	0	0
PB_{11}	3,562910	3,562910	0,04295705	0,04295705
PB_{12}	3,325383	3,325383	0,05154845	0,05154845
PB_{21}	3,087855	3,087855	0,06013986	0,06013986
PB_{22}	2,850328	2,850328	0,06873127	0,06873127
a_{11}	0,15	0,15	0,05	0,05
a_{12}	0,14	0,14	0,06	0,06
a_{21}	0,13	0,13	0,07	0,07
a_{22}	0,12	0,12	0,08	0,08
L_x	2,375273	2,375273	1,718282	1,718282
T_l	1000	1000	50	50
B	1,07	1,07	0,8	0,8

Tabel.4.10 menyajikan perbandingan nilai-nilai variabel yang diperoleh pada model original untuk atribut QoS *end-to-end delay* masing-masing kasus dalam mencapai solusi optimal. Berdasarkan Tabel.4.10 dapat dilihat bahwa nilai-nilai variabel PQ_{ij} untuk kasus 1 dan kasus 2 tidak jauh berbeda, namun sangat jauh berbeda dengan semua nilai variabel pada kasus 3 dan kasus 4. Kasus 3 dan kasus 4 memiliki nilai-nilai variabel yang sama.

4.5.3 Solusi Model Original pada Atribut QoS BER

Solusi optimal yang diperoleh untuk model original pada QoS BER setiap kasus dapat dilihat pada Tabel.4.11.

**Tabel.4. 11. Solusi Optimal Model OriginalSkema Pembiayaan
Internet Nirkabel untuk QoS BER**

	Kasus			
	1	2	3	4
<i>Solver Status</i>	PQ_{ij} <i>increase x</i> <i>increase</i>	PQ_{ij} <i>increase x</i> <i>decrease</i>	PQ_{ij} <i>decrease x</i> <i>increase</i>	PQ_{ij} <i>decrease x</i> <i>decrease</i>
<i>Model Class</i>	NLP	NLP	NLP	NLP
<i>State</i>	<i>Local</i> <i>Optimal</i>	<i>Local</i> <i>Optimal</i>	<i>Local</i> <i>Optimal</i>	<i>Local</i> <i>Optimal</i>
<i>Objective</i>	3,04664 $\cdot 10^8$	18,1435	1,81618	2,2
<i>Infeasibility</i>	0	8,88178 $\cdot 10^{-16}$	1,38778 $\cdot 10^{-17}$	1,0997 $\cdot 10^{-8}$
<i>Iterations</i>	13	10	9	10
GMU	25K	25K	25K	25K
ER	0s	0s	0s	0s

Berdasarkan solusi optimal dari keempat kasus diperoleh solusi yang paling optimal berada pada kasus 1 dengan nilai objektif sebesar $3,04664 \cdot 10^8$.

Nilai-nilai variabel yang diperoleh pada model original pada atribut QoS BER masing-masing kasus dalam mencapai solusi optimalnya disajikan dalam Tabel.4.12.

**Tabel.4. 12. Nilai-Nilai Variabel pada Model Original untuk QoS
BER**

	Kasus			
	1	2	3	4
<i>Variables</i>	PQ_{ij} <i>increase x</i> <i>increase</i>	PQ_{ij} <i>increase</i> <i>x decrease</i>	PQ_{ij} <i>decrease</i> <i>x increase</i>	PQ_{ij} <i>decrease</i> <i>x decrease</i>
PQ_{11}	$8,462886 \cdot 10^7$	4,428739	0,07381231	0
PQ_{12}	$7,898693 \cdot 10^7$	4,133489	0,08857477	0
PQ_{21}	$7,334501 \cdot 10^7$	3,838240	0,1033372	0
PQ_{22}	$6,770309 \cdot 10^7$	3,542991	0,1180997	0
x	1	0	0	$0,1 \cdot 10^{-6}$
PB_{11}	3,562910	2,577423	0,04295705	0,04295705
PB_{12}	3,325383	2,405595	0,05154845	0,05154846
PB_{21}	3,087855	2,233766	0,06013986	0,06013987

PB_{22}	2,850328	2,061938	0,06873127	0,06873128
a_{11}	0,15	0,15	0,05	0,05
a_{12}	0,14	0,14	0,06	0,06
a_{21}	0,13	0,13	0,07	0,07
a_{22}	0,12	0,12	0,08	0,08
L_x	2,375273	1,718282	1,718282	1,718282
T_l	1000	1000	50	50
B	1,07	0,8	0,8	0,8

Tabel.4.12 menyajikan perbandingan nilai-nilai variabel yang diperoleh pada model original untuk atribut QoS BER masing-masing kasus dalam mencapai solusi optimal. Berdasarkan Tabel.4.12 dapat dilihat bahwa nilai-nilai variabel PQ_{ij} untuk kasus 1 sangat besar, pada kasus 2 nilai-nilai variabel PQ_{ij} berada di sekitar angka 4, sedangkan pada kasus 3 dan kasus 4 nilai-nilai variabel PQ_{ij} mendekati 0. Pada kasus 1 nilai x adalah 1, sedangkan pada kasus 2, 3, dan 4, nilai x adalah 0. Nilai PB_{ij} untuk kasus 1 dan 2 berbeda namun tidak terlampaui jauh, sedangkan nilai PB_{ij} untuk kasus 3 dan 4 sama dan cukup jauh berbeda dari nilai PB_{ij} pada kasus 1 dan 2.

