

MODEL IMPROVED SELFISH USERS PADA TRAFFIC MANAGEMENT 5G MOBILE NETWORKS

Indrawati, M.Si

Dr. Fitri Maya Puspita, M.Sc

Bela Olivia Silaen

Evi Yuliza, M.Si

Oki Dwipurwani, M.Si

5G

**MODEL IMPROVED SELFISH USERS PADA
TRAFFIC MANAGEMENT 5G MOBILE NETWORKS**

Oleh

Indrawati, M.Si

Dr. Fitri Maya Puspita, M.Sc

Bela Olivia Silaen

Evi Yuliza, M.Si

Oki Dwipurwani, M.Si

UPT. Penerbit dan Percetakan

Universitas Sriwijaya 2020

Kampus Unsri Palembang

Jalan Srijaya Negara, Bukit Besar Palembang 30139

Telp. 0711-360969

email : unsri.press@yahoo.com, penerbitunsri@gmail.com

website : www.unsri.unsripress.ac.id

Anggota APPTI No. 026/KTA/APPTI/X/2015

Anggota IKAPI No. 001/SMS/2009

Setting & Lay Out Isi : Devi

Cetakan Pertama, Januari 2020

116 halaman : 24 x 16 cm

Hak cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penerbit

Hak Terbit Pada Unsri Press

ISBN 978-979-587-837-7



**MODEL IMPROVED *SELFISH USERS* PADA
*TRAFFIC MANAGEMENT 5G MOBILE NETWORKS***

**Oleh
Indrawati, M.Si
Dr. Fitri Maya Puspita, M.Sc
Bela Olivia Silaen
Evi Yuliza, M.Si
Oki Dwipurwani, M.Si**

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr Wb,

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga buku referensi ini dapat diselesaikan dengan baik. Pembahasan materi pada buku ini dilakukan dengan cara memaparkan landasan teori model *selfish users*, dan C-RAN.

Isi buku ini mencakup materi *mixed integer non linier programming* (MINLP) yakni: model *Selfish users*, model C-RAN dan solusi dengan software aplikasi LINGO 13.0

Pada kesempatan ini penyusun menyampaikan terima kasih kepada Universitas Sriwijaya yang dalam hal ini memberikan bantuan finansial melalui Hibah Penelitian Unggulan Kompetitif Tahun 2019. Tidak lupa penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Maijance Oktaryna, S.Si yang telah banyak memberikan bantuan editing agar buku ini lebih sempurna. Mudah-mudahan buku ini dapat memberikan sedikit manfaat bagi para pembaca pada umumnya.

Wassalamualaikum wr wb.

Hormat Kami

Tim Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	I
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	III
DAFTAR TABEL	VI
DAFTAR ISTILAH	VIII
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Internet	4
1.3 Quality of Service	6
1.4 Quality of Experience	10
1.5 Internet Service Provider	11
1.6 Selfish Users	13
1.7 Cloud Radio Acces Network.....	14
1.8 Mixed Integer Nonlinear Programming	15
1.9 Bandwidth	15
BAB II MODEL SELFISH USERS	18
2.1 Model Selfish Users.....	18
2.2 Model C-RAN	19

BAB III DATA, PARAMETER DAN VARIABEL	24
3.1 Data yang Digunakan adalah Data Traffic Hotspot 5 dan Hotspot 6	24
3.2 Perumusan Parameter dan Variabel.....	44
BAB IV HASIL MODEL SELFISH USERS DAN C-RAN PADA LINGO 13.0	52
4.1. Model Skema Pembiayaan Internet Berdasarkan Pemakaian Data	52
4.2. Model Skema Pembiayaan Internet pada Traffic Hotspot 5	54
4.2.1. Model pada Kasus 1 (B_0 Sebagai Konstanta dan P^M Sebagai Variabel)	55
4.2.2. Model pada Kasus 2 (B_0 dan P^M Sebagai Konstanta)	59
4.2.3. Model pada Kasus 3 (B_0 Sebagai Variabel dan P^M Sebagai Konstanta)	63
4.2.4. Model pada Kasus 4 (B_0 dan P^M Sebagai Variabel)	68
4.2.5. Solusi dan Nilai-Nilai Variabel dari Model Skema Pembiayaan Internet pada <i>Traffic Hotspot 5....</i>	72

4.3	Model Skema Pembiayaan Internet pada <i>Traffic</i>	
	<i>Hotspot 6</i>	75
4.3.1	Model pada Kasus 1 (B_0 Sebagai Konstanta dan P^M Sebagai Variabel)	76
4.3.2	Model pada Kasus 2 (B_0 dan P^M Sebagai Konstanta)	80
4.3.3	Model pada Kasus 2 (B_0 Sebagai Variabel dan P^M Sebagai Konstanta)	84
4.3.4	Model pada Kasus 4 (B_0 dan P^M Sebagai Variabel)	88
4.3.5	Solusi Optimal dari Model Skema Pembiayaan Internet pada <i>Traffic Hotspot 6</i>	92
4.4	Rekapitulasi Solusi Model Skema Pembiayaan Internet pada <i>Traffic Hotspot 5</i> dan <i>Traffic Hotspot 6</i>	95
4.5	Kesimpulan	97
	DAFTAR PUSTAKA	98
	INDEKS	102
	BIOGRAFI PENGARANG	104

