



PROGRAM NONLINIER DAN APLIKASINYA

Oleh:
Dr. Fitri Maya Puspita, S.Si, M.Sc
Drs. Robinson Sitepu, M.Si
Yunita, S.Si, M.Cs
Sisca Octarina, S.Si, M.Sc
Dr. Evi Yuliza, S.Si, M.Si
Putri Eka Indriani, S.Si
Putri Rahmadia, S.Si

PROGRAM NONLINIER DAN APLIKASINYA

Dr. Fitri Maya Puspita, S.Si, M.Sc

Drs. Robinson Sitepu, M.Si

Yunita, S.Si, M.Cs

Dr. Evi Yuliza, S.Si, M.Si

Dr. Sisca Octarina, S.Si, M.Sc

Putri Eka Indriani, S.Si

Putri Rahmadia, S.Si

Program Nonlinier dan Aplikasinya

copyright © Maret 2023

Penulis : Dr. Fitri Maya Puspita, S.Si, M.Sc
Drs. Robinson Sitepu, M.Si
Yunita, S.Si, M.Cs
Dr. Evi Yuliza, S.Si, M.Si
Dr. Sisca Octarina, S.Si, M.Sc
Putri Eka Indriani, S.Si
Putri Rahmadia, S.Si

Setting Dan Layout : Iqbal Amirul Ihsan

Desain Cover : Amya Bunga Fathiyah, S.Psi

Hak Penerbitan ada pada © Bening media Publishing 2023
Anggota IKAPI No. 019/SMS/20

Hakcipta © 2023 pada penulis
Isi diluar tanggung jawab percetakan

Ukuran 16,25 cm x 25 cm
Halaman : x + 120 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, Maret 2023



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

ISBN : 978-623-8006-85-4

PRAKATA

Assalamualaikum wr.wb

Puji syukur kita panjatkan atas kehadiran Allah SWT, atas berkat rahmat dan karunia-Nya lah sehingga buku referensi ini dapat diselesaikan dengan baik. Materi yang dibahas dalam buku ini yaitu jaringan selfish user dan fair network dengan menggunakan tiga skema pembiayaan internet flat-fee, usage-based dan two-part tariff berdasarkan fungsi utilitas Perfect Substitute, Eksponensial, Modified Cobb Douglas, Isoelastic, dan fungsi utilitas Quasi Linier.

Buku referensi ini memiliki isi yang memuat materi Non Linier Programming, Mixed Integer Linier Programming, penyedia jasa layanan internet, kualitas layanan internet, C-RAN, Selfish User, Fair Network, fungsi utilitas dan optimasi masalah pengguna.

Pada kesempatan ini penyusun menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang sudah terlibat dalam penyusunan buku ini sehingga bisa terselesaikan dengan baik. Buku referensi ini merupakan salah satu luaran dari Penelitian yang dibiayai oleh Anggaran DIPA Badan Layanan Umum Universitas Sriwijaya tahun Anggaran 2021. SP DIPA-023.17.2.677515/2022, tanggal 13 Desember 2021, sesuai dengan SK Rektor 0109/UN9.3.1/SK/2022 tanggal 28 April 2022.

Wassalamu'alaikum wr.wb

Hormat Kami

Tim penulis

DAFTAR ISI

PRAKATA.....	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR ISTILAH.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 <i>Internet Service Provider (ISP)</i>	4
1.2 <i>Quality of Service (QoS)</i>	5
1.3 <i>Cloud Radio Acces Network (C-RAN)</i>	5
1.4 <i>Selfish User</i>	7
1.5 <i>Fair Network</i>	8
1.6 Fungsi Utilitas.....	9
1.6.1 Fungsi Utilitas Berdasarkan <i>Perfect Substitute</i>	9
1.6.2 Fungsi Utilitas Berdasarkan <i>Ekspensial</i>	9
1.6.3 Fungsi Utilitas Berdasarkan <i>Modified Cobb-Douglas</i>	10
1.6.4 Fungsi Utilitas Berdasarkan <i>Isoelastic</i>	10
1.6.5 Fungsi Utilitas Berdasarkan <i>Quasi Linear</i>	10
1.7 Optimasi Masalah Pengguna.....	10
BAB II MODEL ORIGINAL C-RAN.....	13
2.1 <i>Selfish User</i>	13
2.1.1 Data, Parameter dan Variabel.....	13
2.1.2 Model Original C-RAN.....	20
2.1.3 Solusi Optimal Model Original C-RAN	23
2.1.4 Model Original C-RAN- <i>Selfish User</i>	25
2.1.5 Solusi Optimal Model Original C-RAN- <i>Selfish User</i>	26
2.2 <i>Fair Network</i>	28
2.2.1 Data, Parameter dan Variabel.....	28
2.2.2 Model Original C-RAN.....	32
2.2.3 Solusi Model Original C-RAN.....	36
2.2.4 Model C-RAN dan <i>Fair Network</i>	36
2.2.5 Solusi Model C-RAN dan <i>Fair Network</i>	38

BAB III FUNGSI UTILITAS PERFECT <i>SUBSTITUTE</i>.....	39
3.1 Penyusunan Model <i>Improved C-RAN Selfish User</i> Berdasarkan Fungsi Utilitas <i>Perfect Substitute</i>	39
3.2 Penyusunan Model Skema Pembiayaan Internet Berdasarkan Pemakaian Data	40
3.3 Penyusunan Model Skema Pembiayaan Internet Berdasarkan Data <i>Traffic</i>	41
3.3.1 Kasus 1 (L_0 sebagai Konstanta dan T^L sebagai Variabel).....	41
3.3.2 Kasus 2 (L_0 dan T^L sebagai Konstanta)	44
3.3.3 Kasus 3 (L_0 sebagai Variabel dan T^L sebagai Konstanta).....	48
3.3.4 Kasus 4 (L_0 dan T^L sebagai Variabel).....	51
3.4 Solusi Optimal Model C-RAN- <i>Selfish User</i> Berdasarkan Fungsi Utilitas <i>Perfect Substitute</i>	54
3.5 Kesimpulan	60
BAB IV FUNGSI UTILITAS EKSPONENSIAL.....	61
4.1 Penyusunan Model <i>Improved C-RAN Selfish User</i> Berdasarkan Fungsi <i>Utilitas Eksponensial</i>	61
4.2 Penyusunan Model Skema Pembiayaan Internet Berdasarkan Pemakaian Data	62
4.3 Penyusunan Model Skema Pembiayaan Internet Berdasarkan Data <i>Traffic</i>	63
4.3.1 Kasus 1 (L_0 sebagai Konstanta dan T^L sebagai Variabel).....	63
4.3.2 Kasus 2 (L_0 dan T^L sebagai Konstanta)	67
4.3.3 Kasus 3 (L_0 sebagai Variabel dan T^L sebagai Konstanta)	71
4.1.4 Kasus 4 (L_0 dan T^L sebagai Variabel).....	74
4.4 Solusi Optimal Model C-RAN- <i>Selfish User</i> Berdasarkan Fungsi Utilitas <i>Eksponensial</i>	78
4.5 Kesimpulan	83

BAB V FUNGSI UTILITAS <i>MODIFIED COBB-DOUGLAS</i>	85
5.1 Penyusunan Model <i>Improved C-RAN</i>	85
5.2 Model Skema Pembiayaan Internet Berdasarkan Fungsi Utilitas <i>Modified Cobb-Douglas</i> pada Jaringan <i>Fair DSL-LTE Multiple QoS</i>	86
5.2.1 Kasus 1 Kasus 1 (L_0 sebagai Konstanta dan T^L sebagai Variabel)	86
5.2.2 Kasus 2 (L_0 dan T^L sebagai Konstanta)	90
5.3 Solusi Model Skema Pembiayaan Internet	93
5.4 Kesimpulan	94
BAB VI FUNGSI UTILITAS ISOELASTIC	95
6.1 Penyusunan Model <i>Improved C-RAN</i>	95
6.2 Model Skema Pembiayaan Internet Berdasarkan Fungsi Utilitas <i>Isoelastic</i> pada Jaringan <i>Fair DSL-LTE Multiple QoS</i>	96
6.2.1 Kasus 1 (L_0 sebagai Konstanta dan T^L sebagai Variabel).....	96
6.2.2 Kasus 2 (L_0 dan T^L sebagai Konstanta)	98
6.3 Solusi Model Skema Pembiayaan Internet	101
6.3 Kesimpulan	103
BAB VII FUNGSI UTILITAS <i>QUASI LINEAR</i>	105
7.1 Penyusunan Model <i>Improved C-RAN</i>	105
7.2 Model Skema Pembiayaan Internet Berdasarkan Fungsi Utilitas <i>Quasi Linear</i> pada Jaringan <i>Fair DSL-LTE Multiple QoS</i>	106
7.2.1 Kasus 1 (L_0 sebagai Konstanta dan T^L sebagai Variabel).....	106
7.2.2 Kasus 2 (L_0 dan T^L sebagai Konstanta)	110
7.3 Solusi Model Skema Pembiayaan Internet	113
7.4 Kesimpulan	115
DAFTAR PUSTAKA	116
INDEKS.....	120

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data Traffic Sisfo Untuk Jam Sibuk dan Jam Tidak Sibuk.....	13
Tabel 2.2 Parameter Model C-RAN <i>Selfish User</i>	15
Tabel 2.3 Variabel Model C-RAN <i>Selfish User</i>	17
Tabel 2.4 Nilai-Nilai Parameter Pada Data Traffic Sisfo	19
Tabel 2.5 Nilai Parameter Model C-RAN <i>Selfish User</i>	20
Tabel 2.6 Solusi Optimal Model Original C-RAN	24
Tabel 2.7 Solusi Optimal Model Original C-RAN- <i>Selfish User</i>	27
Tabel 2.8 Pemakaian Data Traffic untuk Jam Sibuk dan Jam Tidak Sibuk	28
Tabel 2.9 Parameter untuk Model Original C-RAN	29
Tabel 2.10 Parameter Tambahan untuk Model <i>Improved</i>	30
Tabel 2.11 Variabel untuk Model <i>Improved</i> C-RAN	30
Tabel 2.12 Variabel Tambahan untuk Model <i>Improved</i>	30
Tabel 2.13 Nilai-nilai Parameter pada Data <i>Traffic</i>	31
Tabel 2.14 Nilai Parameter pada Model Original C-RAN	32
Tabel 2.15 Nilai Parameter yang Dipakai pada Skema Pembiayaan	32
Tabel 2.16 Solusi Model Original C-RAN	36
Tabel 2.17 Solusi Model C-RAN Fair Network	38
Tabel 3.1 Solusi Optimal Model C-RAN- <i>Selfish User</i> Berdasarkan Fungsi Utilitas Perfect Substitute Pada Kasus 1 (L_0 sebagai Konstanta dan T^L sebagai Variabel).....	55
Tabel 3.2 Solusi Optimal Model. C-RAN <i>Selfish User</i> Berdasarkan Fungsi Utilitas Perfect Substitute Pada Kasus 2 (L_0 dan T^L sebagai Konstanta)	56
Tabel 3.3 Solusi Optimal Model C-RAN <i>Selfish User</i> Berdasarkan Fungsi Utilitas Perfect Substitute Pada Kasus 3 (L_0 sebagai Variabel dan T^L sebagai Konstanta).....	58

Tabel 3.4 Solusi Optimal Model C-RAN-Selfish User Berdasarkan Fungsi Utilitas <i>Perfect Substitute</i> Pada Kasus 4 (L_0 sebagai Konstanta dan T^L).....	59
Tabel 4.1 Solusi Optimal Model C-RAN Selfish User Berdasarkan Fungsi Utilitas Eksponensial Pada Kasus 1 (L_0 sebagai Konstanta dan T^L sebagai Variabel)	78
Tabel 4.2 Solusi Optimal Model C-RAN Selfish User Berdasarkan Fungsi Utilitas Eksponensial pada Kasus 2 (L_0 dan T^L sebagai Konstanta).....	79
Tabel 4.3 Solusi Optimal Model C-RAN Selfish User Berdasarkan Fungsi Utilitas Eksponensial pada Kasus 3 (L_0 sebagai Variabel dan T^L sebagai Konstanta).....	81
Tabel 4.4 Solusi Optimal Model C-RAN, <i>Selfish User</i> Berdasarkan Fungsi Utilitas Eksponensial pada Kasus 4 (L_0 dan T^L sebagai Variabel).....	82
Tabel 5.1 Solusi Optimal Model C-RAN, <i>Fair Network</i> dan Fungsi Utilitas <i>Modified Cobb-Douglas</i>	93
Tabel 6.1 Solusi Optimal Model C-RAN, <i>Fair Network</i> dan Fungsi Utilitas <i>Isoelastic</i>	102
Tabel 7.1 Solusi Optimal Model Model C-RAN, <i>Fair Network</i> dan Fungsi Utilitas <i>Quasi Linear</i>	114

DAFTAR ISTILAH

Flat-fee	Pembiayaan internet dengan biaya tetap akses internet setiap bulan dan tidak memberikan batasan waktu mengakses.
Usage-based	Pembiayaan internet dengan biaya yang ditentukan pada biaya yang ditentukan pada seberapa sering pengguna mengakses internet.
Two-part tariff	Pembiayaan internet tarif dua bagian di mana pelanggan membayar biaya bulanan yang ditetapkan dan biaya tambahan berdasarkan seberapa banyak penggunaan internet terjadi.
Traffic	Data penggunaan internet.
Traffic Sisfo	Data penggunaan internet terhadap data Sisfo.
Traffic Management	Sebuah pekerjaan untuk memelihara seluruh sumber jaringan dalam keadaan baik.
Selfish User	Pengguna yang egois merupakan pengguna yang ingin memaksimalkan kesejahteraan diri sendiri.
Fair Network	Jaringan fair bertujuan untuk memaksimalkan keadilan diantara semua pengguna.
C-RAN (Cloud Radio Access Network)	Jaringan akses radio terpusat dengan peralatan yang dipakai terhubung pada antena seluler guna memproses sinyal lalu mengirimkannya ke jaringan inti atau menara anternal radio.
ISP (Internet Service Peovider)	Penyedia jasa layanan internet konsumen dapat melakukan akses internet.
QOS (Quality of Service)	Kemampuan suatu jaringan dalam menyediakan layanan internet yang baik.

Bit	Satuan ukuran dalam jaringan komputer yang merupakan bilangan biner 0 dan 1.
Byte	Satuan ukuran dalam jaringan komputer yang terbentuk dari 8 bit.
Kilobyte	Satuan ukuran dalam jaringan komputer yang terbentuk dari 1024 bit.
Infeasibility	Besar kelayakan suatu model berdasarkan keseluruhan kendala.
GMU (Generated Memory Used)	Besar memori yang digunakan program LINGO dalam menyelesaikan model pada kapasitas yang disediakan perangkat.
ER (Elapsed Runtime)	Jumlah waktu yang digunakan dalam menghasilkan dan menyelesaikan model.

PENDAHULUAN

Internet merupakan jalinan komputer di seluruh dunia yang saling terhubung melalui jaringan komunikasi elektronik dengan adanya konektivitas jaringan komputer (Masse, 2017). Jaringan internet yang berkualitas diperlukan untuk mengakses internet, oleh karena itu penting bagi penyedia layanan internet atau *Internet Service Provider* (ISP) harus memperhatikan kualitas layanan atau *Quality of Service* (QoS) yang ditawarkan kepada pelanggan. Konsumen sebagai pengguna layanan internet harus paham dalam menentukan layanan terbaik yang sesuai dengan kebutuhan (Nurajizah et al., 2020).

Alih-alih meningkatkan kapasitas fisik jaringan, QoS merupakan suatu teknologi yang memungkinkan administrator jaringan dalam mengatasi berbagai efek kemacetan lalu lintas paket dari berbagai layanan yang disediakan dan memanfaatkan jaringan secara maksimal (Iskandar & Hidayat, 2015). QoS dapat dimanfaatkan untuk mendefinisikan suatu layanan jaringan untuk mengetahui kualitas layanan tersebut (Antodi et al., 2017).

Menurut Mahmoodi & Jiang., (2016), Peningkatan lalu lintas data pada jaringan seluler, manajemen lalu lintas serta mempertahankan QoS sudah sangat menantang. Oleh sebab itu diperlukannya manajemen lalu lintas yang dapat menjamin QoS bagi pengguna yang lebih efisien. Manajemen lalu lintas didefinisikan berdasarkan mekanisme *Selfish Users* dan *Fair Network*. Untuk memaksimalkan kepuasan pengguna atau QoS, pengguna dalam manajemen lalu lintas menggunakan *Quality of Experience* (QoE) yang berfokus pada pengalaman layanan yang lengkap. Karena *Selfish User* dapat menentukan jumlah kepuasan pengguna terhadap layanan internet secara efisien, maka model ini yang paling cocok untuk menilai kepuasan pengguna terhadap layanan internet. Penghematan biaya yang ditawarkan dapat dijamin melalui jaringan yang adil (*Fair Network*). Untuk menilai

apakah pengguna atau aplikasi telah menerima alokasi sumber daya yang dapat diterima, manajemen lalu lintas jaringan yang adil mengukur kepuasan pengguna dalam jaringan komputer (Mahmoodi & Jiang, 2016).

Tingkat kepuasan pengguna terhadap layanan internet berhubungan dengan fungsi utilitas yang digunakan (Wang & Schulzrinne, 2006). Fungsi utilitas dapat mempengaruhi tingkat kepuasan pengguna layanan terhadap penggunaan layanan informasi yang diperoleh, sehingga ISP dapat memaksimalkan keuntungan guna mencapai tujuan (Indrawati et al., 2017). Fungsi utilitas adalah suatu konsep untuk mengukur tingkat kepuasan para pengguna dalam hal memilih ataupun memakai suatu layanan (Fachri et al., 2019). Terdapat banyak fungsi utilitas yang ada, namun yang digunakan oleh peneliti adalah fungsi utilitas *Perfect Substitute*, fungsi utilitas Eksponensial, fungsi utilitas *Cobb-Douglas*, fungsi utilitas *Isoelastic* dan fungsi utilitas *Quasi-Linear*.

Fungsi utilitas *Perfect Substitute* dipilih untuk penelitian ini karena menyediakan lebih banyak opsi bagi ISP untuk strategi penetapan harga yang dapat memikat pengguna untuk berpartisipasi dalam skema pembiayaan sambil mempertahankan keuntungan maksimum yang sama (Sitepu et al., 2016). Menurut Rosyidi et al., (2008) fungsi utilitas eksponensial menjelaskan bahwa untuk setiap pengambilan keputusan aktivitas mempunyai risiko. Fungsi utilitas ini adalah sebuah prosedur atau metode mentranslasikan hasil akhir suatu keputusan menjadi angka-angka sehingga estimasi dari angka utilitas yang dihasilkan dapat digunakan dan fungsi utilitas ini sangat cocok untuk banyak perhitungan. Fungsi utilitas *Modified Cobb-Douglas* tidak hanya menyederhanakan tetapi juga memungkinkan untuk meneliti konsumen yang memengaruhi struktur pilihan harga perusahaan (Wu & Banker, 2010). Fungsi utilitas *Isoelastic* digunakan untuk memaksimalkan keuntungan dan mengurangi resiko kerugian pada konsumen. Selain itu pemilihan kedua fungsi utilitas tersebut juga dikarenakan kedua fungsi utilitas tersebut masih jarang dibahas pada penelitian model *Dynamic Spectrum Management*. DSM telah diusulkan dan diakui sebagai pendekatan yang efektif

untuk mengurangi masalah kelangkaan spektrum. Pada DSM pengguna dikenal sebagai pengguna sekunder dapat mengakses spektrum pengguna primer apabila spektrum pengguna primer tidak digunakan (Liang, 2020). DSM mengacu pada seperangkat teknik untuk mengurangi efek *crosstalk* yang mengarah untuk mendapatkan kinerja terbaik dengan mengizinkan Radio untuk berbagi beberapa frekuensi tanpa menyebabkan gangguan (Nidhi et al., 2021).

Selain fungsi utilitas, skema pembiayaan harus dipertimbangkan dengan cermat untuk memaksimalkan kualitas layanan internet dan pendapatan bagi penyedia layanan. Menurut Wu & Banker., (2010), terdapat tiga skema pembiayaan internet untuk menghasilkan keuntungan yang optimal bagi ISP serta meningkatkan kualitas dari layanan internet, yang terdiri dari skema pembiayaan *flat-fee*, skema pembiayaan *usage-based* dan skema pembiayaan *two-part tariff*. Skema pembiayaan *flat-fee* adalah skema yang memiliki biaya tetap bulanan untuk akses internet tetapi tidak ada batasan waktu penggunaan. Dalam skema pembiayaan *usage-based*, konsumsi akses internet harian pengguna digunakan untuk menghitung harga. Model pembiayaan *two-part tariff* menggunakan tarif dua bagian di mana pengguna dapat membatasi harga dan akses internet. Terbukti dengan pilihan harga yang berbeda yang mereka tawarkan, penyedia layanan informasi telah mencari metode yang paling efektif untuk menetapkan biaya layanan yang mereka berikan kepada klien.

Salah satu bidang yang muncul dalam teknologi layanan informasi yang mendukung 2G, 3G, 4G, dan teknologi komunikasi nirkabel masa depan adalah model C-RAN. Menurut Peng et al., (2015), Jaringan akses radio terpusat yang disebut *Cloud Radio Access Network* (C-RAN) menggunakan peralatan untuk terhubung ke antena seluler untuk memproses sinyal sebelum mengirimkannya ke menara antena radio atau jaringan inti. Istilah arsitektur jaringan yang digunakan dalam C-RAN antara lain adalah *Remote Radio Heads* (RRH) yang mengacu pada pemrosesan peralatan radio yang berguna untuk mengamati masalah jaringan, *Resource Block* (RB) yang mengacu pada daya transmisi dan

merupakan unit yang dapat mempercepat data transmisi ke pengguna, dan *Remote User Equipment* (RUE), yang mengacu pada pengguna dan perangkat yang mereka gunakan untuk berkomunikasi dengan jaringan, seperti laptop, *smartphone*, atau perangkat lainnya. Akan terlihat peningkatan kecepatan data yang dapat dicapai oleh konsumen layanan internet jika RB semakin besar. Masalah yang sering terjadi pada C-RAN adalah hilangnya sinyal radio dari antena terdekat. (Indrawati et al., 2017). C-RAN memiliki sejumlah manfaat, termasuk kemampuan untuk menggunakan lebih banyak kapasitas jaringan, mengurangi *latency* atau jumlah waktu yang diperlukan untuk mengalirkan data melalui jaringan, mengurangi kompleksitas jaringan, dan menawarkan layanan berkualitas tinggi kepada konsumen menggunakan berbagai aplikasi (Susanto & Hartono, 2017).

1.1 *Internet Service Provider (ISP)*

ISP merupakan penyedia jasa layanan internet yang memungkinkan orang untuk mengakses internet. Kualitas jaringan penyedia ISP dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor. Faktor-faktor tersebut antara lain jumlah latensi jaringan, penurunan nilai *throughput*, peningkatan *delay* jaringan, banyaknya penyedia jasa layanan internet, dan kehilangan paket data atau disebut juga dengan *packet loss* dalam proses transmisi juga dapat disebabkan oleh padatnya bangunan atau pemukiman dimana tersedia koneksi internet (Utami, 2020).

Pengguna layanan internet dapat mengakses jaringan internet dengan membangun koneksi WiFi dengan ISP atau koneksi modem dengan perangkat atau PC (Ilham & Dirgantara, 2020). Teknik pengukuran yang dikenal dengan *Quality of Service* (QoS) dapat digunakan untuk menentukan tingkat layanan yang diberikan oleh penyedia layanan internet. ISP menawarkan jaringan dalam skala regional dan internasional sehingga konsumen dapat terhubung secara virtual ke seluruh dunia (Nurajizah et al., 2020). Setiap penyedia layanan internet menawarkan berbagai barang dengan berbagai kualitas, termasuk bandwidth, pemeliharaan, stabilitas koneksi, layanan, gadget, dan biaya (Dahanum et al., 2017).

1.2 Quality of Service (QoS)

Kapasitas jaringan untuk memberikan layanan internet berkualitas tinggi dikenal sebagai *Quality of Service* (QoS) (Purnama et al., 2017). QoS sangat dipengaruhi oleh kaliber jaringan yang digunakan (Rasudin, 2014). Peningkatan QoS dapat dicapai dengan mengoptimalkan rencana pembiayaan. QoS dapat digunakan untuk menilai tingkat kualitas layanan (Antodi et al., 2017). Terdapat beberapa parameter yang terdapat pada QoS diantaranya yaitu *packet loss*, *delay* atau *latency*, *throughput*, *jitter* atau variasi kedatangan paket, *echo cancellation*, MOS. Redaman, distorsi, dan *noise* adalah tiga variabel yang dapat mengakibatkan turunnya nilai QoS (Yanto, 2013). Temuan analisis jaringan yang baik dapat diperoleh dengan memanfaatkan QoS, terutama dalam hal *throughput* dan *latency* (Wulandari, 2016).

1.3 Cloud Radio Acces Network (C-RAN)

C-RAN merupakan jaringan akses radio terpusat dengan peralatan yang dipakai terhubung pada antena seluler untuk memproses sinyal kemudian mengirimkannya ke jaringan inti atau menara antena radio (Peng et al., 2015). Hilangnya sinyal radio dari antena yang berdekatan satu sama lain merupakan salah satu jenis masalah yang sering mempengaruhi C-RAN, oleh karena itu penting untuk memproses peralatan sinyal radio atau *Remote Radio Heads* (RRHs) dari pemrosesan digital atau *Base Band Units* (BBU). (Indrawati et al., 2017).

Menurut Peng et al., (2015) bentuk Model C-RAN sebagai berikut :

$$\text{Maks } \frac{\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m})}{\varphi_{\text{eff}} \sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh}} \quad (1.1)$$

dengan kendala :

$$\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} = 1 \quad ; \quad a_{k,m} \in \{0,1\} \quad (1.1a)$$

$$\sum_{k=1}^K C_{k,m} \geq \tau_R \quad ; n \in \Omega_1 \quad (1.1b)$$

$$\sum_{k=K+1}^{K+L} C_{k,m} \geq \tau_{ER} \quad ; n \in \Omega_2 \quad (1.1c)$$

$$\sum_{k=K}^{K+L} a_{k,m} t_{k,m} d_m^{R2L} h_m^{R2L} \leq \delta_0 \quad ; m \in \Omega_{II} \quad (1.1d)$$

$$\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} \leq T_{max}^R ; t_{k,m} \geq 0 \quad (1.1e)$$

dengan :

$$C_{k,m} = a_{k,m} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m}) \quad (1.1f)$$

$$\sigma_{k,m} = \begin{cases} \frac{d_k^R h_{k,m}^R}{L_0 R_0} & ; n \in \Omega_1 \\ \frac{d_k^R h_{k,m}^R}{T^B d_k^B h_{k,m}^B + L_0 R_0} & ; n \in \Omega_2 \end{cases} \quad (1.1g)$$

Keterangan :

L_0 : Ketetapan *bandwidth* ditentukan ISP

φ_{eff} : Ketetapan harga *bandwidth*

T_C^R : Batas pemakaian *bandwidth* di jam sibuk

T_{bh} : Batas pemakaian *bandwidth* di jam tidak sibuk

τ_R : Batas atas QoS

τ_{ER} : Batas bawah QoS

δ_0 : Batas tertinggi pemakaian *bandwidth*

T_{max}^R : Maksimum perpindahan *bandwidth*

d_k^R : Jumlah pemakaian maksimum dan minimum *bandwidth*

$h_{k,m}^R$: Jumlah pemakaian *bandwidth* setiap hari (*kilobyte per second*)

T^L : Pemakaian awal *bandwidth*

- $a_{k,m}$: Indikator alokasi dari RRH terhadap RB yang bernilai 0 atau 1
- $t_{k,m}$: Perpindahan *bandwidth* dari RB ke RUE
- d_m^{R2L} : *Path loss* yang sesuai dari RRH ke RB
- h_m^{R2L} : *Channel Gain* yang sesuai dari RRH ke RB
- d_k^L : *Path loss* dari RRH pada RB
- $h_{k,m}^L$: *Channel Gain* dari RB ke RUE
- R_0 : Pemakaian *bandwidth* saat tidak melakukan *hosting*
- K : Pemakaian RUE ke RRH
- L : Pemakaian RUE ke RB
- M : Pemakaian server sebanyak RB
- Ω_1 : Alokasi RUE terhadap batas atas QoS
- Ω_2 : Alokasi RUE terhadap batas bawah QoS
- Ω_{II} : Alokasi RUE terhadap RB

Penjelasan Persamaan (1.1) dengan Kendala (1.1e) :

1. Fungsi objektif pada Persamaan (1.1) untuk mengatur alokasi penggunaan *bandwidth*.
2. Kendala (1.1a) dan (1.1f) menunjukkan batas alokasi RB, setiap RB tidak dapat dialokasikan ke lebih dari satu RUE.
3. Kendala (1.1b) dan (1.1c) menunjukkan kesesuaian dengan persyaratan QoS yang dibatasi dengan tingkat tinggi dan tingkat rendah untuk menentukan kecepatan data minimum dari masing-masing τ_R dan τ_{ER} .
4. Kendala (1.1d) membatasi perpindahan *bandwidth* dari RUE ke k terhadap RB ke m untuk menentukan gangguan dari RRH ke pengguna menggunakan kembali RB dengan $n \in \Omega_{II}$.
5. Kendala (1.1e) menjelaskan T_{max}^R yang menunjukkan daya pancar maksimum dari RRH.

1.4 Selfish User

Selfish User atau pengguna yang hanya menganggap dirinya penting merupakan pengguna yang ingin memaksimalkan kesejahteraan diri sendiri (Carroll & Grosu, 2006). Dalam manajemen lalu lintas, Mahmoodi & Jiang., (2016), menjelaskan bahwa *Selfish Users* ingin memaksimalkan QoS atau mengukur kebahagiaan pelanggan.

Model *Selfish User* :

$$\text{Maks } \Omega = \frac{\left[\sum_i C_{if} \right]^{w_1} \left[\sum_i E_{if} \right]^{w_2}}{\sum_i C_{if} + \sum_i E_{if}} \quad (1.2)$$

Kendala :

$$\sum_i E_{if} \leq P_f, \quad i = (1, 2, \dots, N) \quad (1.2a)$$

dimana P_f menunjukkan sisa baterai pada *user equipment* (UE).

Penjelasan Model sebagai berikut :

1. Persamaan fungsi objektif (1.2) bertujuan untuk memaksimalkan QoE.
2. Kendala (1.2a) menunjukkan konsumsi energi baterai oleh pengguna.

Keterangan :

E : Energi perangkat

Ω : Fungsi utilitas berdasarkan *throughput* yang diterima

c_{if} dan E_{if} : Nilai *throughput* dan energi yang diterima oleh pengguna
 $f = (1, 2, \dots, U)$

w_1 : nilai bobot 1

w_2 : nilai bobot 2

1.5 Fair Network

Fair Network memiliki tujuan untuk memaksimalkan keadilan (*fairness*) diantara semua pengguna (Mahmoodi & Jiang, 2016). Ini adalah tujuan pengukuran keadilan dalam jaringan komputer untuk memastikan apakah pengguna mendapatkan sumber daya yang adil.

Model *Fair Network* :

$$\text{Maks } \frac{\left(\sum_{n=1}^N z_n \right)^2}{I \sum_{n=1}^N z_n^2} \quad (1.3)$$

Kendala :

$$z_n \geq H_n^{\min} \quad (1.3a)$$

dimana :

z_n : Total *bandwidth* yang diterima oleh pengguna n

H_n^{min} : *Throughput* minimum yang diterima oleh pengguna n

I : Jumlah pengguna internet

Fungsi objektif (1.3) bertujuan untuk mengukur tingkat keadilan yang dicapai diantara RUE atau perangkat pengguna. Menurut kendala (1.3a), total *bandwidth* yang diterima pengguna n harus melebihi *throughput* minimum yang dibutuhkan oleh pengguna n .

1.6 Fungsi Utilitas

Menurut Sari, (2014), fungsi utilitas merupakan fungsi yang menjelaskan besar tingkat kepuasan pengguna terhadap suatu barang, jasa ataupun layanan. Fungsi utilitas pada skema pembiayaan dapat memberikan informasi kepada ISP untuk memaksimalkan keuntungan yang diperoleh dari ISP dapat memberikan kualitas layanan yang baik kepada pengguna (Indrawati et al., 2015). Terdapat beberapa jenis fungsi utilitas, diantaranya fungsi utilitas *Perfect Substitute*, fungsi utilitas Eksponensial, fungsi utilitas *Modified Cobb-Douglas*, fungsi utilitas *Isoelastic*, dan fungsi utilitas *Quasi Linear*.

1.6.1 Fungsi Utilitas Berdasarkan *Perfect Substitute*

Menurut Indrawati et al., (2014), bentuk umum fungsi utilitas *Perfect Substitute* sebagai berikut :

$$U_i(x_i, y_i) = aX + bY \quad (1.4)$$

dengan a dan b adalah konstanta, X adalah tingkat penggunaan layanan di jam sibuk dan Y adalah tingkat penggunaan layanan di jam tidak sibuk.

1.6.2 Fungsi Utilitas Berdasarkan Eksponensial

Menurut Sunarko & Pakaja., (2009), bentuk umum dari fungsi utilitas eksponensial :

$$u(i) = \frac{1-e^{-ai}}{a}; a \neq 0 \quad (1.5)$$

$$U(X, Y) = \frac{1-e^{-aX}}{a} + \frac{1-e^{-aY}}{a}; a \neq 0 \quad (1.5a)$$

dimana i merupakan konsumen (X untuk pengguna pada jam sibuk dan Y untuk pengguna pada jam tidak sibuk), $U(X)$ adalah fungsi

utilitas yang terkait dan a adalah konstanta yang mewakili preferensi resiko bagi konsumen.

1.6.3 Fungsi Utilitas Berdasarkan *Modified Cobb-Douglas*

Menurut Wu & Banker., (2010), bentuk umum fungsi utilitas *Modified Cobb-Douglas* :

$$U(X, Y) = a \log(X + 1) + b \log(Y + 1) \tag{1.6}$$

dimana tingkat pemakaian konsumen pada jam sibuk dinotasikan sebagai X dan tingkat pemakain konsumen pada jam tidak sibuk dinotasikan sebagai Y dengan a dan b sebagai konstanta.

1.6.4 Fungsi Utilitas Berdasarkan *Isoelastic*

Menurut Storkey et al., (2012), bentuk umum dari fungsi utilitas *Isoelastic* adalah sebagai berikut :

$$u(w) = \begin{cases} \frac{w^{1-\eta}-1}{1-\eta} & ; \eta \geq 0, \eta \neq 1 \\ \ln w & ; \eta = 1 \end{cases} \tag{1.7}$$

$$U(X, Y) = \frac{X^{1-a}-1}{1-a} + \frac{Y^{1-b}-1}{1-b} \tag{1.7a}$$

Parameter yang digunakan untuk fungsi utilitas *isoelastic* adalah $\eta \geq 0$, dimana w merupakan tingkat pemakaian (X untuk pemakaian pada saat jam sibuk dan Y untuk pemakaian pada saat jam tidak sibuk).