3.6 Solusi Model Modifikasi Skema Pembiayaan Internet Nirkabel pada Jaringan *Multipel* QoS dengan Program LINGO

Berdasarkan formulasi model modifikasi untuk masing-masing atribut QoS tiap kasus yang telah dibahas pada Subbab 3.4, didapat solusi model modifikasi sebagai berikut:

3.6.1 Solusi Model Modifikasi pada Atribut QoS *Bandwidth*

Solusi optimal yang diperoleh untuk model modifikasi pada atribut QoS *bandwidth* setiap kasus dapat dilihat pada Tabel.4. 13.

**Tabel.4. 13. Solusi Optimal Model ModifikasiSkema Pembiayaan
Internet Nirkabeluntuk QoS Bandwidth**

	Kasus			
	1	2	3	4
<i>Solver Status</i>	PQ_{ij} <i>increase x increase</i>	PQ_{ij} <i>increase x decrease</i>	PQ_{ij} <i>decrease x increase</i>	PQ_{ij} <i>decrease x decrease</i>
<i>Model Class</i>	INLP	INLP	INLP	INLP
<i>State</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>
<i>Objective</i>	508,632	508,628	503,863	503,863
<i>Infeasibility</i>	0	0	0	$3,63798 \cdot 10^{-12}$
<i>Iterations</i>	31	32	28	28
GMU	35K	35K	35K	35K
ER	0s	0s	0s	0s

Berdasarkan solusi optimal dari keempat kasus diperoleh solusi yang paling optimal berada pada kasus 1 dengan nilai objektif sebesar 508,632.

Nilai-nilai variabel yang diperoleh pada model modifikasi pada atribut QoS *bandwidth* masing-masing kasus dalam mencapai solusi optimalnya disajikan dalam Tabel.4. 14.

**Tabel.4. 14. Nilai-Nilai Variabel pada Model Modifikasi untuk QoS
Bandwidth**

	Kasus			
	1	2	3	4
<i>Variables</i>	PQ_{ij} <i>increase x increase</i>	PQ_{ij} <i>increase x decrease</i>	PQ_{ij} <i>decrease x increase</i>	PQ_{ij} <i>decrease x decrease</i>
PQ_{11}	1,218333	1,217116	0,07381231	0,07381231
PQ_{12}	1,137111	1,135975	0,08857477	0,08857477
PQ_{21}	1,055889	1,054834	0,1033372	0,1033372
PQ_{22}	0,9746667	0,9736925	0,1180997	0,1180997
x	1	1	0	0
PB_{11}	0,5126671	0,5126671	0,04295705	0,04295705
PB_{12}	0,4784893	0,4784893	0,05154845	0,05154845

PB_{21}	0,4443115	0,4443115	0,06013986	0,06013986
PB_{22}	0,4101337	0,4101337	0,06873127	0,06873127
a_{11}	0,15	0,15	0,05	0,05
a_{12}	0,14	0,14	0,06	0,06
a_{21}	0,13	0,13	0,07	0,07
a_{22}	0,12	0,12	0,08	0,08
L_x	2,375273	2,375273	1,718282	1,718282
T_l	143,89	143,89	50	50
B	1,07	1,07	0,8	0,8
Z_{11}	1	1	1	1
Z_{12}	0	0	0	0
Z_{21}	0	0	0	0
Z_{22}	1	1	1	1
W_1	8	8	8	8
W_2	9	9	9	9
$\tilde{X}_{11}$	24094,12	24094,12	24094,12	24094,12
$\tilde{X}_{12}$	27105,88	27105,88	27105,88	27105,88
$\tilde{X}_{21}$	24094,12	24094,12	24094,12	24094,12
$\tilde{X}_{22}$	27105,88	27105,88	27105,88	27105,88
L_{m1}	0,01	0,01	0,01	0,01
L_{m2}	0,01	0,01	0,01	0,01
W_{11}	8	8	8	8
W_{12}	8	8	8	8
W_{21}	7	7	7	7
W_{22}	9	9	9	9
X_1	24094,12	24094,12	24094,12	24094,12
X_2	27105,88	27105,88	27105,88	27105,88

Tabel.4.14 menyajikan perbandingan nilai-nilai variabel yang diperoleh pada model modifikasi untuk QoS *bandwidth* masing-masing kasus dalam mencapai solusi optimal. Berdasarkan Tabel.4.14 dapat dilihat bahwa nilai-nilai variabel untuk kasus 1 dan kasus 2 sama, kecuali untuk nilai variabel PQ_{ij} yang tidak jauh berbeda. Nilai-nilai variabel PQ_{ij} , PB_{ij} , x , a_{ij} , L_x , T_l , dan B pada kasus 1 dan 2 sangat jauh berbeda dengan kasus 3 dan kasus 4. Kasus 3 dan kasus 4 memiliki nilai-nilai variabel yang sama. Nilai Z_{ij} menunjukkan keberadaan

pengguna i di kelas j . Nilai $Z_{ij} = 1$ menyatakan bahwa pengguna i berada di kelas j , sedangkan nilai $Z_{ij} = 0$ menyatakan sebaliknya.