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 <i>Traffic</i> pada Hotspot 5 Untuk Data Jam Sibuk	25
Tabel 3.2 <i>Traffic</i> pada Hotspot 5 Untuk Data Jam Tidak Sibuk.....	26
Tabel 3.3 <i>Traffic</i> pada <i>Hotspot 5</i> yang Dibentuk Menjadi 18 Data (\geq 100 kbps).....	28
Tabel 3.4 Data Pemakaian <i>Traffic Sisfo</i> untuk Jam Sibuk dan Jam Tidak Sibuk.....	31
Tabel 3.5 <i>Traffic</i> pada Hotspot 6 Untuk Data Jam Sibuk	33
Tabel 3.6 <i>Traffic</i> pada Hotspot 6 Untuk Data Jam Tidak Sibuk 34.....	34
Tabel 3.7 <i>Traffic</i> pada <i>Hotspot 6</i> yang Dibentuk Menjadi 20 Data (\geq 100 kbps).....	35
Tabel 3.8 Data Pemakaian <i>Traffic</i> untuk Jam Sibuk dan Jam Tidak Sibuk	38
Tabel 3.9 <i>Traffic</i> pada Hotspot 5 Untuk Data Jam Sibuk	40
Tabel 3.10 <i>Traffic</i> pada Hotspot 5 Untuk Data Jam Tidak Sibuk.....	41
Tabel 3.11 <i>Traffic</i> pada Hotspot 6 Untuk Data Jam Sibuk	42

Tabel 3.12 <i>Traffic</i> pada Hotspot 6 Untuk Data Jam	
Tidak Sibuk.....	43
Tabel 3.13 Parameter untuk Setiap Kasus pada Model	
<i>C-RAN</i>	45
Tabel 3.14 Variabel untuk Setiap Kasus pada Model	
<i>C-RAN</i>	46
Tabel 3.15 Nilai –Nilai Parameter pada <i>Traffic Hotspot 5</i> dan <i>Traffic Hotspot 6</i>	49
Tabel 3.16 Nilai Parameter pada model <i>C-RAN</i>	51
Tabel 4.1 Nilai Parameter pada model <i>Selfish Users</i>	53
Tabel 4.2 Nilai Variabel pada model <i>Selfish Users</i>	54
Tabel 4.3 Solusi Optimal Model <i>Cloud Radio Access Network (C-RAN) dan Selfih Users</i> pada <i>Traffic Hotspot 5</i>	73
Tabel 4.4 Solusi Optimal Model <i>Cloud Radio Access Network (C-RAN) pada Traffic Hotspot 6</i>	93
Tabel 4.5 Rekapitulasi Solusi Model Skema Pembiayaan Internet pada <i>Traffic Hotspot 5</i> dan <i>Traffic Hotspot 6</i>	96

DAFTAR ISTILAH

- Bandwidth* : Jumlah konsumsi transfer data yang dihitung dalam satuan waktu bit per second (bps).
- Server* : Sebuah sistem komputer yang menyediakan jenis layanan (service) tertentu dalam sebuah jaringan komputer.
- Dedicated bandwidth* : Koneksi internet yang lebih cepat.
- Traffic* : Jumlah banyaknya kunjungan pada suatu website
- Traffic Sisfo* : Jumlah banyaknya kunjungan pada suatu website sistem informasi
- Jitter* : Kumpulan dari semua delay (waktu tunda dari semua paket data) terjadi dalam jaringan pada saat waktu tertentu.
- IP* : IP atau Internet Protocol adalah standar komunikasi data yang digunakan oleh komunitas internet dalam proses tukar-menukar data dari satu computer ke computer lain di dalam jaringan internet
- ISP* : ISP atau Internet Service Provider adalah penyedia jasa layanan internet
- QoS* : QoS atau Quality of Service adalah kualitas layanan internet
- 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 byte
- Throughput* : Kemampuan jaringan mengirimkan data, yang dinamis sesuai keadaan dan traffic jaringan.
- Latency* : Jeda waktu yang dibutuhkan untuk mengirim data dari pengirim ke penerima pada jaringan.
- Loss karakteristik* : Suatu parameter yang menggambarkan suatu kondisi yang menunjukkan jumlah total paket data yang hilang.
- Ethernet* : Untuk membantu pertukaran file dan data melalui jaringan komputer.
- Provider* : Perusahaan yang menyediakan berbagai layanan yang menyangkut internet dan biasa disebut ISP.
- File Transfer Protocol (FTP)* : Protokol internet yang digunakan untuk urusan pengiriman data dalam jaringan komputer, seperti upload dan download file.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan yang cukup tinggi terhadap internet, membawa tuntutan terhadap pelayanan pengguna internet. Tuntutan ini berupa kecepatan dan kelengkapan informasi yang diberikan jasa internet menjadi daya tarik dan kebutuhan yang mendasar bagi pengguna. Sebagai penyedia layanan internet yaitu *Internet Service Provider (ISP)* harus mampu memberikan kualitas layanan atau *Quality of Service (QoS)* yang lebih baik dan berbeda kepada *user* dengan biaya yang efisien. Oleh karena itu, ISP dituntut memberikan perencanaan biaya internet yang tepat agar dapat menguntungkan ISP sebagai penyedia layanan dan *user* sebagai pengguna internet.

Untuk memaksimalkan keuntungan ISP perlu diperhatikan fungsi utilitas. Fungsi utilitas berhubungan dengan tingkat kepuasan konsumen terhadap layanan informasi yang diperolehnya (Schulzrinne & Wang, 2011). Oleh karena itu tingkat konsumsi atas kepuasan yang diperoleh tersebut dapat memaksimalkan keuntungan penyedia layanan internet.

Berdasarkan penelitian sebelumnya Indrawati *et al.*, (2013;2014), dibahas mengenai tiga skema pembiayaan internet yaitu *flat rate*, *usage based*, dan *two-part tariff* yang memberikan hasil yang lebih optimal. Selanjutnya Indrawati *et al.*, (2015), Indrawati *et al.*, (2018) mengembangkannya menjadi permasalahan *Mixed Integer Nonlinear Programing* (MINLP) dengan hasil optimal terhadap ketiga skema pembiayaan tersebut. Skema pembiayaan internet yang berfokus pada *wireless nonlinear* yang nirkabel yang disusun oleh (Wallenius & T, 2002), skema pembiayaan internet *wireless* pada atribut QoS *bandwidth*, *bit error rate* (BER), *end-to-end delay*(Puspita *et al.*, 2015).