1.6.5 Fungsi Utilitas Berdasarkan *Quasi Linear*

Menurut Sitepu et al., (2017) bentuk umum fungsi utilitas *Quasi Linear* adalah sebagai berikut :

$$U(X, Y) = aX + f(Y) \text{ dimana } f(Y) = Y^b \tag{1.8}$$

1.7 Optimasi Masalah pengguna

Menurut Wu & Banker., (2010), bentuk umum dari optimasi masalah pengguna sebagai berikut :

$$\underset{X_i, Y_i, Z_i}{Maks} U_i(X_i, Y_i) - R_X X_i - R_Y Y_i - R Z_i \tag{1.9}$$

dengan Kendala :

$$X_i \leq \bar{X}_i Z_i \tag{1.9a}$$

$$Y_i \leq \bar{Y}_i Z_i \tag{1.9b}$$

$$U_i(X_i, Y_i) - R_X X_i - R_Y Y_i - R Z_i \geq 0 \quad (1.9c)$$

$$Z_i = 0 \text{ atau } 1 \quad (1.9d)$$

Parameter-Parameter yang diberikan :

R : Harga yang dikeluarkan oleh pengguna untuk mengikuti layanan.

R_X : Harga yang ditetapkan penyedia layanan pada jam sibuk.

R_Y : Harga yang ditetapkan penyedia layanan pada jam tidak sibuk.

$U_i(X_i, Y_i)$: Fungsi utilitas konsumen i pada tingkat konsumsi di jam sibuk dan di jam tidak sibuk dengan X_i merupakan tingkat konsumsi maksimum konsumen i pada layanan di jam sibuk dan Y_i merupakan tingkat konsumsi maksimum konsumen i pada layanan di jam tidak sibuk.

\bar{X}_i : Tingkat pemakaian maksimum konsumen i pada layanan di jam sibuk.

\bar{Y}_i : Tingkat pemakaian maksimum konsumen i pada layanan di jam tidak sibuk.

Variabel Keputusan :

X_i : Tingkat pemakaian konsumen i pada layanan di jam sibuk.

Y_i : Tingkat pemakaian konsumen i pada layanan di jam tidak sibuk.

Z_i : Variabel keputusan yang bernilai 1 jika konsumen memilih untuk bergabung dengan program dan bernilai 0 jika tidak ingin bergabung dengan program.

Agar tercapainya tingkat kepuasan maksimum pengguna, ditetapkan 3 skema pembiayaan yaitu :

1. Skema pembiayaan *flat-fee* yaitu biaya tetap akses internet setiap bulan dan tidak memberikan batasan waktu mengakses. Jika skema pembiayaan *flat-fee*, maka ditambahkan Kendala (1.10e) :

$$R_X = 0$$

$$R_Y = 0$$

$$R > 0$$

$$(1.9e)$$

2. Skema pembiayaan *usage-based* yaitu biaya yang ditentukan pada seberapa sering pengguna mengakses internet. Jika skema pembiayaan *usage-based*, maka ditambahkan Kendala (1.11f) :

$$R_X > 0$$

$$R_Y > 0$$

$$R = 0$$

(1.9f)

3. Skema pembiayaan *two-part tariff* yaitu tarif dua bagian di mana pelanggan membayar biaya bulanan yang ditetapkan dan biaya tambahan berdasarkan seberapa banyak penggunaan internet terjadi. Jika skema pembiayaan *two-part tariff*, maka ditambahkan Kendala (1.12g) :

$$R_X > 0$$

$$R_Y > 0$$

$$R > 0$$

(1.9g)

2.1 *Selfish User*

2.1.1 Data, Parameter dan Variabel

Traffic adalah informasi yang berisikan pemakaian internet, maka *Traffic Sisfo* adalah informasi pemakaian internet terhadap data *Sisfo*. Data dipisahkan menjadi dua bagian, data masuk (disebut juga *Inbound*) dan data keluar (disebut juga *Outbound*), keduanya dinyatakan dalam *bit per second*. Jam sibuk untuk penggunaan transfer data ditentukan berdasarkan penggunaan pada pukul 07.00 WIB sampai dengan 17.00 WIB, sedangkan jam tidak sibuk untuk penggunaan transfer data dihitung berdasarkan penggunaan pada pukul 17.00 WIB sampai dengan 06.59 WIB.

Tabel 2.1 Data Traffic Sisfo Untuk Jam Sibuk dan Jam Tidak Sibuk

Tingkat Pemakaian	Pemakaian <i>Sisfo</i> (bit)	Pemakaian <i>Sisfo</i> (byte)	Pemakaian <i>Sisfo</i> (kbps)
\bar{X}_1	204.975.973,281	25.621.996,66	25.021,48111
\bar{X}_2	183.389.562,905	22.923.695,36	22.386,42125
X_i	16.931.363,366	2.116.420,421	2.066,816817
\bar{Y}_1	129.288.543,850	16.161.067,98	15.782,29295
\bar{Y}_2	80.253.771,986	10.031.721,5	9.796,603027
Y_i	12.018.301,946	1.502.287,743	1.467,077874

Keterangan :

1. \bar{X}_1 : Rata-rata penggunaan maksimum saat jam sibuk dalam satuan *kilobyte per second* (kbps).
2. \bar{X}_2 : Rata-rata penggunaan maksimum kedua saat jam sibuk satuan *kilobyte per second* (kbps).
3. X_i : penggunaan minimum saat jam sibuk dalam satuan *kilobyte per second* (kbps).

4. \bar{Y}_1 : Rata-rata penggunaan maksimum saat jam tidak sibuk dalam satuan *kilobyte per second* (kbps).
5. \bar{Y}_2 : Rata-rata penggunaan maksimum kedua saat jam tidak Sibuk dalam satuan *kilobyte per second* (kbps)
6. Y_i : Penggunaan minimum saat jam tidak sibuk dalam satuan *kilobyte per second* (kbps).

Setelah mendeskripsikan data pada pemakaian *Traffic Sisfo*, kemudian dilakukan penentuan parameter dan variabel pada masing-masing skema pembiayaan internet C-RAN *Selfish User* pada data *Traffic Sisfo*. Berdasarkan statistik *Traffic Sisfo*, penelitian ini akan mengeksplorasi 4 kasus dengan 3 skema pembiayaan, yang dibagi ke dalam kategori berikut. :

1. Model pada kasus 1 (L_0 sebagai konstanta dan T^L sebagai variabel) dengan C-RAN *Selfish User* yang menggunakan 3 skema pembiayaan yaitu *flat-fee*, *usage-based*, dan *two-part tariff*.
2. Model pada kasus 2 (L_0 dan T^L sebagai konstanta) dengan C-RAN *Selfish User* yang menggunakan 3 skema pembiayaan yaitu *flat-fee*, *usage-based*, dan *two-part tariff*.
3. Model pada kasus 3 (L_0 sebagai variabel dan T^L sebagai konstanta) dengan C-RAN *Selfish User* yang menggunakan 3 skema pembiayaan yaitu *flat-fee*, *usage-based*, dan *two-part tariff*.
4. Model pada kasus 4 (L_0 dan T^L sebagai variabel) dengan C-RAN *Selfish User* yang menggunakan 3 skema pembiayaan yaitu *flat-fee*, *usage-based*, dan *two-part tariff*.

Ada parameter dan variabel berbeda yang digunakan di setiap kasus setelah menghitung parameter dan variabel untuk setiap skema pembiayaan internet. Variabel yang digunakan dari empat contoh ditunjukkan pada Tabel 2.3, sedangkan Tabel 2.2 menampilkan parameter yang digunakan dari keempat kasus tersebut.

Tabel 2.2 Parameter Model C-RAN Selfish User

Kasus 1 : L_0 sebagai konstanta dan T^L sebagai variabel	
L_0	: Ketetapan <i>bandwith</i> ditentukan ISP
φ_{eff}	: Ketetapan harga <i>bandwidth</i> (Rp)
T_C^R	: Batas pemakaian <i>bandwidth</i> jam sibuk
T_{bh}	: Batas pemakaian <i>bandwidth</i> jam tidak sibuk
τ_R	: Batas atas QoS
τ_{ER}	: Batas bawah QoS
δ_0	: Batas tertinggi pemakaian <i>bandwidth</i> pengguna
T_{max}^R	: Maksimum perpindahan <i>bandwidth</i>
d_k^R	: Jumlah pemakaian maksimum dan minimum <i>bandwidth</i>
$h_{k,m}^R$: Jumlah pemakaian <i>bandwidth</i> setiap hari (kbps)
R	: Biaya yang dikeluarkan pengguna untuk mengikuti layanan
R_X	: Biaya yang ditetapkan oleh penyedia layanan jam sibuk
R_Y	: Biaya yang ditetapkan oleh penyedia layanan jam tidak sibuk
$U_{i(x,y)}$: Fungsi utilitas pengguna i untuk tingkat pemakaian jam sibuk dan jam tidak sibuk

Kasus 2 : L_0 dan T^L sebagai konstanta	
L_0	: Ketetapan <i>bandwith</i> ditentukan ISP
φ_{eff}	: Ketetapan harga <i>bandwidth</i> (Rp)
T_C^R	: Batas pemakaian <i>bandwidth</i> jam sibuk
T_{bh}	: Batas pemakaian <i>bandwidth</i> jam tidak sibuk
τ_R	: Batas atas QoS
τ_{ER}	: Batas bawah QoS
δ_0	: Batas tertinggi pemakaian <i>bandwidth</i> pengguna
T_{max}^R	: Maksimum perpindahan <i>bandwidth</i>
d_k^R	: Jumlah pemakaian maksimum dan minimum <i>bandwidth</i>
$h_{k,m}^R$: Jumlah pemakaian <i>bandwidth</i> setiap hari (kbps)
T^L	: Pemakaian awal <i>bandwidth</i>
R	: Biaya yang dikeluarkan pengguna untuk mengikuti layanan
R_X	: Biaya yang ditetapkan oleh penyedia layanan jam sibuk
R_Y	: Biaya yang ditetapkan oleh penyedia layanan jam tidak

	sibuk
$U_{i(x_i, y_i)}$: Fungsi utilitas pengguna i untuk tingkat pemakaian jam sibuk dan jam tidak sibuk
Kasus 3 : L_0 sebagai variabel dan T^L sebagai konstanta	
φ_{eff}	: Ketetapan harga bandwidth (Rp)
T_C^R	: Batas pemakaian bandwidth jam sibuk
T_{bh}	: Batas pemakaian bandwidth jam tidak sibuk
τ_R	: Batas atas QoS
τ_{ER}	: Batas bawah QoS
δ_0	: Batas tertinggi pemakaian bandwidth pengguna
T_{max}^R	: Maksimum perpindahan bandwidth
d_k^R	: Jumlah pemakaian maksimum dan minimum bandwidth
$h_{k,m}^R$: Jumlah pemakaian bandwidth setiap hari (kbps)
T^L	: Pemakaian awal <i>bandwidth</i>
R	: Biaya yang dikeluarkan pengguna untuk mengikuti layanan
R_X	: Biaya yang ditetapkan oleh penyedia layanan jam sibuk
R_Y	: Biaya yang ditetapkan oleh penyedia layanan jam tidak sibuk
$U_{i(x_i, y_i)}$: Fungsi utilitas pengguna i untuk tingkat pemakaian jam sibuk dan jam tidak sibuk
Kasus 4 : L_0 dan T^L sebagai variabel	
φ_{eff}	: Ketetapan harga <i>bandwidth</i> (Rp)
T_C^R	: Batas pemakaian <i>bandwidth</i> jam sibuk
T_{bh}	: Batas pemakaian <i>bandwidth</i> jam tidak sibuk
τ_R	: Batas atas QoS
τ_{ER}	: Batas bawah QoS
δ_0	: Batas tertinggi pemakaian <i>bandwidth</i> pengguna
T_{max}^R	: Maksimum perpindahan <i>bandwidth</i>
d_k^R	: Jumlah pemakaian maksimum dan minimum <i>bandwidth</i>
$h_{k,m}^R$: Jumlah pemakaian <i>bandwidth</i> setiap hari (kbps)
R	: Biaya yang dikeluarkan pengguna untuk mengikuti layanan
R_X	: Biaya yang ditetapkan oleh penyedia layanan jam sibuk

R_Y	: Biaya yang ditetapkan oleh penyedia layanan jam tidak sibuk
$U_{i(x_i, y_i)}$: Fungsi utilitas pengguna i untuk tingkat pemakaian jam sibuk dan jam tidak sibuk

Tabel 2.3 Variabel Model C-RAN Selfish User

Kasus 1 : L_0 sebagai konstanta dan T^L sebagai variabel	
$a_{k,m}$: Indikator alokasi RB yang bernilai 0 atau 1
$t_{k,m}$: Perpindahan bandwidth dari RB ke RUE
d_m^{R2L}	: <i>Path loss</i> yang sesuai dari RRH pada RB
h_m^{R2L}	: <i>Channel gain</i> yang sesuai dari RRH pada RB
T^L	: Pemakaian awal <i>bandwidth</i>
d_k^L	: <i>Path loss</i> dari RB ke RUE
$h_{k,m}^L$: <i>Channel gain</i> dari RB ke RUE
R_0	: Pemakaian <i>bandwidth</i> saat tidak melakukan <i>hosting</i>
Ω	: Fungsi utilitas berdasarkan pada <i>throughput</i> yang diterima dan Pemakaian
C_{if} d E_{if}	: Mewakili nilai <i>throughput</i> dan energi yang dipemakaian soleh pengguna
w_1 d w_2	: Nilai bobot
Kasus 2 : L_0 dan T^L sebagai konstanta	
$a_{k,m}$: Indikator alokasi RB yang bernilai 0 atau 1
$t_{k,m}$: Perpindahan <i>bandwidth</i> dari RB ke RUE
d_m^{R2L}	: <i>Path loss</i> yang sesuai dari RRH pada RB
h_m^{R2L}	: <i>Channel gain</i> yang sesuai dari RRH pada RB
d_k^L	: <i>Path loss</i> dari RB ke RUE
$h_{k,m}^L$: <i>Channel gain</i> dari RB ke RUE
R_0	: Pemakaian <i>bandwidth</i> saat tidak melakukan <i>hosting</i>
Ω	: Fungsi utilitas berdasarkan pada <i>throughput</i> yang diterima dan Pemakaian
C_{if} dan E_{if}	: Mewakili nilai <i>throughput</i> dan energi yang dipemakaian oleh pengguna

Kasus 3 : L_0 sebagai variabel dan T^L sebagai konstanta	
L_0	: Ketetapan <i>bandwidth</i> yang telah ditentukan ISP
$a_{k,m}$: Indikator alokasi RB yang bernilai 0 atau 1
$t_{k,m}$: Perpindahan bandwidth dari RB ke RUE
d_m^{R2L}	: <i>Path loss</i> yang sesuai dari RRH pada RB
h_m^{R2L}	: <i>Channel gain</i> yang sesuai dari RRH pada RB
d_k^L	: <i>Path loss</i> dari RB ke RUE
$h_{k,m}^L$: <i>Channel gain</i> dari RB ke RUE
R_0	: Pemakaian <i>bandwidth</i> saat tidak melakukan <i>hosting</i>
Ω	: Fungsi utilitas berdasarkan pada <i>throughput</i> yang diterima dan Pemakaian
C_{if} dan E_{if}	: Mewakili nilai <i>throughput</i> dan energi yang dipemakaian oleh pengguna
w_1 da w_2	: Nilai bobot
Kasus 4 : L_0 dan T^L sebagai variabel	
L_0	: Ketetapan <i>bandwidth</i> yang telah ditentukan ISP
$a_{k,m}$: Indikator alokasi RB yang bernilai 0 atau 1
$t_{k,m}$: Perpindahan bandwidth dari RB ke RUE
d_m^{R2L}	: <i>Path loss</i> yang sesuai dari RRH pada RB
h_m^{R2L}	: <i>Channel gain</i> yang sesuai dari RRH pada RB
T^L	: Pemakaian awal <i>bandwidth</i>
d_k^L	: <i>Path loss</i> dari RB ke RUE
$h_{k,m}^L$: <i>Channel gain</i> dari RB ke RUE
R_0	: Pemakaian <i>bandwidth</i> saat tidak melakukan <i>hosting</i>
Ω	: Fungsi utilitas berdasarkan pada <i>throughput</i> yang diterima dan Pemakaian
C_{if} da E_{if}	: Mewakili nilai <i>throughput</i> dan energi yang dipemakaian oleh pengguna
w_1 dan w_2	: Nilai bobot

Tabel 2.4 Nilai-Nilai Parameter Pada Data Traffic Sisfo

Parameter	Nilai (dalam kbps)
$d_1^R = \bar{X}_1$	25.021,48111
$d_2^R = \bar{X}_2$	22.386,42125
$d_3^R = X_i$	2.066,816817
$d_4^R = \bar{Y}_1$	15.782,29295
$d_5^R = \bar{Y}_2$	9.796,603027
$d_6^R = Y_i$	1.467,077874
h_{11}^R	7.755,4205
h_{12}^R	13.779,4816
h_{21}^R	10.437,4223
h_{22}^R	10.018,3552
h_{31}^R	24.602,5643
h_{32}^R	16.172,0557
h_{41}^R	16.672,0204
h_{42}^R	17.107,9421
h_{51}^R	11.950,1811
h_{52}^R	11.282,5655
h_{61}^R	18.636,9533
h_{62}^R	25.381,0206
h_{13}^R	28.391,8008
h_{23}^R	19.602,0966
h_{33}^R	20.179,8491
h_{44}^R	8.057,5890
h_{45}^R	22.639,8173
h_{46}^R	19.679,0511
h_{54}^R	34.020,7898
h_{55}^R	38.168,7142
h_{56}^R	26.752,6567
h_{64}^R	19.335,7277
h_{65}^R	16.977,5725
h_{66}^R	21.212,3376

Nilai-nilai yang ada dalam Tabel 2.4 adalah nilai *Channel Gain* dari RRH. d_1^R diperoleh dari jumlah maksimum pemakaian *bandwidth* pada jam sibuk \bar{X}_1 , d_2^R diperoleh dari jumlah maksimum ke dua pemakaian *bandwidth* pada jam sibuk \bar{X}_2 dan d_3^R diperoleh dari jumlah minimum pemakaian *bandwidth* pada jam sibuk. d_4^R diperoleh dari jumlah maksimum pemakaian *bandwidth* pada jam tidak sibuk \bar{Y}_1 , d_5^R diperoleh dari jumlah maksimum kedua pemakaian *bandwidth* pada jam tidak sibuk \bar{Y}_2 dan d_6^R diperoleh dari jumlah minimum pemakaian *bandwidth* pada jam tidak sibuk.

Tabel 2.5 Nilai Parameter Model C-RAN *Selfish User*

Parameter	Nilai		
	<i>flat-fee</i>	<i>usage-based</i>	<i>two-part tariff</i>
<i>Bandwidth</i> (L_0)	5000	5000	5000
Efisiensi dari <i>power amplifier</i> (φ_{eff})	500	500	500
<i>Circuit bandwidth</i> (T_c^R)	4500	4500	4500
Pemakaian <i>bandwidth fronthaul link</i> (T_{bh})	4000	4000	4000
Batas atas QoS (τ_R)	128	128	128
Batas bawah QoS τ_{ER}	64	64	64
Batas yang telah ditentukan (δ_0)	4500	4500	4500
Maksimum perpindahan <i>bandwidth</i> (T_{max}^R)	500	500	500
Pemakaian awal <i>bandwidth</i> (T^L)	150	150	150
Nilai bobot (w_1)	1	1	1
Nilai bobot (w_2)	2	2	2
Jam sibuk (X)	25.021,4811	25.021,48111	25.021,4811
Jam tidak sibuk (Y)	15.782,2925	15.782,2925	15.782,2925

C-RAN *Selfish User*, parameter tersebut digunakan sesuai kasus.

2.1.2 Model Original C-RAN

Berdasarkan fungsi objektif pada Persamaan (1.1) dengan kendala (1.1a) sampai Kendala (1.1g), diperoleh :

$$\text{Maks } \frac{\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m})}{\varphi_{eff} \sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh}} \quad (2.1)$$

$$\begin{aligned}
= & ((a_{11}5000 \log_2(1 + \sigma_{11}t_{11}) + a_{12}5000 \log_2(1 + \sigma_{12}t_{12}) + \\
& a_{13}5000 \log_2(1 + \sigma_{13}t_{13}) + a_{21}5000 \log_2(1 + \sigma_{21}t_{21}) + \\
& a_{22}5000 \log_2(1 + \sigma_{22}t_{22}) + a_{23}5000 \log_2(1 + \sigma_{23}t_{23}) + \\
& a_{31}5000 \log_2(1 + \sigma_{31}t_{31}) + a_{32}5000 \log_2(1 + \sigma_{32}t_{32}) + \\
& a_{33}5000 \log_2(1 + \sigma_{33}t_{33}) + a_{41}5000 \log_2(1 + \sigma_{41}t_{41}) + \\
& a_{42}5000 \log_2(1 + \sigma_{42}t_{42}) + a_{43}5000 \log_2(1 + \sigma_{43}t_{43}) + \\
& a_{51}5000 \log_2(1 + \sigma_{51}t_{51}) + a_{52}5000 \log_2(1 + \sigma_{52}t_{52}) + \\
& a_{53}5000 \log_2(1 + \sigma_{53}t_{53}) + a_{61}5000 \log_2(1 + \sigma_{61}t_{61}) + \\
& a_{62}5000 \log_2(1 + \sigma_{62}t_{62}) + a_{63}5000 \log_2(1 + \sigma_{63}t_{63}))/ \\
& 500((a_{11} t_{11} + 4500 + 4000) + (a_{12} t_{12} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{13} t_{13} + 4500 + 4000) + (a_{21} t_{21} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{22} t_{22} + 4500 + 4000) + (a_{23} t_{23} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{31} t_{31} + 4500 + 4000) + (a_{32} t_{32} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{33} t_{33} + 4500 + 4000) + (a_{41} t_{41} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{42} t_{42} + 4500 + 4000) + (a_{43} t_{43} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{51} t_{51} + 4500 + 4000) + (a_{52} t_{52} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{53} t_{53} + 4500 + 4000) + (a_{61} t_{61} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{62} t_{62} + 4500 + 4000) + (a_{63} t_{63} + 4500 + 4000)) \quad (2.1a)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (1.1a) untuk Kasus 1,2,3 dan 4 diperoleh:

$$\begin{aligned}
a_{11} + a_{21} + a_{31} + a_{41} + a_{51} + a_{61} &= 1 \\
a_{12} + a_{22} + a_{32} + a_{42} + a_{52} + a_{62} &= 1 \\
a_{13} + a_{23} + a_{33} + a_{43} + a_{53} + a_{63} &= 1 \quad (2.1b)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (1.1b) untuk Kasus 1,2,3 dan 4 diperoleh :

$$\begin{aligned}
C_{11} + C_{12} + C_{13} &\geq 128 \\
C_{21} + C_{22} + C_{23} &\geq 128 \\
C_{31} + C_{32} + C_{33} &\geq 128 \quad (2.1c)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (1.1b), (1.1f) dan (1.1g) untuk Kasus 1, 2, 3 dan 4 diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{11}5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.021,48111) (7.755,4205)}{5000R_0} t_{11} \right) + \\
& a_{12} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.021,48111) (13.779,4816)}{5000R_0} t_{12} \right) + \\
& a_{13} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.021,48111) (28.391,8008)}{5000R_0} t_{13} \right) \geq 128 \\
& a_{21}5000 \log_2 \left(1 + \frac{(22.386,42125) (10.437,4223)}{5000R_0} t_{21} \right) + \\
& a_{22}5000 \log_2 \left(1 + \frac{(22.386,42125) (10.018,3552)}{5000R_0} t_{22} \right) +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& a_{23} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(22.386,42125) (19.602,0966)}{5000R_0} t_{23} \right) \geq 128 \\
& a_{31} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.066,816817) (24.602,5643)}{5000R_0} t_{31} \right) + \\
& a_{32} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.066,816817) (16.172,0577)}{5000R_0} t_{32} \right) + \\
& a_{33} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.066,816817) (20.179,8491)}{5000R_0} t_{33} \right) \geq 128 \quad (2.1d)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (1.1c) untuk Kasus 1, 2, 3 dan 4 diperoleh :

$$\begin{aligned}
& C_{41} + C_{42} + C_{43} \geq 64 \\
& C_{51} + C_{52} + C_{53} \geq 64 \\
& C_{61} + C_{62} + C_{63} \geq 64 \quad (2.1e)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (1.1c), (1.1f) dan (1.1g) Kasus 1 dan Kasus 4 diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{44} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (8.057,5890)}{(T^L d_4^L h_{44}^L + 5000R_0)} t_{44} \right) + \\
& a_{45} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (22.639,8137)}{((T^L d_4^L h_{45}^L + 5000R_0)} t_{45} \right) + \\
& a_{46} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (19.679,0511)}{(T^L d_4^L h_{46}^L + 5000R_0)} t_{46} \right) \geq 64 \\
& a_{54} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027) (34.020,7898)}{(T^L d_5^L h_{54}^L + 5000R_0)} t_{54} \right) + \\
& a_{55} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027)(38.168,7142)}{(T^L d_5^L h_{55}^L + 5000R_0)} t_{55} \right) + \\
& a_{56} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027) (26.752,6567)}{(T^L d_5^L h_{56}^L + 5000R_0)} t_{56} \right) \geq 64 \\
& a_{64} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (19.335,7277)}{(T^L d_6^L h_{64}^L + 5000R_0)} t_{64} \right) + \\
& a_{65} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (16.977,5725)}{(T^L d_6^L h_{65}^L + 5000R_0)} t_{65} \right) + \\
& a_{66} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (21.212,3376)}{(T^L d_6^L h_{66}^L + 5000R_0)} t_{66} \right) \geq 64 \quad (2.1f)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (1.1c), (1.1f) dan (1.1g) Kasus 2 dan Kasus 3 diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{44} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (8.057,5890)}{(150d_4^L h_{44}^L + 5000R_0)} t_{44} \right) + \\
& a_{45} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (22.639,8137)}{(150d_4^L h_{45}^L + 5000R_0)} t_{45} \right) +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
a_{46} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (19.679,0511)}{(150d_4^L h_{46}^L + 5000R_0)} t_{46} \right) &\geq 64 \\
a_{54} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027) (34.020,7898)}{(150d_5^L h_{54}^L + 5000R_0)} t_{54} \right) &+ \\
a_{55} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027)(38.168,7142)}{(150d_5^L h_{55}^L + 5000R_0)} t_{55} \right) &+ \\
a_{56} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027) (26.752,6567)}{(150d_5^L h_{56}^L + 5000R_0)} t_{56} \right) &\geq 64 \\
a_{64} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (19.335,7277)}{(150d_6^L h_{64}^L + 5000R_0)} t_{64} \right) &+ \\
a_{65} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (16.977,5725)}{(150d_6^L h_{65}^L + 5000R_0)} t_{65} \right) &+ \\
a_{66} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (21.212,3376)}{(150d_6^L h_{66}^L + 5000R_0)} t_{66} \right) &\geq 64 \quad (2.1g)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (1.1d) untuk Kasus 1,2,3 dan 4 diperoleh :

$$\begin{aligned}
a_{31} t_{31} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{41} t_{41} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{51} t_{51} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
+ a_{61} t_{61} d_1^{R2L} h_1^{R2L} &\leq 4500 \\
a_{32} t_{32} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{42} t_{42} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{52} t_{52} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
+ a_{62} t_{62} d_1^{R2L} h_1^{R2L} &\leq 4500 \\
a_{33} t_{33} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{43} t_{43} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{53} t_{53} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
+ a_{63} t_{63} d_1^{R2L} h_1^{R2L} &\leq 4500 \\
a_{34} t_{34} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{44} t_{44} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{54} t_{54} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
+ a_{64} t_{64} d_1^{R2L} h_1^{R2L} &\leq 4500 \\
a_{35} t_{35} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{45} t_{45} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{55} t_{55} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
+ a_{65} t_{65} d_1^{R2L} h_1^{R2L} &\leq 4500 \\
a_{36} t_{36} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{46} t_{46} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{56} t_{56} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
+ a_{66} t_{66} d_1^{R2L} h_1^{R2L} &\leq 4500 \quad (2.1h)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (1.1e) untuk Kasus 1,2,3 dan 4 diperoleh :

$$\begin{aligned}
a_{11} t_{11} + a_{12} t_{12} + a_{13} t_{13} + a_{21} t_{21} + a_{22} t_{22} + a_{23} t_{23} + a_{31} t_{31} + \\
a_{32} t_{32} + a_{33} t_{33} + a_{41} t_{41} + a_{42} t_{42} + a_{43} t_{43} + a_{51} t_{51} + a_{52} t_{52} + \\
a_{53} t_{53} + a_{61} t_{61} + a_{62} t_{62} + a_{63} t_{63} \leq 500 \quad (2.1i)
\end{aligned}$$

2.1.3 Solusi Optimal Model Original C-RAN

Model ini dikembangkan dengan menggunakan perangkat lunak LINGO dan data *Traffic Sisfo* untuk menentukan solusi optimal dalam setiap kasus.

Tabel 2.6 Solusi Optimal Model Original C-RAN

<i>Solver Status</i>	Nilai			
	<i>Kasus 1</i>	<i>Kasus 2</i>	<i>Kasus 3</i>	<i>Kasus 4</i>
<i>Model Class</i>	<i>NLP</i>	<i>NLP</i>	<i>NLP</i>	<i>NLP</i>
<i>State</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Feasible</i>	<i>Feasible</i>
<i>Objective</i>	0,0211042	0,0211042	0,00012747	0,00012747
<i>Infeasibility</i>	$1,4210 \times 10^{14}$	$1,42109 \times 10^{14}$	0	0
<i>Iterations</i>	65	65	122	122
<i>Extended Solver Status</i>				
<i>Solver Type</i>	-	-	-	-
<i>Best Objective</i>	-	-	-	-
<i>Steps</i>	-	-	-	-
<i>Update Interval</i>	2	2	2	2
<i>GMU (K)</i>	66	66	62	62
<i>ER (Sec)</i>	0	1	0	0

Solusi optimal dari model original C-RAN dengan menggunakan nilai parameter data *Traffic* untuk setiap kasus, dimana model yang akan dimaksimumkan berdasarkan pada Fungsi Tujuan (1.1) dengan Kendala (1.1a) hingga (1.1g).

Kasus 1 didapatkan hasil solusi optimal sebesar Rp. 0,0211042/kbps yang diperoleh melalui 65 iterasi dan infeasibility bernilai $1,42109 \times 10^{14}$. Pada bagian *Extended Solver Status* menampilkan *Generated Memory Used (GMU)* yaitu jumlah alokasi memori yang digunakan sebesar 66K dengan *Elapsed Runtime (ER)* lama waktu yang digunakan untuk menyelesaikan model original C-RAN pada kasus 1 sebesar 0 detik.

Kasus 2 didapatkan hasil solusi optimal sebesar Rp. 0,0211042 /kbps yang diperoleh melalui 65 iterasi dan *infeasibility* bernilai $1,42109 \times 10^{14}$. Pada bagian *Extended Solver Status*

menampilkan GMU yaitu jumlah alokasi memori yang digunakan sebesar 66K dengan ER lama waktu yang digunakan untuk menyelesaikan Model original C-RAN pada kasus 2 sebesar 1 detik.

Kasus 3 didapatkan hasil solusi optimal sebesar Rp. 0,000127473 /kbps yang diperoleh melalui 122 iterasi dan *infeasibility* bernilai 0. Pada bagian *Extended Solver Status* menampilkan GMU yaitu jumlah alokasi pada memori yang digunakan sebesar 62K dengan ER lama waktu yang digunakan dalam menyelesaikan Model original C-RAN pada kasus 3 sebesar 0 detik.

Kasus 4 didapatkan hasil solusi optimal sebesar Rp. 0,000127473 /kbps yang diperoleh melalui 122 iterasi dan *infeasibility* bernilai 0. Pada bagian *Extended Solver Status* menampilkan GMU yaitu jumlah alokasi pada memori yang digunakan sebesar 62K dengan ER lama waktu yang digunakan dalam menyelesaikan model original C-RAN pada kasus 4 sebesar 0 detik.

2.1.4 Model Original C-RAN-Selfish User

$$\begin{aligned}
 & \text{Maks } \frac{\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m})}{\varphi_{\text{eff}} \sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh}} + \frac{\left[\sum_i C_{if} \right]^{w_1} \left[\sum_i E_{if} \right]^{w_2}}{\sum_i C_{if} + \sum_i E_{if}} \quad (2.2) \\
 & = ((a_{11} 5000 \log_2(1 + \sigma_{11} t_{11}) + a_{12} 5000 \log_2(1 + \sigma_{12} t_{12}) + \\
 & \quad a_{13} 5000 \log_2(1 + \sigma_{13} t_{13}) + a_{21} 5000 \log_2(1 + \sigma_{21} t_{21}) + \\
 & \quad a_{22} 5000 \log_2(1 + \sigma_{22} t_{22}) + a_{23} 5000 \log_2(1 + \sigma_{23} t_{23}) + \\
 & \quad a_{31} 5000 \log_2(1 + \sigma_{31} t_{31}) + a_{32} 5000 \log_2(1 + \sigma_{32} t_{32}) + \\
 & \quad a_{33} 5000 \log_2(1 + \sigma_{33} t_{33}) + a_{41} 5000 \log_2(1 + \sigma_{41} t_{41}) + \\
 & \quad a_{42} 5000 \log_2(1 + \sigma_{42} t_{42}) + a_{43} 5000 \log_2(1 + \sigma_{43} t_{43}) + \\
 & \quad a_{51} 5000 \log_2(1 + \sigma_{51} t_{51}) + a_{52} 5000 \log_2(1 + \sigma_{52} t_{52}) + \\
 & \quad a_{53} 5000 \log_2(1 + \sigma_{53} t_{53}) + a_{61} 5000 \log_2(1 + \sigma_{61} t_{61}) + \\
 & \quad a_{62} 5000 \log_2(1 + \sigma_{62} t_{62}) + a_{63} 5000 \log_2(1 + \sigma_{63} t_{63}))/ \\
 & \quad 500((a_{11} t_{11} + 4500 + 4000) + (a_{12} t_{12} + 4500 + 4000) +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (a_{13} t_{13} + 4500 + 4000) + (a_{21} t_{21} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{22} t_{22} + 4500 + 4000) + (a_{23} t_{23} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{31} t_{31} + 4500 + 4000) + (a_{32} t_{32} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{33} t_{33} + 4500 + 4000) + (a_{41} t_{41} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{42} t_{42} + 4500 + 4000) + (a_{43} t_{43} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{51} t_{51} + 4500 + 4000) + (a_{52} t_{52} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{53} t_{53} + 4500 + 4000) + (a_{61} t_{61} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{62} t_{62} + 4500 + 4000) + (a_{63} t_{63} + 4500 + 4000) + \\
& ([C_{11} + C_{21} + C_{31}]^{w_1} + [E_{11} + E_{21} + E_{31}]^{w_2} / C_{11} + C_{21} + C_{31} + \\
& E_{11} + E_{21} + E_{31}) \tag{2.2a}
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (1.1a) untuk Kasus 1,2,3 dan 4 diperoleh Persamaan (2.1b).

Berdasarkan Kendala (1.1b) untuk Kasus 1,2,3 dan 4 diperoleh Persamaan (2.1c).

Berdasarkan Kendala (1.1b), (1.1f) dan (1.1g) untuk Kasus 1,2,3 dan 4 diperoleh Persamaan (2.1d).

Berdasarkan Kendala (1.1c) untuk Kasus 1,2,3 dan 4 diperoleh Persamaan (2.1e).

Berdasarkan Kendala (1.1c), (1.1f) dan (1.1g) Kasus 1 dan Kasus 4 diperoleh Persamaan (2.1f).

Berdasarkan Kendala (1.1c), (1.1f) dan (1.1g) Kasus 2 dan Kasus 3 diperoleh Persamaan (2.1g).

Berdasarkan Kendala (1.1d) untuk Kasus 1,2,3 dan 4 diperoleh Persamaan (2.1h).

Berdasarkan Kendala (1.1e) untuk Kasus 1,2,3 dan 4 diperoleh Persamaan (2.1i).