3.6.2 Solusi Model Modifikasi pada Atribut QoS *End-to-end delay*

Solusi optimal yang diperoleh untuk model modifikasi pada atribut QoS *end-to-end delay* setiap kasus dapat dilihat pada Tabel.4. 15.

Tabel.4. 15. Solusi Optimal Model Modifikasi Skema Pembiayaan Internet Nirkabel untuk QoS *End-to-end delay*

	Kasus			
	1	2	3	4
<i>Solver Status</i>	PQ_{ij} <i>increase x increase</i>	PQ_{ij} <i>increase x decrease</i>	PQ_{ij} <i>decrease x increase</i>	PQ_{ij} <i>decrease x decrease</i>
<i>Model Class</i>	INLP	INLP	INLP	INLP
<i>State</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>
<i>Objective</i>	508,643	508,618	503,863	503,863
<i>Infeasibility</i>	2,22045 $\cdot 10^{-16}$	1,09139 $\cdot 10^{-11}$	0	0
<i>Iterations</i>	31	32	28	28
GMU	35K	35K	35K	35K
ER	0s	0s	0s	0s

Berdasarkan solusi optimal dari keempat kasus diperoleh solusi yang paling optimal berada pada kasus 1 dengan nilai objektif sebesar 508,643.

Nilai-nilai variabel yang diperoleh pada model modifikasi pada atribut QoS *end-to-end delay* masing-masing kasus dalam mencapai solusi optimalnya disajikan dalam Tabel.4. 16.

Tabel.4. 16. Nilai-Nilai Variabel pada Model Modifikasi untuk QoS
End-to-end delay

Variables	Kasus			
	1	2	3	4
	PQ_{ij} increase x increase	PQ_{ij} increase x decrease	PQ_{ij} decrease x increase	PQ_{ij} decrease x decrease
PQ_{11}	1,221204	1,214245	0,07381231	0,07381231
PQ_{12}	1,139790	1,133296	0,08857477	0,08857477
PQ_{21}	1,058377	1,052346	0,1033372	0,1033372
PQ_{22}	0,9769630	0,9713962	0,1180997	0,1180997
X	1	1	0	0
PB_{11}	0,5126671	0,5126671	0,04295705	0,04295705
PB_{12}	0,4784893	0,4784893	0,05154845	0,05154845
PB_{21}	0,4443115	0,4443115	0,06013986	0,06013986
PB_{22}	0,4101337	0,4101337	0,06873127	0,06873127
a_{11}	0,15	0,15	0,05	0,05
a_{12}	0,14	0,14	0,06	0,06
a_{21}	0,13	0,13	0,07	0,07
a_{22}	0,12	0,12	0,08	0,08
L_x	2,375273	2,375273	1,718282	1,718282
T_l	143,89	143,89	50	50
B	1,07	1,07	0,8	0,8
Z_{11}	1	1	1	1
Z_{12}	0	0	0	0
Z_{21}	0	0	0	0
Z_{22}	1	1	1	1
W_1	8	8	8	8
W_2	9	9	9	9
$\tilde{X}_{11}$	24094,12	24094,12	24094,12	24094,12
$\tilde{X}_{12}$	27105,88	27105,88	27105,88	27105,88
$\tilde{X}_{21}$	24094,12	24094,12	24094,12	24094,12
$\tilde{X}_{22}$	27105,88	27105,88	27105,88	27105,88
L_{m1}	0,01	0,01	0,01	0,01
L_{m2}	0,01	0,01	0,01	0,01
W_{11}	8	8	8	8
W_{12}	8	8	8	8
W_{21}	7	7	7	7
W_{22}	9	9	9	9
X_1	24094,12	24094,12	24094,12	24094,12
X_2	27105,88	27105,88	27105,88	27105,88

Tabel.4.16 menyajikan perbandingan nilai-nilai variabel yang diperoleh pada model modifikasi untuk atribut QoS *end-to-end delay* masing-masing kasus dalam mencapai solusi optimal. Berdasarkan Tabel.4.16 dapat dilihat bahwa nilai-nilai variabel untuk kasus 1 dan kasus 2 sama kecuali untuk nilai variabel PQ_{ij} yang tidak jauh berbeda. Nilai-nilai variabel kedua kasus ini sangat jauh berbeda dengan kasus 3 dan kasus 4. Kasus 3 dan kasus 4 memiliki nilai-nilai variabel yang sama.