Selfish users merupakan metode yang paling tepat karena mampu menghitung kepuasan pengguna terhadap layanan internet. Selanjutnya perlu dianalisis skema jaringan *selfish users* yang berfokus pada kepuasan pengguna internet terhadap layanan internet dan merumuskan rencana model baru yang dinamis dan dapat bekerja di *cloud* nirkabel. *Selfish users* dalam manajemen lalu lintas bertujuan untuk memaksimalkan *Quality of Experience* (QoE) yang berfokus

pada layanan, pengalaman pengguna, yang bersumber pada perusahaan telekomunikasi. *The International Telecommunication Union (ITU)* mendefinisikan QoE sebagai penerimaan keseluruhan aplikasi atau layanan, sebagai perspektif subyektif oleh pengguna.

Penelitian model *selfish users* penting dikaji karena sangat berbeda dari model lainnya seperti *multi link* (Puspita *et al.*, 2014), C-RAN (Indrawati *et al.*, 2018), *multi service* (Puspita *et al.*, 2012), dan *single link* (Puspita *et al.*, 2017), yang hanya memfokuskan pada p

embiayaan internet terhadap pengguna tanpa mengukur kepuasan pengguna terhadap layanan internet. Perlunya riset untuk mengukur kepuasan pengguna internet yang berpengaruh terhadap kualitas dan kuantitas penggunaan internet, maka *selfish users* dipakai sebagai model yang paling tepat untuk mengukur kepuasan pengguna internet pada layanan internet, karena metode ini mampu menghitung secara optimasi mengenai kepuasan pengguna internet terhadap layanan internet.

Pada penelitian ini *selfish users* memakai data sekunder yaitu data *inbound* dan data *outbound*. Data *inbound* adalah jumlah data yang masuk dan data *outbound* adalah jumlah data yang keluar, dengan menambah dan menentukan parameter dan variabel keputusan pada *traffic sisfo* dan *file* di Polsri dan mencari solusi dari model *selfish users*. *Traffic sisfo* adalah jumlah data yang dipakai pengguna saat berinteraksi langsung kepada pengguna lain dan *traffic file* adalah jumlah data yang dipakai untuk menerima atau mengirim file. Perlu diterapkan *selfish users* karena metode yang sangat tepat untuk mencari nilai kepuasan *user* terhadap layanan internet.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memodelkan dan menentukan solusi *selfish users* kedalam model skema pengukuran kepuasan pengguna internet terhadap konsumsi *bandwidth* secara optimasi MINLP.

1.2 Internet

Interconnection – Networking atau Internet adalah sebuah jaringan komputer yang terdiri dari berbagai macam ukuran dan jenis jaringan komputer di seluruh dunia. Jaringan-jaringan

komputer ini saling berhubungan dan berkomunikasi satu sama lain melalui bantuan telepon dan satelit, yang digunakan untuk keperluan pemerintahan, pendidikan, perdagangan, ilmu pengetahuan dan perorangan (Permaza, 2017).

Internet juga dapat mengakses informasi secara lengkap baik informasi berbasis gambar, data, maupun video. Dengan kata lain internet dapat mencakup segala bidang informasi dalam kehidupan. Internet menyediakan akses layanan jaringan bagi setiap pengguna diseluruh dunia. Internet pada dasarnya mengakses situs yang tersedia di seluruh dunia, yang sebenarnya di taruh di dalam satu *server* yang tersebar di seluruh dunia. *Server* tersebut saling terhubung satu sama lain sehingga dapat diakses di tempat lain. Setiap *server*, memiliki *IP Address* atau *Internet Protocol*. *Internet Protocol* (IP) adalah sebuah deretan angka yang menandai *server* layaknya seperti alamat. Jadi, satu *server* yang memiliki IP yang terkoneksi dengan internet, tidak akan sama dengan *server* lain. Sehingga, satu *IP address* akan dimiliki hanya oleh satu *server* saja.

Adapun layanan internet yang tersedia sesuai proporsinya adalah seperti komunikasi langsung (email, chat), diskusi (*Usenet News, e-mail, milis*), dan sumber daya informasi yang terdistribusi (*World Wide Web, Gopher, remote login*) dan aneka layanan lainnya (Ramadhani, 2017). Oleh karena itu pengembangan akses internet berkembang bukan diakses melalui komputer PC maupun laptop saja, namun akses internet sudah dapat diakses melalui telepon seluler.

1.3 Quality of Service (QoS)

QoS mengacu kepada kemampuan memberikan pelayanan berbeda kepada lalu lintas jaringan dengan kelas-kelas yang berbeda. QoS dirancang untuk membantu *end user* menjadi lebih produktif dengan memastikan bahwa *user* mendapatkan performansi yang handal dari aplikasi-aplikasi berbasis jaringan (Iskandar & Hidayat, 2015)ⁱ. Tujuan akhir dari QoS adalah memberikan *network service* yang lebih baik dan terencana dengan *dedicated bandwidth, jitter*, dan *latency* yang terkontrol dan meningkatkan *loss* karakteristik.

QoS adalah kemampuan dalam menjamin pengiriman arus data penting atau dengan kata lain kumpulan dari berbagai kriteria performansi yang menentukan tingkat kepuasan penggunaan suatu layanan. QoS menawarkan kemampuan untuk mendefinisikan atribut-atribut layanan yang disediakan, baik secara kualitatif maupun kuantitatif.