2.1.5 Solusi Optimal Model Original C-RAN-Selfish User

Model ini diperoleh berdasarkan data *Traffic Sisfo* dan diselesaikan menggunakan *software* LINGO kemudian diperoleh solusi optimal untuk setiap kasus.

Tabel 2.7 Solusi Optimal Model Original C-RAN-Selfish User

Solver Status	Nilai			
	Kasus 1	Kasus 2	Kasus 3	Kasus 4
<i>Model Class</i>	<i>NLP</i>	<i>NLP</i>	<i>NLP</i>	<i>NLP</i>
<i>State</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Feasible</i>	<i>Feasible</i>
<i>Objective</i>	5,249 $\times 10^{17}$	5,249 $\times 10^{17}$	5,249 $\times 10^{17}$	5,249 $\times 10^{17}$
<i>Infeasibility</i>	1,4210 $\times 10^{14}$	1,1102 $\times 10^{16}$	4,2342 $\times 10^{17}$	4,2342 $\times 10^{17}$
<i>Iterations</i>	45	45	163	163
<i>Extended Solver Status</i>				
<i>Solver Type</i>	-	-	-	-
<i>Best Objective</i>	-	-	-	-
<i>Steps</i>	-	-	-	-
<i>Update Interval</i>	2	2	2	2
<i>GMU (K)</i>	70	70	66	66
<i>ER (Sec)</i>	0	0	1	0

Solusi optimal dari Model C-RAN *Selfish User* yang dengan menggunakan nilai parameter data *Traffic* untuk setiap kasus, dimana model yang akan dimaksimumkan berdasarkan pada Fungsi Tujuan (1.1) dan (1.2) dengan Kendala (1.1a) hingga (1.1g) dan Kendala (1.2a).

Kasus 1 didapatkan hasil solusi optimal sebesar Rp. $5,2497 \times 10^{17}$ /kbps yang diperoleh melalui 45 iterasi dan *infeasibility* bernilai $1,42109 \times 10^{14}$. Pada bagian *Extended Solver Status* menampilkan GMU yaitu jumlah alokasi memori yang digunakan sebesar 70K dengan ER yaitu lama waktu yang digunakan untuk menyelesaikan model original C-RAN *Selfish User* pada kasus 1 sebesar 0 detik.

Kasus 2 didapatkan hasil solusi optimal sebesar Rp. $5,2497 \times 10^{17}$ /kbps yang diperoleh melalui 45 iterasi dan *infeasibility* bernilai $1,11022 \times 10^{16}$. Pada bagian *Extended Solver*

Status menampilkan GMU yaitu jumlah alokasi memori yang digunakan sebesar 70K dengan ER lama waktu yang digunakan untuk menyelesaikan Model original C-RAN *Selfish User* pada kasus 2 sebesar 0 detik.

Kasus 3 didapatkan hasil solusi optimal sebesar Rp. $5,2497 \times 10^{17}$ /kbps yang diperoleh melalui 163 iterasi dan *infeasibility* bernilai $4,23429 \times 10^{17}$. Pada bagian *Extended Solver Status* menampilkan GMU yaitu jumlah alokasi memori yang digunakan sebesar 66K dengan ER yaitu lama waktu yang digunakan untuk menyelesaikan Model original C-RAN *Selfish User* pada kasus 3 sebesar 1 detik.

Kasus 4 didapatkan hasil solusi optimal sebesar Rp. $5,2497 \times 10^{17}$ /kbps yang diperoleh melalui 163 iterasi dan *infeasibility* bernilai $4,23429 \times 10^{17}$. Pada bagian *Extended Solver Status* menampilkan GMU yaitu jumlah alokasi memori yang digunakan sebesar 66K dengan ER yaitu lama waktu yang digunakan untuk menyelesaikan Model original C-RAN *Selfish User* pada kasus 4 sebesar 0 detik.

2.2 Fair Network

2.2.1 Data, Parameter dan Variabel

Data yang digunakan merupakan data *traffic* pemakaian internet. Data pemakaian internet terbagi menjadi data yang masuk (*inbound*) dan data yang keluar (*outbound*). Data pemakaian internet tersebut kemudian dibentuk menjadi data *traffic* pada saat jam sibuk dan data *traffic* pada saat jam tidak sibuk.

Tabel 2.8 Pemakaian Data Traffic untuk Jam Sibuk dan Jam Tidak Sibuk

Tingkat Pemakaian	Pemakaian (bit)	Pemakaian (byte)	Pemakaian (kbps)
$\bar{X} = \bar{X}_1$	207.961.263,3	25.995.157,9	25.385,9
\bar{X}_2	158.625.911,6	19.828.239,0	19.363,5
X_i	23.859.694,49	2.982.461,81	2.912,5
$\bar{Y} = \bar{Y}_1$	139.856.855	17.482.107	17.072
\bar{Y}_2	138.358.834,8	17.294.854,3	16.889,5
Y_i	9.607.691,867	1.200.961,483	1.172,814

Keterangan :

1. \bar{X} atau \bar{X}_1 merupakan rata-rata tingkat pemakaian yang paling maksimum pada saat jam sibuk dalam satuan *kbps*.
2. \bar{X}_2 merupakan rata-rata tingkat pemakaian yang paling maksimum kedua pada saat jam sibuk dalam satuan *kbps*.
3. X_i merupakan rata-rata tingkat pemakaian yang paling minimum pada saat jam sibuk dalam satuan *kbps*.
4. \bar{Y} atau \bar{Y}_1 merupakan rata-rata tingkat pemakaian yang paling maksimum pada saat jam tidak sibuk dalam satuan *kbps*.
5. \bar{Y}_2 merupakan rata-rata tingkat pemakaian yang paling maksimum kedua pada saat jam tidak sibuk dalam satuan *kbps*.
6. Y_i merupakan rata-rata tingkat pemakaian yang paling minimum pada saat jam tidak sibuk dalam satuan *kbps*.

Setelah melakukan pendeskripsian data *traffic*, langkah selanjutnya adalah menentukan parameter dan variabel pada masing-masing skema pembiayaan. Agar didapatkan hasil yang baik diperlukan modifikasi untuk model tersebut. Berdasarkan hal tersebut digunakan 2 model kasus yaitu :

- a. L_0 sebagai konstanta dan T^L sebagai variabel
- b. L_0 dan T^L sebagai konstanta.

Tabel 2.9 Parameter untuk Model Original C-RAN

Parameter untuk model C-RAN - Fair Network	
L_0	: Ketetapan <i>bandwidth</i> yang telah ditentukan ISP
φ_{eff}	: Ketetapan harga <i>bandwidth</i> (Rp)
T_c^R	: Batas pemakaian <i>bandwidth</i> pada jam sibuk
T_{bh}	: Batas pemakaian <i>bandwidth</i> pada jam tidak sibuk
τ_R	: Batas atas QoS
τ_{ER}	: Batas bawah QoS
δ_0	: Batas tertinggi pemakaian <i>bandwidth</i> oleh user
T_{max}^R	: Maksimum perpindahan <i>bandwidth</i>
d_k^R	: Jumlah pemakaian maksimum dan minimum <i>bandwidth</i>
$h_{k,m}^R$: Jumlah pemakaian <i>bandwidth</i> setiap hari (<i>kbps</i>)
C_n^{min}	: <i>Throughput</i> minimum yang diterima pengguna n

Tabel 2.10 Parameter Tambahan untuk Model *Improved*

Parameter Tambahan untuk Model <i>Improved</i>	
R	: Biaya yang akan dikeluarkan konsumen untuk mengikuti layanan
R_X	: Harga satuan yang ditetapkan oleh penyedia layanan pada jam sibuk
R_Y	: Harga satuan yang ditetapkan oleh penyedia layanan pada jam tidak sibuk
$U_i(X_i, Y_i)$: Fungsi utilitas konsumen untuk tingkat pemakaian jam sibuk dan jam tidak sibuk

Tabel 2.11 Variabel untuk Model *Improved C-RAN*

Variabel untuk Model C-RAN – <i>Fair Network</i>	
$a_{k,m}$: Indikator alokasi RB yang bernilai 0 atau 1
$t_{k,m}$: Perpindahan <i>bandwidth</i> dari RB ke RUE
d_m^{R2L}	: <i>Path loss</i> yang sesuai dari RRH pada RB
h_m^{R2L}	: <i>Channel gain</i> yang sesuai dari RRh pada RB
T^L	: Pemakaian awal <i>bandwidth</i>
d_k^L	: <i>Path loss</i> dari RB ke RUE
$h_{k,m}^L$: <i>Channel gain</i> dari RB ke RUE
R_0	: Pemakaian <i>bandwidth</i> saat tidak melakukan <i>hosting</i>
z_n	: Total <i>bandwidth</i> yang diterima konsumen n

Tabel 2.12 Variabel Tambahan untuk Model *Improved*

Variabel Tambahan untuk Model <i>Improved</i>	
\bar{X}_i	: Tingkat pemakaian maksimum konsumen i dari layanan di jam sibuk
\bar{Y}_i	: Tingkat pemakaian maksimum konsumen i dari layanan di jam tidak sibuk
X	: Tingkat pemakaian dari layanan di jam sibuk
Y	: Tingkat pemakaian dari layanan di jam tidak sibuk
Z_i	: Variabel yang bernilai 1 jika konsumen memilih untuk bergabung dengan program dan bernilai 0 jika konsumen memilih untuk tidak bergabung

Tabel 2.13 Nilai-nilai Parameter pada Data Traffic

Parameter	Nilai (kbps)
$d_1^R = \bar{X}_1$	25.385,9
$d_2^R = X_2$	19.363,5
$d_3^R = X_l$	2.912,5
$d_4^R = \bar{Y}_1$	17.072
$d_5^R = \bar{Y}_2$	16.889,5
$d_6^R = Y_l$	1.172,814
h_{11}^R	17.597,87
h_{12}^R	12.455,13
h_{21}^R	11.041,31
h_{22}^R	21.689,19
h_{31}^R	28.307,54
h_{32}^R	17.178,63
h_{41}^R	21.867,22
h_{42}^R	18.238,77
h_{51}^R	40.214,33
h_{52}^R	20.177,96
h_{52}^R	13.923,58
h_{52}^R	22.836,62
h_{13}^R	29.145,26
h_{23}^R	14.971,25
h_{33}^R	12.931,33
h_{44}^R	18.060,24
h_{45}^R	14.619,94
h_{46}^R	13.853,07
h_{54}^R	17.024,73
h_{55}^R	25.563,17
h_{56}^M	24.683,44
h_{64}^R	20.252,07
h_{65}^M	20.451,66
h_{66}^R	28.309,62

Tabel 2.14 Nilai Parameter pada Model Original C-RAN

Parameter	Nilai (dalam kbps)
Bandwidth (L_0)	5.000
Efisiensi dari <i>power amplifier</i> (η_{eff})	500
Circuit bandwidth (V_c^R)	4.500
Konsumsi bandwidth dari <i>fronthaul link</i> (V_{bh})	4.000
Batas atas QoS (γ_R)	128
Batas bawah QoS (γ_{ER})	64
Batas yang telah ditentukan (δ_0)	4.500
Maksimum perpindahan bandwidth (T_{max}^R)	500
Pemakaian awal bandwidth (T^L)	150

Tabel 2.15 Nilai Parameter yang Dipakai pada Skema Pembiayaan

Parameter	Skema Pembiayaan		
	Flat Fee	Usage Based	Two Part Tariff
a	4	4	4
b	3	3	3
\bar{S}	25.385,9	25.385,9	25.385,9
\bar{T}	17.072	17.072	17.072

Keterangan :

a : Konstanta layanan jam sibuk

b : Konstanta layanan jam tidak sibuk

2.2.2 Model Original C-RAN

Berdasarkan fungsi objektif pada Persamaan (1.1) dengan kendala (1.1a) sampai Kendala (1.1g) maka :

$$\text{Maks } \frac{\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m})}{\varphi_{eff} \sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh}} \quad (2.3)$$

$$= (a_{11} 5000 \log_2(1 + \sigma_{11} t_{11}) + a_{12} 5000 \log_2(1 + \sigma_{12} t_{12}) + a_{21} 5000 \log_2(1 + \sigma_{21} t_{21}) + a_{22} 5000 \log_2(1 +$$

$$\begin{aligned}
& \sigma_{22}t_{22}) + \\
& \quad a_{31}5000 \log_2(1 + \sigma_{31}t_{31}) + a_{32}5000 \log_2(1 + \\
& \sigma_{32}t_{32}) + \\
& \quad a_{41}5000 \log_2(1 + \sigma_{41}t_{41}) + a_{42}5000 \log_2(1 + \\
& \sigma_{42}t_{42}) + \\
& \quad a_{51}5000 \log_2(1 + \sigma_{51}t_{51}) + a_{52}5000 \log_2(1 + \\
& \sigma_{52}t_{52}) + \\
& \quad a_{61}5000 \log_2(1 + \sigma_{61}t_{61}) + a_{62}5000 \log_2(1 + \sigma_{62}t_{62})/ \\
& 500((a_{11}t_{11} + 4500 + 4000) + (a_{12}t_{12} + 4500 + \quad (2.3a) \\
& 4000) + (a_{21}t_{21} + 4500 + 4000) + (a_{22}t_{22} + 4500 + \\
& 4000) + (a_{31}t_{31} + 4500 + 4000) + (a_{32}t_{32} + 4500 + \\
& 4000) + (a_{41}t_{41} + 4500 + 4000) + (a_{42}t_{42} + 4500 + \\
& 4000) + (a_{51}t_{51} + 4500 + 4000) + (a_{52}t_{52} + 4500 + \\
& 4000) + (a_{61}t_{61} + 4500 + 4000) + (a_{62}t_{62} + 4500 + \\
& 4000))
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (1.1a) untuk Kasus 1 dan Kasus 2 diperoleh :

$$a_{11} + a_{12} + a_{21} + a_{22} + a_{31} + a_{32} + a_{41} + a_{42} + a_{51} + a_{52} + a_{61} + \quad (2.3b) \\
a_{62} = 1$$

Berdasarkan Kendala (1.1b) untuk Kasus 1 dan Kasus 2 diperoleh :

$$\begin{aligned}
C_{11} + C_{12} + C_{13} &\geq 128 \\
C_{21} + C_{22} + C_{23} &\geq 128 \\
C_{31} + C_{32} + C_{33} &\geq 128 \quad (2.3c)
\end{aligned}$$

berdasarkan Kendala (1.1b), Kendala (1.1f) dan Kendala (1.1g) untuk Kasus 1 dan Kasus 2 diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{11}5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.385,9)(17.597,87)}{5000R_0} t_{11} \right) + \\
& a_{12}5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.385,9)(12.455,13)}{5000R_0} t_{12} \right) + \\
& a_{13} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.385,9) (29.145,25)}{5000R_0} t_{13} \right) \\
& \quad \geq 128 \\
& a_{21}5000 \log_2 \left(1 + \frac{(19.363,5)(11.041,31)}{5000R_0} t_{21} \right) + \\
& a_{22}5000 \log_2 \left(1 + \frac{(19.363,5)(21.689,19)}{5000R_0} t_{22} \right) +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& a_{23} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(19.363,5) (14.971,25)}{5000R_0} t_{23} \right) \\
& \geq 128 \\
& a_{31} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.912,5)(28.307,54)}{5000R_0} t_{31} \right) + \\
& a_{32} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.912,5)(17.178,63)}{5000R_0} t_{32} \right) + \\
& a_{33} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.912,5) (12.931,33)}{5000R_0} t_{33} \right) \geq 128
\end{aligned} \tag{2.3d}$$

berdasarkan Kendala (1.1c) untuk Kasus 1 dan Kasus 2 diperoleh :

$$\begin{aligned}
C_{44} + C_{45} + C_{46} & \geq 64 \\
C_{54} + C_{55} + C_{56} & \geq 64 \\
C_{64} + C_{65} + C_{66} & \geq 64
\end{aligned} \tag{2.3e}$$

berdasarkan Kendala (1.1c), Kendala (1.1f) dan Kendala (1.1g) untuk Kasus 1 diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{44} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(17.072)(18.060,24)}{(T^L d_4^L h_{44}^L + 5000R_0)} t_{44} \right) + \\
& a_{45} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(17.072)(14.619,94)}{(T^L d_4^L h_{45}^L + 5000R_0)} t_{45} \right) + \\
& a_{46} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(17.072) (1.853,07)}{(T^L d_4^L h_{46}^L + 5000R_0)} t_{46} \right) \geq 64 \\
& a_{54} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(16.889,5)(17.024,73)}{(T^L d_5^L h_{54}^L + 5000R_0)} t_{54} \right) + \\
& a_{55} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(16.889,5)(25.563,17)}{(T^L d_5^L h_{55}^L + 5000R_0)} t_{55} \right) + \\
& a_{56} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(16.889,5) (24.683,44)}{(T^L d_5^L h_{56}^L + 5000R_0)} t_{56} \right) \geq 64 \\
& a_{64} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.172,814)(20.252,07)}{(T^L d_6^L h_{64}^L + 5000R_0)} v_{64} \right) + \\
& a_{65} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.172,814)(20.451,66)}{(T^L d_6^L h_{65}^L + 5000R_0)} v_{65} \right) + \\
& a_{66} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.172,814) (28.309,62)}{(T^L d_6^L h_{66}^L + 5000R_0)} v_{66} \right) \geq 64
\end{aligned} \tag{2.3f}$$

berdasarkan Kendala (1.1c), Kendala (1.1f) dan Kendala (1.1g) untuk Kasus 2 diperoleh :

$$\begin{aligned}
 & a_{44} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(17.072)(18.060,24)}{(150d_4^L h_{44}^L + 5000R_0)} t_{44} \right) + \\
 & a_{45} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(17.072)(14.619,94)}{(150d_4^L h_{45}^L + 5000R_0)} t_{45} \right) + \\
 & a_{46} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(17.072) (1.853,07)}{(150d_4^L h_{46}^L + 5000R_0)} t_{46} \right) \geq 64 \\
 & a_{54} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(16.889,5)(17.024,73)}{(150d_5^L h_{54}^L + 5000R_0)} t_{54} \right) + \\
 & a_{55} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(16.889,5)(25.563,17)}{(150d_5^L h_{55}^L + 5000R_0)} t_{55} \right) + \\
 & a_{56} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(16.889,5) (24.683,44)}{(150d_5^L h_{56}^L + 5000R_0)} t_{56} \right) \geq 64 \\
 & a_{64} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.172,814)(20.252,07)}{(150d_6^L h_{64}^L + 5000R_0)} v_{64} \right) + \\
 & a_{65} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.172,814)(20.451,66)}{(150d_6^L h_{65}^L + 5000R_0)} v_{65} \right) + \\
 & a_{66} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.172,814) (28.309,62)}{(150d_6^L h_{66}^L + 5000R_0)} v_{66} \right) \geq 64
 \end{aligned} \tag{2.3g}$$

berdasarkan kendala (1.1d) Untuk Kasus 1 dan Kasus 2 diperoleh :

$$\begin{aligned}
 & a_{31}t_{31} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{41}t_{41} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{51}t_{51} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 & \quad + a_{61}t_{61} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
 & a_{32}t_{32} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{42}t_{42} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{52}t_{52} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 & \quad + a_{62}t_{62} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
 & a_{33}t_{33} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{43}t_{43} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{53}t_{53} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 & \quad + a_{63}t_{63} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
 & a_{34}t_{34} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{44}t_{44} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{54}t_{54} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 & \quad + a_{64}t_{64} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
 & a_{35}t_{35} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{45}t_{45} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{55}t_{55} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 & \quad + a_{65}t_{65} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
 & a_{36}t_{36} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{46}t_{46} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{56}t_{56} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 & \quad + a_{66}t_{66} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500
 \end{aligned} \tag{2.3h}$$

berdasarkan Kendala (1.1e) Untuk Kasus 1 dan Kasus 2 diperoleh

$$w_{11}v_{11} + w_{12}v_{12} + w_{21}v_{21} + w_{22}v_{22} + w_{31}v_{31} + w_{32}v_{32} + w_{41}v_{41} + w_{42}v_{42} + w_{51}v_{51} + w_{52}v_{52} + w_{61}v_{61} + w_{62}v_{62} \leq 500 \quad (2.3i)$$

2.2.3 Solusi Model Original C-RAN

Pada Tabel 2.10 diperoleh solusi optimal untuk model original C-RAN berdasarkan Sub Bab 2.2.2 yaitu Persamaan (2.3) kemudian Persamaan (2.3a) sampai Persamaan (2.3i).

Tabel 2.16 Solusi Model Original C-RAN

<i>Solver Status</i>	Nilai	
	Model Original	
	Kasus 1	Kasus 2
<i>Model Class</i>	MINLP	MINLP
<i>State</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>
<i>Objective</i>	0,0211043	0,0211043
<i>Infeasibility</i>	0	0
<i>Iterations</i>	22	22
<i>Extended Solver Status</i>		
<i>Best Objective</i>	0,0211043	0,0211043
<i>Steps</i>	0	0
<i>Update Interval</i>	2	2
<i>GMU (K)</i>	65	65
<i>ER (Sec)</i>	1	0

Pada Kasus 1 dan Kasus 2 diperoleh nilai solusi optimal yaitu sebesar Rp.0,021104/kbps dengan jumlah iterasi sebanyak 22 iterasi dan *infeasibility* bernilai 0. *Generated Memory Used* (GMU) menunjukkan jumlah memori yang digunakan yaitu sebesar 65K dan waktu yang digunakan untuk menyelesaikan dan menghasilkan model dinyatakan dalam *Elapsed Runtime* (ER) yaitu selama 1 detik untuk Kasus 1 dan 0 detik untuk Kasus 2.

2.2.4 Model C-RAN dan Fair Network

Berdasarkan fungsi objektif pada persamaan (1.1) dengan Kendala (1.1a) sampai Kendala (1.1g) kemudian dikombinasikan dengan *fair network traffic management* pada Persamaan (1.3) dengan Kendala (1.3a) maka terbentuklah model C-RAN *Fair Network* sebagai berikut :

$$\text{Maks } \frac{\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m}) + \left(\sum_{n=1}^N Z_n \right)^2}{\varphi_{\text{eff}} \sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh} + I \sum_{n=1}^N Z_n^2} \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned}
= & [(a_{11} 5000 \log_2(1 + \sigma_{11} t_{11}) + a_{12} 5000 \log_2(1 + \sigma_{12} t_{12}) + \\
& a_{21} 5000 \log_2(1 + \sigma_{21} t_{21}) + a_{22} 5000 \log_2(1 + \sigma_{22} t_{22}) + \\
& a_{31} 5000 \log_2(1 + \sigma_{31} t_{31}) + a_{32} 5000 \log_2(1 + \sigma_{32} t_{32}) + \\
& a_{41} 5000 \log_2(1 + \sigma_{41} t_{41}) + a_{42} 5000 \log_2(1 + \sigma_{42} t_{42}) + \\
& a_{51} 5000 \log_2(1 + \sigma_{51} t_{51}) + a_{52} 5000 \log_2(1 + \sigma_{52} t_{52}) + \\
& a_{61} 5000 \log_2(1 + \sigma_{61} t_{61}) + a_{62} 5000 \log_2(1 + \sigma_{62} t_{62}) + (z_1 + z_2 + z_3)^2 / 500((a_{11} t_{11} + 4500 + \\
& 4000) + (a_{12} t_{12} + 4500 + 4000) + (a_{21} t_{21} + 4500 + 4000) + (a_{22} t_{22} + 4500 + 4000) + (a_{31} t_{31} + 4500 + \\
& 4000) + (a_{32} t_{32} + 4500 + 4000) + (a_{41} t_{41} + 4500 + 4000) + (a_{42} t_{42} + 4500 + 4000) + (a_{51} t_{51} + 4500 + \\
& 4000) + (a_{52} t_{52} + 4500 + 4000) + (a_{61} t_{61} + 4500 + 4000) + (a_{62} t_{62} + 4500 + 4000)) + 3(z_1^2 + z_2^2 + z_3^2)
\end{aligned} \quad (2.4a)$$

Berdasarkan Kendala (1.1a) untuk Kasus 1 dan Kasus 2 diperoleh Persamaan (2.3b)

Berdasarkan Kendala (1.1b) untuk Kasus 1 dan Kasus 2 diperoleh Persamaan (2.3c)

Berdasarkan Kendala (1.1b), Kendala (1.1f) dan Kendala (1.1g) untuk Kasus 1 dan Kasus 2 diperoleh persamaan (2.3d)

Berdasarkan Kendala (1.1c) untuk Kasus 1 dan Kasus 2 diperoleh Persamaan (2.3e)

berdasarkan Kendala (1.1c), Kendala (1.1f) dan Kendala (1.1g) untuk Kasus 1 diperoleh Persamaan (2.3f) dan berdasarkan Kendala (1.1c), Kendala (1.1f) dan Kendala (1.1g) untuk Kasus 2 diperoleh Persamaan (2.3g)

Berdasarkan Kendala (1.1d) untuk Kasus 1 dan Kasus 2 diperoleh Persamaan (2.3h)

Berdasarkan Kendala (1.1e) untuk Kasus 1 dan Kasus 2 diperoleh Persamaan (2.3i)

Berdasarkan Kendala (1.3a) untuk Kasus 1 dan Kasus 2 diperoleh :

$$\begin{aligned} z_1 &\geq 11.041,31 \\ z_2 &\geq 11.041,31 \\ z_3 &\geq 11.041,31 \end{aligned} \tag{2.4b}$$

2.2.5 Solusi Model C-RAN dan Fair network

Pada Tabel 2.11 diperoleh solusi optimal untuk model C-RAN berdasarkan Sub Bab 2.2.4 yaitu Persamaan (2.4), Persamaan (2.4a), Persamaan (2.3b) sampai Persamaan (2.3i) dan Persamaan (2.4b).

Tabel 2.17 Solusi Model C-RAN Fair Network

<i>Solver Status</i>	Nilai	
	Model Original	
	Kasus 1	Kasus 2
<i>Model Class</i>	MINLP	MINLP
<i>State</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>
<i>Objective</i>	1	1
<i>Infeasibility</i>	0	0
<i>Iterations</i>	20	20
<i>Extended Solver Status</i>		
<i>Best Objective</i>	1	1
<i>Steps</i>	0	0
<i>Update Interval</i>	2	2
<i>GMU (K)</i>	66	66
<i>ER (Sec)</i>	0	1

Pada Kasus 1 dan Kasus 2 diperoleh nilai solusi optimal yaitu sebesar Rp. 1/kbps dengan jumlah iterasi sebanyak 20 iterasi dan *infeasibility* bernilai 0. GMU sebesar 66K dan waktu yang digunakan untuk menyelesaikan dan menghasilkan model dinyatakan dalam ER yaitu 0 detik untuk Kasus 1 dan 1 detik untuk Kasus 2.

3.1 Penyusunan Model *Improved C-RAN Selfish User* Berdasarkan Fungsi Utilitas *Perfect Substitute*

Maks

$$(3.1) \quad \frac{\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m})}{\varphi_{eff} \sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh}} + \frac{\left[\sum_i C_{if} \right]^{w_1} \left[\sum_i E_{if} \right]^{w_2}}{\sum_i C_{if} + \sum_i E_{if}} + aX + bY - R_X X_i - R_Y Y_i - RZ_i$$

dengan Kendala :

$$\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} = 1 \quad ; a_{k,m} \in \{0,1\} \quad (3.1a)$$

$$\sum_{k=1}^K C_{k,m} \geq \tau_R \quad ; n \in \Omega_1 \quad (3.1b)$$

$$\sum_{k=K+1}^{K+L} C_{k,m} \geq \tau_{ER} \quad ; n \in \Omega_2 \quad (3.1c)$$

$$\sum_{k=K}^{K+L} a_{k,m} t_{k,m} d_m^{R2L} h_m^{R2L} \leq \delta_0 \quad ; n \in \Omega_{II} \quad (3.1d)$$

$$\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} \leq T_{max}^R \quad ; t_{k,m} \geq 0 \quad (3.1e)$$

$$\sum_i E_{if} \leq P_f, i = 1,2,3, \dots, n \quad (3.1f)$$

$$X_i \leq \bar{X}_i Z_i \quad (3.1g)$$

$$Y_i \leq \bar{Y}_i Z_i \quad (3.1h)$$

$$U_i(X_i, Y_i) - R_X X_i - R_Y Y_i - RZ_i \geq 0 \quad (3.1i)$$

$$Z_i = 0 \text{ atau } 1 \quad (3.1j)$$

dengan :

$$C_{k,m} = a_{k,m} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m}) \quad (3.1k)$$

$$\sigma_{k,m} = \begin{cases} \frac{d_k^R h_{k,m}^R}{L_0 R_0} & ; n \in \Omega_1 \\ \frac{d_k^R h_{k,m}^R}{T^L d_k^L h_{k,m}^L + L_0 R_0} & ; n \in \Omega_2 \end{cases} \quad (3.1l)$$

3.2 Penyusunan Model Skema Pembiayaan Internet Berdasarkan Pemakaian Data

Setelah menentukan nilai-nilai parameter dan variabel pada Model C-RAN *Selfish User* yang sudah disusun maka didapatkan skema pembiayaan internet yang dapat memaksimalkan keuntungan bagi ISP. Penggunaan RUE terhadap RRH dipilih sebanyak 3 RUE. Penggunaan RUE terhadap RB dipilih sebanyak 3 RUE. Penggunaan server terhadap RB dipilih sebanyak 3 server. $K = 3, L = 3, M = 3$.

karena :

$$\begin{aligned}\Omega_1 &= \{1, \dots, K\}; \\ \Omega_2 &= \{K + 1, \dots, K + L\}; \\ \Omega_{II} &= \Omega_1 \cup \Omega_2\end{aligned}$$

sehingga :

$$\begin{aligned}\Omega_1 &= \{1,2,3\} \\ \Omega_2 &= \{4,5,6\} \\ \Omega_{II} &= \{1,2,3,4,5,6\}\end{aligned}$$

dengan :

Ω_1 : Alokasi RUE dengan batas atas QoS.

Ω_2 : Alokasi *Remote* RUE dengan batas bawah QoS.

Ω_{II} : Alokasi RUE dengan RB.

Untuk mencari nilai E_{if} dengan terlebih dahulu mencari nilai :

$$\zeta(T) = \frac{\pi^2}{3\beta^2} e^{-\beta^2 T}$$

$$E_i = \zeta(T) + \eta d_i^r$$

dengan nilai-nilai parameter yang ditentukan berikut :

$$T = 120 \text{ menit} = 2 \text{ jam}$$

$$\pi = 3,14$$

$$\beta = 0,5$$

$$e = 2,71$$

$$d = 10 \text{ Mb} = 10.240 \text{ Kb}$$

Untuk dapat mengetahui nilai dari $\zeta(T)$, dihitung :

$$\begin{aligned}\zeta(T) &= \frac{\pi^2}{3\beta^2} e^{-\beta^2 T} \\ &= \frac{(3,14)^2}{3(0,5)^2} (2,71)^{-(0,5)^2} (2)\end{aligned}$$

$$= 21,64115$$

Setelah diperoleh nilai $\zeta(T) = 21,64115$, maka selanjutnya bisa diperoleh nilai dari E_i sebagai berikut :

$$\begin{aligned} E_i &= \zeta(T) + \eta d_i^r \\ &= 21,64115 + 6(10.240)^{2,71} \\ &= 4,4262 \times 10^{11} \end{aligned}$$

Sehingga untuk Model *Selfish User* diperoleh nilai variabel E_i sama dengan E_{if} .

3.3 Penyusunan Model Skema Pembiayaan Internet Berdasarkan Data *Traffic*

Berdasarkan pada data *Traffic* yang ditunjukkan pada Tabel 2.4 dan ketetapan nilai parameter Tabel 2.5, penyusunan model skema pembiayaan internet ini disesuaikan menjadi 4 kasus berdasarkan ketentuan pemakaian awal dan konsumsi *bandwidth* yang telah ditetapkan.