3.6.3 Solusi Model Modifikasi pada Atribut QoS BER

Solusi optimal yang diperoleh untuk model modifikasi pada atribut QoS BER setiap kasus dapat dilihat pada Tabel.4. 17.

**Tabel.4. 17. Solusi Optimal Model ModifikasiSkema
Pembiayaan Internet Nirkabeluntuk QoS BER**

	Kasus			
	1	2	3	4
<i>Solver Status</i>	PQ_{ij} <i>increase x</i> <i>increase</i>	PQ_{ij} <i>increase x</i> <i>decrease</i>	PQ_{ij} <i>decrease x</i> <i>increase</i>	PQ_{ij} <i>decrease x</i> <i>decrease</i>
<i>Model Class</i>	INLP	INLP	INLP	INLP
<i>State</i>	<i>Local</i> <i>Optimal</i>	<i>Local</i> <i>Optimal</i>	<i>Local</i> <i>Optimal</i>	<i>Local</i> <i>Optimal</i>
<i>Objective</i>	4,38386 $\cdot 10^7$	506,541	503,863	504,246
<i>Infeasibility</i>	7,27596 $\cdot 10^{-12}$	0	$8 \cdot 10^{-8}$	0
<i>Iterations</i>	26	35	40	28
GMU	35K	35K	35K	35K
ER	0s	0s	1s	0s

Berdasarkan solusi optimal dari keempat kasus diperoleh solusi yang paling optimal berada pada kasus 1 dengan nilai objektif sebesar $4,38386 \cdot 10^7$.

Nilai-nilai variabel yang diperoleh pada model modifikasi pada atribut QoS BER masing-masing kasus dalam mencapai solusi optimalnya disajikan dalam Tabel.4. 18.

Tabel.4. 18. Nilai-Nilai Variabel pada Model Modifikasi untuk QoS BER

	Kasus			
	1	2	3	4
Variables	PQ_{ij} increase x increase	PQ_{ij} increase x decrease	PQ_{ij} decrease x increase	PQ_{ij} decrease x decrease
PQ_{11}	$1,217725 \cdot 10^7$	0,6372512	0,07381230	0
PQ_{12}	$1,136543 \cdot 10^7$	0,5947678	0,08857477	0
PQ_{21}	$1,055361 \cdot 10^7$	0,5522844	0,1033372	0
PQ_{22}	$0,9741797 \cdot 10^7$	0,5098010	0,1180997	0
x	1	0	0	$0,1 \cdot 10^{-6}$
PB_{11}	0,5126671	0,3708654	0,04295704	0,04295705
PB_{12}	0,4784893	0,3461410	0,05154845	0,05154846
PB_{21}	0,4443115	0,3214166	0,06013986	0,06013987
PB_{22}	0,4101337	0,2966923	0,06873127	0,06873128
a_{11}	0,15	0,15	0,05	0,05
a_{12}	0,14	0,14	0,06	0,06
a_{21}	0,13	0,13	0,07	0,07
a_{22}	0,12	0,12	0,08	0,08
L_x	2,375273	1,718282	1,718282	1,718282
T_l	143,89	143,89	50	50
B	1,07	0,8	0,8	0,8
Z_{11}	1	1	1	1
Z_{12}	0	0	0	0
Z_{21}	0	0	0	0
Z_{22}	1	1	1	1
W_1	8	8	8	8
W_2	9	9	9	9
$\tilde{X}_{11}$	24094,12	24094,12	24094,12	24094,12
$\tilde{X}_{12}$	27105,88	27105,88	27105,88	27105,88
$\tilde{X}_{21}$	24094,12	24094,12	24094,12	24094,12
$\tilde{X}_{22}$	27105,88	27105,88	27105,88	27105,88
L_{m1}	0,01	0,01	0,01	0,01
L_{m2}	0,01	0,01	0,01	0,01

W_{11}	8	8	8	8
W_{12}	8	8	8	8
W_{21}	7	7	7	7
W_{22}	9	9	9	9
X_1	24094,12	24094,12	24094,12	24094,12
X_2	27105,88	27105,88	27105,88	27105,88

Tabel.4. 18 menyajikan perbandingan nilai-nilai variabel yang diperoleh pada model modifikasi untuk QoS BER masing-masing kasus dalam mencapai solusi optimal. Berdasarkan Tabel.4. 18 dapat dilihat bahwa nilai-nilai variabel PQ_{ij} untuk kasus 1 sangat besar, pada kasus 2 nilai-nilai variabel PQ_{ij} semakin mendekati 0,5, sedangkan pada kasus 3 dan kasus 4 nilai-nilai variabel PQ_{ij} mendekati 0. Pada kasus 1 nilai x adalah 1, sedangkan pada kasus 2 dan 3 nilai x adalah 0, dan pada kasus 4 nilai x adalah sebesar $0.1 \cdot 10^{-6}$ atau mendekati 0. Nilai PB_{ij} untuk kasus 1 dan 2 berbeda namun tidak terlampau jauh, sedangkan nilai PB_{ij} untuk kasus 3 dan 4 hampir sama dan cukup jauh berbeda dari nilai PB_{ij} pada kasus 1 dan 2.