Menurut Kamarullah (2009) *Quality of Service (QoS)* adalah kemampuan memberikan pelayanan berbeda kepada lalu lintas jaringan dengan kelas-kelas yang berbeda, dengan tujuan memberikan *network service* yang lebih baik dan terencana dengan *dedicated bandwidth*, *jitter* dan *latency* yang terkontrol dan meningkatkan *loss* karakteristik.

Menurut Gunawan (2008) terdapat tiga jenis *Quality of Service (QoS)*, yaitu sebagai berikut:

a. *Intrinsic QoS*

Intrinsic QoS merupakan kualitas layanan jaringan yang di dapat melalui:

1. Desain teknis jaringan yang menentukan karakteristik koneksi yang melalui jaringan.

2. Kondisi akses jaringan, terminasi, *link* antar *switch* yang menentukan suatu jaringan akan memiliki kapasitas yang memadai untuk menangani semua permintaan pengguna. Dengan kata lain, *intrinsic* QoS tersebut dapat dideskripsikan dengan parameter-parameter kinerja suatu jaringan, seperti *latency*, *throughput*, dan lain-lain.

b. *Perceived* QoS

Perceived QoS merupakan kualitas layanan jaringan yang diukur ketika suatu layanan digunakan. *Perceived* QoS sangat tergantung dari kualitas *intrinsic* QoS dan pengalaman pengguna pelayanan yang sejenis, namun *Perceived* QoS ini diukur dengan nilai *mean option score* (MOS) dari pengguna.

c. *Assessed* QoS

Assessed QoS merujuk kepada seberapa besar keinginan pengguna untuk terus menikmati suatu layanan tertentu. Hal ini berdampak pada keinginan pengguna untuk membayar jasa atas layanan yang dinikmatinya. *Assessed* QoS ini sangat tergantung dari *perceived* QoS masing-masing pengguna.

Menurut Iskandar and Hidayat (2015) fungsi-fungsi QoS adalah sebagai berikut :

1. Pengkelasan paket untuk menyediakan pelayanan yang berbeda-beda untuk kelas paket yang berbeda-beda.
2. Penanganan kongesti untuk memenuhi dan menangani kebutuhan layanan yang berbeda.
3. Pengendalian lalu lintas paket untuk membatasi dan mengendalikan pengiriman paket-paket data.
4. Pensinyalan untuk mengendalikan fungsi-fungsi perangkat yang mendukung komunikasi di dalam jaringan IP.

Tujuan dari QoS adalah untuk memenuhi kebutuhan-kebutuhan layanan yang berbeda yang menggunakan infrastruktur yang sama (Pratiwi dkk., 2012).

Dari segi jaringan QoS memberikan pelayanan berbeda kepada lalu lintas jaringan dengan kelas penggunaan yang berbeda. QoS melakukan pengukuran terhadap tingkat transmisi (*transmission rates*), tingkat kesalahan (*error rates*) dan tingkat karakteristik lainnya (Yang, 2004), Untuk mendukung tingkat kemajuan dari suatu penyedia layanan QoS melibatkan suatu kumpulan parameter kualitas transmisi data

yang melalui jaringan komunikasi yang dikelompokkan berdasarkan tingkat jaringan komunikasi.

1.4 Quality of Experience (QoE)

The International Telecommunication Union (ITU) mendefinisikan QoE sebagai penerimaan keseluruhan aplikasi atau layanan, sebagai perspektif subyektif oleh pengguna. Pengukuran ini fokus untuk memenuhi harapan pengguna akhir-*end user* tentang layanan dan mencakup *end-to-end*. Ada banyak defenisi mengenai QoE yang berasal dari organisasi internasional seperti ITU dan ETSI, atau literatur lain.

QoE didefenisikan sebagai keseluruhan kinerja sistem dari sudut pandang pengguna dan sebagai keseluruhan mekanisme QoS disediakan untuk menjamin kelancaran pengiriman video dan audio melalui jaringan IP. Dari semua defenisi di atas, dapat disimpulkan bahwa QoE memiliki tingkat abstraksi yang lebih tinggi dibandingkan dengan QoS, QoE dapat juga dianggap sebagai perpanjangan QoS, karena memasok informasi mengenai layanan yang disampaikan seperti yang dirasakan oleh pengguna.

1.5 *Internet Service Provider (ISP)*

Internet Service Provider atau ISP merupakan suatu perusahaan atau badan usaha yang menyediakan suatu layanan jasa sambungan internet dan jasa lainnya yang berhubungan. Dengan kata lain ISP adalah rekanan atau produsen yang memberikan jasa layanan akses internet atau media komunikasi dan informasi berbasis online. ISP ini memiliki jaringan yang luas, baik secara domestik maupun internasional sehingga para penggunanya dapat terkoneksi dengan jaringan internet global. Sesuai pengertian ISP di atas, jaringan internet tersebut merupakan media transmisi yang mampu mengalirkan data-data dari satu tempat ke tempat lainnya. Umumnya ISP mengenakan biaya bulanan kepada para pengguna jasa mereka (Max, 2019). Menurut Sahari (2015) perusahaan penyedia jasa internet umumnya menyediakan jasa seperti hubungan ke internet yang mencakup pendaftaran nama *domain* dan *hosting* yang dilakukan oleh pengguna.