3.3.1 Kasus 1 (L_0 sebagai Konstanta dan T^L sebagai Variabel)

Fungsi Objektif :

Maks

$$\frac{\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m})}{\varphi_{eff} \sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh}} + \frac{\left[\sum_i C_{if} \right]^{w_1} \left[\sum_i E_{if} \right]^{w_2}}{\sum_i C_{if} + \sum_i E_{if}} + aX + bY - R_X X_i - R_Y Y_i - RZ_i$$

$$\begin{aligned} = & ((a_{11} 5000 \log_2(1 + \sigma_{11} t_{11}) + a_{12} 5000 \log_2(1 + \sigma_{12} t_{12}) + \\ & a_{13} 5000 \log_2(1 + \sigma_{13} t_{13}) + a_{21} 5000 \log_2(1 + \sigma_{21} t_{21}) + \\ & a_{22} 5000 \log_2(1 + \sigma_{22} t_{22}) + a_{23} 5000 \log_2(1 + \sigma_{23} t_{23}) + \\ & a_{31} 5000 \log_2(1 + \sigma_{31} t_{31}) + a_{32} 5000 \log_2(1 + \sigma_{32} t_{32}) + \\ & a_{33} 5000 \log_2(1 + \sigma_{33} t_{33}) + a_{41} 5000 \log_2(1 + \sigma_{41} t_{41}) + \\ & a_{42} 5000 \log_2(1 + \sigma_{42} t_{42}) + a_{43} 5000 \log_2(1 + \sigma_{43} t_{43}) + \\ & a_{51} 5000 \log_2(1 + \sigma_{51} t_{51}) + a_{52} 5000 \log_2(1 + \sigma_{52} t_{52}) + \\ & a_{53} 5000 \log_2(1 + \sigma_{53} t_{53}) + a_{61} 5000 \log_2(1 + \sigma_{61} t_{61}) + \\ & a_{62} 5000 \log_2(1 + \sigma_{62} t_{62}) + a_{63} 5000 \log_2(1 + \sigma_{63} t_{63})) / \\ & 500((a_{11} t_{11} + 4500 + 4000) + (a_{12} t_{12} + 4500 + 4000) + \\ & (a_{13} t_{13} + 4500 + 4000) + (a_{21} t_{21} + 4500 + 4000) + \\ & (a_{22} t_{22} + 4500 + 4000) + (a_{23} t_{23} + 4500 + 4000) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (a_{31} t_{31} + 4500 + 4000) + (a_{32} t_{32} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{33} t_{33} + 4500 + 4000) + (a_{41} t_{41} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{42} t_{42} + 4500 + 4000) + (a_{43} t_{43} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{51} t_{51} + 4500 + 4000) + (a_{52} t_{52} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{53} t_{53} + 4500 + 4000) + (a_{61} t_{61} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{62} t_{62} + 4500 + 4000) + (a_{63} t_{63} + 4500 + 4000) + \\
& ([C_{11} + C_{21} + C_{31}]^{w_1} + [E_{11} + E_{21} + E_{31}]^{w_2} / \\
& C_{11} + C_{21} + C_{31} + E_{11} + E_{21} + E_{31}) +
\end{aligned}$$

$$aX + bY - R_X X_i - R_Y Y_i - RZ_i \quad (3.2)$$

Berdasarkan Kendala (3.1a) diperoleh :

$$\begin{aligned}
a_{11} + a_{21} + a_{31} + a_{41} + a_{51} + a_{61} &= 1 \\
a_{12} + a_{22} + a_{32} + a_{42} + a_{52} + a_{62} &= 1 \\
a_{13} + a_{23} + a_{33} + a_{43} + a_{53} + a_{63} &= 1
\end{aligned} \quad (3.2a)$$

Berdasarkan Kendala (3.1b) diperoleh :

$$\begin{aligned}
C_{11} + C_{12} + C_{13} &\geq 128 \\
C_{21} + C_{22} + C_{23} &\geq 128 \\
C_{31} + C_{32} + C_{33} &\geq 128
\end{aligned} \quad (3.2b)$$

Berdasarkan Kendala (3.1b), (3.1k) dan (3.1l) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{11} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.021,48111) (7.755,4205)}{5000R_0} t_{11} \right) + \\
& a_{12} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.021,48111) (13.779,4816)}{5000R_0} t_{12} \right) + \\
& a_{13} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.021,48111) (28.391,8008)}{5000R_0} t_{13} \right) \geq 128 \\
& a_{21} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(22.386,42125) (10.437,4223)}{5000R_0} t_{21} \right) + \\
& a_{22} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(22.386,42125) (10.018,3552)}{5000R_0} t_{22} \right) + \\
& a_{23} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(22.386,42125) (19.602,0966)}{5000R_0} t_{23} \right) \geq 128 \\
& a_{31} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.066,816817) (24.602,5643)}{5000R_0} t_{31} \right) + \\
& a_{32} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.066,816817) (16.172,0577)}{5000R_0} t_{32} \right) + \\
& a_{33} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.066,816817) (20.179,8491)}{5000R_0} t_{33} \right) \geq 128 \quad (3.2c)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (3.1c) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 C_{41} + C_{42} + C_{43} &\geq 64 \\
 C_{51} + C_{52} + C_{53} &\geq 64 \\
 C_{61} + C_{62} + C_{63} &\geq 64
 \end{aligned} \tag{3.2d}$$

Berdasarkan Kendala (3.1c), (3.1k) dan (3.1l) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 a_{44} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (8.057,5890)}{(T^L d_4^L h_{44}^L + 5000R_0)} t_{44} \right) + \\
 a_{45} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (22.639,8137)}{((T^L d_4^L h_{45}^L + 5000R_0)} t_{45} \right) + \\
 a_{46} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (19.679,0511)}{(T^L d_4^L h_{46}^L + 5000R_0)} t_{46} \right) &\geq 64 \\
 a_{54} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027) (34.020,7898)}{(T^L d_5^L h_{54}^L + 5000R_0)} t_{54} \right) + \\
 a_{55} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027)(38.168,7142)}{(T^L d_5^L h_{55}^L + 5000R_0)} t_{55} \right) + \\
 a_{56} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027) (26.752,6567)}{(T^L d_5^L h_{56}^L + 5000R_0)} t_{56} \right) &\geq 64 \\
 a_{64} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (19.335,7277)}{(T^L d_6^L h_{64}^L + 5000R_0)} t_{64} \right) + \\
 a_{65} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (16.977,5725)}{(T^L d_6^L h_{65}^L + 5000R_0)} t_{65} \right) + \\
 a_{66} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (21.212,3376)}{(T^L d_6^L h_{66}^L + 5000R_0)} t_{66} \right) &\geq 64
 \end{aligned} \tag{3.2e}$$

Berdasarkan Kendala (3.1d) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 a_{31} t_{31} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{41} t_{41} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{51} t_{51} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 + a_{61} t_{61} d_1^{R2L} h_1^{R2L} &\leq 4500 \\
 a_{32} t_{32} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{42} t_{42} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{52} t_{52} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 + a_{62} t_{62} d_1^{R2L} h_1^{R2L} &\leq 4500 \\
 a_{33} t_{33} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{43} t_{43} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{53} t_{53} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 + a_{63} t_{63} d_1^{R2L} h_1^{R2L} &\leq 4500 \\
 a_{34} t_{34} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{44} t_{44} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{54} t_{54} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 + a_{64} t_{64} d_1^{R2L} h_1^{R2L} &\leq 4500 \\
 a_{35} t_{35} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{45} t_{45} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{55} t_{55} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 + a_{65} t_{65} d_1^{R2L} h_1^{R2L} &\leq 4500 \\
 a_{36} t_{36} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{46} t_{46} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{56} t_{56} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 + a_{66} t_{66} d_1^{R2L} h_1^{R2L} &\leq 4500
 \end{aligned} \tag{3.2f}$$

Berdasarkan Kendala (3.1e) diperoleh :

$$a_{11} t_{11} + a_{12} t_{12} + a_{13} t_{13} + a_{21} t_{21} + a_{22} t_{22} + a_{23} t_{23} + a_{31} t_{31} + a_{32} t_{32} + a_{33} t_{33} + a_{41} t_{41} + a_{42} t_{42} + a_{43} t_{43} + a_{51} t_{51} + a_{52} t_{52} + a_{53} t_{53} + a_{61} t_{61} + a_{62} t_{62} + a_{63} t_{63} \leq 500 \quad (3.2g)$$

Berdasarkan Kendala (3.1f) diperoleh :

$$\begin{aligned} E_{11} + E_{12} &\leq P_1 \\ E_{21} + E_{22} &\leq P_2 \\ E_{31} + E_{32} &\leq P_3 \end{aligned} \quad (3.2h)$$

Berdasarkan Kendala (3.1g) diperoleh :

$$X \leq 25.021,48111Z \quad (3.2i)$$

Berdasarkan Kendala (3.1h) diperoleh :

$$Y \leq 15.782,29295Z \quad (3.2j)$$

Berdasarkan Kendala (3.1i) diperoleh :

$$aX + bY - R_X X_i - R_Y Y_i - RZ_i \geq 0 \quad (3.2k)$$

Berdasarkan Kendala (3.1j) diperoleh :

$$Z = 1 \quad (3.2l)$$

Untuk kasus skema pembiayaan *flat-fee*

$$R_X = 0 ; R_Y = 0 ; R > 0$$

Untuk kasus skema pembiayaan *usage-based*

$$R_X > 0 ; R_Y > 0 ; R = 0$$

Untuk kasus skema pembiayaan *two-part tariff*

$$R_X > 0 ; R_Y > 0 ; R > 0$$

3.3.2 Kasus 2 (L_0 dan T^L sebagai Konstanta)

Fungsi Objektif :

Maks

$$\frac{\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m})}{\varphi_{eff} \sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh}} + \frac{\left[\sum_i C_{if} \right]^{w_1} \left[\sum_i E_{if} \right]^{w_2}}{\sum_i C_{if} + \sum_i E_{if}} + aX + bY - R_X X_i - R_Y Y_i - RZ_i$$

Maks

$$\frac{\sum_{k=1}^{3+3} \sum_{m=1}^3 a_{k,m} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m})}{\varphi_{eff} \sum_{k=1}^{3+3} \sum_{m=1}^3 a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh}} + \frac{\left[\sum_i C_{if} \right]^{w_1} \left[\sum_i E_{if} \right]^{w_2}}{\sum_i C_{if} + \sum_i E_{if}} + aX + bY - R_X X_i - R_Y Y_i - RZ_i$$

$$= ((a_{11} 5000 \log_2(1 + \sigma_{11} t_{11}) + a_{12} 5000 \log_2(1 + \sigma_{12} t_{12}) + a_{13} 5000 \log_2(1 + \sigma_{13} t_{13}) + a_{21} 5000 \log_2(1 + \sigma_{21} t_{21}) + a_{22} 5000 \log_2(1 + \sigma_{22} t_{22}) + a_{23} 5000 \log_2(1 + \sigma_{23} t_{23}) +$$

$$\begin{aligned}
& a_{31} 5000 \log_2(1 + \sigma_{31} t_{31}) + a_{32} 5000 \log_2(1 + \sigma_{32} t_{32}) + \\
& a_{33} 5000 \log_2(1 + \sigma_{33} t_{33}) + a_{41} 5000 \log_2(1 + \sigma_{41} t_{41}) + \\
& a_{42} 5000 \log_2(1 + \sigma_{42} t_{42}) + a_{43} 5000 \log_2(1 + \sigma_{43} t_{43}) + \\
& a_{51} 5000 \log_2(1 + \sigma_{51} t_{51}) + a_{52} 5000 \log_2(1 + \sigma_{52} t_{52}) + \\
& a_{53} 5000 \log_2(1 + \sigma_{53} t_{53}) + a_{61} 5000 \log_2(1 + \sigma_{61} t_{61}) + \\
& a_{62} 5000 \log_2(1 + \sigma_{62} t_{62}) + a_{63} 5000 \log_2(1 + \sigma_{63} t_{63}) / \\
& 500((a_{11} t_{11} + 4500 + 4000) + (a_{12} t_{12} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{13} t_{13} + 4500 + 4000) + (a_{21} t_{21} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{22} t_{22} + 4500 + 4000) + (a_{23} t_{23} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{31} t_{31} + 4500 + 4000) + (a_{32} t_{32} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{33} t_{33} + 4500 + 4000) + (a_{41} t_{41} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{42} t_{42} + 4500 + 4000) + (a_{43} t_{43} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{51} t_{51} + 4500 + 4000) + (a_{52} t_{52} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{53} t_{53} + 4500 + 4000) + (a_{61} t_{61} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{62} t_{62} + 4500 + 4000) + (a_{63} t_{63} + 4500 + 4000)) + \\
& ([C_{11} + C_{21} + C_{31}]^{w_1} + [E_{11} + E_{21} + E_{31}]^{w_2} / \\
& C_{11} + C_{21} + C_{31} + E_{11} + E_{21} + E_{31}) + \\
& aX + bY - R_X X_i - R_Y Y_i - R_Z Z_i
\end{aligned} \tag{3.3}$$

Berdasarkan Kendala (3.1a) diperoleh :

$$\begin{aligned}
a_{11} + a_{21} + a_{31} + a_{41} + a_{51} + a_{61} &= 1 \\
a_{12} + a_{22} + a_{32} + a_{42} + a_{52} + a_{62} &= 1 \\
a_{13} + a_{23} + a_{33} + a_{43} + a_{53} + a_{63} &= 1
\end{aligned} \tag{3.3a}$$

Berdasarkan Kendala (3.1b) diperoleh :

$$\begin{aligned}
C_{11} + C_{12} + C_{13} &\geq 128 \\
C_{21} + C_{22} + C_{23} &\geq 128 \\
C_{31} + C_{32} + C_{33} &\geq 128
\end{aligned} \tag{3.3b}$$

Berdasarkan Kendala (3.1b), (3.1k) dan (3.1l) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{11} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.021,48111) (7.755,4205)}{5000R_0} t_{11} \right) + \\
& a_{12} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.021,48111) (13.779,4816)}{5000R_0} t_{12} \right) + \\
& a_{13} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.021,48111) (28.391,8008)}{5000R_0} t_{13} \right) \geq 128 \\
& a_{21} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(22.386,42125) (10.437,4223)}{5000R_0} t_{21} \right) +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& a_{22} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(22.386,42125) (10.018,3552)}{5000R_0} t_{22} \right) + \\
& a_{23} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(22.386,42125) (19.602,0966)}{5000R_0} t_{23} \right) \geq 128 \\
& a_{31} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.066,816817) (24.602,5643)}{5000R_0} t_{31} \right) + \\
& a_{32} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.066,816817) (16.172,0577)}{5000R_0} t_{32} \right) + \\
& a_{33} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.066,816817) (20.179,8491)}{5000R_0} t_{33} \right) \geq 128 \quad (3.3c)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (3.1c) diperoleh :

$$\begin{aligned}
C_{41} + C_{42} + C_{43} & \geq 64 \\
C_{51} + C_{52} + C_{53} & \geq 64 \\
C_{61} + C_{62} + C_{63} & \geq 64 \quad (3.3d)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (3.1c), (3.1k) dan (3.1l) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{44} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (8.057,5890)}{(150d_4^L h_{44}^L + 5000R_0)} t_{44} \right) + \\
& a_{45} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (22.639,8137)}{(150d_4^L h_{45}^L + 5000R_0)} t_{45} \right) + \\
& a_{46} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (19.679,0511)}{(150d_4^L h_{46}^L + 5000R_0)} t_{46} \right) \geq 64 \\
& a_{54} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027) (34.020,7898)}{(150d_5^L h_{54}^L + 5000R_0)} t_{54} \right) + \\
& a_{55} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027)(38.168,7142)}{(150d_5^L h_{55}^L + 5000R_0)} t_{55} \right) + \\
& a_{56} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027) (26.752,6567)}{(150d_5^L h_{56}^L + 5000R_0)} t_{56} \right) \geq 64 \\
& a_{64} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (19.335,7277)}{(150d_6^L h_{64}^L + 5000R_0)} t_{64} \right) + \\
& a_{65} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (16.977,5725)}{(150d_6^L h_{65}^L + 5000R_0)} t_{65} \right) + \\
& a_{66} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (21.212,3376)}{(150d_6^L h_{66}^L + 5000R_0)} t_{66} \right) \geq 64 \quad (3.3e)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (3.1d) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{31} t_{31} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{41} t_{41} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{51} t_{51} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& + a_{61} t_{61} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& a_{32} t_{32} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{42} t_{42} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{52} t_{52} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& + a_{62} t_{62} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
& a_{33} t_{33} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{43} t_{43} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{53} t_{53} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& + a_{63} t_{63} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
& a_{34} t_{34} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{44} t_{44} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{54} t_{54} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& + a_{64} t_{64} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
& a_{35} t_{35} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{45} t_{45} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{55} t_{55} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& + a_{65} t_{65} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
& a_{36} t_{36} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{46} t_{46} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{56} t_{56} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& + a_{66} t_{66} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (3.1e) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{11} t_{11} + a_{12} t_{12} + a_{13} t_{13} + a_{21} t_{21} + a_{22} t_{22} + a_{23} t_{23} + a_{31} t_{31} + \\
& a_{32} t_{32} + a_{33} t_{33} + a_{41} t_{41} + a_{42} t_{42} + a_{43} t_{43} + a_{51} t_{51} + a_{52} t_{52} + \\
& a_{53} t_{53} + a_{61} t_{61} + a_{62} t_{62} + a_{63} t_{63} \leq 500 \quad (3.3g)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (3.1f) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& E_{11} + E_{12} \leq P_1 \\
& E_{21} + E_{22} \leq P_2 \\
& E_{31} + E_{32} \leq P_3 \quad (3.3h)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (3.1g) diperoleh :

$$X \leq 25.021,48111Z \quad (3.3i)$$

Berdasarkan Kendala (3.1h) diperoleh :

$$Y \leq 15.782,29295Z \quad (3.3j)$$

Berdasarkan Kendala (3.1i) diperoleh :

$$aX + bY - R_X X_i - R_Y Y_i - R Z_i \geq 0 \quad (3.3k)$$

Berdasarkan Kendala (3.1j) diperoleh :

$$Z = 1 \quad (3.3l)$$

Untuk kasus skema pembiayaan *flat-fee*

$$R_X = 0 ; R_Y = 0 ; R > 0$$

Untuk kasus skema pembiayaan *usage-based*

$$R_X > 0 ; R_Y > 0 ; R = 0$$

Untuk kasus skema pembiayaan *two-part tariff*

$$R_X > 0 ; R_Y > 0 ; R > 0$$

3.3.3 Kasus 3 (L_0 sebagai Variabel dan T^L sebagai Konstanta)

Fungsi Objektif :

Maks

$$\frac{\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m})}{\varphi_{eff} \sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh}} + \frac{\left[\sum_i C_{if} \right]^{w_1} \left[\sum_i E_{if} \right]^{w_2}}{\sum_i C_{if} + \sum_i E_{if}} + aX + bY - R_X X_i - R_Y Y_i - RZ_i$$

Maks

$$\frac{\sum_{k=1}^{3+3} \sum_{m=1}^3 a_{k,m} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m})}{\varphi_{eff} \sum_{k=1}^{3+3} \sum_{m=1}^3 a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh}} + \frac{\left[\sum_i C_{if} \right]^{w_1} \left[\sum_i E_{if} \right]^{w_2}}{\sum_i C_{if} + \sum_i E_{if}} + aX + bY - R_X X_i - R_Y Y_i - RZ_i$$

$$\begin{aligned} = & ((a_{11} 5000 \log_2(1 + \sigma_{11} t_{11}) + a_{12} 5000 \log_2(1 + \sigma_{12} t_{12}) + \\ & a_{13} 5000 \log_2(1 + \sigma_{13} t_{13}) + a_{21} 5000 \log_2(1 + \sigma_{21} t_{21}) + \\ & a_{22} 5000 \log_2(1 + \sigma_{22} t_{22}) + a_{23} 5000 \log_2(1 + \sigma_{23} t_{23}) + \\ & a_{31} 5000 \log_2(1 + \sigma_{31} t_{31}) + a_{32} 5000 \log_2(1 + \sigma_{32} t_{32}) + \\ & a_{33} 5000 \log_2(1 + \sigma_{33} t_{33}) + a_{41} 5000 \log_2(1 + \sigma_{41} t_{41}) + \\ & a_{42} 5000 \log_2(1 + \sigma_{42} t_{42}) + a_{43} 5000 \log_2(1 + \sigma_{43} t_{43}) + \\ & a_{51} 5000 \log_2(1 + \sigma_{51} t_{51}) + a_{52} 5000 \log_2(1 + \sigma_{52} t_{52}) + \\ & a_{53} 5000 \log_2(1 + \sigma_{53} t_{53}) + a_{61} 5000 \log_2(1 + \sigma_{61} t_{61}) + \\ & a_{62} 5000 \log_2(1 + \sigma_{62} t_{62}) + a_{63} 5000 \log_2(1 + \sigma_{63} t_{63}))/ \\ & 500((a_{11} t_{11} + 4500 + 4000) + (a_{12} t_{12} + 4500 + 4000) + \\ & (a_{13} t_{13} + 4500 + 4000) + (a_{21} t_{21} + 4500 + 4000) + \\ & (a_{22} t_{22} + 4500 + 4000) + (a_{23} t_{23} + 4500 + 4000) + \\ & (a_{31} t_{31} + 4500 + 4000) + (a_{32} t_{32} + 4500 + 4000) + \\ & (a_{33} t_{33} + 4500 + 4000) + (a_{41} t_{41} + 4500 + 4000) + \\ & (a_{42} t_{42} + 4500 + 4000) + (a_{43} t_{43} + 4500 + 4000) + \\ & (a_{51} t_{51} + 4500 + 4000) + (a_{52} t_{52} + 4500 + 4000) + \\ & (a_{53} t_{53} + 4500 + 4000) + (a_{61} t_{61} + 4500 + 4000) + \\ & (a_{62} t_{62} + 4500 + 4000) + (a_{63} t_{63} + 4500 + 4000)) + \\ & ([C_{11} + C_{21} + C_{31}]^{w_1} + [E_{11} + E_{21} + E_{31}]^{w_2} / \\ & C_{11} + C_{21} + C_{31} + E_{11} + E_{21} + E_{31}) + \end{aligned}$$

$$aX + bY - R_X X_i - R_Y Y_i - RZ_i \quad (3.4)$$

Berdasarkan Kendala (3.1a) diperoleh :

$$\begin{aligned} a_{11} + a_{21} + a_{31} + a_{41} + a_{51} + a_{61} &= 1 \\ a_{12} + a_{22} + a_{32} + a_{42} + a_{52} + a_{62} &= 1 \\ a_{13} + a_{23} + a_{33} + a_{43} + a_{53} + a_{63} &= 1 \end{aligned} \quad (3.4a)$$

Berdasarkan Kendala (3.1b) diperoleh :

$$C_{11} + C_{12} + C_{13} \geq 128$$

$$C_{21} + C_{22} + C_{23} \geq 128$$

$$C_{31} + C_{32} + C_{33} \geq 128$$

(3.4b)

Berdasarkan Kendala (3.1b), (3.1k) dan (3.1l) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 & a_{11} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.021,48111) (7.755,4205)}{5000R_0} t_{11} \right) + \\
 & a_{12} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.021,48111) (13.779,4816)}{5000R_0} t_{12} \right) + \\
 & a_{13} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.021,48111) (28.391,8008)}{5000R_0} t_{13} \right) \geq 128 \\
 & a_{21} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(22.386,42125) (10.437,4223)}{5000R_0} t_{21} \right) + \\
 & a_{22} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(22.386,42125) (10.018,3552)}{5000R_0} t_{22} \right) + \\
 & a_{23} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(22.386,42125) (19.602,0966)}{5000R_0} t_{23} \right) \geq 128 \\
 & a_{31} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.066,816817) (24.602,5643)}{5000R_0} t_{31} \right) + \\
 & a_{32} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.066,816817) (16.172,0577)}{5000R_0} t_{32} \right) + \\
 & a_{33} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.066,816817) (20.179,8491)}{5000R_0} t_{33} \right) \geq 128 \quad (3.4c)
 \end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (3.1c) diperoleh :

$$C_{41} + C_{42} + C_{43} \geq 64$$

$$C_{51} + C_{52} + C_{53} \geq 64$$

$$C_{61} + C_{62} + C_{63} \geq 64 \quad (3.4d)$$

Berdasarkan Kendala (3.1c), (3.1k) dan (3.1l) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 & a_{44} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (8.057,5890)}{(150d_4^L h_{44}^L + 5000R_0)} t_{44} \right) + \\
 & a_{45} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (22.639,8137)}{(150d_4^L h_{45}^L + 5000R_0)} t_{45} \right) + \\
 & a_{46} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (19.679,0511)}{(150d_4^L h_{46}^L + 5000R_0)} t_{46} \right) \geq 64
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& a_{54} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027) (34.020,7898)}{(150d_5^L h_{54}^L + 5000R_0)} t_{54} \right) + \\
& a_{55} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027)(38.168,7142)}{(150d_5^L h_{55}^L + 5000R_0)} t_{55} \right) + \\
& a_{56} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027) (26.752,6567)}{(150d_5^L h_{56}^L + 5000R_0)} t_{56} \right) \geq 64 \\
& a_{64} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (19.335,7277)}{(150d_6^L h_{64}^L + 5000R_0)} t_{64} \right) + \\
& a_{65} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (16.977,5725)}{(150d_6^L h_{65}^L + 5000R_0)} t_{65} \right) + \\
& a_{66} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (21.212,3376)}{(150d_6^L h_{66}^L + 5000R_0)} t_{66} \right) \geq 64 \quad (3.4e)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (3.1d) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{31} t_{31} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{41} t_{41} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{51} t_{51} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& + a_{61} t_{61} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
& a_{32} t_{32} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{42} t_{42} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{52} t_{52} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& + a_{62} t_{62} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
& a_{33} t_{33} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{43} t_{43} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{53} t_{53} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& + a_{63} t_{63} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
& a_{34} t_{34} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{44} t_{44} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{54} t_{54} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& + a_{64} t_{64} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
& a_{35} t_{35} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{45} t_{45} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{55} t_{55} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& + a_{65} t_{65} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
& a_{36} t_{36} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{46} t_{46} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{56} t_{56} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& + a_{66} t_{66} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (3.1e) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{11} t_{11} + a_{12} t_{12} + a_{13} t_{13} + a_{21} t_{21} + a_{22} t_{22} + a_{23} t_{23} + a_{31} t_{31} + \\
& a_{32} t_{32} + a_{33} t_{33} + a_{41} t_{41} + a_{42} t_{42} + a_{43} t_{43} + a_{51} t_{51} + a_{52} t_{52} + \\
& a_{53} t_{53} + a_{61} t_{61} + a_{62} t_{62} + a_{63} t_{63} \leq 500
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (3.1f) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& E_{11} + E_{12} \leq P_1 \\
& E_{21} + E_{22} \leq P_2 \\
& E_{31} + E_{32} \leq P_3 \quad (3.4h)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (3.1g) diperoleh :

$$X \leq 25.021,48111Z \quad (3.4i)$$

Berdasarkan Kendala (3.1h) diperoleh :

$$Y \leq 15.782,29295Z \quad (3.4j)$$

Berdasarkan Kendala (3.1i) diperoleh :

$$aX + bY - R_X X_i - R_Y Y_i - RZ_i \geq 0 \quad (3.4k)$$

Berdasarkan Kendala (3.1j) diperoleh :

$$Z = 1 \quad (3.4l)$$

Untuk kasus skema pembiayaan *flat-fee*

$$R_X = 0 ; R_Y = 0 ; R > 0$$

Untuk kasus skema pembiayaan *usage-based*

$$R_X > 0 ; R_Y > 0 ; R = 0$$

Untuk kasus skema pembiayaan *two-part tariff*

$$R_X > 0 ; R_Y > 0 ; R > 0$$

3.3.4 Kasus 4 (L_0 dan T^L sebagai Variabel)

Fungsi Objektif :

Maks

$$\frac{\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m})}{\varphi_{eff} \sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh}} + \frac{\left[\sum_i C_{if} \right]^{w_1} \left[\sum_i E_{if} \right]^{w_2}}{\sum_i C_{if} + \sum_i E_{if}} + aX + bY - R_X X_i - R_Y Y_i - RZ_i =$$

Maks

$$\frac{\sum_{k=1}^{3+3} \sum_{m=1}^3 a_{k,m} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m})}{\varphi_{eff} \sum_{k=1}^{3+3} \sum_{m=1}^3 a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh}} + \frac{\left[\sum_i C_{if} \right]^{w_1} \left[\sum_i E_{if} \right]^{w_2}}{\sum_i C_{if} + \sum_i E_{if}} + aX + bY - R_X X_i - R_Y Y_i - RZ_i$$

$$= ((a_{11} 5000 \log_2(1 + \sigma_{11} t_{11}) + a_{12} 5000 \log_2(1 + \sigma_{12} t_{12}) + a_{13} 5000 \log_2(1 + \sigma_{13} t_{13}) + a_{21} 5000 \log_2(1 + \sigma_{21} t_{21}) + a_{22} 5000 \log_2(1 + \sigma_{22} t_{22}) + a_{23} 5000 \log_2(1 + \sigma_{23} t_{23}) + a_{31} 5000 \log_2(1 + \sigma_{31} t_{31}) + a_{32} 5000 \log_2(1 + \sigma_{32} t_{32}) + a_{33} 5000 \log_2(1 + \sigma_{33} t_{33}) + a_{41} 5000 \log_2(1 + \sigma_{41} t_{41}) + a_{42} 5000 \log_2(1 + \sigma_{42} t_{42}) + a_{43} 5000 \log_2(1 + \sigma_{43} t_{43}) + a_{51} 5000 \log_2(1 + \sigma_{51} t_{51}) + a_{52} 5000 \log_2(1 + \sigma_{52} t_{52}) + a_{53} 5000 \log_2(1 + \sigma_{53} t_{53}) + a_{61} 5000 \log_2(1 + \sigma_{61} t_{61}) + a_{62} 5000 \log_2(1 + \sigma_{62} t_{62}) + a_{63} 5000 \log_2(1 + \sigma_{63} t_{63})) / 500((a_{11} t_{11} + 4500 + 4000) + (a_{12} t_{12} + 4500 + 4000) + (a_{13} t_{13} + 4500 + 4000) + (a_{21} t_{21} + 4500 + 4000) + (a_{22} t_{22} + 4500 + 4000) + (a_{23} t_{23} + 4500 + 4000) + (a_{31} t_{31} + 4500 + 4000) + (a_{32} t_{32} + 4500 + 4000) +$$

$$\begin{aligned}
& (a_{33} t_{33} + 4500 + 4000) + (a_{41} t_{41} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{42} t_{42} + 4500 + 4000) + (a_{43} t_{43} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{51} t_{51} + 4500 + 4000) + (a_{52} t_{52} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{53} t_{53} + 4500 + 4000) + (a_{61} t_{61} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{62} t_{62} + 4500 + 4000) + (a_{63} t_{63} + 4500 + 4000) + \\
& ([C_{11} + C_{21} + C_{31}]^{w_1} + [E_{11} + E_{21} + E_{31}]^{w_2} / \\
& C_{11} + C_{21} + C_{31} + E_{11} + E_{21} + E_{31}) + \\
& aX + bY - R_X X_i - R_Y Y_i - R Z_i
\end{aligned} \tag{3.5}$$

Berdasarkan Kendala (3.1a) diperoleh :

$$\begin{aligned}
a_{11} + a_{21} + a_{31} + a_{41} + a_{51} + a_{61} &= 1 \\
a_{12} + a_{22} + a_{32} + a_{42} + a_{52} + a_{62} &= 1 \\
a_{13} + a_{23} + a_{33} + a_{43} + a_{53} + a_{63} &= 1
\end{aligned} \tag{3.5a}$$

Berdasarkan Kendala (3.1b) diperoleh :

$$\begin{aligned}
C_{11} + C_{12} + C_{13} &\geq 128 \\
C_{21} + C_{22} + C_{23} &\geq 128 \\
C_{31} + C_{32} + C_{33} &\geq 128
\end{aligned} \tag{3.5b}$$

Berdasarkan Kendala (3.1b), (3.1k) dan (3.1l) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{11} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.021,48111) (7.755,4205)}{5000R_0} t_{11} \right) + \\
& a_{12} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.021,48111) (13.779,4816)}{5000R_0} t_{12} \right) + \\
& a_{13} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.021,48111) (28.391,8008)}{5000R_0} t_{13} \right) \geq 128 \\
& a_{21} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(22.386,42125) (10.437,4223)}{5000R_0} t_{21} \right) + \\
& a_{22} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(22.386,42125) (10.018,3552)}{5000R_0} t_{22} \right) + \\
& a_{23} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(22.386,42125) (19.602,0966)}{5000R_0} t_{23} \right) \geq 128 \\
& a_{31} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.066,816817) (24.602,5643)}{5000R_0} t_{31} \right) + \\
& a_{32} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.066,816817) (16.172,0577)}{5000R_0} t_{32} \right) + \\
& a_{33} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.066,816817) (20.179,8491)}{5000R_0} t_{33} \right) \geq 128
\end{aligned} \tag{3.5c}$$

Berdasarkan Kendala (3.1c) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 C_{41} + C_{42} + C_{43} &\geq 64 \\
 C_{51} + C_{52} + C_{53} &\geq 64 \\
 C_{61} + C_{62} + C_{63} &\geq 64
 \end{aligned} \tag{3.5d}$$

Berdasarkan Kendala (3.1c), (3.1k) dan (3.1l) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 a_{44} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (8.057,5890)}{(T^L d_4^L h_{44}^L + 5000R_0)} t_{44} \right) + \\
 a_{45} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (22.639,8137)}{(T^L d_4^L h_{45}^L + 5000R_0)} t_{45} \right) + \\
 a_{46} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (19.679,0511)}{(T^L d_4^L h_{46}^L + 5000R_0)} t_{46} \right) &\geq 64 \\
 a_{54} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027) (34.020,7898)}{(T^L d_5^L h_{54}^L + 5000R_0)} t_{54} \right) + \\
 a_{55} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027) (38.168,7142)}{(T^L d_5^L h_{55}^L + 5000R_0)} t_{55} \right) + \\
 a_{56} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027) (26.752,6567)}{(T^L d_5^L h_{56}^L + 5000R_0)} t_{56} \right) &\geq 64 \\
 a_{64} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (19.335,7277)}{(T^L d_6^L h_{64}^L + 5000R_0)} t_{64} \right) + \\
 a_{65} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (16.977,5725)}{(T^L d_6^L h_{65}^L + 5000R_0)} t_{65} \right) + \\
 a_{66} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (21.212,3376)}{(T^L d_6^L h_{66}^L + 5000R_0)} t_{66} \right) &\geq 64
 \end{aligned} \tag{3.5e}$$

Berdasarkan Kendala (3.1d) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 a_{31} t_{31} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{41} t_{41} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{51} t_{51} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 + a_{61} t_{61} d_1^{R2L} h_1^{R2L} &\leq 4500 \\
 a_{32} t_{32} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{42} t_{42} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{52} t_{52} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 + a_{62} t_{62} d_1^{R2L} h_1^{R2L} &\leq 4500 \\
 a_{33} t_{33} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{43} t_{43} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{53} t_{53} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 + a_{63} t_{63} d_1^{R2L} h_1^{R2L} &\leq 4500 \\
 a_{34} t_{34} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{44} t_{44} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{54} t_{54} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 + a_{64} t_{64} d_1^{R2L} h_1^{R2L} &\leq 4500 \\
 a_{35} t_{35} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{45} t_{45} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{55} t_{55} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 + a_{65} t_{65} d_1^{R2L} h_1^{R2L} &\leq 4500 \\
 a_{36} t_{36} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{46} t_{46} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{56} t_{56} d_1^{R2L} h_1^{R2L}
 \end{aligned}$$

$$+ a_{66} t_{66} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \quad (3.5f)$$

Berdasarkan Kendala (3.1e) diperoleh :

$$a_{11} t_{11} + a_{12} t_{12} + a_{13} t_{13} + a_{21} t_{21} + a_{22} t_{22} + a_{23} t_{23} + a_{31} t_{31} + a_{32} t_{32} + a_{33} t_{33} + a_{41} t_{41} + a_{42} t_{42} + a_{43} t_{43} + a_{51} t_{51} + a_{52} t_{52} + a_{53} t_{53} + a_{61} t_{61} + a_{62} t_{62} + a_{63} t_{63} \leq 500 \quad (3.5g)$$

Berdasarkan Kendala (3.1f) diperoleh :

$$\begin{aligned} E_{11} + E_{12} &\leq P_1 \\ E_{21} + E_{22} &\leq P_2 \\ E_{31} + E_{32} &\leq P_3 \end{aligned} \quad (3.5h)$$

Berdasarkan Kendala (3.1g) diperoleh :

$$X \leq 25.021,48111Z \quad (3.5i)$$

Berdasarkan Kendala (4.1h) diperoleh :

$$Y \leq 15.782,29295Z \quad (3.5j)$$

Berdasarkan Kendala (3.1i) diperoleh :

$$aX + bY - R_X X_i - R_Y Y_i - RZ_i \geq 0 \quad (3.5k)$$

Berdasarkan Kendala (3.1j) diperoleh :

$$Z = 1 \quad (3.5l)$$

Untuk kasus skema pembiayaan *flat-fee*

$$R_X = 0 ; R_Y = 0 ; R > 0$$

Untuk kasus skema pembiayaan *usage-based*

$$R_X > 0 ; R_Y > 0 ; R = 0$$

Untuk kasus skema pembiayaan *two-part tariff*

$$R_X > 0 ; R_Y > 0 ; R > 0$$

3.4 Solusi Optimal Model C-RAN-Selfish User Berdasarkan Fungsi

Utilitas *Perfect Substitute*

Solusi dan nilai variabel yang ditampilkan merupakan solusi dari Persamaan (3.2), Persamaan (3.3), Persamaan (3.4), dan Persamaan (3.5) . Selanjutnya model diselesaikan dengan menggunakan program LINGO 13.0 hingga didapatkan solusi optimal dari masing-masing kasus.

Tabel 3.1 Solusi Optimal Model C-RAN-Selfish User Berdasarkan Fungsi Utilitas *Perfect Substitute* Pada Kasus 1 (L_0 sebagai Konstanta dan T^L sebagai Variabel)

<i>Solver Status</i>	Nilai Kasus 1 (L_0 sebagai Konstanta dan T^L sebagai Variabel)		
	<i>Flat-fee</i>	<i>Usage Based</i>	<i>Two-Part Tariff</i>
<i>Model Class</i>	<i>NLP</i>	<i>NLP</i>	<i>NLP</i>
<i>State</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>
<i>Objective</i>	$5,2497 \times 10^{17}$	$5,2497 \times 10^{17}$	$5,2497 \times 10^{17}$
<i>Infeasibility</i>	$1,42109 \times 10^{14}$	0	$1,42109 \times 10^{14}$
<i>Iteration</i>	45	43	59
<i>Extended Solver Status</i>			
<i>Solver Type</i>	-	-	-
<i>Best Objective</i>	-	-	-
<i>Steps</i>	-	-	-
<i>Update Interval</i>	2	2	2
<i>GMU</i>	73	76	76
<i>ER (Sec)</i>	0	0	0

Berdasarkan skema pembiayaan *flat-fee* pada Kasus 1 diperoleh solusi optimalnya sebesar Rp. $5,2497 \times 10^{17}$ /kbps yang diperoleh melalui 45 iterasi dengan nilai *infeasibility* sebesar $1,42109 \times 10^{14}$. Model C-RAN *Selfish User* berdasarkan fungsi utilitas *Perfect Substitute* berdasarkan skema pembiayaan *flat-fee* dalam Kasus 1 terbukti membutuhkan waktu 0 detik untuk menyelesaikan dalam *extended solver status*, dengan GMU 73K yang menunjukkan jumlah alokasi memori yang dibutuhkan.