3.7 Perbandingan Solusi Model Original dan Model Modifikasi

Tabel-tabel berikut menampilkan perbandingan solusi dari kedua model pada setiap atribut QoS.

3.7.1 Perbandingan Solusi Kedua Model pada Atribut QoS Bandwidth

Tabel.4. 19. Perbandingan Solusi Model Original dan Model Modifikasi untuk QoS Bandwidth

	Kasus							
	1		2		3		4	
Solver Status	PQ_{ij} increase x increase		PQ_{ij} increase x decrease		PQ_{ij} decrease x increase		PQ_{ij} decrease x decrease	
	Origin al	Modifik asi	Origin al	Modifik asi	Original	Modifik asi	Origin al	Modifi kasi
Model Class	NLP	INLP	NLP	INLP	NLP	INLP	NLP	INLP
State	Local Optim	Local Optimal	Local Optim	Local Optimal	Local Optimal	Local Optimal	Local Optim	Local Optimal

	<i>al</i>		<i>al</i>				<i>al</i>	<i>al</i>
<i>Objective</i>	32,6816	508,632	32,6512	508,628	1,81618	503,863	1,81618	503,863
<i>Infeasibility</i>	0	0	0	0	$1,3877 \cdot 10^{-17}$	0	$1,3877 \cdot 10^{-17}$	$3,63798 \cdot 10^{-12}$
<i>Iterations</i>	11	31	11	32	9	28	9	28
GMU	24K	35K	25K	35K	25K	35K	25K	35K
ER	1s	0s	0s	0s	0s	0s	0s	0s

Tabel.4.19 menunjukkan perbandingan solusi model original dan model modifikasi masing-masing kasus untuk atribut QoS *Bandwidth*.

Berdasarkan solusi optimal untuk setiap kasus pada kedua model, maka solusi yang lebih optimal didapat dari solusi model modifikasi.

Pada solusi optimal model modifikasi, solusi yang paling optimal berdasarkan kasus 1.

3.7.2 Perbandingan Solusi Kedua Model pada Atribut QoS *End-to-end delay*

Tabel.4. 20. Perbandingan Solusi Model Original dan Model Modifikasi untuk QoS *End-to-end delay*

	Kasus							
	1		2		3		4	
Solver Status	<i>PQ_{ij} increase x increase</i>		<i>PQ_{ij} increase x decrease</i>		<i>PQ_{ij} decrease x increase</i>		<i>PQ_{ij} decrease x decrease</i>	
	Orginal	Modifikasi	Orginal	Modifikasi	Orginal	Modifikasi	Orginal	Modifikasi
<i>Model Class</i>	NLP	INLP	NLP	INLP	NLP	INLP	NLP	INLP
<i>State</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>
<i>Objective</i>	32,753	508,643	32,579	508,618	1,8161	503,863	1,8161	503,863
<i>Infeasibility</i>	0	$2,22045 \cdot 10^{-16}$	0	$1,09139 \cdot 10^{-11}$	$1,3877 \cdot 10^{-17}$	0	$1,3877 \cdot 10^{-17}$	0
<i>Iterations</i>	11	31	11	32	9	28	9	28
GMU	24K	35K	25K	35K	25K	35K	25K	35K
ER	0s	0s	0s	0s	0s	0s	0s	0s

Tabel.4. 20 menunjukkan perbandingan solusi model original dan model modifikasi masing-masing kasus untuk QoS *end-to-end delay*.

Berdasarkan solusi optimal untuk setiap kasus pada kedua model, maka solusi yang lebih optimal didapat dari solusi model modifikasi.

Pada solusi optimal model modifikasi, solusi yang paling optimal berdasarkan kasus 1.

3.7.3 Perbandingan Solusi Kedua Model pada Atribut QoS BER

Tabel.4. 21. Perbandingan Solusi Model Original dan Model Modifikasi untuk QoS BER

	Kasus							
	1		2		3		4	
Solver Status	<i>PQ_{ij} increase x increase</i>		<i>PQ_{ij} increase x decrease</i>		<i>PQ_{ij} decrease x increase</i>		<i>PQ_{ij} decrease x decrease</i>	
	Original	Modifikasi	Original	Modifikasi	Original	Modifikasi	Original	Modifikasi
<i>Model Class</i>	NLP	INLP	NLP	INLP	NLP	INLP	NLP	INLP
<i>State</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>
<i>Objective</i>	3,04664 · 10 ⁸	4,38386 · 10 ⁷	18,1435	506,541	1,81618	503,863	2,2	504,246
<i>Infeasibility</i>	0	7,27596 · 10 ⁻¹²	8,88178 · 10 ⁻¹⁶	0	1,38778 · 10 ⁻¹⁷	8 · 10 ⁻⁸	1,0997 · 10 ⁻⁸	0
<i>Iterations</i>	13	26	10	35	9	40	10	28
GMU	25K	35K	25K	35K	25K	35K	25K	35K
ER	0s	0s	0s	0s	0s	1s	0s	0s

Tabel.4. 21 menunjukkan perbandingan solusi model original dan model modifikasi masing-masing kasus untuk QoS BER.