Adapun fungsi ISP dalam pengaksesan jaringan internet adalah sebagai berikut :

1. Sebagai perusahaan penyedia layanan jasa koneksi internet dan penghubung pengguna internet ke *gateway* internet terdekat.
2. Untuk suatu media yang memberikan suatu pelayanan jasa untuk terhubung ke sebuah internet.
3. Sebagai media penghubung pengguna jasa internet dengan layanan informasi yang ada di *World Wide Web* (WWW).
4. Sebagai media yang membantu pengguna jasa untuk aktivitas *download* dan *upload* data dari internet.
5. ISP melakukan suatu proteksi dari penyebaran virus dengan menerapkan suatu sistem antivirus untuk pengguna.
6. ISP sebagai suatu perusahaan yang menawarkan sebuah jasa pelayanan yang berhubungan dengan sebuah jaringan internet.

Jenis layanan ISP meliputi *Dial-Up Connection* (koneksi dengan kabel), *Hotspot* (koneksi tanpa kabel) dan *Mobile Access*

(koneksi dengan telepon seluler). Salah satu contoh ISP adalah Telkom *speedy* dari PT.Telkom Indonesia (Sugeng, 2016). Menurut Puspita *et al.*, (2013) Model yang diberikan umumnya dapat memenuhi permintaan dan pendapatan ISP yaitu model dengan penambahan parameter, variabel keputusan, dan kendala dengan mempertimbangkan harga dasar dan kualitas premium layanan yang dapat menghasilkan pendapatan maksimal. Penyusunan strategi dalam pembiayaan internet yang digunakan (Byun & Chatterjee, 2004) berdasarkan target yang menjadi tujuan ISP dengan menetapkan parameter dan variabel.

1.6 Selfish Users

Selfish users dalam manajemen lalu lintas bertujuan untuk memaksimalkan *Quality of Service* (QoS). Dalam menentukan kepuasan pengguna sebagai penengetunya digunakan QoE yang berfokus pada seluruh pengalaman layanan, pengalaman pengguna.

1.7 Cloud Radio Access Network (C-RAN)

Cloud Radio Access Network (C-RAN) merupakan perkembangan baru dalam dunia teknologi informasi. Cloud radio sendiri merupakan komputasi radio awan yang menggunakan *Base Station Eksklusif* (BTS) yang berdiri sendiri atau terpusat terhubung ke antena seluler untuk memproses sinyal dan mengirimnya ke jaringan inti/menara antena radio yang mana proses aksesnya menggunakan internet (C.I.C.Rowell *et al.*, 2014). Menurut M.Peng and W.Wang (2009) permasalahan yang sering muncul dari *C-RAN* adalah hilangnya sinyal radio dari antena yang berdekatan, sehingga perlu dilakukan pengolahan peralatan sinyal radio atau istilah *Remote Radio Heads* (RRHs) dari pengolahan digital disebut *Base Band Unit* (BBU). Proses penanganan yang dilakukan dari kerusakan ini adalah dengan cara memindahkan RRH mendekati antena utama dan menghubungkannya ke BBU dengan bantuan kabel serat optik. Hal ini membantu permasalahan intermodulasi pasif dan kehilangan sinyal, dengan melakukan hal ini dapat meningkatkan koneksi jaringan

radio dari jarak pada awalnya serta dapat mengurangi biaya penyebaran dan operasional

1.8 *Mixed Integer Nonlinear Programming (MINLP)*

Menurut Bussieck (2003), permasalahan optimasi dapat dikategorikan berdasarkan variabel keputusan dan fungsi objektif. *Mixed Integer Nonlinear Programming (MINLP)* merupakan variasi bentuk dari permasalahan *Nonlinear Programming* yang dikombinasikan dengan dengan *Integer Programming*. Fungsi objektif dan fungsi batasannya bersifat nonlinear serta variabel-variabel keputusan memiliki nilai integer.

1.9 *Bandwidth*

Bandwidth adalah luas atau lebar cakupan frekuensi yang digunakan oleh sinyal dalam media transmisi, dapat diartikan juga sebagai perbedaan antara komponen sinyal frekuensi tinggi dan sinyal frekuensi rendah. Di dalam jaringan komputer, *bandwidth* merupakan jumlah data yang dapat ditransfer

(dikirimkan atau diterima) dari satu titik ke titik yang lain dalam jangka waktu tertentu (Maryono and Istiana, 2006).

Bandwidth merupakan ukuran maksimal besar transfer yang dapat dilakukan dalam satu waktu pertukaran data. *Bandwidth* dapat diartikan sebagai kapasitas yang dapat digunakan untuk melakukan transfer data yang dihitung dalam satuan waktu *bit per second* (bps), jadi bandwidth internet merupakan kapasitas maksimal jalur komunikasi untuk melakukan proses pengiriman dan penerimaan data dalam hitungan detik (Yasin, 2018).

Terdapat dua jenis *bandwidth* yaitu *bandwidth* analog dan *bandwidth* digital. *Bandwidth* analog menyatakan perbedaan frekuensi rendah dan frekuensi tinggi dalam rentang satuan frekuensi yang diukur dalam Hertz (Hz) sedangkan *bandwidth* digital merupakan kapasitas yang menentukan jumlah data digital yang dapat ditransmisikan yang dihitung dalam satuan bit (Syafitri, 2019).

Bandwidth adalah kapasitas yang dapat digunakan pada kabel ethernet agar dapat dilewati *traffic* paket data dengan maksimal tertentu. Pengertian lain dari *bandwidth* internet

adalah jumlah konsumsi transfer data yang dihitung dalam satuan waktu *bit per second* (bps). Jadi, *bandwidth* internet merupakan kapasitas maksimal jalur komunikasi untuk melakukan proses pengiriman dan penerimaan data dalam hitungan detik. *Bandwidth* internet di sediakan oleh *provider* internet dengan jumlah tertentu tergantung sewa pelanggan.