Skema pembiayaan *usage-based* pada Kasus 1 diperoleh solusi optimalnya sebesar Rp. $5,2497 \times 10^{17}$ /kbps yang diperoleh melalui 43 iterasi dengan nilai *infeasibility* sebesar 0. Model C-RAN *Selfish User* berdasarkan fungsi utilitas *Perfect Substitute*

berdasarkan skema pembiayaan *usage-based* dalam Kasus 1 terbukti membutuhkan waktu 0 detik untuk menyelesaikan dalam *extended solver status*, dengan GMU 76K yang menunjukkan jumlah alokasi memori yang dibutuhkan.

Selanjutnya pada skema pembiayaan *two-part tariff* pada Kasus 1 diperoleh solusi optimalnya sebesar $\text{Rp. } 5,2497 \times 10^{17} / \text{kbps}$ yang diperoleh melalui 59 iterasi dengan nilai *infeasibility* sebesar $1,42109 \times 10^{14}$. Pada Model C-RAN *Selfish User* berdasarkan fungsi utilitas *Perfect Substitute* berdasarkan skema pembiayaan *two-part tariff* dalam Kasus 1 terbukti membutuhkan waktu 0 detik untuk menyelesaikan dalam *extended solver status*, dengan GMU 76K yang menunjukkan jumlah alokasi memori yang dibutuhkan.

Tabel 3.2 Solusi Optimal Model C-RAN *Selfish User* Berdasarkan Fungsi Utilitas *Perfect Substitute* Pada Kasus 2 (L_0 dan T^L sebagai Konstanta)

<i>Solver Status</i>	Nilai Kasus 2 (L_0 dan T^L sebagai Konstanta)		
	<i>Flat-fee</i>	<i>Usage Based</i>	<i>Two-Part Tariff</i>
<i>Model Class</i>	<i>NLP</i>	<i>NLP</i>	<i>NLP</i>
<i>State</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>
<i>Objective</i>	$5,2497 \times 10^{17}$	$5,2497 \times 10^{17}$	$5,2497 \times 10^{17}$
<i>Infeasibility</i>	$1,42109 \times 10^{14}$	$1,42109 \times 10^{14}$	$1,42109 \times 10^{14}$
<i>Iteration</i>	45	59	59
<i>Extended Solver Status</i>			
<i>Solver Type</i>	-	-	-
<i>Best Objective</i>	-	-	-
<i>Steps</i>	-	-	-
<i>Update Interval</i>	2	2	2
<i>GMU</i>	73	76	76
<i>ER (Sec)</i>	0	0	0

Berdasarkan skema pembiayaan *flat-fee* yang terdapat pada Kasus 2 diperoleh solusi optimal sebesar $\text{Rp. } 5,2497 \times 10^{17} / \text{kbps}$ yang diperoleh melalui 45 iterasi dengan nilai *infeasibility* sebesar $1,42109 \times 10^{14}$. Pada Model C-RAN *Selfish User* berdasarkan fungsi utilitas *Perfect Substitute* berdasarkan skema pembiayaan *flat-fee* dalam Kasus 2 terbukti membutuhkan waktu 0 detik untuk menyelesaikan dalam *extended solver status*, dengan GMU 73K yang menunjukkan jumlah alokasi memori yang dibutuhkan.

Berdasarkan skema pembiayaan *usage-based* pada Kasus 2 diperoleh solusi optimal sebesar $\text{Rp. } 5,2497 \times 10^{17} / \text{kbps}$ yang diperoleh melalui 59 iterasi dengan nilai *infeasibility* sebesar $1,42109 \times 10^{14}$. Pada Model C-RAN *Selfish User* berdasarkan fungsi utilitas *Perfect Substitute* berdasarkan skema pembiayaan *usage-based* dalam Kasus 2 terbukti membutuhkan waktu 0 detik untuk menyelesaikan dalam *extended solver status*, dengan GMU 76K yang menunjukkan jumlah alokasi memori yang dibutuhkan dan ER.

Skema pembiayaan *two-part tariff* pada Kasus 2 diperoleh solusi optimal sebesar $\text{Rp. } 5,2497 \times 10^{17} / \text{kbps}$ yang diperoleh melalui 59 iterasi dengan nilai *infeasibility* sebesar $1,42109 \times 10^{14}$. Model C-RAN *Selfish User* berdasarkan fungsi utilitas *Perfect Substitute* berdasarkan skema pembiayaan *two-part tariff* dalam Kasus 2 terbukti membutuhkan waktu 0 detik untuk menyelesaikan dalam *extended solver status*, dengan GMU 76K yang menunjukkan jumlah alokasi memori yang dibutuhkan.

Skema pembiayaan *flat-fee* pada Kasus 3 diperoleh solusi optimalnya sebesar $\text{Rp. } 1,32784 \times 10^{12} / \text{kbps}$ yang diperoleh melalui 185 iterasi dengan nilai *infeasibility* sebesar $5,68434 \times 10^{14}$. Model C-RAN *Selfish User* berdasarkan fungsi utilitas *Perfect Substitute* berdasarkan skema pembiayaan *flat-fee* dalam Kasus 3 terbukti membutuhkan waktu 0 detik untuk menyelesaikan dalam *extended solver status*, dengan GMU 76K yang menunjukkan jumlah alokasi memori yang dibutuhkan.

Skema pembiayaan *usage-based* pada Kasus 3 diperoleh solusi optimalnya sebesar Rp. $5,2497 \times 10^{17}$ /kbps yang diperoleh melalui 168 iterasi dengan nilai *infeasibility* sebesar $2,84217 \times 10^{12}$. *Extended solver status* memperlihatkan GMU sebesar 76K yang menunjukkan jumlah alokasi memori yang dipakai serta ER yaitu lama waktu yang digunakan untuk menyelesaikan model selama 1 detik.

Tabel 3.3 Solusi Optimal Model C-RAN *Selfish Users* Berdasarkan Fungsi Utilitas *Perfect Substitute* Pada Kasus 3 (L_0 sebagai Variabel dan T^L sebagai Konstanta)

<i>Solver Status</i>	Nilai Kasus 3 (L_0 sebagai Variabel dan T^L Sebagai Konstanta)		
	<i>Flat-fee</i>	<i>Usage Based</i>	<i>Two-Part Tariff</i>
<i>Model Class</i>	<i>NLP</i>	<i>NLP</i>	<i>NLP</i>
<i>State</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>
<i>Objective</i>	1,32784 $\times 10^{12}$	$5,2497 \times 10^{17}$	$1,32784 \times 10^{12}$
<i>Infeasibility</i>	$5,68434 \times 10^{14}$	$2,84217 \times 10^{12}$	$5,68434 \times 10^{14}$
<i>Iteration</i>	185	168	185
<i>Extended Solver Status</i>			
<i>Solver Type</i>	-	-	-
<i>Best Objective</i>	-	-	-
<i>Update Interval</i>	2	2	2
<i>GMU</i>	76	76	76
<i>ER (Sec)</i>	0	1	1

Berdasarkan skema pembiayaan *two-part tariff* pada Kasus 3 diperoleh solusi optimalnya sebesar Rp. $1,32784 \times 10^{12}$ /kbps yang diperoleh melalui 185 iterasi dengan nilai *infeasibility* sebesar $5,68434 \times 10^{14}$. *Extended solver status* memperlihatkan GMU sebesar 76K yang menunjukkan jumlah alokasi memori yang dipakai serta ER yakni lama waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan model C-RAN-*Selfish User*-fungsi Utilitas *Perfect Substitute* berdasarkan skema pembiayaan *two-part tariff* pada kasus 3 selama 1 detik.

Tabel 3.4 Solusi Optimal Model C-RAN Selfish Users Berdasarkan Fungsi Utilitas Perfect Substitute Pada Kasus 4 (L_0 dan T^L sebagai Variabel)

Solver Status	Nilai Kasus 4 (L_0 dan T^L sebagai Variabel)		
	Flat-fee	Usage Based	Two-Part Tariff
<i>Model Class</i>	<i>NLP</i>	<i>NLP</i>	<i>NLP</i>
<i>State</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>
<i>Objective</i>	$5,2497 \times 10^{17}$	$5,2497 \times 10^{17}$	$5,2497 \times 10^{17}$
<i>Infeasibility</i>	$1,67688 \times 10^{12}$	$1,67688 \times 10^{12}$	$1,67688 \times 10^{12}$
<i>Iteration</i>	145	145	145
Extended Solver Status			
Solver Type	-	-	-
<i>Best Objective</i>	-	-	-
<i>Steps</i>	-	-	-
<i>Update Interval</i>	2	2	2
<i>GMU</i>	76	76	76
<i>ER (Sec)</i>	0	0	1

Berdasarkan skema pembiayaan *flat-fee* pada kasus 4 diperoleh solusi optimal sebesar Rp. $5,2497 \times 10^{17}$ /kbps yang diperoleh melalui 145 iterasi dengan nilai *infeasibility* sebesar $1,67688 \times 10^{12}$. Model C-RAN Selfish User berdasarkan fungsi utilitas Perfect Substitute berdasarkan skema pembiayaan *flat-fee* dalam Kasus 4 terbukti membutuhkan waktu 0 detik untuk menyelesaikan dalam extended solver status, dengan GMU 76K yang menunjukkan jumlah alokasi memori yang dibutuhkan.

Skema pembiayaan *usage-based* yang terdapat pada kasus 4 diperoleh solusi optimal sebesar Rp. $5,2497 \times 10^{17}$ /kbps yang diperoleh melalui 145 iterasi dengan nilai *infeasibility* sebesar $1,67688 \times 10^{12}$. *Extended solver status* memperlihatkan GMU sebesar 76K yang menunjukkan jumlah alokasi memori yang dipakai serta ER yaitu lama waktu yang digunakan untuk menyelesaikan model selama 0 detik.

Pada skema pembiayaan *two-part tariff* pada kasus 4 diperoleh solusi optimalnya sebesar Rp. $5,2497 \times 10^{17}$ /kbps yang

diperoleh melalui 145 iterasi dengan nilai *infeasibility* sebesar $1,67688 \times 10^{12}$. *Extended solver status* memperlihatkan GMU sebesar 76K yang menunjukkan jumlah alokasi memori yang dipakai serta ER yaitu lama waktu yang digunakan untuk menyelesaikan model selama 1 detik.

3.5 Kesimpulan

Dapat disimpulkan bahwa solusi optimal pada kasus 1 dihasilkan oleh C-RAN-*Selfish User* berdasarkan Fungsi Utilitas *Perfect Substitute*, dengan jenis skema pembiayaan *usage-based* dengan nilai objektif menjadi nilai keuntungan.

BAB

IV

FUNGSI UTILITAS EKSPONENSIAL

4.1 Penyusunan Model *Improved C-RAN Selfish User* Berdasarkan Fungsi Utilitas Eksponensial

Maks

$$(4.1) \quad \frac{\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m})}{\varphi_{eff} \sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh}^R} + \frac{\left[\sum_i C_{if} \right]^{w_1} \left[\sum_i E_{if} \right]^{w_2}}{\sum_i C_{if} + \sum_i E_{if}} + \frac{1 - e^{-ai}}{a} - R_X X_i - R_Y Y_i - R Z_i$$

dengan Kendala :

$$\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} = 1 \quad ; a_{k,m} \in \{0,1\} \quad (4.1a)$$

$$\sum_{k=1}^K C_{k,m} \geq \tau_R \quad ; n \in \Omega_1 \quad (4.1b)$$

$$\sum_{k=K+1}^{K+L} C_{k,m} \geq \tau_{ER} \quad ; n \in \Omega_2 \quad (4.1c)$$

$$\sum_{k=K}^{K+L} a_{k,m} t_{k,m} a_m^{R2L} h_m^{R2L} \leq \delta_0 \quad ; n \in \Omega_{II} \quad (4.1d)$$

$$\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} \leq T_{max}^R \quad ; t_{k,m} \geq 0 \quad (4.1e)$$

$$\sum_i E_{if} \leq P_f, i = 1,2,3, \dots, n \quad (4.1f)$$

$$X_i \leq \bar{X}_i Z_i \quad (4.1g)$$

$$Y_i \leq \bar{Y}_i Z_i \quad (4.1h)$$

$$U_i(X_i, Y_i) - R_X X_i - R_Y Y_i - R Z_i \geq 0 \quad (4.1i)$$

$$Z_i = 0 \text{ atau } 1$$

(4.1j)

dengan :

$$C_{k,m} = a_{k,m} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m}) \quad (4.1k)$$

$$\sigma_{k,m} = \begin{cases} \frac{d_k^R h_{k,m}^R}{L_0 R_0} & ; n \in \Omega_1 \\ \frac{d_k^R h_{k,m}^R}{T^L d_k^L h_{k,m}^L + L_0 R_0} & ; n \in \Omega_2 \end{cases} \quad (4.11)$$

4.2 Penyusunan Model Skema Pembiayaan Internet Berdasarkan pada Pemakaian Data

Setelah menentukan nilai-nilai parameter dan variabel pada Model C-RAN Eksponensial yang sudah terbentuk maka didapatkan skema pembiayaan internet yang dapat memaksimalkan keuntungan bagi ISP. Penggunaan RUE terhadap RRH dipilih sebanyak 3 RUE. Penggunaan RUE terhadap RB dipilih sebanyak 3 RUE. Penggunaan server terhadap RB dipilih sebanyak 3 server. $K = 3, L = 3, M = 3$.

karena :

$$\begin{aligned} \Omega_1 &= \{1, \dots, K\}; \\ \Omega_2 &= \{K + 1, \dots, K + L\}; \\ \Omega_{II} &= \Omega_1 \cup \Omega_2 \end{aligned}$$

sehingga :

$$\begin{aligned} \Omega_1 &= \{1,2,3\} \\ \Omega_2 &= \{4,5,6\} \\ \Omega_{II} &= \{1,2,3,4,5,6\} \end{aligned}$$

dengan :

Ω_1 : Alokasi RUE dengan batas atas QoS.

Ω_2 : Alokasi *Remote* RUE dengan batas bawah QoS.

Ω_{II} : Alokasi RUE dengan RB.

Untuk mencari nilai E_{if} dengan terlebih dahulu mencari nilai :

$$\zeta(T) = \frac{\pi^2}{3\beta^2} e^{-\beta^2 T}$$

$$E_i = \zeta(T) + \eta d_i^r$$

dengan nilai-nilai parameter yang ditentukan berikut :

$$T = 120 \text{ menit} = 2 \text{ jam}$$

$$\pi = 3,14$$

$$\beta = 0,5$$

$$e = 2,71$$

$$d = 10 \text{ Mb} = 10.240 \text{ Kb}$$

Untuk dapat mengetahui nilai dari $\zeta(T)$, dihitung :

$$\begin{aligned}\zeta(T) &= \frac{\pi^2}{3\beta^2} e^{-\beta^2 T} \\ &= \frac{(3,14)^2}{3(0,5)^2} (2,71)^{(-0,5)^2} (2) \\ &= 21,64115\end{aligned}$$

Setelah diperoleh nilai $\zeta(T) = 21,64115$, maka selanjutnya bisa diperoleh nilai dari E_i sebagai berikut :

$$\begin{aligned}E_i &= \zeta(T) + \eta d_i^r \\ &= 21,64115 + 6(10.240)^{2,71} \\ &= 4,4262 \times 10^{11}\end{aligned}$$

Sehingga untuk Model *Selfish User* diperoleh nilai variabel E_i sama dengan E_{if} .

4.3 Penyusunan Model Skema Pembiayaan Internet Berdasarkan Data *Traffic*

Berdasarkan pada data *Traffic* yang ditunjukkan pada Tabel 2.4 dan ketetapan nilai parameter pada Tabel 2.5, penyusunan model skema pembiayaan internet ini dimodifikasi menjadi 4 kasus berdasarkan ketentuan pemakaian awal serta konsumsi *bandwidth* yang sudah ditentukan.

4.3.1 Kasus 1 (L_0 sebagai Konstanta dan T^L sebagai Variabel)

Fungsi Objektif :

Maks

$$\frac{\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,mx} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m})}{\varphi_{eff} \sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh}} + \frac{\left[\sum_i C_{if} \right]^{w_1} \left[\sum_i E_{if} \right]^{w_2}}{\sum_i C_{if} + \sum_i E_{if}} + \frac{1 - e^{-ai}}{a} - R_X X_i - R_Y Y_i - R Z_i$$

Maks

$$\frac{\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,mx} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m})}{\varphi_{eff} \sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh}} + \frac{\left[\sum_i C_{if} \right]^{w_1} \left[\sum_i E_{if} \right]^{w_2}}{\sum_i C_{if} + \sum_i E_{if}} + \frac{1 - e^{-4X}}{4} + \frac{1 - e^{-4Y}}{4} - R_X X_i - R_Y Y_i - R Z_i$$

$$\begin{aligned} &= ((a_{11} 5000 \log_2(1 + \sigma_{11} t_{11}) + a_{12} 5000 \log_2(1 + \sigma_{12} t_{12}) + \\ & a_{13} 5000 \log_2(1 + \sigma_{13} t_{13}) + a_{21} 5000 \log_2(1 + \sigma_{21} t_{21}) + \\ & a_{22} 5000 \log_2(1 + \sigma_{22} t_{22}) + a_{23} 5000 \log_2(1 + \sigma_{23} t_{23}) + \\ & a_{31} 5000 \log_2(1 + \sigma_{31} t_{31}) + a_{32} 5000 \log_2(1 + \sigma_{32} t_{32}) + \\ & a_{33} 5000 \log_2(1 + \sigma_{33} t_{33}) + a_{41} 5000 \log_2(1 + \sigma_{41} t_{41}) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& a_{42} 5000 \log_2(1 + \sigma_{42}t_{42}) + a_{43} 5000 \log_2(1 + \sigma_{43}t_{43}) + \\
& a_{51} 5000 \log_2(1 + \sigma_{51}t_{51}) + a_{52} 5000 \log_2(1 + \sigma_{52}t_{52}) + \\
& a_{53} 5000 \log_2(1 + \sigma_{53}t_{53}) + a_{61} 5000 \log_2(1 + \sigma_{61}t_{61}) + \\
& a_{62} 5000 \log_2(1 + \sigma_{62}t_{62}) + a_{63} 5000 \log_2(1 + \sigma_{63}t_{63}) / \\
& 500((a_{11} t_{11} + 4500 + 4000) + (a_{12} t_{12} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{13} t_{13} + 4500 + 4000) + (a_{21} t_{21} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{22} t_{22} + 4500 + 4000) + (a_{23} t_{23} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{31} t_{31} + 4500 + 4000) + (a_{32} t_{32} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{33} t_{33} + 4500 + 4000) + (a_{41} t_{41} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{42} t_{42} + 4500 + 4000) + (a_{43} t_{43} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{51} t_{51} + 4500 + 4000) + (a_{52} t_{52} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{53} t_{53} + 4500 + 4000) + (a_{61} t_{61} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{62} t_{62} + 4500 + 4000) + (a_{63} t_{63} + 4500 + 4000)) + \\
& ([C_{11} + C_{21} + C_{31}]^{w_1} + [E_{11} + E_{21} + E_{31}]^{w_2} / \\
& C_{11} + C_{21} + C_{31} + E_{11} + E_{21} + E_{31}) + \\
& \frac{1-e^{-aX}}{a} + \frac{1-e^{-aY}}{a} - R_X X_i - R_Y Y_i - R_Z Z_i \tag{4.2}
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (4.1a) diperoleh :

$$\begin{aligned}
a_{11} + a_{21} + a_{31} + a_{41} + a_{51} + a_{61} &= 1 \\
a_{12} + a_{22} + a_{32} + a_{42} + a_{52} + a_{62} &= 1 \\
a_{13} + a_{23} + a_{33} + a_{43} + a_{53} + a_{63} &= 1 \\
(4.2a)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (4.1b) diperoleh :

$$\begin{aligned}
C_{11} + C_{12} + C_{13} &\geq 128 \\
C_{21} + C_{22} + C_{23} &\geq 128 \\
C_{31} + C_{32} + C_{33} &\geq 128 \\
(4.2b)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (4.1b), (4.1k) dan (4.1l) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{11} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.021,48111) (7.755,4205)}{5000R_0} t_{11} \right) + \\
& a_{12} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.021,48111) (13.779,4816)}{5000R_0} t_{12} \right) + \\
& a_{13} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.021,48111) (28.391,8008)}{5000R_0} t_{13} \right) \geq 128 \\
& a_{21} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(22.386,42125) (10.437,4223)}{5000R_0} t_{21} \right) +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& a_{22} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(22.386,42125) (10.018,3552)}{5000R_0} t_{22} \right) + \\
& a_{23} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(22.386,42125) (19.602,0966)}{5000R_0} t_{23} \right) \geq 128 \\
& a_{31} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.066,816817) (24.602,5643)}{5000R_0} t_{31} \right) + \\
& a_{32} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.066,816817) (16.172,0577)}{5000R_0} t_{32} \right) + \\
& a_{33} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.066,816817) (20.179,8491)}{5000R_0} t_{33} \right) \geq 128 \quad (4.2c)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (4.1c) diperoleh :

$$\begin{aligned}
C_{41} + C_{42} + C_{43} & \geq 64 \\
C_{51} + C_{52} + C_{53} & \geq 64 \\
C_{61} + C_{62} + C_{63} & \geq 64
\end{aligned} \quad (4.2d)$$

Berdasarkan Kendala (4.1c), (4.1k) dan (4.1l) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{44} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (8.057,5890)}{(T^L d_4^L h_{44}^L + 5000R_0)} t_{44} \right) + \\
& a_{45} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (22.639,8137)}{((T^L d_4^L h_{45}^L + 5000R_0)} t_{45} \right) + \\
& a_{46} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (19.679,0511)}{(T^L d_4^L h_{46}^L + 5000R_0)} t_{46} \right) \geq 64 \\
& a_{54} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027) (34.020,7898)}{(T^L d_5^L h_{54}^L + 5000R_0)} t_{54} \right) + \\
& a_{55} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027) (38.168,7142)}{(T^L d_5^L h_{55}^L + 5000R_0)} t_{55} \right) + \\
& a_{56} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027) (26.752,6567)}{(T^L d_5^L h_{56}^L + 5000R_0)} t_{56} \right) \geq 64 \\
& a_{64} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (19.335,7277)}{(T^L d_6^L h_{64}^L + 5000R_0)} t_{64} \right) + \\
& a_{65} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (16.977,5725)}{(T^L d_6^L h_{65}^L + 5000R_0)} t_{65} \right) + \\
& a_{66} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (21.212,3376)}{(T^L d_6^L h_{66}^L + 5000R_0)} t_{66} \right) \geq 64 \quad (4.2e)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (4.1d) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 & a_{31} t_{31} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{41} t_{41} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{51} t_{51} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 & + a_{61} t_{61} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
 & a_{32} t_{32} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{42} t_{42} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{52} t_{52} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 & + a_{62} t_{62} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
 & a_{33} t_{33} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{43} t_{43} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{53} t_{53} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 & + a_{63} t_{63} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
 & a_{34} t_{34} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{44} t_{44} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{54} t_{54} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 & + a_{64} t_{64} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
 & a_{35} t_{35} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{45} t_{45} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{55} t_{55} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 & + a_{65} t_{65} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
 & a_{36} t_{36} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{46} t_{46} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{56} t_{56} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 & + a_{66} t_{66} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \tag{4.2f}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (4.1e) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 & a_{11} t_{11} + a_{12} t_{12} + a_{13} t_{13} + a_{21} t_{21} + a_{22} t_{22} + a_{23} t_{23} + a_{31} t_{31} + \\
 & a_{32} t_{32} + a_{33} t_{33} + a_{41} t_{41} + a_{42} t_{42} + a_{43} t_{43} + a_{51} t_{51} + a_{52} t_{52} + \\
 & a_{53} t_{53} + a_{61} t_{61} + a_{62} t_{62} + a_{63} t_{63} \leq 500 \tag{4.2g}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (4.1f) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 & E_{11} + E_{12} \leq P_1 \\
 & E_{21} + E_{22} \leq P_2 \\
 & E_{31} + E_{32} \leq P_3 \tag{4.2h}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (4.1g) diperoleh :

$$X \leq 25.021,48111Z \tag{4.2i}$$

Berdasarkan Kendala (4.1h) diperoleh :

$$Y \leq 15.782,29295Z \tag{4.2j}$$

Berdasarkan Kendala (4.1i) diperoleh :

$$\frac{1-e^{-aX}}{a} + \frac{1-e^{-aY}}{a} - R_X X_i - R_Y Y_i - R_Z Z_i \geq 0 \tag{4.2k}$$

Berdasarkan Kendala (4.1j) diperoleh :

$$Z = 1 \tag{4.2l}$$

Untuk kasus skema pembiayaan *flat-fee*

$$R_X = 0$$

$$R_Y = 0$$

$$R > 0$$

Untuk kasus skema pembiayaan *usage-based*

$$R_X > 0$$

$$R_Y > 0$$

$$R = 0$$

Untuk kasus skema pembiayaan *two-part tariff*

$$R_X > 0$$

$$R_Y > 0$$

$$R > 0$$

4.3.2 Kasus 2 (L_0 dan T^L sebagai Konstanta)

Fungsi Objektif :

Maks

$$\frac{\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,mx} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m})}{\varphi_{eff} \sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh}^R} + \frac{\left[\sum_i C_{if} \right]^{w_1} \left[\sum_i E_{if} \right]^{w_2}}{\sum_i C_{if} + \sum_i E_{if}} + \frac{1 - e^{-ai}}{a} - R_X X_i - R_Y Y_i - RZ_i$$

Maks

$$\frac{\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,mx} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m})}{\varphi_{eff} \sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh}^R} + \frac{\left[\sum_i C_{if} \right]^{w_1} \left[\sum_i E_{if} \right]^{w_2}}{\sum_i C_{if} + \sum_i E_{if}} + \frac{1 - e^{-4X}}{4} + \frac{1 - e^{-4Y}}{4} - R_X X_i - R_Y Y_i - RZ_i$$

$$= ((a_{11} 5000 \log_2(1 + \sigma_{11} t_{11}) + a_{12} 5000 \log_2(1 + \sigma_{12} t_{12}) + a_{13} 5000 \log_2(1 + \sigma_{13} t_{13}) + a_{21} 5000 \log_2(1 + \sigma_{21} t_{21}) + a_{22} 5000 \log_2(1 + \sigma_{22} t_{22}) + a_{23} 5000 \log_2(1 + \sigma_{23} t_{23}) + a_{31} 5000 \log_2(1 + \sigma_{31} t_{31}) + a_{32} 5000 \log_2(1 + \sigma_{32} t_{32}) + a_{33} 5000 \log_2(1 + \sigma_{33} t_{33}) + a_{41} 5000 \log_2(1 + \sigma_{41} t_{41}) + a_{42} 5000 \log_2(1 + \sigma_{42} t_{42}) + a_{43} 5000 \log_2(1 + \sigma_{43} t_{43}) + a_{51} 5000 \log_2(1 + \sigma_{51} t_{51}) + a_{52} 5000 \log_2(1 + \sigma_{52} t_{52}) + a_{53} 5000 \log_2(1 + \sigma_{53} t_{53}) + a_{61} 5000 \log_2(1 + \sigma_{61} t_{61}) + a_{62} 5000 \log_2(1 + \sigma_{62} t_{62}) + a_{63} 5000 \log_2(1 + \sigma_{63} t_{63}))/ 500((a_{11} t_{11} + 4500 + 4000) + (a_{12} t_{12} + 4500 + 4000) + (a_{13} t_{13} + 4500 + 4000) + (a_{21} t_{21} + 4500 + 4000) + (a_{22} t_{22} + 4500 + 4000) + (a_{23} t_{23} + 4500 + 4000) + (a_{31} t_{31} + 4500 + 4000) + (a_{32} t_{32} + 4500 + 4000) + (a_{33} t_{33} + 4500 + 4000) + (a_{41} t_{41} + 4500 + 4000) + (a_{42} t_{42} + 4500 + 4000) + (a_{43} t_{43} + 4500 + 4000) + (a_{51} t_{51} + 4500 + 4000) + (a_{52} t_{52} + 4500 + 4000) + (a_{53} t_{53} + 4500 + 4000) + (a_{61} t_{61} + 4500 + 4000) +$$

$$\begin{aligned}
& (a_{62} t_{62} + 4500 + 4000) + (a_{63} t_{63} + 4500 + 4000) + \\
& ([C_{11} + C_{21} + C_{31}]^{w_1} + [E_{11} + E_{21} + E_{31}]^{w_2} / \\
& C_{11} + C_{21} + C_{31} + E_{11} + E_{21} + E_{31}) + \\
& \frac{1-e^{-aX}}{a} + \frac{1-e^{-aY}}{a} - R_X X_i - R_Y Y_i - R Z_i
\end{aligned} \tag{4.3}$$

Berdasarkan Kendala (4.1a) diperoleh :

$$a_{11} + a_{21} + a_{31} + a_{41} + a_{51} + a_{61} = 1$$

$$a_{12} + a_{22} + a_{32} + a_{42} + a_{52} + a_{62} = 1$$

$$a_{13} + a_{23} + a_{33} + a_{43} + a_{53} + a_{63} = 1$$

(4.3a)

Berdasarkan Kendala (4.1b) diperoleh :

$$C_{11} + C_{12} + C_{13} \geq 128$$

$$C_{21} + C_{22} + C_{23} \geq 128$$

$$C_{31} + C_{32} + C_{33} \geq 128$$

(4.3b)

Berdasarkan Kendala (4.1b), (4.1k) dan (4.1l) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{11} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.021,48111) (7.755,4205)}{5000R_0} t_{11} \right) + \\
& a_{12} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.021,48111) (13.779,4816)}{5000R_0} t_{12} \right) + \\
& a_{13} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.021,48111) (28.391,8008)}{5000R_0} t_{13} \right) \geq 128 \\
& a_{21} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(22.386,42125) (10.437,4223)}{5000R_0} t_{21} \right) + \\
& a_{22} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(22.386,42125) (10.018,3552)}{5000R_0} t_{22} \right) + \\
& a_{23} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(22.386,42125) (19.602,0966)}{5000R_0} t_{23} \right) \geq 128 \\
& a_{31} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.066,816817) (24.602,5643)}{5000R_0} t_{31} \right) + \\
& a_{32} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.066,816817) (16.172,0577)}{5000R_0} t_{32} \right) + \\
& a_{33} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.066,816817) (20.179,8491)}{5000R_0} t_{33} \right) \geq 128
\end{aligned} \tag{4.3c}$$

Berdasarkan Kendala (4.1c) diperoleh :

$$C_{41} + C_{42} + C_{43} \geq 64$$

$$C_{51} + C_{52} + C_{53} \geq 64$$

$$C_{61} + C_{62} + C_{63} \geq 64$$

(4.3d)

Berdasarkan Kendala (4.1c), (4.1k) dan (4.1l) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 & a_{44} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (8.057,5890)}{(150d_4^L h_{44}^L + 5000R_0)} t_{44} \right) + \\
 & a_{45} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (22.639,8137)}{(150d_4^L h_{45}^L + 5000R_0)} t_{45} \right) + \\
 & a_{46} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (19.679,0511)}{(150d_4^L h_{46}^L + 5000R_0)} t_{46} \right) \geq 64 \\
 & a_{54} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027) (34.020,7898)}{(150d_5^L h_{54}^L + 5000R_0)} t_{54} \right) + \\
 & a_{55} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027)(38.168,7142)}{(150d_5^L h_{55}^L + 5000R_0)} t_{55} \right) + \\
 & a_{56} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027) (26.752,6567)}{(150d_5^L h_{56}^L + 5000R_0)} t_{56} \right) \geq 64 \\
 & a_{64} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (19.335,7277)}{(150d_6^L h_{64}^L + 5000R_0)} t_{64} \right) + \\
 & a_{65} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (16.977,5725)}{(150d_6^L h_{65}^L + 5000R_0)} t_{65} \right) + \\
 & a_{66} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (21.212,3376)}{(150d_6^L h_{66}^L + 5000R_0)} t_{66} \right) \geq 64 \quad (4.3e)
 \end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (4.1d) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 & a_{31} t_{31} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{41} t_{41} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{51} t_{51} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 & + a_{61} t_{61} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
 & a_{32} t_{32} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{42} t_{42} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{52} t_{52} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 & + a_{62} t_{62} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
 & a_{33} t_{33} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{43} t_{43} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{53} t_{53} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 & + a_{63} t_{63} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
 & a_{34} t_{34} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{44} t_{44} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{54} t_{54} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 & + a_{64} t_{64} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
 & a_{35} t_{35} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{45} t_{45} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{55} t_{55} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 & + a_{65} t_{65} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
 & a_{36} t_{36} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{46} t_{46} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{56} t_{56} d_1^{R2L} h_1^{R2L}
 \end{aligned}$$

$$+ a_{66} t_{66} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500$$

(4.3f)

Berdasarkan Kendala (4.1e) diperoleh :

$$a_{11} t_{11} + a_{12} t_{12} + a_{13} t_{13} + a_{21} t_{21} + a_{22} t_{22} + a_{23} t_{23} + a_{31} t_{31} + a_{32} t_{32} + a_{33} t_{33} + a_{41} t_{41} + a_{42} t_{42} + a_{43} t_{43} + a_{51} t_{51} + a_{52} t_{52} + a_{53} t_{53} + a_{61} t_{61} + a_{62} t_{62} + a_{63} t_{63} \leq 500 \quad (4.3g)$$

Berdasarkan Kendala (4.1f) diperoleh :

$$E_{11} + E_{12} \leq P_1$$

$$E_{21} + E_{22} \leq P_2$$

$$E_{31} + E_{32} \leq P_3$$

(4.3h)

Berdasarkan Kendala (4.1g) diperoleh :

$$X \leq 25.021,48111Z \quad (4.3i)$$

Berdasarkan Kendala (4.1h) diperoleh :

$$Y \leq 15.782,29295Z \quad (4.3j)$$

Berdasarkan Kendala (4.1i) diperoleh :

$$\frac{1-e^{-aX}}{a} + \frac{1-e^{-aY}}{a} - R_X X_i - R_Y Y_i - R Z_i \geq 0 \quad (4.3k)$$

Berdasarkan Kendala (4.1j) diperoleh :

$$Z = 1 \quad (4.3l)$$

Untuk kasus skema pembiayaan *flat-fee*

$$R_X = 0$$

$$R_Y = 0$$

$$R > 0$$

Untuk kasus skema pembiayaan *usage-based*

$$R_X > 0$$

$$R_Y > 0$$

$$R = 0$$

Untuk kasus skema pembiayaan *two-part tariff*

$$R_X > 0$$

$$R_Y > 0$$

$$R > 0$$

4.3.3 Kasus 3 (L_0 sebagai Variabel dan T^L sebagai Konstanta)

Fungsi Objektif :

Maks

$$\frac{\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,mx} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m})}{\varphi_{eff} \sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh}} + \frac{\left[\sum_i C_{if} \right]^{w_1} \left[\sum_i E_{if} \right]^{w_2}}{\sum_i C_{if} + \sum_i E_{if}} + \frac{1 - e^{-ai}}{a} - R_X X_i - R_Y Y_i - R Z_i$$