Berdasarkan solusi optimal untuk setiap kasus pada kedua model, solusi yang lebih optimal pada kasus 1 didapat dari solusi model original, sedangkan solusi yang lebih optimal untuk kasus 2, 3, dan 4 didapat dari solusi model modifikasi.

Berdasarkan Tabel.4. 19 sampai 4.21, solusi paling optimal pada model original untuk atribut QoS *bandwidth*, *end-to-end delay*, dan BER diperoleh dari solusi kasus 1 (PQ_{ij} naik sepanjang kenaikan nilai QoS); dengan nilai pendapatan secara berturut-turut sebesar 32,6816 rupiah, 32,7534 rupiah, dan $3,04664 \cdot 10^8$ rupiah. Dalam hal ini pendapatan tertinggi untuk model original diperoleh berdasarkan atribut QoS BER.

Sedangkan solusi paling optimal pada model modifikasi atribut QoS *bandwidth*, *end-to-end delay*, dan BER diperoleh dari solusi kasus 1 (PQ_{ij} naik sepanjang kenaikan nilai QoS); dengan nilai pendapatan secara berturut-turut sebesar 508,632 rupiah, 508,643 rupiah, dan $4,38386 \cdot 10^7$ rupiah. Dalam hal ini pendapatan tertinggi untuk model modifikasi diperoleh berdasarkan atribut QoS BER.

Berdasarkan solusi yang paling optimal untuk atribut QoS *bandwidth* diperoleh berdasarkan model modifikasi pada kasus 1, dengan solusi optimal 508,632 rupiah. Solusi yang paling optimal untuk atribut QoS *end-to-end delay* diperoleh berdasarkan model modifikasi pada kasus 1, dengan solusi optimal 508,643 rupiah. Sedangkan solusi yang paling optimal untuk atribut QoS BER diperoleh berdasarkan model original pada kasus 1, dengan solusi optimal sebesar $3,04664 \cdot 10^8$ rupiah.

Solusi yang paling optimal berdasarkan atribut QoS BER yang diperoleh dari solusi kasus 1 pada model original.

7.4 KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Jaringan *multi* kelas pada model original, untuk atribut QoS *bandwidth*, *end-to-end delay*, dan BER, pendapatan yang diperoleh ISP akan optimal apabila ISP menaikkan biaya sepanjang perubahan QoS (PQ_{ij} meningkat) dan menaikkan nilai QoS (x meningkat). Jika ISP menerapkannya, maka pendapatan yang akan diperoleh adalah sebesar 32,6816 rupiah untuk QoS *bandwidth*, 32,7534 rupiah untuk QoS *end-to-end delay*, dan $3,04664 \cdot 10^8$ rupiah untuk QoS BER.

2. Jaringan *multi* kelas pada model modifikasi untuk ketiga QoS, pendapatan yang diperoleh ISP akan optimal apabila ISP menaikkan biaya sepanjang perubahan QoS (PQ_{ij} meningkat) dan menaikkan nilai QoS (x meningkat). Jika ISP menerapkannya, maka pendapatan yang akan diperoleh adalah sebesar 508,632 rupiah untuk QoS *bandwidth*, 508,643 rupiah untuk QoS *end-to-end delay*, dan $4,38386 \cdot 10^7$ rupiah untuk QoS BER.
3. Dari solusi model original dan model modifikasi diperoleh bahwa pendapatan QoS bandwidth pada model modifikasi lebih optimal dari pada model original, yaitu sebesar 508,632 rupiah. Untuk atribut QoS *end-to-end delay* pendapatan akan lebih optimal jika menerapkan model modifikasi. Sedangkan untuk QoS BER, pendapatan ISP akan optimal apabila ISP menerapkan model original.

Saran

Pada penelitian ini hanya membahas model original dan model yang dimodifikasi pada layanan tunggal dengan 2 pengguna layanan dan 2 kelas layanan. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk membahas skema pembiayaan internet dengan pengguna layanan dan kelas layanan lebih dari 2 serta memodifikasi model baru dengan mengasumsikan harga dasar untuk kelas j (α_j) sebagai variabel.