Bandwidth secara umum di kelompokkan menjadi dua jenis yaitu:

- a. *Up Stream* adalah *bandwidth* yang digunakan untuk mengirim data (misalkan mengirim *file* melalui ftp ke salah satu alamat jaringan).
- b. *Down Stream* adalah *bandwidth* yang digunakan untuk menerima data (misalkan menerima *file* atau data dari satu alamat jaringan). Besarnya tiap komponen *bandwidth* tersebut dapat tidak sama atau sama satu sama lain.

BAB II

MODEL SELFISH USERS

Dalam bab ini, dibahas mengenai model skema pembiayaan internet dengan menggunakan model *selfish users* dimana parameter dan variabel keputusan yang digunakan dalam model yang sudah ditentukan.

2.1 Model *Selfish Users*

Model *selfish users* yang digunakan sebagai model optimasi pada penelitian ini didasarkan pada model yang dikemukakan oleh (Jiang & Mahmoodi, 2016) adalah sebagai berikut :

Fungsi objektifnya adalah :

$$\text{Maksimum } \Omega = \frac{[\sum_i C_{ij}]^{w1} + [\sum_i E_{ij}]^{w2}}{\sum_i C_{ij} + \sum_i E_{ij}} \quad (1)$$

dengan kendala

$$\sum_i E_{ij} \leq P_j \quad , i = \{1, 2, \dots, n\} \quad (2)$$

dimana P_j menunjukkan sisa baterai di j -th UE.

dengan

- β : adalah nilai parameter kimia dan dapat bervariasi dari baterai ke baterai dalam kisaran (0,4 - 1).
- γ : adalah faktor diskon ($\gamma = 0.995$).
- α : adalah tingkat pembelajaran dengan nilai kisaran (0 - 1).
- k : adalah faktor konstan ($k = 100$).
- $\zeta(T)$: tingkat pemakaian baterai.
- E_i : energi perangkat.
- Ω : fungsi utilitas berdasarkan *throughput* yang diterima.
- C_{ij} dan E_{ij} : mewakili nilai *throughput* dan energi yang dikonsumsi oleh pengguna $j=(1,2)$.
- W_1 dan W_2 : nilai bobot.
- P : nilai probabilitas.

2.2 Model *Cloud Radio Access Network* (C-RAN)

Model C-RAN yang digunakan sebagai model optimasi pada penelitian ini didasarkan pada model yang dikemukakan oleh M.Peng *et al.*, 2015 adalah sebagai berikut :

Fungsi objektifnya adalah :

$$\text{Maks } \frac{\sum_{n=1}^{N+M} \sum_{k=1}^K a_{n,k} B_0 \log_2(1 + \sigma_{n,k} p_{n,k})}{\varphi_{\text{eff}} \sum_{n=1}^{N+M} \sum_{k=1}^K a_{n,k} p_{n,k} + P_c^R + P_{bh}} \quad (2.1)$$

dengan kendala

$$\sum_{n=1}^{N+M} a_{n,k} = 1, \quad a_{n,k} \in \{0,1\}, \quad k = 2 \quad (2.1a)$$

$$\sum_{n=1}^N C_{n,k} \geq \eta_R, \quad k \in \Omega_1 \quad (2.1b)$$

$$\sum_{n=N+1}^{N+M} C_{n,k} \geq \eta_{ER}, \quad k \in \Omega_2 \quad (2.1c)$$

$$\sum_{n=N}^{N+M} a_{n,k} p_{n,k} d_k^{R2M} h_k^{R2M} \leq \delta_0, \quad k \in \Omega_{||} \quad (2.1d)$$

$$\sum_{n=1}^{N+M} \sum_{k=1}^K a_{n,k} p_{n,k} \leq P_{\text{max}}^R, \quad p_{n,k} \geq 0 \quad (2.1e)$$

Dimana,

$$C_{n,k} = a_{n,k} B_0 \log_2(1 + \sigma_{n,k} p_{n,k}) \quad (2.1f)$$

$$\sigma_{n,k} = \begin{cases} \frac{d_n^R h_{n,k}^R}{B_0 N_0}, & k \in \Omega_1 \\ \frac{d_n^R h_{n,k}^R}{(P^M d_n^M h_{n,k}^M + B_0 N_0)}, & k \in \Omega_2 \end{cases} \quad (2.1h)$$

dengan

B_0 : Ketetapan pemakaian *bandwith* yang telah ditentukan

ISP

φ_{eff} : Ketetapan harga *bandwidth* (Rp)

P_c^R : Batas pemakaian *bandwidth* pada jam sibuk

P_{bh} : Batas pemakaian *bandwidth* pada jam tidak sibuk

η_R : Batas atas QoS

η_{ER} : Batas Bawah QoS

δ_0 : Batas tertinggi pemakaian *bandwidth* oleh *user*

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

d_n^R : Jumlah konsumsi Maksimum dan Minimum *badwidth*
(kbps)

$h_{n,k}^R$: Jumlah konsumsi *bandwidth* setiap hari (kbps)

P^M : Pemakaian awal *bandwidth*

$a_{n,k}$: Indikator alokasi *Resource Block* (RB) yang bernilai 0
atau 1

$p_{n,k}$: Perpindahan *bandwidth* dari *Resource Block* (RB) ke
Remote User Equipment (RUE)

d_k^{R2M} : *Path loss* yang sesuai dari *Remote Radio Heads* (RRH) pada *Resource Block* (RB)

h_k^{R2M} : *Channel gain* yang sesuai dari *Remote Radio Heads* (RRH) pada *Resource Block* (RB)

d_n^M : *Path loss* dari RB ke *Remote User Equipment* (RUE)

$h_{n,k}^M$: *Channel gain* dari RB ke *Remote User Equipment* (RUE)

N_0 : Pemakaian *bandwidth* saat tidak melakukan *hosting*

N : Pemakaian *Remote User Equipment* (RUE) terhadap *Remote Radio Heads* (RRH)