Maks

$$\frac{\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,mx} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m})}{\varphi_{eff} \sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh}} + \frac{\left[\sum_i C_{if} \right]^{w_1} \left[\sum_i E_{if} \right]^{w_2}}{\sum_i C_{if} + \sum_i E_{if}} + \frac{1 - e^{-4X}}{4} + \frac{1 - e^{-4Y}}{4} - R_X X_i - R_Y Y_i - R Z_i$$

$$\begin{aligned} = & ((a_{11} 5000 \log_2(1 + \sigma_{11} t_{11}) + a_{12} 5000 \log_2(1 + \sigma_{12} t_{12}) + \\ & a_{13} 5000 \log_2(1 + \sigma_{13} t_{13}) + a_{21} 5000 \log_2(1 + \sigma_{21} t_{21}) + \\ & a_{22} 5000 \log_2(1 + \sigma_{22} t_{22}) + a_{23} 5000 \log_2(1 + \sigma_{23} t_{23}) + \\ & a_{31} 5000 \log_2(1 + \sigma_{31} t_{31}) + a_{32} 5000 \log_2(1 + \sigma_{32} t_{32}) + \\ & a_{33} 5000 \log_2(1 + \sigma_{33} t_{33}) + a_{41} 5000 \log_2(1 + \sigma_{41} t_{41}) + \\ & a_{42} 5000 \log_2(1 + \sigma_{42} t_{42}) + a_{43} 5000 \log_2(1 + \sigma_{43} t_{43}) + \\ & a_{51} 5000 \log_2(1 + \sigma_{51} t_{51}) + a_{52} 5000 \log_2(1 + \sigma_{52} t_{52}) + \\ & a_{53} 5000 \log_2(1 + \sigma_{53} t_{53}) + a_{61} 5000 \log_2(1 + \sigma_{61} t_{61}) + \\ & a_{62} 5000 \log_2(1 + \sigma_{62} t_{62}) + a_{63} 5000 \log_2(1 + \sigma_{63} t_{63})) / \\ & 500((a_{11} t_{11} + 4500 + 4000) + (a_{12} t_{12} + 4500 + 4000) + \\ & (a_{13} t_{13} + 4500 + 4000) + (a_{21} t_{21} + 4500 + 4000) + \\ & (a_{22} t_{22} + 4500 + 4000) + (a_{23} t_{23} + 4500 + 4000) + \\ & (a_{31} t_{31} + 4500 + 4000) + (a_{32} t_{32} + 4500 + 4000) + \\ & (a_{33} t_{33} + 4500 + 4000) + (a_{41} t_{41} + 4500 + 4000) + \\ & (a_{42} t_{42} + 4500 + 4000) + (a_{43} t_{43} + 4500 + 4000) + \\ & (a_{51} t_{51} + 4500 + 4000) + (a_{52} t_{52} + 4500 + 4000) + \\ & (a_{53} t_{53} + 4500 + 4000) + (a_{61} t_{61} + 4500 + 4000) + \\ & (a_{62} t_{62} + 4500 + 4000) + (a_{63} t_{63} + 4500 + 4000)) + \\ & ([C_{11} + C_{21} + C_{31}]^{w_1} + [E_{11} + E_{21} + E_{31}]^{w_2} / \\ & C_{11} + C_{21} + C_{31} + E_{11} + E_{21} + E_{31}) + \\ & \frac{1 - e^{-aX}}{a} + \frac{1 - e^{-aY}}{a} - R_X X_i - R_Y Y_i - R Z_i \end{aligned} \quad (4.4)$$

Berdasarkan Kendala (4.1a) diperoleh :

$$a_{11} + a_{21} + a_{31} + a_{41} + a_{51} + a_{61} = 1$$

$$a_{12} + a_{22} + a_{32} + a_{42} + a_{52} + a_{62} = 1$$

$$a_{13} + a_{23} + a_{33} + a_{43} + a_{53} + a_{63} = 1$$

(4.4a)

Berdasarkan Kendala (4.1b) diperoleh :

$$C_{11} + C_{12} + C_{13} \geq 128$$

$$C_{21} + C_{22} + C_{23} \geq 128$$

$$C_{31} + C_{32} + C_{33} \geq 128$$

(4.4b)

Berdasarkan Kendala (4.1b), (4.1k) dan (4.1l) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 & a_{11} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.021,48111) (7.755,4205)}{5000R_0} t_{11} \right) + \\
 & a_{12} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.021,48111) (13.779,4816)}{5000R_0} t_{12} \right) + \\
 & a_{13} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.021,48111) (28.391,8008)}{5000R_0} t_{13} \right) \geq 128 \\
 & a_{21} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(22.386,42125) (10.437,4223)}{5000R_0} t_{21} \right) + \\
 & a_{22} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(22.386,42125) (10.018,3552)}{5000R_0} t_{22} \right) + \\
 & a_{23} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(22.386,42125) (19.602,0966)}{5000R_0} t_{23} \right) \geq 128 \\
 & a_{31} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.066,816817) (24.602,5643)}{5000R_0} t_{31} \right) + \\
 & a_{32} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.066,816817) (16.172,0577)}{5000R_0} t_{32} \right) + \\
 & a_{33} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.066,816817) (20.179,8491)}{5000R_0} t_{33} \right) \geq 128 \quad (4.4c)
 \end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (4.1c) diperoleh :

$$C_{41} + C_{42} + C_{43} \geq 64$$

$$C_{51} + C_{52} + C_{53} \geq 64$$

$$C_{61} + C_{62} + C_{63} \geq 64 \quad (4.4d)$$

Berdasarkan Kendala (4.1c), (4.1k) dan (4.1l) diperoleh :

$$a_{44} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (8.057,5890)}{(150d_4^L h_{44}^L + 5000R_0)} t_{44} \right) +$$

$$\begin{aligned}
& a_{45} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (22.639,8137)}{(150d_4^L h_{45}^L + 5000R_0)} t_{45} \right) + \\
& a_{46} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (19.679,0511)}{(150d_4^L h_{46}^L + 5000R_0)} t_{46} \right) \geq 64 \\
& a_{54} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027) (34.020,7898)}{(150d_5^L h_{54}^L + 5000R_0)} t_{54} \right) + \\
& a_{55} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027)(38.168,7142)}{(150d_5^L h_{55}^L + 5000R_0)} t_{55} \right) + \\
& a_{56} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027) (26.752,6567)}{(150d_5^L h_{56}^L + 5000R_0)} t_{56} \right) \geq 64 \\
& a_{64} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (19.335,7277)}{(150d_6^L h_{64}^L + 5000R_0)} t_{64} \right) + \\
& a_{65} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (16.977,5725)}{(150d_6^L h_{65}^L + 5000R_0)} t_{65} \right) + \\
& a_{66} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (21.212,3376)}{(150d_6^L h_{66}^L + 5000R_0)} t_{66} \right) \geq 64
\end{aligned}$$

(4.4e)

Berdasarkan Kendala (4.1d) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{31} t_{31} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{41} t_{41} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{51} t_{51} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& + a_{61} t_{61} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
& a_{32} t_{32} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{42} t_{42} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{52} t_{52} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& + a_{62} t_{62} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
& a_{33} t_{33} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{43} t_{43} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{53} t_{53} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& + a_{63} t_{63} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
& a_{34} t_{34} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{44} t_{44} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{54} t_{54} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& + a_{64} t_{64} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
& a_{35} t_{35} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{45} t_{45} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{55} t_{55} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& + a_{65} t_{65} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
& a_{36} t_{36} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{46} t_{46} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{56} t_{56} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& + a_{66} t_{66} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \tag{4.4f}
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (4.1e) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{11} t_{11} + a_{12} t_{12} + a_{13} t_{13} + a_{21} t_{21} + a_{22} t_{22} + a_{23} t_{23} + a_{31} t_{31} + \\
& a_{32} t_{32} + a_{33} t_{33} + a_{41} t_{41} + a_{42} t_{42} + a_{43} t_{43} + a_{51} t_{51} + a_{52} t_{52} + \\
& a_{53} t_{53} + a_{61} t_{61} + a_{62} t_{62} + a_{63} t_{63} \leq 500 \tag{4.4g}
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (4.1f) diperoleh :

$$E_{11} + E_{12} \leq P_1$$

$$E_{21} + E_{22} \leq P_2$$

$$E_{31} + E_{32} \leq P_3 \quad (4.4h)$$

Berdasarkan Kendala (4.1g) diperoleh :

$$X \leq 25.021,48111Z \quad (4.4i)$$

Berdasarkan Kendala (4.1h) diperoleh :

$$Y \leq 15.782,29295Z \quad (4.4j)$$

Berdasarkan Kendala (4.1i) diperoleh :

$$\frac{1-e^{-aX}}{a} + \frac{1-e^{-aY}}{a} - R_X X_i - R_Y Y_i - RZ_i \geq 0 \quad (4.4k)$$

Berdasarkan Kendala (4.1j) diperoleh :

$$Z = 1 \quad (4.4l)$$

Untuk kasus skema pembiayaan *flat-fee*

$$R_X = 0$$

$$R_Y = 0$$

$$R > 0$$

Untuk kasus skema pembiayaan *usage-based*

$$R_X > 0$$

$$R_Y > 0$$

$$R = 0$$

Untuk kasus skema pembiayaan *two-part tariff*

$$R_X > 0$$

$$R_Y > 0$$

$$R > 0$$

4.3.4 Kasus 4 (L_0 dan T^L sebagai Variabel)

Fungsi Objektif :

Maks

$$\frac{\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,mx} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m})}{\varphi_{eff} \sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh}} + \frac{\left[\sum_i C_{if} \right]^{w_1} \left[\sum_i E_{if} \right]^{w_2}}{\sum_i C_{if} + \sum_i E_{if}} + \frac{1-e^{-ai}}{a} - R_X X_i - R_Y Y_i - RZ_i$$

$$\text{Maks} \quad \frac{\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,mx} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m})}{\varphi_{eff} \sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh}} + \frac{\left[\sum_i C_{if} \right]^{w_1} \left[\sum_i E_{if} \right]^{w_2}}{\sum_i C_{if} + \sum_i E_{if}} + \frac{1-e^{-4X}}{4} + \frac{1-e^{-4Y}}{4} - R_X X_i - R_Y Y_i - RZ_i$$

$$= ((a_{11} 5000 \log_2(1 + \sigma_{11} t_{11}) + a_{12} 5000 \log_2(1 + \sigma_{12} t_{12}) + a_{13} 5000 \log_2(1 + \sigma_{13} t_{13}) + a_{21} 5000 \log_2(1 + \sigma_{21} t_{21}) +$$

$$\begin{aligned}
& a_{22}5000 \log_2(1 + \sigma_{22}t_{22}) + a_{23}5000 \log_2(1 + \sigma_{23}t_{23}) + \\
& a_{31}5000 \log_2(1 + \sigma_{31}t_{31}) + a_{32}5000 \log_2(1 + \sigma_{32}t_{32}) + \\
& a_{33}5000 \log_2(1 + \sigma_{33}t_{33}) + a_{41}5000 \log_2(1 + \sigma_{41}t_{41}) + \\
& a_{42}5000 \log_2(1 + \sigma_{42}t_{42}) + a_{43}5000 \log_2(1 + \sigma_{43}t_{43}) + \\
& a_{51}5000 \log_2(1 + \sigma_{51}t_{51}) + a_{52}5000 \log_2(1 + \sigma_{52}t_{52}) + \\
& a_{53}5000 \log_2(1 + \sigma_{53}t_{53}) + a_{61}5000 \log_2(1 + \sigma_{61}t_{61}) + \\
& a_{62}5000 \log_2(1 + \sigma_{62}t_{62}) + a_{63}5000 \log_2(1 + \sigma_{63}t_{63}) / \\
& 500((a_{11} t_{11} + 4500 + 4000) + (a_{12} t_{12} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{13} t_{13} + 4500 + 4000) + (a_{21} t_{21} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{22} t_{22} + 4500 + 4000) + (a_{23} t_{23} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{31} t_{31} + 4500 + 4000) + (a_{32} t_{32} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{33} t_{33} + 4500 + 4000) + (a_{41} t_{41} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{42} t_{42} + 4500 + 4000) + (a_{43} t_{43} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{51} t_{51} + 4500 + 4000) + (a_{52} t_{52} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{53} t_{53} + 4500 + 4000) + (a_{61} t_{61} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{62} t_{62} + 4500 + 4000) + (a_{63} t_{63} + 4500 + 4000)) + \\
& ([C_{11} + C_{21} + C_{31}]^{w_1} + [E_{11} + E_{21} + E_{31}]^{w_2} / \\
& C_{11} + C_{21} + C_{31} + E_{11} + E_{21} + E_{31}) + \\
& \frac{1-e^{-aX}}{a} + \frac{1-e^{-aY}}{a} - R_X X_i - R_Y Y_i - R Z_i
\end{aligned} \tag{4.5}$$

Berdasarkan Kendala (4.1a) diperoleh :

$$\begin{aligned}
a_{11} + a_{21} + a_{31} + a_{41} + a_{51} + a_{61} &= 1 \\
a_{12} + a_{22} + a_{32} + a_{42} + a_{52} + a_{62} &= 1 \\
a_{13} + a_{23} + a_{33} + a_{43} + a_{53} + a_{63} &= 1
\end{aligned} \tag{4.5a}$$

Berdasarkan Kendala (4.1b) diperoleh :

$$\begin{aligned}
C_{11} + C_{12} + C_{13} &\geq 128 \\
C_{21} + C_{22} + C_{23} &\geq 128 \\
C_{31} + C_{32} + C_{33} &\geq 128
\end{aligned} \tag{4.5b}$$

Berdasarkan Kendala (4.1b), (4.1k) dan (4.1l) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{11}5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.021,48111) (7.755,4205)}{5000R_0} t_{11} \right) + \\
& a_{12} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.021,48111) (13.779,4816)}{5000R_0} t_{12} \right) + \\
& a_{13} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.021,48111) (28.391,8008)}{5000R_0} t_{13} \right) \geq 128
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& a_{21} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(22.386,42125) (10.437,4223)}{5000R_0} t_{21} \right) + \\
& a_{22} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(22.386,42125) (10.018,3552)}{5000R_0} t_{22} \right) + \\
& a_{23} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(22.386,42125) (19.602,0966)}{5000R_0} t_{23} \right) \geq 128 \\
& a_{31} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.066,816817) (24.602,5643)}{5000R_0} t_{31} \right) + \\
& a_{32} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.066,816817) (16.172,0577)}{5000R_0} t_{32} \right) + \\
& a_{33} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.066,816817) (20.179,8491)}{5000R_0} t_{33} \right) \geq 128 \quad (4.5c)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (4.1c) diperoleh :

$$\begin{aligned}
C_{41} + C_{42} + C_{43} & \geq 64 \\
C_{51} + C_{52} + C_{53} & \geq 64 \\
C_{61} + C_{62} + C_{63} & \geq 64 \quad (4.5d)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (4.1c), (4.1k) dan (4.1l) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{44} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (8.057,5890)}{(T^L d_4^L h_{44}^L + 5000R_0)} t_{44} \right) + \\
& a_{45} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (22.639,8137)}{(T^L d_4^L h_{45}^L + 5000R_0)} t_{45} \right) + \\
& a_{46} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(15.782,29295) (19.679,0511)}{(T^L d_4^L h_{46}^L + 5000R_0)} t_{46} \right) \geq 64 \\
& a_{54} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027) (34.020,7898)}{(T^L d_5^L h_{54}^L + 5000R_0)} t_{54} \right) + \\
& a_{55} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027) (38.168,7142)}{(T^L d_5^L h_{55}^L + 5000R_0)} t_{55} \right) + \\
& a_{56} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(9.796,603027) (26.752,6567)}{(T^L d_5^L h_{56}^L + 5000R_0)} t_{56} \right) \geq 64 \\
& a_{64} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (19.335,7277)}{(T^L d_6^L h_{64}^L + 5000R_0)} t_{64} \right) + \\
& a_{65} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (16.977,5725)}{(T^L d_6^L h_{65}^L + 5000R_0)} t_{65} \right) + \\
& a_{66} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.467,077874) (21.212,3376)}{(T^L d_6^L h_{66}^L + 5000R_0)} t_{66} \right) \geq 64 \quad (4.5e)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (4.1d) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 & a_{31} t_{31} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{41} t_{41} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{51} t_{51} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 & + a_{61} t_{61} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
 & a_{32} t_{32} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{42} t_{42} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{52} t_{52} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 & + a_{62} t_{62} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
 & a_{33} t_{33} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{43} t_{43} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{53} t_{53} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 & + a_{63} t_{63} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
 & a_{34} t_{34} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{44} t_{44} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{54} t_{54} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 & + a_{64} t_{64} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
 & a_{35} t_{35} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{45} t_{45} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{55} t_{55} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 & + a_{65} t_{65} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
 & a_{36} t_{36} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{46} t_{46} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{56} t_{56} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 & + a_{66} t_{66} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \tag{4.5f}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (4.1e) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 & a_{11} t_{11} + a_{12} t_{12} + a_{13} t_{13} + a_{21} t_{21} + a_{22} t_{22} + a_{23} t_{23} + a_{31} t_{31} + \\
 & a_{32} t_{32} + a_{33} t_{33} + a_{41} t_{41} + a_{42} t_{42} + a_{43} t_{43} + a_{51} t_{51} + a_{52} t_{52} + \\
 & a_{53} t_{53} + a_{61} t_{61} + a_{62} t_{62} + a_{63} t_{63} \leq 500 \tag{4.5g}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (4.1f) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 & E_{11} + E_{12} \leq P_1 \\
 & E_{21} + E_{22} \leq P_2 \\
 & E_{31} + E_{32} \leq P_3 \tag{4.5h}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (4.1g) diperoleh :

$$X \leq 25.021,48111Z \tag{4.5i}$$

Berdasarkan Kendala (4.1h) diperoleh :

$$Y \leq 15.782,29295Z \tag{4.5j}$$

Berdasarkan Kendala (4.1i) diperoleh :

$$\frac{1-e^{-aX}}{a} + \frac{1-e^{-aY}}{a} - R_X X_i - R_Y Y_i - R_Z Z_i \geq 0 \tag{4.5k}$$

Berdasarkan Kendala (4.1j) diperoleh :

$$Z = 1 \tag{4.5l}$$

Untuk kasus skema pembiayaan *flat-fee*

$$R_X = 0$$

$$R_Y = 0$$

$$R > 0$$

Untuk kasus skema pembiayaan *usage-based*

$$R_x > 0$$

$$R_y > 0$$

$$R = 0$$

Untuk kasus skema pembiayaan *two-part tariff*

$$R_x > 0$$

$$R_y > 0$$

$$R > 0$$

4.4 Solusi Optimal Model C-RAN-Selfish User Berdasarkan Fungsi Utilitas Eksponensial

Solusi dan nilai variabel yang ditampilkan merupakan solusi dari Persamaan (4.2), Persamaan (4.3), Persamaan (4.4), dan Persamaan (4.5). Model tersebut kemudian diselesaikan dengan program LINGO 13.0 untuk menghasilkan hasil terbaik di setiap kasus.

Tabel 4.1 Solusi Optimal Model C-RAN-Selfish User Berdasarkan Fungsi Utilitas Eksponensial Pada Kasus 1 (L_0 sebagai Konstanta dan T^L sebagai Variabel)

<i>Solver Status</i>	Nilai Kasus 1 (L_0 sebagai Konstanta dan T^L sebagai Variabel)		
	<i>Flat-fee</i>	<i>Usage Based</i>	<i>Two-Part Tariff</i>
<i>Model Class</i>	<i>NLP</i>	<i>NLP</i>	<i>NLP</i>
<i>State</i>	<i>Local Inf</i>	<i>Local Inf</i>	<i>Local Opt</i>
<i>Objective</i>	$5,2497 \times 10^{17}$	$5,2497 \times 10^{17}$	$5,2497 \times 10^{17}$
<i>Infeasibility</i>	0,00103851	$7,61452 \times 10^5$	0
<i>Iteration</i>	38	80	43
<i>Extended Solver Status</i>			
<i>Solver Type</i>	-	-	-
<i>Best Objective</i>	-	-	-
<i>Steps</i>	-	-	-
<i>Update Interval</i>	2	2	2
<i>GMU</i>	66	70	74
<i>ER (Sec)</i>	0	1	0

Berdasarkan skema pembiayaan *flat-fee* pada Kasus 1 diperoleh solusi optimalnya sebesar Rp. $5,2497 \times 10^{17}$ /kbps yang diperoleh melalui 38 iterasi dengan nilai *infeasibility* sebesar 0,00103851. *Extended solver status* memperlihatkan GMU sebesar 66K yang menunjukkan jumlah alokasi pada memori yang dipakai serta ER adalah lama waktu yang digunakan untuk menyelesaikan Model C-RAN *Selfish User* berdasarkan fungsi utilitas Eksponensial berdasarkan skema pembiayaan *flat-fee* pada Kasus 1 selama 0 detik.

Skema pembiayaan *usage-based* pada Kasus 1 diperoleh solusi optimalnya sebesar Rp. $5,2497 \times 10^{17}$ /kbps yang diperoleh melalui 80 iterasi dengan nilai *infeasibility* sebesar $7,61452 \times 10^5$. *Extended solver status* memperlihatkan GMU sebesar 70K yang menunjukkan jumlah alokasi pada memori yang dipakai serta ER adalah lama waktu yang digunakan untuk menyelesaikan Model C-RAN *Selfish User* berdasarkan fungsi utilitas Eksponensial berdasarkan skema pembiayaan *usage-based* pada Kasus 1 selama 1 detik.

Skema pembiayaan *two-part tariff* pada Kasus 1 diperoleh solusi optimalnya sebesar Rp. $5,2497 \times 10^{17}$ /kbps yang diperoleh melalui 43 iterasi dengan nilai *infeasibility* sebesar 0. *Extended solver status* memperlihatkan GMU sebesar 74K yang menunjukkan jumlah alokasi pada memori yang dipakai serta ER adalah lama waktu yang digunakan untuk menyelesaikan Model C-RAN *Selfish User* berdasarkan fungsi utilitas Eksponensial berdasarkan skema pembiayaan *two-part tariff* pada Kasus 1 selama 0 detik.

Tabel 4.2 Solusi Optimal Model C-RAN Selfish User Berdasarkan Fungsi Utilitas Eksponensial Pada Kasus 2 (L_0 dan T^L sebagai Konstanta)

<i>Solver Status</i>	Nilai Kasus 2 (L_0 dan T^L sebagai Konstanta)		
	<i>Flat-fee</i>	<i>Usage Based</i>	<i>Two-Part Tariff</i>
<i>Model Class</i>	<i>NLP</i>	<i>NLP</i>	<i>NLP</i>
<i>State</i>	<i>Local Inf</i>	<i>Local Inf</i>	<i>Local Opt</i>
<i>Objective</i>	$5,2497 \times 10^{17}$	$5,2497 \times 10^{17}$	$5,2497 \times 10^{17}$
<i>Infeasibility</i>	0,00103851	0,00103851	$1,42109 \times 10^{14}$
<i>Iteration</i>	38	38	49

<i>Extended Solver Status</i>			
<i>Solver Type</i>	-	-	-
<i>Best Objective</i>	-	-	-
<i>Steps</i>	-	-	-
<i>Update Interval</i>	2	2	2
<i>GMU</i>	66	70	74
<i>ER (Sec)</i>	0	0	0

Berdasarkan skema pembiayaan *flat-fee* pada Kasus 2 diperoleh solusi optimalnya sebesar Rp. $5,2497 \times 10^{17}$ /kbps yang diperoleh melalui 38 iterasi dengan nilai *infeasibility* sebesar 0,00103851. *Extended solver status* memperlihatkan GMU sebesar 66K yang menunjukkan jumlah alokasi memori yang dipakai serta ER yaitu lama waktu yang digunakan untuk menyelesaikan Model C-RAN *Selfish User* berdasarkan fungsi utilitas Eksponensial berdasarkan skema pembiayaan *flat-fee* pada Kasus 2 selama 0 detik.

Skema pembiayaan *usage-based* pada Kasus 2 diperoleh solusi optimalnya sebesar Rp. $5,2497 \times 10^{17}$ /kbps yang diperoleh melalui 38 iterasi dengan nilai *infeasibility* sebesar 0,00103851. *Extended solver status* memperlihatkan GMU sebesar 70K yang menunjukkan jumlah alokasi memori ;yang dipakai serta ER yaitu lama waktu yang digunakan untuk menyelesaikan Model C-RAN *Selfish-User* berdasarkan fungsi utilitas Eksponensial berdasarkan skema pembiayaan *usage-based* pada Kasus 2 selama 0 detik.

Skema pembiayaan *two-part tariff* pada Kasus 2 diperoleh solusi optimalnya sebesar Rp. $5,2497 \times 10^{17}$ /kbps yang diperoleh melalui 49 iterasi dengan nilai *infeasibility* sebesar $1,42109 \times 10^{14}$. *Extended solver status* memperlihatkan GMU sebesar 74K yang menunjukkan jumlah alokasi memori yang dipakai serta ER yaitu lama waktu yang digunakan untuk menyelesaikan Model C-RAN *Selfish User* berdasarkan fungsi utilitas *Perfect Substitute*

berdasarkan skema pembiayaan *two-part tariff* pada Kasus 2 selama 0 detik.

Tabel 4.3 Solusi Optimal Model C-RAN *Selfish User* Berdasarkan Fungsi Utilitas Eksponensial Pada Kasus 3 (L_0 sebagai Variabel dan T^L sebagai Konstanta)

<i>Solver Status</i>	Nilai Kasus 3 (L_0 sebagai Variabel dan T^L sebagai Konstanta)		
	<i>Flat-fee</i>	<i>Usage Based</i>	<i>Two-Part Tariff</i>
<i>Model Class</i>	<i>NLP</i>	<i>NLP</i>	<i>NLP</i>
<i>State</i>	<i>Local Inf</i>	<i>Local Inf</i>	<i>Local Inf</i>
<i>Objective</i>	1,32784 $\times 10^{12}$	1,32784 $\times 10^{12}$	$1,32784 \times 10^{12}$
<i>Infeasibility</i>	5,83728	$5,83728 \times 10^5$	$5,28291 \times 10^5$
<i>Iteration</i>	$\times 10^5$ 83	168	222
<i>Extended Solver Status</i>			
<i>Solver Type</i>	-	-	-
<i>Best Objective</i>	-	-	-
<i>Update Interval</i>	2	2	2
<i>GMU</i>	70	76	69
<i>ER (Sec)</i>	1	0	0

Skema pembiayaan *flat-fee* pada Kasus 3 diperoleh solusi optimalnya sebesar Rp. $1,32784 \times 10^{12}$ /kbps yang diperoleh melalui 83 iterasi dengan nilai *infeasibility* sebesar $5,83728 \times 10^5$. *Extended solver status* memperlihatkan GMU sebesar 70K yang menunjukkan jumlah alokasi memori yang dipakai serta ER yaitu lama waktu yang digunakan untuk menyelesaikan model C-RAN-*Selfish User*-fungsi Utilitas Eksponensial berdasarkan skema pembiayaan *flat-fee* pada kasus 3 selama 0 detik.

Skema pembiayaan *usage-based* pada Kasus 3 diperoleh solusi optimalnya sebesar Rp. $1,32784 \times 10^{12}$ /kbps yang diperoleh melalui 168 iterasi dengan nilai *infeasibility* sebesar $5,28291 \times 10^5$.

Extended solver status memperlihatkan GMU sebesar 76K yang menunjukkan jumlah alokasi memori yang dipakai serta ER yaitu lama waktu yang digunakan untuk menyelesaikan model selama 0 detik.

Skema pembiayaan *two-part tariff* pada Kasus 3 diperoleh solusi optimalnya sebesar Rp. $1,32784 \times 10^{12}$ /kbps yang diperoleh melalui 222 iterasi dengan nilai *infeasibility* sebesar $5,28291 \times 10^5$. *Extended solver status* memperlihatkan GMU sebesar 69K yang menunjukkan jumlah alokasi memori yang dipakai serta ER yaitu lama waktu yang digunakan untuk menyelesaikan model C-RAN-*Selfish User*-fungsi Utilitas Eksponensial berdasarkan skema pembiayaan *two-part tariff* pada kasus 3 selama 1 detik.

Tabel 4.4 Solusi Optimal Model C-RAN *Selfish User* Berdasarkan Fungsi Utilitas Eksponensial Pada Kasus 4 (L_0 dan T^L sebagai Variabel)

<i>Solver Status</i>	Nilai Kasus 4 (L_0 dan T^L sebagai Variabel)		
	<i>Flat-fee</i>	<i>Usage Based</i>	<i>Two-Part Tariff</i>
<i>Model Class</i>	<i>NLP</i>	<i>NLP</i>	<i>NLP</i>
<i>State</i>	<i>Feasible</i>	<i>Feasible</i>	<i>Feasible</i>
<i>Objective</i>	$5,2497 \times 10^{17}$	$5,2497 \times 10^{17}$	$5,2497 \times 10^{17}$
<i>Infeasibility</i>	0	0	0
<i>Iteration</i>	108	108	170
<i>Extended Solver Status</i>			
<i>Solver Type</i>	-	-	-
<i>Best Objective</i>	-	-	-
<i>Steps</i>	-	-	-
<i>Update Interval</i>	2	2	2
<i>GMU</i>	69	76	69
<i>ER (Sec)</i>	0	0	0

Skema pembiayaan *flat-fee* pada kasus 4 diperoleh solusi optimalnya sebesar Rp. $5,2497 \times 10^{17}$ /kbps yang diperoleh melalui 108 iterasi dengan nilai *infeasibility* sebesar 0. *Extended solver status* memperlihatkan GMU sebesar 69K yang menunjukkan

jumlah alokasi memori yang dipakai serta ER yaitu lama waktu yang digunakan untuk menyelesaikan model C-RAN-*Selfish User*-fungsi utilitas Eksponensial berdasarkan skema pembiayaan *flat-fee* pada kasus 4 selama 0 detik.

Skema pembiayaan *usage-based* pada kasus 4 diperoleh solusi optimalnya sebesar Rp. $5,2497 \times 10^{17}$ /kbps yang diperoleh melalui 108 iterasi dengan nilai *infeasibility* sebesar 0. *Extended solver status* memperlihatkan GMU sebesar 69K yang menunjukkan jumlah alokasi memori yang dipakai serta ER yaitu lama waktu yang digunakan untuk menyelesaikan model selama 0 detik.

Skema pembiayaan *two-part tariff* pada kasus 4 diperoleh solusi optimalnya sebesar Rp. $5,2497 \times 10^{17}$ /kbps yang diperoleh melalui 170 iterasi dengan nilai *infeasibility* sebesar 0. *Extended solver status* memperlihatkan GMU sebesar 69K yang menunjukkan jumlah alokasi memori yang dipakai serta ER yaitu lama waktu yang digunakan untuk menyelesaikan model selama 0 detik.

4.5 Kesimpulan

Diperoleh kesimpulan bahwa Model C-RAN-*Selfish User*-Fungsi Utilitas Eksponensial diperoleh hasil solusi optimal yang terdapat pada kasus 1 dengan skema pembiayaan *two-part tariff* sebesar dengan nilai objektif merupakan nilai keuntungan yang diperoleh pada solusi optimal.

Pada bab ini dibahas mengenai *improved* model C-RAN, *fair network* dan dikombinasikan dengan menambahkan fungsi utilitas *modified cobb-douglas* pada skema pembiayaan jaringan internet.

5.1 Penyusunan Model Improved C-RAN

Penyusunan model dilakukan dengan mengkombinasikan model original C-RAN dengan model fair network selanjutnya ditambahkan dengan fungsi utilitas modified cobb-douglas dan optimasi masalah pengguna

Fungsi Objektif :

Maks

$$\frac{\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m}) + \left(\sum_{n=1}^N Z_n \right)^2}{\varphi_{eff} \sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh} + I \sum_{n=1}^N Z_n^2} + a \log(X + 1) + b \log(Y + 1) - R_x X - R_y Y - RZ_i \quad (5.1)$$

dengan kendala :

$$\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} = 1 ; a_{k,m} \in \{0,1\} \quad (5.1a)$$

$$\sum_{k=1}^K C_{k,m} \geq \tau_R ; n \in \Omega_{1l} \quad (5.1b)$$

$$\sum_{k=K+1}^{K+L} C_{k,m} \geq \tau_{ER} ; n \in \Omega_{2l} \quad (5.1c)$$

$$\sum_{k=K}^{K+L} a_{k,m} t_{k,m} d_m^{R2L} h_m^{R2L} \leq \delta_0 ; m \in \Omega_{II} \quad (5.1d)$$

$$\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} \leq T_{max}^R; t_{k,m} \geq 0 \quad (5.1e)$$

$$z_n \geq H_n^{min} \quad (5.1f)$$

$$X_i \leq \bar{X}_i Z_i \quad (51g)$$

$$Y_i \leq \bar{Y}_i Z_i \quad (5.1h)$$

$$U_i(X_i, Y_i) - R_X X_i - R_Y Y_i - R Z_i \geq 0 \quad (5.1i)$$

dimana :

$$C_{k,m} = a_{k,m} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m}) \quad (5.1j)$$

$$\sigma_{k,m} = \begin{cases} \frac{d_k^R h_{k,m}^R}{L_0 R_0} & ; n \in \Omega_1 \\ \frac{d_k^R h_{k,m}^R}{T^B d_k^B h_{k,m}^B + L_0 R_0} & ; n \in \Omega_2 \end{cases} \quad (5.1k)$$

$$U(X, Y) = a \log(X + 1) + b \log(Y + 1) \quad (5.1l)$$

$$U(X, Y) = \frac{X^{1-a} - 1}{1-a} + \frac{Y^{1-b} - 1}{1-b} \quad (5.1m)$$

$$U(X, Y) = aX + f(Y) \text{ dimana } f(Y) = Y^b \quad (5.1n)$$

5.2 Model Skema Pembiayaan internet Berdasarkan Fungsi Utilitas *Modified Cobb-Douglas* pada Jaringan Fair DSL-LTE Multiple QoS

Berdasarkan data *traffic* pada Tabel 2.13, Tabel 2.14 dan Tabel 2.15 dibentuk model skema pembiayaan internet dengan pemakaian awal dan jumlah pemakaian *bandwidth* yang telah ditentukan.

5.2.1 Kasus 1 (L_0 sebagai konstanta dan T^L sebagai variabel)

Pada Kasus 1 model yang digunakan merupakan model pada Persamaan (5.1). Penentuan *bandwidth* dalam kasus ini mengikuti ketentuan dari ISP yakni mengkombinasikan persamaan fungsi utilitas *modified cobb-douglas* dengan model untuk konsumen. Tingkat pemakaian konsumen pada kasus ini dianggap memiliki tingkat kepuasan dan tingkat maksimum penggunaan yang sama. Model tersebut dibuat berdasarkan fungsi objektif ada

Persamaan (5.1) dengan Kendala (5.1a) hingga Kendala (5.1k) serta Kendala(5.1l).