7.5 DAFTAR PUSTAKA

- Bandung, Yoanes. “Mengenal Teknologi QoS di Internet”. <https://ybandung.wordpress.com/2008/01/16/mengenal-teknologi-qos-diinternet> (diakses 28 Agustus 2015, pukul 07.22 WIB).
- Irmeilyana, Indrawati, F. M. Puspita, R. Sitepu, & R. T. Amelia. 2014. Generalized models for internet pricing scheme under *multi class QoS networks*. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, August: 543-550.
- Irmeilyana, F. M. Puspita, & Indrawati. 2015. Mixed Integer Nonlinear Programming Model of Wireless Pricing Scheme with QoS Attribute of *Bandwidth* and End to-End Delay. Progress in Applied Mathematics in Science and Engineering (PIAMSE). Denpasar.
- Irmeilyana, F. M. Puspita, & Indrawati. 2015. Nonlinear Programming Approach of Wireless Pricing Models. Proceeding Seminar 2nd International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics 2015 (EECSI 2015). Palembang, Sumatera Selatan, IAES.
- Puspita, F. M., K. Seman, B. M. Taib, & I. Abdullah. 2015. Optimization of Wireless Pricing Scheme. Proceeding Seminar International Conference on Information Technology and Business. Bandar Lampung, Lampung.
- Wallenius E, Hämäläinen T. 2002. Pricing Model for 3G/4G Networks. Prosiding Seminar 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications. Lisbon, Portugal.
- Yang W. 2004. Pricing *Network Resources in Differentiated Service Networks*, in School of Electrical and Computer Engineering. Phd Thesis. Georgia Institute of Technology.

INDEKS

B

Bandwidth, 119, 126, 128, 130, 214, 215, 221, 223, 225, 250, 258, 363, 375, 376, 378, 383, 393, 394, 398, 399, 405, 406, 410

E

Elapsed Runtime, 127, 130, 132, 165, 167, 170, 173, 188, 194, 222, 223, 226, 277, 288, 333, 335, 338, 339, 342, 344, 348, 349, 393

I

Improved, 134, 138, 139, 141, 145, 151, 201, 202, 295, 298, 305, 356
ISP, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 18, 20, 21, 28, 30, 31, 44, 45, 48, 49, 50, 51, 53, 55, 60, 61, 70, 77, 78, 81, 82, 83, 98, 100, 102, 103, 104, 106, 107, 109, 111, 113, 114, 116, 117, 118, 126, 128, 130, 132, 133, 137, 138, 139, 140, 143, 144, 145, 149, 150, 151, 174, 206, 207, 221, 223, 224, 225, 226, 236, 237, 238, 239, 241, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 250, 251, 252, 254, 255, 258, 259, 260, 268, 279, 293, 297, 298, 300, 301, 303, 304, 317, 336, 341, 346,

351, 353, 354, 359, 360, 361, 362, 408, 409

J

Jaringan, 2, 4, 5, 8, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 20, 51, 52, 63, 65, 68, 71, 72, 75, 76, 77, 89, 90, 92, 94, 96, 97, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 108, 110, 112, 113, 114, 115, 116, 118, 119, 120, 122, 125, 126, 128, 130, 133, 139, 145, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 170, 171, 173, 174, 175, 177, 178, 188, 200, 205, 214, 215, 216, 218, 220, 221, 222, 224, 226, 227, 228, 229, 231, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 244, 247, 252, 255, 267, 268, 269, 272, 273, 275, 276, 278, 279, 280, 281, 282, 287, 294, 300, 315, 316, 317, 318, 322, 325, 329, 332, 333, 335, 338, 340, 342, 344, 348, 350, 351, 355, 360, 361, 372, 373, 375, 376, 377, 393, 398, 408, 409

L

Layanan, 1, 4, 5, 11, 12, 13, 18, 20, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 48, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 61, 62, 77, 84, 85, 86, 89,

90, 91, 92, 94, 96, 97, 98, 99,
 100, 101, 102, 103, 104, 105,
 106, 108, 109, 110, 111, 112,
 113, 114, 115, 116, 139, 155,
 156, 157, 158, 159, 160, 161,
 162, 163, 164, 165, 166, 167,
 168, 170, 171, 173, 174, 207,
 210, 211, 212, 227, 228, 229,
 231, 235, 236, 237, 238, 239,
 240, 241, 242, 243, 244, 245,
 247, 252, 253, 260, 263, 265,
 267, 268, 269, 272, 273, 275,
 276, 278, 279, 294, 300, 309,
 311, 312, 313, 315, 316, 317,
 318, 322, 325, 329, 332, 333,
 334, 335, 338, 340, 342, 343,
 344, 345, 348, 350, 351, 352
 Link, 89, 118, 202, 214, 227,
 269, 272, 294, 295, 318, 355,
 356

M

Model, 5, 8, 11, 18, 20, 60, 63,
 65, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73,
 74, 75, 79, 82, 89, 90, 92, 94,
 96, 97, 99, 101, 103, 105,
 108, 110, 112, 114, 118, 120,
 122, 123, 124, 125, 126, 127,
 128, 129, 130, 131, 132, 134,
 138, 139, 141, 145, 146, 147,
 148, 155, 156, 157, 159, 161,
 162, 164, 166, 167, 170, 172,
 174, 175, 177, 178, 181, 182,
 183, 184, 185, 186, 187, 188,
 189, 190, 191, 193, 194, 195,
 197, 198, 199, 200, 202, 206,
 207, 214, 216, 218, 219, 220,
 221, 222, 223, 224, 225, 226,
 227, 228, 229, 231, 235, 237,