M : Pemakaian *Remote User Equipment* (RUE) terhadap *Resource Block* (RB)

K : Pemakaian server terhadap *Resource Block* (RB)

Ω_1 : Alokasi *Remote User Equipment* (RUE) terhadap batas atas QoS

Ω_2 : Alokasi *Remote User Equipment* (RUE) terhadap batas bawah

QoS

$\Omega_{||}$: Alokasi *Remote User Equipment* (RUE) terhadap *Resource Block* (RB)

BAB III

DATA , PARAMETER DAN VARIABEL

Dalam penelitian ini digunakan data sekunder yang diperoleh dari salah satu server lokal di Palembang. Data ini diambil dalam jangka waktu satu bulan yakni dari Tanggal 01 Maret 2019 sampai Tanggal 27 Maret 2019. Data tersebut kemudian dibagi ke dalam tiga sesi yaitu data pada pagi hari jam 01.00 – 09.00 , data siang hari jam 09.01 – 17.59, dan data malam hari jam 18.00 – 23.59. Dimana data tersebut memakai data *traffic*. Data *traffic* sendiri merupakan jumlah pemakaian *bandwidth* untuk akses internet.

3.1 Data yang Digunakan adalah Data Traffic Hotspot 5 dan Hotspot 6

Traffic merupakan data pemakaian internet, sehingga data *traffic* merupakan data pemakaian internet terhadap data *file* . Data pemakaian internet dibagi 2 yakni *inbound* atau data yang masuk sedangkan *outbound* adalah data yang keluar. Dari data pemakaian dibentuk menjadi tiga kategori yakni jam sibuk, jam tidak sibuk, dan pemakaian ≥ 100 kbps untuk data – data tersebut disajikan dalam tabel 3.1 sebagai berikut :

Tabel 3.1 Traffic pada Hotspot 5 Untuk Data Jam**Sibuk**

No	Tanggal	Jam sibuk		Total Pemakain per Hari
		<i>Inbound</i>	<i>Outbound</i>	
1	1-Maret-2019	5.643.847,52	299.881,264	5.943.728,784
2	2-Maret-2019	12.699.862,12	390.012,512	13.089.874,63
3	3-Maret-2019	5.695.720,624	339.126,592	6.034.847,208
4	4-Maret-2019	5.190,112	1.478,672	6.668,776
5	5-Maret-2019	5.186,76	1.482,704	6.669,464
6	6-Maret-2019	8.868.134,384	3.949.674,152	12.817.808,54
7	7-Maret-2019	10.976.619,13	566.675,112	11.543.294,24
8	8-Maret-2019	12.557.364,29	1.946.312,104	14.503.676,39
9	9-Maret-2019	5.256,648	1.536,296	6.792,936
10	10-Maret-2019	9.731.635,496	765.306,512	10.496.942,01
11	11- Maret-2019	5.258,264	1.577,68	6.835,936
12	12- Maret-2019	5.193,296	1.519,384	6.712,68
13	13-Maret-2019	7.997.711,096	1.362.388,904	9.360.100
14	14-Maret-2019	10.167.194,9	385.414,992	10.552.609,9
15	15-Maret-2019	51.562.949,02	1.061.831,528	52.624.780,55
16	16-Maret-2019	10.849.911,49	1.515.671,904	12.365.583,39
17	17-Maret-2019	14.492.931,35	1.277.221,52	15.770.152,87
18	18-Maret-2019	29.523,608	15.563,456	45.087,064
19	19-Maret-2019	5.141,12	1.452,08	6.593,2
20	20-Maret-2019	10.462.478,7	860.142,72	11.322.621,42
21	21-Mare-2019	9.011.508,048	573.485,856	9.584.993,904
22	22-Maret-2019	8.020.735,312	1.70.2887,52	9.723.622,832
23	23-Maret-2019	7.792.317,792	523.079,072	8.315.396,864
24	24-Maret-2019	8.745.828,776	1.363.853,624	10.109.682,4
25	25-Maret-2019	9.890,024	6.002,768	15.892,792
26	26-Maret-2019	5.120,768	1.457,976	6.578,744
27	27-Maret-2019	6.893.143,896	1.454.420,656	8.347.564,552
<i>Demand per bulan (bit)</i>		8.615.374,521		
<i>Demand per bulan (byte)</i>		1.076.921,815		
<i>Demand per bulan (kbyte)</i>		1.051,68146		

**Tabel 3.2 Traffic pada Hotspot 5 Untuk Data Jam
Tidak Sibuk**

No	Tanggal	Jam sibuk		Total Pemakain per Hari
		<i>Inbound</i>	<i>Outbound</i>	
1	1-Maret-2019	1.819,688	608,528	2.428,216
2	2-Maret-2019	5.242.461,760	54.399,016	5.296.860,776
3	3-Maret-2019	258.164,968	54.399,016	312.563,984
4	4-Maret-2019	4.852,328	1.498,640	6.350,968
5	5-Maret-2019	5.163,560	1.465,408	6.628,968
6	6-Maret-2019	50.619,008	9.793,216	60.412,216
7	7-Maret-2019	1.481.234,464	21.815,984	1.503.050,448
8	8-Maret-2019	2560501,952	66870,856	2.627.372,816
9	9-Maret-2019	5.198,624	1.494,088	6.692,704
10	10-Maret-2019	409.363,720	40.314,080	449.677,800
11	11- Maret-2019	5.109,560	1.429,208	6.538,760
12	12- Maret-2019	5.103,016	1.428,912	6.531,928
13	13-Maret-2019	1.726.632,168	106.115,904	1.832.748,072
14	14-Maret-2019	309.486,336	25.580,296	335.066,632
15	15-Maret-2019	22.178.240,648	549.184,736	22.727.425,384
16	16-Maret-2019	2.390.151,512	158.880,328	2.549.031,840
17	17-Maret-2019	241.460,200	248.464,680	489.924,880
18	18-Maret-2019	5.099,952	1.427,440	6.527,392
19	19-Maret-2019	5.113,536	1.429,944	6.543,488
20	20-Maret-2019	787.074,048	38.999,184	826.073,232
21	21-Maret-2019	6.243.064,064	195.720,664	6.438.784,720
22	22-Maret-2019	371.839,200	22.549,800	394.389,000
23	23-Maret-2019	179.288,008	7.572,976	186.860,992
24	24-Maret-2019	457.999,120	8.0379,944	538.379,064
25	25-Maret-2019	5.170,688	1.440,056	6.610,744
26	26-Maret-2019	5.108,640	1.481,784	6.590,424
27	27-Maret-2019	1.194.402,184	41.673,504	1.236.075,688
	<i>Demand per bulan (bit)</i>		1.772.820,042	
	<i>Demand per bulan (byte)</i>		221.602,505	
	<i>Demand per bulan (kbyte)</i>		216,409	