Fungsi Objektif :

Maks

$$\frac{\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m}) + \left(\sum_{n=1}^N Z_n \right)^2}{\varphi_{eff} \sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh} + I \sum_{n=1}^N Z_n^2} + a \log(X + 1) + b \log(Y + 1) - R_x X - R_y Y - RZ_i$$

$$= [(a_{11} 5000 \log_2(1 + \sigma_{11} t_{11}) + a_{12} 5000 \log_2(1 + \sigma_{12} t_{12}) + a_{21} 5000 \log_2(1 + \sigma_{21} t_{21}) + a_{22} 5000 \log_2(1 + \sigma_{22} t_{22}) + a_{31} 5000 \log_2(1 + \sigma_{31} t_{31}) + a_{32} 5000 \log_2(1 + \sigma_{32} t_{32}) + a_{41} 5000 \log_2(1 + \sigma_{41} t_{41}) + a_{42} 5000 \log_2(1 + \sigma_{42} t_{42}) + a_{51} 5000 \log_2(1 + \sigma_{51} t_{51}) + a_{52} 5000 \log_2(1 + \sigma_{52} t_{52}) + a_{61} 5000 \log_2(1 + \sigma_{61} t_{61}) + a_{62} 5000 \log_2(1 + \sigma_{62} t_{62}) + (z_1 + z_2 + z_3)^2 / 500 ((a_{11} t_{11} + 4500 + 4000) + (a_{12} t_{12} + 4500 + 4000) + (a_{21} t_{21} + 4500 + 4000) + (a_{22} t_{22} + 4500 + 4000) + (a_{31} t_{31} + 4500 + 4000) + (a_{32} t_{32} + 4500 + 4000) + (a_{41} t_{41} + 4500 + 4000) + (a_{42} t_{42} + 4500 + 4000) + (a_{51} t_{51} + 4500 + 4000) + (a_{52} t_{52} + 4500 + 4000) + (a_{61} t_{61} + 4500 + 4000) + (a_{62} t_{62} + 4500 + 4000)) + 3(z_1^2 + z_2^2 + z_3^2)] + 4 \log(X + 1) + 3 \log(Y + 1) - R_x X - R_y Y - RZ_i \quad (5.2)$$

berdasarkan Kendala (5.1a) diperoleh :

$$a_{11} + a_{12} + a_{21} + a_{22} + a_{31} + a_{32} + a_{41} + a_{42} + a_{51} + a_{52} + a_{61} + a_{62} = 1 \quad (5.2a)$$

berdasarkan Kendala (5.1b) diperoleh :

$$\begin{aligned} C_{11} + c_{12} + C_{13} &\geq 128 \\ C_{21} + C_{22} + C_{23} &\geq 128 \\ C_{31} + C_{32} + C_{33} &\geq 128 \end{aligned} \quad (5.2b)$$

berdasarkan Kendala (5.1b), Kendala (5.1j) dan Kendala (5.1k) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 & a_{11}5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.385,9)(17.597,87)}{5000R_0} t_{11} \right) + \\
 & a_{12}5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.385,9)(12.455,13)}{5000R_0} t_{12} \right) + \\
 & a_{13}5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.385,9)(29.145,25)}{5000R_0} t_{13} \right) \geq 128 \\
 & a_{21}5000 \log_2 \left(1 + \frac{(19.363,5)(11.041,31)}{5000R_0} t_{21} \right) + \\
 & a_{22}5000 \log_2 \left(1 + \frac{(19.363,5)(21.689,19)}{5000R_0} t_{22} \right) + \\
 & a_{23}5000 \log_2 \left(1 + \frac{(19.363,5)(14.971,25)}{5000R_0} t_{23} \right) \geq 128 \\
 & a_{31}5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2,912,5)(28.307,54)}{5000R_0} t_{31} \right) + \\
 & a_{32}5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2,912,5)(17.178,63)}{5000R_0} t_{32} \right) + \\
 & a_{33}5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2,912,5)(12.931,33)}{5000R_0} t_{33} \right) \geq 128
 \end{aligned} \tag{5.2c}$$

berdasarkan Kendala (5.1c) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 & C_{44} + c_{45} + c_{46} \geq 64 \\
 & C_{54} + C_{55} + C_{56} \geq 64 \\
 & C_{64} + C_{65} + C_{66} \geq 64
 \end{aligned} \tag{5.2d}$$

berdasarkan Kendala (5.1c), Kendala (5.1j) dan Kendala (5.1k) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 & a_{44} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(17.072)(18.060,24)}{(T^L d_4^L h_{44}^L + 5000R_0)} t_{44} \right) + \\
 & a_{45} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(17.072)(14.619,94)}{(T^L d_4^L h_{44}^L + 5000R_0)} t_{45} \right) + \\
 & a_{46} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(17.072)(1.853,07)}{(T^L d_4^L h_{44}^L + 5000R_0)} t_{46} \right) \geq 64 \\
 & a_{54} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(16.889,5)(17.024,73)}{(T^L d_4^L h_{44}^L + 5000R_0)} t_{54} \right) +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& a_{55} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(16.889,5)(25.563,17)}{(T^L d_4^L h_{44}^L + 5000R_0)} t_{55} \right) + \\
& a_{56} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(16.889,5)(24.683,44)}{(T^L d_4^L h_{44}^L + 5000R_0)} t_{56} \right) \geq 64 \\
& a_{64} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.172,814)(20.252,07)}{(T^L d_4^L h_{44}^L + 5000R_0)} t_{64} \right) + \\
& a_{65} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.172,814)(20.452,66)}{(T^L d_4^L h_{44}^L + 5000R_0)} t_{65} \right) + \\
& a_{66} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.172,814)(28.309,62)}{(T^L d_6^L h_{66}^L + 5000R_0)} t_{66} \right) \geq 64
\end{aligned} \tag{5.2e}$$

berdasarkan kendala (5.1d) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{31} t_{31} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{41} t_{41} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{51} t_{51} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& \quad + a_{61} t_{61} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
& a_{32} t_{32} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{42} t_{42} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{52} t_{52} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& \quad + a_{62} t_{62} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
& a_{33} t_{33} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{43} t_{43} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{53} t_{53} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& \quad + a_{63} t_{63} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
& a_{34} t_{34} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{44} t_{44} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{54} t_{54} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& \quad + a_{64} t_{64} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
& a_{35} t_{35} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{45} t_{45} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{55} t_{55} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& \quad + a_{65} t_{65} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
& a_{36} t_{36} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{46} t_{46} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{56} t_{56} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& \quad + a_{66} t_{66} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500
\end{aligned} \tag{5.2f}$$

berdasarkan Kendala (5.1e) diperoleh :

$$w_{11} v_{11} + w_{12} v_{12} + w_{21} v_{21} + w_{22} v_{22} + w_{31} v_{31} + w_{32} v_{32} + \\
w_{41} v_{41} + w_{42} v_{42} + w_{51} v_{51} + w_{52} v_{52} + w_{61} v_{61} + w_{62} v_{62} \leq 500 \tag{5.2g}$$

berdasarkan Kendala (5.1f) diperoleh :

$$\begin{aligned}
z_1 & \geq 11.041,31 \\
z_2 & \geq 11.041,31 \\
z_3 & \geq 11.041,31
\end{aligned} \tag{5.2h}$$

berdasarkan Kendala (5.1g) diperoleh :

$$X \leq 25.385,9 Z \tag{5.2i}$$

berdasarkan Kendala (5.1h) diperoleh :

$$Y \leq 17.072 Z \tag{5.2j}$$

berdasarkan Kendala (5.1i) dan Kendala (5.1l) diperoleh :

$$a \log(X + 1) + b \log(Y + 1) - R_X X_i - R_Y Y_i - R Z_i \geq 0 \quad (5.2k)$$

berdasarkan Kendala (5.1i) dipilih nilai $Z = 1$ yang artinya konsumen memilih untuk bergabung dengan program yang ditawarkan, dengan skema pembiayaan sebagai berikut :

Untuk skema pembiayaan *flat fee* :

$$R_X = 0, R_Y = 0, R > 0$$

Untuk Skema pembiayaan *usage-based* :

$$R_X > 0, R_Y > 0, R = 0$$

Untuk skema pembiayaan *two-part tariff* :

$$R_X > 0, R_Y > 0, R > 0$$

5.2.2 Kasus 2 (L_0 dan T^L sebagai konstanta)

Pada Kasus 2 model yang digunakan merupakan model pada Persamaan (5.1). Penentuan *bandwidth* dalam kasus ini mengikuti ketentuan dari ISP dengan tingkat pemakaian konsumen dianggap memiliki tingkat kepuasan dan tingkat penggunaan maksimum yang sama. Model tersebut dibuat berdasarkan fungsi objektif pada persamaan (5.1) dengan Kendala (5.1a) hingga Kendala(5.1k) serta Kendala (5.3l).

Fungsi Objektif :

Maks

$$\frac{\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m}) + \left(\sum_{n=1}^N Z_n \right)^2}{\varphi_{eff} \sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh} + I \sum_{n=1}^N Z_n^2} + a \log(X + 1) + b \log(Y + 1) - R_X X - R_Y Y - R Z_i$$

$$= [(a_{11} 5000 \log_2(1 + \sigma_{11} t_{11}) + a_{12} 5000 \log_2(1 + \sigma_{12} t_{12}) + a_{21} 5000 \log_2(1 + \sigma_{21} t_{21}) + a_{22} 5000 \log_2(1 + \sigma_{22} t_{22}) + a_{31} 5000 \log_2(1 + \sigma_{31} t_{31}) + a_{32} 5000 \log_2(1 + \sigma_{32} t_{32}) + a_{41} 5000 \log_2(1 + \sigma_{41} t_{41}) + a_{42} 5000 \log_2(1 + \sigma_{42} t_{42}) + a_{51} 5000 \log_2(1 + \sigma_{51} t_{51}) + a_{52} 5000 \log_2(1 + \sigma_{52} t_{52}) + a_{61} 5000 \log_2(1 + \sigma_{61} t_{61}) + a_{62} 5000 \log_2(1 + \sigma_{62} t_{62}) + (z_1 + z_2 + z_3)^2 / 500 ((a_{11} t_{11} + 4500 + 4000) + (a_{12} t_{12} + 4500 + 4000) + (a_{21} t_{21} + 4500 + 4000) + (a_{22} t_{22} + 4500 + 4000) + (a_{31} t_{31} + 4500 + 4000) +$$

$$\begin{aligned}
& (a_{32}t_{32} + 4500 + 4000) + (a_{41}t_{41} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{42}t_{42} + 4500 + 4000) + (a_{51}t_{51} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{52}t_{52} + 4500 + 4000) + (a_{61}t_{61} + 4500 + 4000) + \\
& (a_{62}t_{62} + 4500 + 4000) + 3(z_1^2 + z_2^2 + z_3^2) \Big] + \\
& 4 \log(X + 1) + 3 \log(Y + 1) - R_X X - R_Y Y - R Z_i
\end{aligned} \tag{5.3}$$

berdasarkan Kendala (5.1a) diperoleh :

$$a_{11} + a_{12} + a_{21} + a_{22} + a_{31} + a_{32} + a_{41} + a_{42} + a_{51} + a_{52} + a_{61} + a_{62} = 1 \tag{5.2a}$$

berdasarkan Kendala (5.1b) diperoleh :

$$\begin{aligned}
C_{11} + C_{12} + C_{13} &\geq 128 \\
C_{21} + C_{22} + C_{23} &\geq 128 \\
C_{31} + C_{32} + C_{33} &\geq 128
\end{aligned} \tag{5.2b}$$

berdasarkan kendala (5.1b), Kendala (5.1j) dan Kendala (5.1k) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{11} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.385,9)(17.597,87)}{5000R_0} t_{11} \right) + \\
& a_{12} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.385,9)(12.455,13)}{5000R_0} t_{12} \right) + \\
& a_{13} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.385,9)(29.145,25)}{5000R_0} t_{13} \right) \geq 128 \\
& a_{21} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(19.363,5)(11.041,31)}{5000R_0} t_{21} \right) + \\
& a_{22} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(19.363,5)(21.689,19)}{5000R_0} t_{22} \right) + \\
& a_{23} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(19.363,5)(14.971,25)}{5000R_0} t_{23} \right) \geq 128 \\
& a_{31} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.912,5)(28.307,54)}{5000R_0} t_{31} \right) + \\
& a_{32} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.912,5)(17.178,63)}{5000R_0} t_{32} \right) + \\
& a_{33} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.912,5)(12.931,33)}{5000R_0} t_{33} \right) \geq 128
\end{aligned} \tag{5.2c}$$

berdasarkan Kendala (5.1c) diperoleh:

$$\begin{aligned}
 C_{44} + C_{45} + C_{46} &\geq 64 \\
 C_{54} + C_{55} + C_{56} &\geq 64 \\
 C_{64} + C_{65} + C_{66} &\geq 64
 \end{aligned} \tag{5.2d}$$

berdasarkan Kendala (5.1c), Kendala(5.1j) dan Kendala (5.1k) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 &a_{44} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(17.072)(18.060,24)}{(150d_4^L h_{44}^L + 5000R_0)} t_{44} \right) + \\
 &a_{45} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(17.072)(14.619,94)}{(150d_4^L h_{45}^L + 5000R_0)} t_{45} \right) + \\
 &a_{46} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(17.072) (1.853,07)}{(150d_4^L h_{46}^L + 5000R_0)} t_{46} \right) \geq 64 \\
 &a_{54} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(16.889,5)(17.024,73)}{(150d_5^L h_{54}^L + 5000R_0)} t_{54} \right) + \\
 &a_{55} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(16.889,5)(25.563,17)}{(150d_5^L h_{55}^L + 5000R_0)} t_{55} \right) + \\
 &a_{56} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(16.889,5) (24.683,44)}{(150d_5^L h_{56}^L + 5000R_0)} t_{56} \right) \geq 64 \\
 &a_{64} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.172,814)(20.252,07)}{(150d_6^L h_{64}^L + 5000R_0)} v_{64} \right) + \\
 &a_{65} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.172,814)(20.451,66)}{(150d_6^L h_{65}^L + 5000R_0)} v_{65} \right) + \\
 &a_{66} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.172,814) (28.309,62)}{(150d_6^L h_{66}^L + 5000R_0)} v_{66} \right) \geq 64
 \end{aligned} \tag{5.2e}$$

berdasarkan Kendala (5.1d) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 &a_{31} t_{31} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{41} t_{41} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{51} t_{51} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 &\quad + a_{61} t_{61} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
 &a_{32} t_{32} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{42} t_{42} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{52} t_{52} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 &\quad + a_{62} t_{62} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
 &a_{33} t_{33} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{43} t_{43} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{53} t_{53} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 &\quad + a_{63} t_{63} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
 &a_{34} t_{34} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{44} t_{44} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{54} t_{54} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 &\quad + a_{64} t_{64} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
 &a_{35} t_{35} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{45} t_{45} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{55} t_{55} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 &\quad + a_{65} t_{65} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500
 \end{aligned}$$

$$a_{36}t_{36} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{46}t_{46} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{56} t_{56} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{66}t_{66} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \quad (5.2f)$$

berdasarkan Kendala (5.1e) diperoleh :

$$w_{11}v_{11} + w_{12}v_{12} + w_{21}v_{21} + w_{22}v_{22} + w_{31}v_{31} + w_{32}v_{32} + w_{41}v_{41} + w_{42}v_{42} + w_{51}v_{51} + w_{52}v_{52} + w_{61}v_{61} + w_{62}v_{62} \leq 500 \quad (5.2g)$$

berdasarkan Kendala (5.1f) diperoleh :

$$\begin{aligned} z_1 &\geq 11.041,31 \\ z_2 &\geq 11.041,31 \\ z_3 &\geq 11.041,31 \end{aligned} \quad (5.2h)$$

berdasarkan Kendala (5.1g) diperoleh :

$$X \leq 25.385,9 Z \quad (5.2i)$$

berdasarkan Kendala (5.1h) diperoleh :

$$Y \leq 17.072 Z \quad (5.2j)$$

berdasarkan Kendala (5.1i) dan Kendala (5.1l) diperoleh :

$$a \log(X + 1) + b \log(Y + 1) - R_X X_i - R_Y Y_i - R Z_i \geq 0 \quad (5.2k)$$

berdasarkan Kendala (5.1i) dipilih nilai $Z = 1$ yang artinya konsumen memutuskan untuk bergabung dengan program yang ditawarkan dengan skema pembiayaan sebagai berikut :

Untuk skema pembiayaan *flat-fee* :

$$R_X = 0, R_Y = 0, R > 0$$

Untuk skema pembiayaan *usage-based* :

$$R_X > 0, R_Y > 0, R = 0$$

Untuk skema pembiayaan *two-part tariff* :

$$R_X > 0, R_Y > 0, R > 0$$

5.3 Solusi Model Skema Pembiayaan Internet

Solusi dan nilai variabel yang ditampilkan pada tabel dibawah ini merupakan solusi dari persamaan (5.2) dan Persamaan (5.3). Model diselesaikan menggunakan program LINGO 13.0 sehingga diperoleh solusi optimal dari masing-masing kasus.

Tabel 5.1 Solusi Optimal Model C-RAN, Fair Network dan Fungsi Utilitas Modified Cobb-Douglas

Solver Status	Jenis Pembiayaan					
	Flat-Fee		Usage-Based		Two-Part Tariff	
	Kasus 1	Kasus 2	Kasus 1	Kasus 2	Kasus 1	Kasus 2
Model Class	NLP	NLP	NLP	NLP	NLP	NLP

<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>Objective</i>	1	1	1	1	1	1
<i>Infeasibility</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Iterations</i>	16	16	19	19	19	19
<i>Extended Solver Status</i>						
<i>Best Objective</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Steps</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Update Interval</i>	2	2	2	2	2	2
<i>GMU (K)</i>	71	71	72	72	72	72
<i>ER (Sec)</i>	0	0	0	0	0	0

Tabel 5.1 menunjukkan solusi optimal dari skema pembiayaan internet berdasarkan model C-RAN, *fair network*, dan fungsi utilitas *modified cobb-douglas*.

Pada Kasus 1 dan Kasus 2 untuk skema pembiayaan *flat-fee* didapatkan hasil solusi optimal yaitu sebesar Rp.1/kbps dengan jumlah iterasi sebanyak 16 iterasi dan nilai *infeasibility* bernilai 0. GMU sebesar 71K dan waktu yang digunakan untuk menyelesaikan model dinyatakan dalam ER yaitu selama 0 detik.

Pada Kasus1 dan Kasus 2 untuk skema pembiayaan internet *usage-based* didapatkan solusi optimal sebesar Rp.1/kbps dengan jumlah iterasi sebanyak 19 iterasi dan nilai *infeasibility* bernilai 0. GMU sebesar 72K dan waktu yang digunakan untuk menyelesaikan model dinyatakan dalam ER yaitu selama 0 detik.

Pada Kasus 1 dan Kasus 2 untuk skema pembiayaan *two-part tariff* didapatkan solusi optimal sebesar Rp.1/kbps dengan jumlah iterasi sebanyak 19 iterasi dan nilai *infeasibility* bernilai 0. GMU sebesar 72K dan waktu yang digunakan untuk menyelesaikan model dinyatakan dalam ER yaitu 0 detik.

5.4 Kesimpulan

Model *improved* C-RAN menggunakan skema pembiayaan *flat-fee* memperoleh solusi optimal dengan nilai objektif Rp.1/kbps dan 16 iterasi.

BAB

VI

FUNGSI UTILITAS ISOELASTIC

Pada bab ini dibahas terkait *improved* model C-RAN, *fair network* dan dikombinasikan dengan menambahkan fungsi utilitas *isoelastic* pada skema pembiayaan jaringan internet.

6.1. Penyusunan Model *Improved* C-RAN

Fungsi Objektif Maks

$$\frac{\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m}) + \left(\sum_{n=1}^N Z_n \right)^2}{\varphi_{eff} \sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh} + I \sum_{n=1}^N Z_n^2} + \frac{X^{1-a}}{1-a} + \frac{Y^{1-b}}{1-b} - R_X X - R_Y Y - R Z_i \quad (6.1)$$

dengan Kendala :

$$\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} = 1 ; a_{k,m} \in \{0,1\} \quad (6.1a)$$

$$\sum_{k=1}^K C_{k,m} \geq \tau_R ; n \in \Omega_1 \quad (6.1b)$$

$$\sum_{k=K+1}^{K+L} C_{k,m} \geq \tau_{ER} ; n \in \Omega_2 \quad (6.1c)$$

$$\sum_{k=K}^{K+L} a_{k,m} t_{k,m} d_m^{R2L} h_m^{R2L} \leq \delta_0 ; m \in \Omega_{II} \quad (6.1d)$$

$$\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} \leq T_{max}^R ; t_{k,m} \geq 0 \quad (6.1e)$$

$$Z_n \geq H_n^{min} \quad (6.1f)$$

$$X_i \leq \bar{X}_i Z_i \quad (6.1g)$$

$$Y_i \leq \bar{Y}_i Z_i \quad (6.1h)$$

$$U_i(X_i, Y_i) - R_X X_i - R_Y Y_i - R Z_i \geq 0 \quad (6.1i)$$

dimana :

$$C_{k,m} = a_{k,m} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m}) \quad (6.1j)$$

$$\sigma_{k,m} = \begin{cases} \frac{d_k^R h_{k,m}^R}{L_0 R_0} & ; n \in \Omega_1 \\ \frac{d_k^R h_{k,m}^R}{T^B d_k^B h_{k,m}^B + L_0 R_0} & ; n \in \Omega_2 \end{cases} \quad (6.1k)$$

$$U(X, Y) = a \log(X + 1) + b \log(Y + 1) \quad (6.1l)$$

$$U(X, Y) = \frac{X^{1-a} - 1}{1-a} + \frac{Y^{1-b} - 1}{1-b} \quad (6.1m)$$

$$U(X, Y) = aX + f(Y) \text{ dimana } f(Y) = Y^b \quad (6.1n)$$

6.2. Model Skema Pembiayaan Internet Berdasarkan Fungsi Utilitas *Isoelastic* pada Jaringan *Fair DSL-LTE Multiple QoS*

Berdasarkan data *traffic* yang telah ditunjukkan pada Tabel 2.13, Tabel 2.14 dan Tabel 2.15 dibentuk model skema pembiayaan internet dengan pemakaian awal dan jumlah pemakaian *bandwidth* yang telah ditentukan, model ini dimodifikasi menjadi 2 kasus.

6.2.1 Kasus 1 (L_0 sebagai Konstanta dan T^L sebagai variabel)

Pada Kasus 1 model yang digunakan menggunakan model pada persamaan (6.1). Dalam kasus ini penentuan *bandwidth* mengikuti ketentuan ISP yaitu mengkombinasikan persamaan fungsi utilitas *isoelastic* dengan model untuk konsumen. Model tersebut dibentuk berdasarkan fungsi objektif pada persamaan (6.1) dengan Kendala (6.1a) hingga Kendala (6.1k) serta Kendala (6.1m). Pada kasus ini tingkat pemakaian konsumen dianggap memiliki tingkat kepuasan dan tingkat maksimum penggunaan yang sama.

Fungsi Objektif :

Maks

$$\frac{\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m}) + \left(\sum_{n=1}^N Z_n \right)^2}{\varphi_{eff} \sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh} + I \sum_{n=1}^N Z_n^2} + \frac{X^{1-a}}{1-a} + \frac{Y^{1-b}}{1-b} - R_X X - R_Y Y - R Z_i$$

$$= [(a_{11} 5000 \log_2(1 + \sigma_{11} t_{11}) + a_{12} 5000 \log_2(1 + \sigma_{12} t_{12}) + a_{21} 5000 \log_2(1 + \sigma_{21} t_{21}) + a_{22} 5000 \log_2(1 + \sigma_{22} t_{22}) + a_{31} 5000 \log_2(1 + \sigma_{31} t_{31}) + a_{32} 5000 \log_2(1 + \sigma_{32} t_{32}) + a_{41} 5000 \log_2(1 + \sigma_{41} t_{41}) + a_{42} 5000 \log_2(1 + \sigma_{42} t_{42}) + a_{51} 5000 \log_2(1 + \sigma_{51} t_{51}) + a_{52} 5000 \log_2(1 + \sigma_{52} t_{52}) + a_{61} 5000 \log_2(1 + \sigma_{61} t_{61}) + a_{62} 5000 \log_2(1 + \sigma_{62} t_{62}) + (z_1 + z_2 + z_3)^2 / 500 ((a_{11} t_{11} + 4500 + 4000) + (a_{12} t_{12} + 4500 + 4000) + (a_{21} t_{21} + 4500 + 4000) + (a_{22} t_{22} + 4500 + 4000) + (a_{31} t_{31} + 4500 + 4000) + (a_{32} t_{32} + 4500 + 4000) + (a_{41} t_{41} + 4500 + 4000) + (a_{42} t_{42} + 4500 + 4000) + (a_{51} t_{51} + 4500 + 4000) + (a_{52} t_{52} + 4500 + 4000) + (a_{61} t_{61} + 4500 + 4000) + (a_{62} t_{62} + 4500 + 4000)) + 3(z_1^2 + z_2^2 + z_3^2)] + \frac{X^{1-4} - 1}{1-4} + \frac{Y^{1-3} - 1}{1-3} - R_X X - R_Y Y - R Z_i \quad (6.2)$$

berdasarkan Kendala (6.1i) dan Kendala (6.1m) diperoleh :

$$\frac{X^{1-a} - 1}{1-a} + \frac{Y^{1-b} - 1}{1-b} - R_X X_i - R_Y Y_i - R Z_i \geq 0 \quad (6.2k)$$

berdasarkan Kendala (6.1i) dipilih nilai $Z = 1$ hal ini berarti konsumen memutuskan untuk bergabung dengan program yang ditawarkan dengan skema pembiayaannya sebagai berikut :

untuk skema pembiayaan *flat-fee* :

$$R_X = 0, R_Y = 0, R > 0$$

untuk skema pembiayaan *usage-based* :

$$R_X > 0, R_Y > 0, R = 0$$

untuk skema pembiayaan *two-part tariff*:

$$R_x > 0, R_y > 0, R > 0$$

6.2.2 Kasus 2 (L_0 dan T^L sebagai Konstanta)

Pada Kasus 1 model yang digunakan menggunakan model pada persamaan (6.1). Dalam kasus ini penentuan *bandwidth* mengikuti ketentuan ISP yaitu mengkombinasikan persamaan fungsi utilitas *isoelastic* dengan model untuk konsumen. Model tersebut dibentuk berdasarkan fungsi objektif pada persamaan (6.1) dengan Kendala (6.1a) hingga Kendala (6.1k) serta Kendala (6.1m). Pada kasus ini tingkat pemakaian konsumen dianggap memiliki tingkat kepuasan dan tingkat maksimum penggunaan yang sama.

Fungsi Objektif :

Maks

$$\frac{\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m}) + \left(\sum_{n=1}^N Z_n \right)^2}{\varphi_{eff} \sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh} + I \sum_{n=1}^N Z_n^2} + \frac{X^{1-a}}{1-a} + \frac{Y^{1-b}}{1-b} - R_x X - R_y Y - R Z_i$$

$$\begin{aligned}
 = & [(a_{11} 5000 \log_2(1 + \sigma_{11} t_{11}) + a_{12} 5000 \log_2(1 + \sigma_{12} t_{12}) + \\
 & a_{21} 5000 \log_2(1 + \sigma_{21} t_{21}) + a_{22} 5000 \log_2(1 + \sigma_{22} t_{22}) + \\
 & a_{31} 5000 \log_2(1 + \sigma_{31} t_{31}) + a_{32} 5000 \log_2(1 + \sigma_{32} t_{32}) + \\
 & a_{41} 5000 \log_2(1 + \sigma_{41} t_{41}) + a_{42} 5000 \log_2(1 + \sigma_{42} t_{42}) + \\
 & a_{51} 5000 \log_2(1 + \sigma_{51} t_{51}) + a_{52} 5000 \log_2(1 + \sigma_{52} t_{52}) + \\
 & a_{61} 5000 \log_2(1 + \sigma_{61} t_{61}) + a_{62} 5000 \log_2(1 + \sigma_{62} t_{62}) + (z_1 + z_2 + z_3)^2 / 500 ((a_{11} t_{11} + 4500 + \\
 & 4000) + (a_{12} t_{12} + 4500 + 4000) + (a_{21} t_{21} + 4500 + 4000) + (a_{22} t_{22} + 4500 + 4000) + (a_{31} t_{31} + 4500 + \\
 & 4000) + (a_{32} t_{32} + 4500 + 4000) + (a_{41} t_{41} + 4500 + 4000) + (a_{42} t_{42} + 4500 + 4000) + (a_{51} t_{51} + 4500 + \\
 & 4000) + (a_{52} t_{52} + 4500 + 4000) + (a_{61} t_{61} + 4500 + 4000) + (a_{62} t_{62} + 4500 + 4000))
 \end{aligned} \tag{6.3}$$

$$4000) + (a_{62}t_{62} + 4500 + 4000)) + 3(z_1^2 + z_2^2 + z_3^2)] + \frac{X^{1-4}-1}{1-4} + \frac{Y^{1-3}-1}{1-3} - R_X X - R_Y Y - R Z_i$$

berdasarkan Kendala (6.1a) diperoleh :

$$a_{11} + a_{12} + a_{21} + a_{22} + a_{31} + a_{32} + a_{41} + a_{42} + a_{51} + a_{52} + a_{61} + a_{62} = 1 \quad (6.2a)$$

berdasarkan Kendala (6.1b) diperoleh :

$$\begin{aligned} C_{11} + C_{12} + C_{13} &\geq 128 \\ C_{21} + C_{22} + C_{23} &\geq 128 \\ C_{31} + C_{32} + C_{33} &\geq 128 \end{aligned} \quad (6.2b)$$

berdasarkan Kendala (6.1b), Kendala (6.1j) dan Kendala (6.1k) diperoleh :

$$\begin{aligned} &a_{11} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.385,9)(17.597,87)}{5000R_0} t_{11} \right) + \\ &a_{12} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.385,9)(12.455,13)}{5000R_0} t_{12} \right) + \\ &a_{13} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.385,9) (29.145,25)}{5000R_0} t_{13} \right) \geq 128 \\ &a_{21} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(19.363,5)(11.041,31)}{5000R_0} t_{21} \right) + \\ &a_{22} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(19.363,5)(21.689,19)}{5000R_0} t_{22} \right) + \\ &a_{23} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(19.363,5) (14.971,25)}{5000R_0} t_{23} \right) \geq 128 \\ &a_{31} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.912,5)(28.307,54)}{5000R_0} t_{31} \right) + \\ &a_{32} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.912,5)(17.178,63)}{5000R_0} t_{32} \right) + \\ &a_{33} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.912,5) (12.931,33)}{5000R_0} t_{33} \right) \geq 128 \end{aligned} \quad (6.2c)$$

berdasarkan Kendala (6.1c) diperoleh :

$$\begin{aligned} C_{44} + C_{45} + C_{46} &\geq 64 \\ C_{54} + C_{55} + C_{56} &\geq 64 \\ C_{64} + C_{65} + C_{66} &\geq 64 \end{aligned} \quad (6.2d)$$

berdasarkan Kendala (6.1c), Kendala (6.1j) dan Kendala (6.1k) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 & a_{44} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(17.072)(18.060,24)}{(150d_4^L h_{44}^L + 5000R_0)} t_{44} \right) + \\
 & a_{45} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(17.072)(14.619,94)}{(150d_4^L h_{45}^L + 5000R_0)} t_{45} \right) + \\
 & a_{46} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(17.072) (1.853,07)}{(150d_4^L h_{46}^L + 5000R_0)} t_{46} \right) \geq 64 \\
 & a_{54} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(16.889,5)(17.024,73)}{(150d_5^L h_{54}^L + 5000R_0)} t_{54} \right) + \\
 & a_{55} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(16.889,5)(25.563,17)}{(150d_5^L h_{55}^L + 5000R_0)} t_{55} \right) + \\
 & a_{56} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(16.889,5) (24.683,44)}{(150d_5^L h_{56}^L + 5000R_0)} t_{56} \right) \geq 64 \\
 & a_{64} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.172,814)(20.252,07)}{(150d_6^L h_{64}^L + 5000R_0)} v_{64} \right) + \\
 & a_{65} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.172,814)(20.451,66)}{(150d_6^L h_{65}^L + 5000R_0)} v_{65} \right) + \\
 & a_{66} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.172,814) (28.309,62)}{(150d_6^L h_{66}^L + 5000R_0)} v_{66} \right) \geq 64
 \end{aligned} \tag{6.2e}$$

berdasarkan kendala (6.1d) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 & a_{31} t_{31} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{41} t_{41} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{51} t_{51} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 & \quad + a_{61} t_{61} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
 & a_{32} t_{32} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{42} t_{42} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{52} t_{52} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 & \quad + a_{62} t_{62} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
 & a_{33} t_{33} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{43} t_{43} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{53} t_{53} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 & \quad + a_{63} t_{63} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
 & a_{34} t_{34} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{44} t_{44} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{54} t_{54} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 & \quad + a_{64} t_{64} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
 & a_{35} t_{35} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{45} t_{45} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{55} t_{55} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 & \quad + a_{65} t_{65} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
 & a_{36} t_{36} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{46} t_{46} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{56} t_{56} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
 & \quad + a_{66} t_{66} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500
 \end{aligned} \tag{6.2f}$$

berdasarkan Kendala (6.1e) diperoleh :

$$w_{11}v_{11} + w_{12}v_{12} + w_{21}v_{21} + w_{22}v_{22} + w_{31}v_{31} + w_{32}v_{32} + w_{41}v_{41} + w_{42}v_{42} + w_{51}v_{51} + w_{52}v_{52} + w_{61}v_{61} + w_{62}v_{62} \leq 500 \quad (6.2g)$$

berdasarkan Kendala (6.1f) diperoleh :

$$\begin{aligned} z_1 &\geq 11.041,31 \\ z_2 &\geq 11.041,31 \\ z_3 &\geq 11.041,31 \end{aligned} \quad (6.2h)$$

berdasarkan Kendala (6.1g) diperoleh:

$$X \leq 25.385,9 Z \quad (6.2i)$$

berdasarkan Kendala (6.1h) diperoleh:

$$Y \leq 17.072 Z \quad (6.2j)$$

berdasarkan Kendala (6.1i) dan Kendala (6.1m) diperoleh :

$$\frac{X^{1-a} - 1}{1-a} + \frac{Y^{1-b} - 1}{1-b} - R_X X_i - R_Y Y_i - R Z_i \geq 0 \quad (6.2k)$$

berdasarkan Kendala (6.1i) dipilih nilai $Z = 1$ hal ini berarti konsumen memutuskan untuk bergabung dengan program yang ditawarkan, dengan skema pembiayaan sebagai berikut :

Untuk skema pembiayaan *flat-fee* :

$$R_X = 0, R_Y = 0, R > 0$$

Untuk skema pembiayaan *usage-based* :

$$R_X > 0, R_Y > 0, R = 0$$

Untuk skema pembiayaan *two-part tarif* :

$$R_X > 0, R_Y > 0, R > 0$$

6.3 Solusi Model Skema Pembiayaan Internet

Solusi dan nilai variabel yang ditampilkan pada tabel dibawah ini merupakan solusi dari persamaan (6.2) dan Persamaan (6.3). Model diselesaikan menggunakan program LINGO 13.0 Sehingga diperoleh solusi optimal dari masing-masing kasus.

Tabel 6.1 Solusi Optimal Model C-RAN, *Fair Network* dan Fungsi Utilitas *Isoelastic*

Solver Status	Jenis Pembiayaan					
	Flat-Fee		Usage-Based		Two-Part Tariff	
	Kasus 1	Kasus 2	Kasus 1	Kasus 2	Kasus 1	Kasus 2
<i>Model Class</i>	NLP	NLP	NLP	NLP	NLP	NLP
<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>Objective</i>	1,83333	1,83333	1,83333	1,83333	1,83333	1,83333
<i>Infeasibility</i>	0	0	0	0	0	0
<i>Iterations</i>	17	17	35	35	41	41
Extended Solver Status						
<i>Best Objective</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Steps</i>	-	-	-	-	-	-
<i>Update Interval</i>	2	2	2	2	2	2
<i>GMU (K)</i>	71	71	71	72	72	72
<i>ER (Sec)</i>	0	0	0	0	0	0

Tabel 6.1 menunjukkan solusi optimal dari skema pembiayaan internet berdasarkan model C-RAN, *fair network* dan fungsi utilitas *isoelastic*.

Pada Kasus 1 dan Kasus 2 untuk skema pembiayaan *flat-fee* diperoleh solusi optimal sebesar Rp.1,8333/kbps dengan jumlah iterasi sebanyak 17 iterasi dan nilai *infeasibility* bernilai 0. GMU sebesar 71K dan waktu yang digunakan untuk menyelesaikan model selama 0 detik.