239, 241, 242, 244, 250, 251,
 252, 256, 257, 267, 268, 271,
 273, 274, 276, 277, 279, 280,
 281, 282, 284, 285, 286, 287,
 288, 289, 290, 292, 293, 294,
 295, 296, 299, 300, 301, 305,
 315, 316, 317, 318, 321, 322,
 325, 329, 332, 333, 334, 336,
 337, 339, 341, 342, 343, 346,
 347, 349, 351, 352, 353, 355,
 356, 360, 361, 362, 367, 375,
 376, 377, 378, 380, 382, 383,
 387, 390, 393, 394, 395, 396,
 397, 398, 399, 401, 402, 403,
 404, 405, 406, 407, 410

Modifikasi, 22, 23, 24, 25, 26,
 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34,
 35, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 44,
 45, 46, 47, 48, 50, 53, 54, 55,
 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63,
 65, 68, 69, 71, 72, 73, 74, 75,
 122, 123, 124, 125, 126, 128,
 129, 130, 131, 132, 181, 182,
 183, 185, 186, 189, 190, 191,
 193, 195, 197, 198, 199, 200,
 218, 219, 220, 222, 223, 224,
 225, 226, 284, 285, 286, 288,
 289, 290, 292, 293, 305, 352,
 367, 377, 383, 387, 390, 398,
 399, 401, 402, 403, 404, 405,
 406, 407

O

Optimal, 5, 50, 62, 67, 68, 69,
 70, 71, 72, 73, 74, 75, 135,
 138, 164, 167, 170, 172, 188,
 190, 193, 194, 197, 199, 200,
 274, 277, 287, 289, 292, 293,
 333, 334, 337, 339, 342, 343,

347, 349, 355, 393, 395, 397,
399, 401, 403, 405, 406, 407
Original, 67, 76, 120, 126, 127,
178, 184, 188, 189, 194, 195,
216, 221, 226, 282, 287, 288,
290, 292, 293, 362, 377, 378,
380, 382, 393, 394, 395, 396,
397, 405, 406, 407

P

Pembiayaan, 1, 2, 5, 8, 20, 51,
65, 68, 71, 77, 81, 82, 140,
202, 205, 249, 268, 271, 294,
297, 298, 300, 317, 321, 325,
329, 355, 359, 378, 383, 393,
395, 397, 398, 399, 401, 403

Q

QoS, 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 11, 15,
16, 17, 18, 19, 21, 23, 24, 25,
27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34,
35, 36, 37, 38, 40, 41, 42, 44,
45, 46, 47, 48, 53, 54, 55, 56,
57, 58, 59, 61, 62, 63, 64, 65,
67, 68, 71, 72, 75, 76, 77, 78,
79, 81, 82, 98, 100, 102, 104,
105, 106, 107, 109, 111, 112,
113, 114, 115, 116, 131, 133,
134, 137, 138, 139, 143, 144,
145, 150, 151, 152, 153, 154,
156, 157, 165, 168, 171, 173,
175, 177, 178, 181, 182, 184,
185, 186, 188, 200, 201, 202,
205, 206, 207, 225, 227, 236,
238, 240, 243, 245, 248, 249,
250, 251, 252, 253, 254, 255,

256, 259, 260, 265, 267, 269,
272, 276, 278, 279, 280, 281,
282, 286, 287, 294, 295, 297,
298, 299, 303, 304, 315, 316,
318, 352, 353, 354, 355, 356,
357, 359, 360, 361, 362, 363,
365, 366, 367, 370, 372, 373,
375, 376, 377, 378, 379, 380,
381, 382, 383, 385, 386, 387,
388, 389, 390, 391, 392, 393,
394, 395, 396, 397, 398, 399,
400, 401, 402, 403, 404, 405,
406, 407, 408, 409, 410

S

Sent, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 84,
85, 86, 87, 88, 152, 153, 154,
208, 209, 210, 211, 212, 260,
261, 263, 265, 305, 306, 307,
308, 309, 311, 312, 313, 372,
373

Skema, 2, 5, 8, 20, 51, 65, 68,
71, 77, 82, 137, 139, 201,
202, 250, 255, 268, 271, 294,
297, 298, 299, 317, 321, 325,
329, 355, 378, 383, 393, 398,
401

T

Telco, 82, 250
Traffic, 11, 12, 13, 15, 16, 17,
83, 84, 85, 86, 87, 88, 152,
153, 154, 208, 209, 210, 211,
212, 260, 261, 263, 265, 305,
306, 307, 308, 309, 311, 312,
313, 372, 373

Buku ini berisikan topik mengenai aplikasi permasalahan optimasi pada model pembiayaan layanan internet berbasis QoS. Topik ini diharapkan dapat membantu mahasiswa dalam mengkaji secara mendalam bentuk model optimasi masalah yang berhubungan dengan pembiayaan layanan internet baik 3G maupun 4G.



Dr. Fitri Maya Puspita, M.Sc



Drs. Robinson Sitepu, M.Si



Yunita, M.Cs



Dr. Evi Yuliza, M.Si



Sisca Octarina, M.Sc



Aprilia Nur Sabana, S.Si