Pada Kasus 1 dan Kasus 2 untuk skema pembiayaan *usage-based* diperoleh solusi optimal sebesar Rp.1,8333/kbps dengan jumlah iterasi sebesar 35 iterasi dan nilai *infeasibility* bernilai 0. GMU sebesar 71K untuk kasus 1 dan 72K untuk kasus 2, waktu yang digunakan untuk menyelesaikan model yaitu selama 0 detik untuk masing-masing kasus.

Pada Kasus 1 dan Kasus 2 untuk skema pembiayaan *two-part tariff* diperoleh solusi optimal sebesar Rp.1,8333/*kbps* dengan jumlah iterasi sebanyak 41 iterasi dan nilai *infeasibility* bernilai 0. GMU sebesar 72K dan waktu yang digunakan untuk menyelesaikan model yaitu selam 0 detik.

6.4 Kesimpulan

Model *improved* C-RAN menggunakan skema pembiayaan *flat fee* memperoleh solusi optimal sebesar Rp.1,8333/*kbps* dan jumlah iterasi sebanyak 17 iterasi.

Pada bab ini dibahas terkait *improved* model C-RAN, *fair network* dan dikombinasikan dengan menambahkan fungsi utilitas *quasi linear* pada skema pembiayaan jaringan internet.

7.1. Penyusunan Model *Improved* C-RAN

Model diperoleh dengan mengkombinasikan model original C-RAN dengan model *fair network* kemudian ditambahkan dengan fungsi utilitas *quasi linear* dan optimasi masalah pengguna.

Fungsi Objektif :

$$\text{Maks } \frac{\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m}) + \left(\sum_{n=1}^N Z_n \right)^2}{\varphi_{\text{eff}} \sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh} + I \sum_{n=1}^N Z_n^2} + aX + f(Y) - R_X X - R_Y Y - RZ_i \quad (7.1)$$

dengan kendala :

$$\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} = 1 ; a_{k,m} \in \{0,1\} \quad (7.1a)$$

$$\sum_{k=1}^K C_{k,m} \geq \tau_R ; n \in \Omega_1 \quad (7.1b)$$

$$\sum_{k=K+1}^{K+L} C_{k,m} \geq \tau_{ER} ; n \in \Omega_2 \quad (7.1c)$$

$$\sum_{k=K}^{K+L} a_{k,m} t_{k,m} d_m^{R2L} h_m^{R2L} \leq \delta_0 ; m \in \Omega_{II} \quad (7.1d)$$

$$\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} \leq T_{max}^R ; t_{k,m} \geq 0 \quad (7.1e)$$

$$z_n \geq H_n^{\text{min}} \quad (7.1f)$$

$$X_i \leq \bar{X}_i Z_i \quad (7.1g)$$

$$Y_i \leq \bar{Y}_i Z_i \quad (7.1h)$$

$$U_i(X_i, Y_i) - R_X X_i - R_Y Y_i - R Z_i \geq 0 \quad (7.1i)$$

dimana :

$$C_{k,m} = a_{k,m} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m}) \quad (7.1j)$$

$$\sigma_{k,m} = \begin{cases} \frac{d_k^R h_{k,m}^R}{L_0 R_0} & ; n \in \Omega_1 \\ \frac{d_k^R h_{k,m}^R}{T^B d_k^B h_{k,m}^B + L_0 R_0} & ; n \in \Omega_2 \end{cases} \quad (7.1k)$$

$$U(X, Y) = a \log(X + 1) + b \log(Y + 1) \quad (7.1l)$$

$$U(X, Y) = \frac{X^{1-a} - 1}{1-a} + \frac{Y^{1-b} - 1}{1-b} \quad (7.1m)$$

$$U(X, Y) = aX + f(Y) \text{ dimana } f(Y) = Y^b \quad (7.1n)$$

7.2. Model Skema Pembiayaan Internet Berdasarkan Fungsi Utilitas *Quasi Linear* pada Jaringan *Fair DSL-LTE Multiple QoS*

Berdasarkan data *traffic* yang telah diperoleh pada Tabel 2.13, Tabel 2.14 dan Tabel 2.15 dibentuk model skema pembiayaan internet yang dimodifikasi menjadi 2 kasus dengan pemakaian awal dan jumlah pemakaian *bandwidth* yang telah ditentukan.

7.2.1 Kasus 1 (L_0 sebagai Konstanta dan T^L sebagai Variabel)

Model yang digunakan untuk Kasus 1 menggunakan model pada Persamaan (7.1). Dalam kasus ini penentuan *bandwidth* mengikuti ketentuan dari ISP yaitu dengan mengkombinasikan persamaan fungsi utilitas *quasi linear* dengan model untuk konsumen. Pada kasus ini, tingkat pemakaian konsumen dianggap memiliki tingkat kepuasan dan tingkat maksimum penggunaan yang sama. Model tersebut dibuat berdasarkan fungsi objektif pada Persamaan (7.1) dengan Kendala (7.1a) sampai Kendala (7.1k) serta Kendala (7.1n).

Fungsi Objektif :

Maks

$$\frac{\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m}) + \left(\sum_{n=1}^N Z_n \right)^2}{\varphi_{eff} \sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh} + I \sum_{n=1}^N Z_n^2} + aX + f(Y) - R_X X - R_Y Y - RZ_i$$

$$\begin{aligned}
 = & [(a_{11} 5000 \log_2(1 + \sigma_{11} t_{11}) + a_{12} 5000 \log_2(1 + \sigma_{12} t_{12}) + \\
 & a_{21} 5000 \log_2(1 + \sigma_{21} t_{21}) + a_{22} 5000 \log_2(1 + \sigma_{22} t_{22}) + \\
 & a_{31} 5000 \log_2(1 + \sigma_{31} t_{31}) + a_{32} 5000 \log_2(1 + \sigma_{32} t_{32}) + \\
 & a_{41} 5000 \log_2(1 + \sigma_{41} t_{41}) + a_{42} 5000 \log_2(1 + \sigma_{42} t_{42}) + \\
 & a_{51} 5000 \log_2(1 + \sigma_{51} t_{51}) + a_{52} 5000 \log_2(1 + \sigma_{52} t_{52}) + \\
 & a_{61} 5000 \log_2(1 + \sigma_{61} t_{61}) + a_{62} 5000 \log_2(1 + \sigma_{62} t_{62}) + (z_1 + z_2 + z_3)^2 / 500 ((a_{11} t_{11} + 4500 + \\
 & 4000) + (a_{12} t_{12} + 4500 + 4000) + (a_{21} t_{21} + 4500 + 4000) + (a_{22} t_{22} + 4500 + 4000) + (a_{31} t_{31} + 4500 + \\
 & 4000) + (a_{32} t_{32} + 4500 + 4000) + (a_{41} t_{41} + 4500 + 4000) + (a_{42} t_{42} + 4500 + 4000) + (a_{51} t_{51} + 4500 + \\
 & 4000) + (a_{52} t_{52} + 4500 + 4000) + (a_{61} t_{61} + 4500 + 4000) + (a_{62} t_{62} + 4500 + 4000)) + 3(z_1^2 + z_2^2 + \\
 & z_3^2)] + 4X + Y^3 - R_X X - R_Y Y - RZ_i \tag{7.2}
 \end{aligned}$$

berdasarkan Kendala (7.1a) diperoleh :

$$a_{11} + a_{12} + a_{21} + a_{22} + a_{31} + a_{32} + a_{41} + a_{42} + a_{51} + a_{52} + a_{61} + a_{62} = 1 \tag{7.2a}$$

berdasarkan Kendala (7.1b) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 C_{11} + C_{12} + C_{13} &\geq 128 \\
 C_{21} + C_{22} + C_{23} &\geq 128 \\
 C_{31} + C_{32} + C_{33} &\geq 128 \tag{7.2b}
 \end{aligned}$$

berdasarkan Kendala (7.1b), Kendala (7.1j) dan Kendala (7.1k) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 & a_{11} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.385,9)(17.597,87)}{5000R_0} t_{11} \right) + \\
 & a_{12} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.385,9)(12.455,13)}{5000R_0} t_{12} \right) + \\
 & a_{13} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.385,9) (29.145,25)}{5000R_0} t_{13} \right) \geq 128 \\
 & a_{21} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(19.363,5)(11.041,31)}{5000R_0} t_{21} \right) + \\
 & a_{22} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(19.363,5)(21.689,19)}{5000R_0} t_{22} \right) + \\
 & a_{23} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(19.363,5) (14.971,25)}{5000R_0} t_{23} \right) \geq 128 \\
 & a_{31} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.912,5)(28.307,54)}{5000R_0} t_{31} \right) + \\
 & a_{32} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.912,5)(17.178,63)}{5000R_0} t_{32} \right) + \\
 & a_{33} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.912,5) (12.931,33)}{5000R_0} t_{33} \right) \geq 128
 \end{aligned} \tag{7.2c}$$

berdasarkan Kendala (7.1c) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 & C_{44} + C_{45} + C_{46} \geq 64 \\
 & C_{54} + C_{55} + C_{56} \geq 64 \\
 & C_{64} + C_{65} + C_{66} \geq 64
 \end{aligned} \tag{7.2d}$$

berdasarkan Kendala (7.1c), Kendala (7.1j) dan Kendala (7.1k) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 & a_{44} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(17.072)(18.060,24)}{(T^L d_4^L h_{44}^L + 5000R_0)} t_{44} \right) + \\
 & a_{45} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(17.072)(14.619,94)}{(T^L d_4^L h_{45}^L + 5000R_0)} t_{45} \right) + \\
 & a_{46} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(17.072) (1.853,07)}{(T^L d_4^L h_{46}^L + 5000R_0)} t_{46} \right) \geq 64 \\
 & a_{54} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(16.889,5)(17.024,73)}{(T^L d_5^L h_{54}^L + 5000R_0)} t_{54} \right) +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& a_{55} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(16.889,5)(25.563,17)}{(T^L d_5^L h_{55}^L + 5000R_0)} t_{55} \right) + \\
& a_{56} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(16.889,5) (24.683,44)}{(T^L d_5^L h_{56}^L + 5000R_0)} t_{56} \right) \geq 64 \\
& a_{64} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.172,814)(20.252,07)}{(T^L d_6^L h_{64}^L + 5000R_0)} v_{64} \right) + \\
& a_{65} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.172,814)(20.451,66)}{(T^L d_6^L h_{65}^L + 5000R_0)} v_{65} \right) + \\
& a_{66} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.172,814) (28.309,62)}{(T^L d_6^L h_{66}^L + 5000R_0)} v_{66} \right) \geq 64
\end{aligned} \tag{7.2e}$$

berdasarkan kendala (7.1d) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{31} t_{31} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{41} t_{41} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{51} t_{51} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& \quad + a_{61} t_{61} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
& a_{32} t_{32} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{42} t_{42} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{52} t_{52} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& \quad + a_{62} t_{62} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
& a_{33} t_{33} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{43} t_{43} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{53} t_{53} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& \quad + a_{63} t_{63} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
& a_{34} t_{34} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{44} t_{44} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{54} t_{54} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& \quad + a_{64} t_{64} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
& a_{35} t_{35} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{45} t_{45} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{55} t_{55} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& \quad + a_{65} t_{65} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
& a_{36} t_{36} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{46} t_{46} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{56} t_{56} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& \quad + a_{66} t_{66} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500
\end{aligned} \tag{7.2f}$$

berdasarkan Kendala (7.1e) diperoleh :

$$w_{11} v_{11} + w_{12} v_{12} + w_{21} v_{21} + w_{22} v_{22} + w_{31} v_{31} + w_{32} v_{32} + \\
w_{41} v_{41} + w_{42} v_{42} + w_{51} v_{51} + w_{52} v_{52} + w_{61} v_{61} + w_{62} v_{62} \leq 500 \tag{7.2g}$$

berdasarkan Kendala (7.1f) diperoleh :

$$\begin{aligned}
z_1 & \geq 11.041,31 \\
z_2 & \geq 11.041,31 \\
z_3 & \geq 11.041,31
\end{aligned} \tag{7.2h}$$

berdasarkan Kendala (7.1g) diperoleh:

$$X \leq 25.385,9 Z \tag{7.2i}$$

berdasarkan Kendala (7.1h) diperoleh:

$$Y \leq 17.072 Z \tag{7.2j}$$

berdasarkan Kendala (7.1i) dan Kendala (7.1n) diperoleh :

$$aX + f(Y) - R_X X_i - R_Y Y_i - RZ_i \geq 0 \quad (7.2k)$$

berdasarkan Kendala (7.1i) dipilih nilai $Z = 1$ yang berarti konsumen memilih bergabung dengan program yang ditawarkan, dengan skema pembiayaannya sebagai berikut :

Jika skema pembiayaan *flat-fee* ditambahkan Kendala :

$$R_X = 0, R_Y = 0, R > 0$$

Jika skema pembiayaan *usage-based* ditambahkan kendala :

$$R_X > 0, R_Y > 0, R = 0$$

Jika skema pembiayaan *two-part tariff* ditambahkan kendala :

$$R_X > 0, R_Y > 0, R > 0$$

7.2.2 Kasus 2 (L_0 dan T^L sebagai Konstanta)

Model yang digunakan untuk Kasus 1 menggunakan model pada Persamaan (7.1). Dalam kasus ini penentuan *bandwidth* mengikuti ketentuan dari ISP yaitu dengan mengkombinasikan persamaan fungsi utilitas *quasi linear* dengan model untuk konsumen. Pada kasus ini, tingkat pemakaian konsumen dianggap memiliki tingkat kepuasan dan tingkat maksimum penggunaan yang sama. Model tersebut dibuat berdasarkan fungsi objektif pada Persamaan (7.1) dengan Kendala (7.1a) sampai Kendala (7.1k) serta Kendala (7.1n).

Fungsi Objektif :

Maks

$$\frac{\sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} L_0 \log_2(1 + \sigma_{k,m} t_{k,m}) + \left(\sum_{n=1}^N Z_n \right)^2}{\varphi_{eff} \sum_{k=1}^{K+L} \sum_{m=1}^M a_{k,m} t_{k,m} + T_c^R T_{bh} + I \sum_{n=1}^N Z_n^2} + aX + f(Y) - R_X X - R_Y Y - RZ_i$$

$$= [(a_{11} 5000 \log_2(1 + \sigma_{11} t_{11}) + a_{12} 5000 \log_2(1 + \sigma_{12} t_{12})) + a_{21} 5000 \log_2(1 + \sigma_{21} t_{21}) + a_{22} 5000 \log_2(1 + \sigma_{22} t_{22}) + a_{31} 5000 \log_2(1 + \sigma_{31} t_{31}) + a_{32} 5000 \log_2(1 + \sigma_{32} t_{32}) + a_{41} 5000 \log_2(1 + \sigma_{41} t_{41}) + a_{42} 5000 \log_2(1 + \sigma_{42} t_{42}) + a_{51} 5000 \log_2(1 + \sigma_{51} t_{51}) + a_{52} 5000 \log_2(1 +$$

$$\begin{aligned}
& \sigma_{52}t_{52}) + \\
& a_{61}5000 \log_2(1 + \sigma_{61}t_{61}) + a_{62}5000 \log_2(1 + \\
& \sigma_{62}t_{62}) + (z_1 + z_2 + z_3)^2 / 500((a_{11}t_{11} + 4500 + \\
& 4000) + (a_{12}t_{12} + 4500 + 4000) + (a_{21}t_{21} + 4500 + \\
& 4000) + (a_{22}t_{22} + 4500 + 4000) + (a_{31}t_{31} + 4500 + \\
& 4000) + (a_{32}t_{32} + 4500 + 4000) + (a_{41}t_{41} + 4500 + \\
& 4000) + (a_{42}t_{42} + 4500 + 4000) + (a_{51}t_{51} + 4500 + \\
& 4000) + (a_{52}t_{52} + 4500 + 4000) + (a_{61}t_{61} + 4500 + \\
& 4000) + (a_{62}t_{62} + 4500 + 4000)) + 3(z_1^2 + z_2^2 + \\
& z_3^2)] + \frac{X^{1-4}-1}{1-4} + \frac{Y^{1-3}-1}{1-3} - R_X X - R_Y Y - R_Z Z
\end{aligned} \tag{7.3}$$

berdasarkan Kendala (7.1a) diperoleh :

$$a_{11} + a_{12} + a_{21} + a_{22} + a_{31} + a_{32} + a_{41} + a_{42} + a_{51} + a_{52} + a_{61} + a_{62} = 1 \tag{7.2a}$$

berdasarkan Kendala (7.1b) diperoleh :

$$\begin{aligned}
C_{11} + C_{12} + C_{13} & \geq 128 \\
C_{21} + C_{22} + C_{23} & \geq 128 \\
C_{31} + C_{32} + C_{33} & \geq 128
\end{aligned} \tag{7.2b}$$

berdasarkan Kendala (7.1b), Kendala (7.1j) dan Kendala (1k) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{11}5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.385,9)(17.597,87)}{5000R_0} t_{11} \right) + 7 \\
& a_{12}5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.385,9)(12.455,13)}{5000R_0} t_{12} \right) + \\
& a_{13} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(25.385,9) (29.145,25)}{5000R_0} t_{13} \right) \geq 128 \\
& a_{21}5000 \log_2 \left(1 + \frac{(19.363,5)(11.041,31)}{5000R_0} t_{21} \right) + \\
& a_{22}5000 \log_2 \left(1 + \frac{(19.363,5)(21.689,19)}{5000R_0} t_{22} \right) + \\
& a_{23}5000 \log_2 \left(1 + \frac{(19.363,5) (14.971,25)}{5000R_0} t_{23} \right) \geq 128 \\
& a_{31}5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.912,5)(28.307,54)}{5000R_0} t_{31} \right) + \\
& a_{32}5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.912,5)(17.178,63)}{5000R_0} t_{32} \right) +
\end{aligned} \tag{7.2c}$$

$$a_{33} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.912,5) (12.931,33)}{5000R_0} t_{33} \right) \geq 128$$

berdasarkan Kendala (7.1c) diperoleh :

$$C_{44} + C_{45} + C_{46} \geq 64$$

$$C_{54} + C_{55} + C_{56} \geq 64$$

$$C_{64} + C_{65} + C_{66} \geq 64 \tag{7.2d}$$

berdasarkan Kendala (7.1c), Kendala (7.1j) dan Kendala (7.1k) diperoleh :

$$\begin{aligned} & a_{44} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(17.072)(18.060,24)}{(150d_4^L h_{44}^L + 5000R_0)} t_{44} \right) + \\ & a_{45} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(17.072)(14.619,94)}{(150d_4^L h_{45}^L + 5000R_0)} t_{45} \right) + \\ & a_{46} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(17.072) (1.853,07)}{(150d_4^L h_{46}^L + 5000R_0)} t_{46} \right) \geq 64 \\ & a_{54} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(16.889,5)(17.024,73)}{(150d_5^L h_{54}^L + 5000R_0)} t_{54} \right) + \\ & a_{55} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(16.889,5)(25.563,17)}{(150d_5^L h_{55}^L + 5000R_0)} t_{55} \right) + \\ & a_{56} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(16.889,5) (24.683,44)}{(150d_5^L h_{56}^L + 5000R_0)} t_{56} \right) \geq 64 \\ & a_{64} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.172,814)(20.252,07)}{(150d_6^L h_{64}^L + 5000R_0)} v_{64} \right) + \\ & a_{65} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.172,814)(20.451,66)}{(150d_6^L h_{65}^L + 5000R_0)} v_{65} \right) + \\ & a_{66} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.172,814) (28.309,62)}{(150d_6^L h_{66}^L + 5000R_0)} v_{66} \right) \geq 64 \end{aligned} \tag{7.2e}$$

berdasarkan kendala (7.1d) diperoleh :

$$\begin{aligned} & a_{31} t_{31} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{41} t_{41} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{51} t_{51} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\ & \quad + a_{61} t_{61} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\ & a_{32} t_{32} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{42} t_{42} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{52} t_{52} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\ & \quad + a_{62} t_{62} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\ & a_{33} t_{33} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{43} t_{43} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{53} t_{53} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\ & \quad + a_{63} t_{63} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\ & a_{34} t_{34} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{44} t_{44} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{54} t_{54} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\ & \quad + a_{64} t_{64} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& a_{35}t_{35} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{45} t_{45} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{55} t_{55} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& \quad + a_{65}t_{65} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500 \\
& a_{36}t_{36} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{46}t_{46} d_1^{R2L} h_1^{R2L} + a_{56} t_{56} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \\
& \quad + a_{66}t_{66} d_1^{R2L} h_1^{R2L} \leq 4500
\end{aligned} \tag{7.2f}$$

berdasarkan Kendala (1e) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& w_{11}v_{11} + w_{12}v_{12} + w_{21}v_{21} + w_{22}v_{22} + w_{31}v_{31} + w_{32}v_{32} + \\
& w_{41}v_{41} + w_{42}v_{42} + w_{51}v_{51} + w_{52}v_{52} + w_{61}v_{61} + w_{62}v_{62} \leq 500
\end{aligned} \tag{7.2g}$$

berdasarkan Kendala (7.1f) diperoleh :

$$\begin{aligned}
z_1 & \geq 11.041,31 \\
z_2 & \geq 11.041,31 \\
z_3 & \geq 11.041,31
\end{aligned} \tag{7.2h}$$

berdasarkan Kendala (7.1g) diperoleh:

$$X \leq 25.385,9 Z \tag{7.2i}$$

berdasarkan Kendala (7.1i) dan Kendala (7.1m) diperoleh :

$$aX + f(Y) - R_X X_i - R_Y Y_i - RZ_i \geq 0 \tag{7.2k}$$

berdasarkan Kendala (4.1i) dipilih nilai $Z = 1$ yang berarti konsumen memilih bergabung dengan program yang ditawarkan, dengan skema pembiayaannya sebagai berikut :

Jika skema pembiayaan *flat-fee* ditambahkan Kendala :

$$R_X = 0, R_Y = 0, R > 0$$

Jika skema pembiayaan *usage-based* ditambahkan kendala :

$$R_X > 0, R_Y > 0, R = 0$$

Jika skema pembiayaan *two-part tariff* ditambahkan kendala :

$$R_X > 0, R_Y > 0, R > 0$$

7.3 Solusi Model Skema Pembiayaan Internet

Solusi dan nilai variabel yang ditampilkan pada tabel dibawah ini merupakan solusi dari persamaan (7.2) dan Persamaan (7.3). Model diselesaikan dengan menggunakan program LINGO 13.0 sehingga diperoleh solusi optimal untuk masing-masing kasus.

Tabel 7.1 Solusi Optimal Model Model C-RAN, Fair Network dan Fungsi Utilitas Quasi Linear

Solver Status	Jenis Pembiayaan					
	Flat-Fee		Usage-Based		Two-Part Tariff	
	Kasus 1	Kasus 2	Kasus 1	Kasus 2	Kasus 1	Kasus 2
Model Class	NLP	NLP	NLP	NLP	NLP	NLP
State	Local Optimal	Local Optimal	Local Optimal	Local Optimal	Local Optimal	Local Optimal
Objective	$4,97569 \times 10^{12}$	$4,97569 \times 10^{12}$	$4,97569 \times 10^{12}$	$4,97569 \times 10^{12}$	$4,97569 \times 10^{12}$	$4,97569 \times 10^{12}$
Infeasibility	0	0	0	0	0	0
Iterations	28	28	26	26	25	25
Extended Solver Status						
Best Objective	-	-	-	-	-	-
Steps	-	-	-	-	-	-
Update Interval	2	2	2	2	2	2
GMU (K)	71	71	71	71	71	71
ER (Sec)	0	1	1	1	0	1

Tabel 6.1 menunjukkan solusi optimal dari skema pembiayaan internet berdasarkan model C-RAN, fair network dan fungsi utilitas quasi linear.

Pada Kasus 1 dan Kasus 2 untuk skema pembiayaan flat-fee diperoleh solusi optimal sebesar Rp. $4,97569 \times 10^{12}$ /kbps dengan jumlah iterasi sebanyak 28 iterasi dan nilai infeasibility bernilai 0. GMU sebesar 71K dan waktu yang digunakan untuk menyelesaikan model yaitu selama 0 detik untuk kasus 1 dan 1 detik untuk kasus 2.

Pada Kasus 1 dan Kasus 2 untuk skema pembiayaan usage based diperoleh solusi optimal sebesar Rp. $4,97569 \times 10^{12}$ /kbps dengan jumlah iterasi sebesar 26 iterasi dan nilai infeasibility bernilai 0. GMU sebesar 71K dan waktu yang digunakan untuk menyelesaikan model yaitu selama 0 detik.

Pada Kasus 1 dan Kasus 2 untuk skema pembiayaan *two-part tariff* diperoleh solusi optimal sebesar $\text{Rp. } 4,97569 \times 10^{12} / \text{kbps}$ dengan jumlah iterasi sebanyak 25 iterasi dan nilai *infeasibility* bernilai 0. GMU sebesar 71K dan waktu yang digunakan untuk menyelesaikan model yaitu selama 0 detik untuk Kasus 1 dan 1detik untuk Kasus 2.

7.4 Kesimpulan

Model *improved* C-RAN menggunakan skema pembiayaan *two-part tariff* memperoleh solusi optimal yaitu sebesar $\text{Rp. } 4,97569 \times 10^{12} / \text{kbps}$ dan jumlah iterasi sebanyak 25 iterasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Antodi, C. P., Prasetijo, A. B., & Widiyanto, E. D. (2017). Penerapan Quality of Service Pada Jaringan Internet Menggunakan Metode Hierarchical Token Bucket. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Komputer*, 5(1), 23. <https://doi.org/10.14710/jtsiskom.5.1.2017.23-28>
- Carroll, T. E., & Grosu, D. (2006). *Selfish Multi-User Task Scheduling*.
- Dahanum, I., Mesran, & Zebua, T. (2017). Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Internet Service Provider Menerapkan Metode Elimination and Choice Translation Reality (Electre). *Konferensi Nasional Teknologi Informasi Dan Komputer (KOMIK)*, 1(1), 248–255.
- Fachri, B., Windarto, A. P., & Parinduri, I. (2019). Penerapan Backpropagation dan Analisis Sensitivitas pada Prediksi Indikator Terpenting Perusahaan Listrik. *Jurnal Edukasi Dan Penelitian Informatika (JEPIN)*, 5(2), 202. <https://doi.org/10.26418/jp.v5i2.31650>
- Ilham, Y., & Dirgantara, I. M. B. (2020). Analisis pengaruh kualitas jaringan, kualitas layanan, kualitas informasi, keamanan dan privasi pada penyedia layanan internet terhadap kepuasan pelanggan dan dampak pada niat pembelian ulang. *Diponegoro Journal of Management*, 9(4), 1–7.
- Indrawati, I., Octarina, S., & Suwandi, N. (2012). Aplikasi Metode Simpleks pada Produksi Padi di Kabupaten Ogan Ilir Serta Analisis Kelayakan Produksi Secara Sensitivitas. *Jurnal Penelitian Sains*, 15(2), 168475.
- Indrawati, Irmeilyna, Puspita, F. M., Susanti, E., Yuliza, E., & Sanjaya, O. (2014). Numerical Solution of Internet Pricing Scheme Based on Perfect Substitute Utility Function. *Proceeding of The 1st International Conference Science and Engineering*, 1(1), 1–4.
- Indrawati, Puspita, F. M., Erlita, S., & Nadeak, I. (2017). Optimasi Model Cloud Radio Access Network (CRAN) pada Efisiensi Konsumsi Bandwidth dalam Jaringan. *3rd Annual Research Seminar on Computer Science and ICT, Universitas Sriwijaya, Palembang*, 3(1), 117–120.

- Indrawati, Puspita, F. M., Irmeilyana, & Sanjaya, O. (2015). Pembiayaan Internet Menggunakan Fungsi Utilitas Cobb-Douglass. *Prosiding Semirata 2015 Bidang Teknologi Informasi Dan Multi Disiplin*, 108–116.
- Iskandar, I., & Hidayat, A. (2015). Analisa QoS Jaringan Internet Kampus (Studi Kasus: UIN Suska Riau). *Jurnal CoreIT*, 1(2), 2460–2738.
- Liang, Y. (2020). Cognitive Radio and Dynamic Spectrum Management. In *Wireless Mesh Networking*. <https://doi.org/10.1201/9781420013542-21>
- Mahmoodi, T., & Jiang, M. (2016). Traffic Management in 5G Mobile Networks: Selfish Users and Fair Network. *Transactions on Networks and Communications*, 4(1). <https://doi.org/10.14738/tnc.41.1447>
- Masse, M. R. (2017). INTERNET DAN PENGGUNAANNYA (Survei di kalangan masyarakat Kabupaten Takalar Provinsi Sulawesi Selatan). *Jurnal Studi Komunikasi Dan Media*, 21(1), 13. <https://doi.org/10.31445/jskm.2017.210102>
- Nidhi, Mihovska, A., & Prasad, R. (2021). Spectrum Sharing and Dynamic Spectrum Management Techniques in 5G and beyond Networks: A Survey. *Journal of Mobile Multimedia*, 17(1–3), 65–78. <https://doi.org/10.13052/jmm1550-4646.17133>
- Nurajizah, S., Ambarwati, N. A., & Muryani, S. (2020). Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Internet Service Provider Terbaik Dengan Metode Analytical Hierarchy Process. *JURTEKSI (Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi)*, 6(3), 231–238. <https://doi.org/10.33330/jurtek.v6i3.632>
- Peng, M., Zhang, K., Jiang, J., Wang, J., & Wang, W. (2015). Energy-Efficient Resource Assignment and Power Allocation in Heterogeneous Cloud Radio Access Networks. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 64(11), 5275–5287. <https://doi.org/10.1109/TVT.2014.2379922>
- Purnama, A. C., Budiman, E., & Pohny. (2017). Kinerja Jaringan Internet Service Provider (Isp) Pada Aplikasi Multimedia Streaming Di Kota Samarinda. *Prosiding Seminar Nasional Ilmu Komputer Dan Teknologi Informasi*, 2(2), 65–69.

- Rasudin. (2014). Quality of Services (Qos) Pada Jaringan Internet Dengan Metode Hierarchy Token Bucket. *Jurnal Penelitian Teknik Informatika Universitas Malikussaleh*, 4(1), 210–223.
- Rosyidi, C. N., Irianto, D., Cakravastia, A., & Toha, I. S. (2008). Utility Based Optimization Model for Deriving Optimum Target of Functional Utility Based Optimization Model for Deriving Optimum Target of Functional Requirements. *Proceedings of the 9th Asia Pasific Industrial Engineering & Management Systems Conference The, January 2015*, 2068–2073.
- Sari, B. (2014). Diktat Bahan Ajar Matematika Ekonomi Dan Bisnis. In *Mitra Wacana Media*.
- Sitepu, R., Puspita, F. M., Pratiwi, A. N., & Novyasti, I. P. (2017). Utility function-based pricing strategies in maximizing the information service provider's revenue with marginal and monitoring costs. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 7(2), 877–887.
- Sitepu, R., Puspita, F. maya, Irmeilyana, & Pratiwi, A. N. (2016). *Improved model pada skema pembiayaan layanan informasi dengan biaya pengawasan (monitoring cost) dan biaya margina (marginal cost) untuk fungsi utilitas perfect substitute* (pp. 808–811).
- Storkey, A. J., Millin, J. J., & Geras, K. J. (2012). Isoelastic agents and wealth updates in machine learning markets. *Proceedings of the 29th International Conference on Machine Learning, ICML 2012*, 2, 1815–1822.
- Sunarko, D., & Pakaja, F. (2009). Study Decision Tree/Pohon Keputusan Sebagai Sebuah Alat Bantu Pendukung Sistem Dalam Proses Pengambilan Keputusan Penjualan Pada CV. Khan Setia Utama, Pondok Cabe-Depok. *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Asia*, 3(2), 51–69.
- Susanto, T., & Hartono, K. . (2017). Research Strategy of C-Ran Implementation in Telkomsel Through Collaboration of Ng-Pon2 Network in Telkom Access Using Strategic Situation. *Manajemen Indonesia*, 17(April 2017), 49–66.
- Utami, P. R. (2020). Analisis Perbandingan Quality of Service Jaringan Internet Berbasis Wireless Pada Layanan Internet

- Service Provider (Isp) Indihome Dan First Media. *Jurnal Ilmiah Teknologi Dan Rekayasa*, 25(2), 125–137. <https://doi.org/10.35760/tr.2020.v25i2.2723>
- Wang, X., & Schulzrinne, H. (2006). Pricing network resources for adaptive applications. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 14(3), 506–519. <https://doi.org/10.1109/TNET.2006.872574>
- Wu, S. Y., & Banker, R. D. (2010). Best pricing strategy for information services. *Journal of the Association for Information Systems*, 11(6), 339–366. <https://doi.org/10.17705/1jais.00229>
- Wulandari, R. (2016). ANALISIS QoS (QUALITY OF SERVICE) PADA JARINGAN INTERNET (STUDI KASUS : UPT LOKA UJI TEKNIK PENAMBANGAN JAMPANG KULON – LIPI). *Jurnal Teknik Informatika Dan Sistem Informasi*, 2(2), 162–172. <https://doi.org/10.28932/jutisi.v2i2.454>
- yanto. (2013). Analisis Qos (Quality of Service) Pada Jaringan Internet (Studi Kasus : Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura). *Analisis Qos (Quality of Service)*, 1–6.

INDEKS

B

Bit, 120

C

Cloud Radio Access Network,
116

C-RAN, 5, 14, 15, 17, 20, 23,
24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 32,
36, 38, 39, 40, 54, 55, 56, 58,
59, 61, 62, 78, 79, 80, 81, 82,
83, 85, 93, 94, 95, 102, 105,
114

E

Eksponensial, 2, 9, 61, 62, 78,
79, 80, 81, 82, 83

Elapsed Runtime, 36

ER, 20, 24, 25, 27, 28, 36, 38,
55, 56, 58, 59, 60, 78, 79, 80,
81, 82, 83, 94, 102, 114

F

Fair Network, 1, 8, 28, 29, 30,
36, 38, 93, 102, 114, 117

Flat-Fee, 93, 102, 114

Fungsi Utilitas, 9, 10, 39, 55,
58, 61, 81, 83, 93, 96, 102,
106, 114, 117

G

Generated Memory Used, 36

GMU, 24, 25, 27, 28, 36, 38,
55, 56, 58, 59, 60, 78, 79, 80,
81, 82, 83, 94, 102, 114

I

Infeasibility, 24, 27, 36, 38, 55,
56, 58, 59, 78, 79, 81, 82, 94,
102, 114

Internet Service Provider, 1, 4,
116, 117, 119

Isoelastic, 2, 9, 10, 96, 102,
118

ISP, 1, 3, 4, 6, 9, 15, 18, 29, 40,
62, 106, 110

P

Perfect Substitute, 2, 9, 39, 54,
55, 56, 57, 58, 59, 80, 116

Q

Qos, 1, 118, 119

Quality of Service, 5, 116, 118,
119

Quasi Linear, 9, 10, 106, 114

S

Selfish User, 7, 8, 13, 14, 15,
17, 20, 25, 26, 27, 28, 39, 40,
41, 54, 55, 56, 58, 59, 61, 63,
78, 79, 80, 81, 82, 83

T

Two-Part Tariff, 55, 56, 58,
59, 78, 79, 81, 82, 93, 102,
114

Buku ini berisikan aplikasi permasalahan program nonlinier pada untuk memodelkan jaringan manajemen lalu lintas (TrM), dengan pendekatan optimisasi berbasis Cloud Radio Access Network(C-RAN) dan dan pengujian dengan melakukan analisis sensitivitas sebagai analisis paska optimal menggunakan alat bantu hitung LINGO 13.0



Dr. Fitri Maya Puspita, M.Sc



Drs. Robinson Sitepu, M.Si



Yunita, M.Cs



Sisca Octarina, M.Sc



Dr. Evi Yuliza, M.Si



Putri Eka Indriani, S.Si



Putri Rahmadia, S.Si