Tabel 3.1 merupakan data pemakaian *bandwidth* pada *traffic hotspot* 5 yang digunakan pada saat jam sibuk. Jumlah konsumsi *bandwidth* yang dikelompokkan pada jam sibuk dihitung berdasarkan pemakaian dari pukul 07.00 – 17.00 WIB.

Tabel 3.2 merupakan data pemakaian *bandwidth* pada *traffic hotspot* 5 yang digunakan pada saat jam tidak sibuk. Jumlah konsumsi *bandwidth* yang dikelompokkan pada jam sibuk dihitung atas dasar pemakaian dari pukul 17.01 – 06.00. Dari Tabel 3.1 dan Tabel 3.2, *Demand* merupakan rata-rata pemakaian untuk *traffic* dikirim dan diterima per hari. *Demand* per bulan (*bit*) merupakan jumlah pemakaian *traffic* dengan satuan *bit per second* (bps). Untuk *Demand* per bulan (*byte*) diperoleh dengan mengkonversi (1 *byte* = 8 *bit*) dan *Demand* per bulan (*kilobyte*) diperoleh dengan mengkonversi (1 *kilobyte* = 1024 *byte*).

Tabel 3.3 Traffic pada Hotspot 5 yang Dibentuk Menjadi 18 Data (≥ 100 kbps)

No	<i>Demand per Hari (bit)</i>	<i>Demand per Hari (byte)</i>	<i>Demand per Hari (kilobyte)</i>
1	5.946.157	743.269,625	725,849
2	18.386.735,41	2.298.341,926	2.244,475
3	6.041.198,176	755.149,772	737,451
4	12.898.538,93	1.612.317,366	1.574,529
5	13.046.344,69	1.630.793,086	1.592,571
6	17.131.049,21	2.141.381,151	2.091,193
7	10.960.105,451	1.370.013,181	1.337,903
8	1.868.727,476	233.590,9345	228,116
9	10.887.676,53	1.360.959,566	1.329,062
10	75.352.205,93	9.419.025,741	9.198,267
11	14.914.615,23	1.864.326,904	1.820,632
12	16.260.077,75	2.032.509,719	1.984,873
13	12.213.445,8	1.526.680,725	1.490,899
14	16.023.778,62	2.002.972,328	1.956,028
15	10.118.011,86	1.264.751,483	1.235,109
16	8.502.257,856	1.062.782,232	1.037,873
17	10.648.061,46	1.331.007,683	1.299,812
18	9.619.312,944	1.202.414,118	1.174,233

Pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 merupakan data pemakaian internet atau *traffic* untuk penggunaan *hotspot*. Pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 diperoleh rata-rata pemakaian pada jam sibuk untuk data yang diterima (*inbound*) lebih tinggi dari data yang dikirim (*outbound*).

Data diamati mulai dari Tanggal 1 Maret 2019 sampai 27 Maret 2019 yang dibedakan berdasarkan pemakaian saat

jam sibuk (07.00 – 17.00 WIB) dan saat jam tidak sibuk (18.00 – 06.00 WIB). Berdasarkan data pada Tabel 3.1 diperoleh total pemakaian pada saat jam sibuk adalah sebesar 8.615.374,521 *bit* dengan rata-rata pemakaian per bulannya adalah 1.076.921,815 *byte* atau 1.051,681 *kilobyte per second* (kbps). Sedangkan total pemakaian pada saat jam tidak sibuk adalah sebesar 1.772.820,04 *bit* dengan nilai rata-rata per bulannya adalah 221.602,505 *byte* atau sebesar 216,408 *kilobyte per second* (kbps).

Pada Tabel 3.1 dapat dilihat untuk *traffic* pemakaian tertinggi terjadi pada Tanggal 15 Maret 2019 yaitu sebesar 52.624.780,552 *bit* dengan data yang diterima (*inbound*) sebesar 51.562.948,96 *bit* dan data yang dikirim (*outbound*) adalah 1.061.831,528 *bit*. Pemakaian terbanyak kedua terjadi pada Tanggal 17 Maret 2019 dengan *traffic* pemakaian mencapai 15.770.152,87 *bit* dengan data yang diterima (*inbound*) sebesar 14.492.931,35 *bit* dan data yang dikirim (*outbound*) adalah 1.277.221,52 *bit*, sedangkan untuk pemakaian terendah terjadi pada Tanggal 26 Maret 2019 yaitu sebesar 6.578,744 *bit* dengan data yang diterima (*inbound*)

sebesar 5.120,768 *bit* dan data yang dikirim (*outbound*) 1.457,976 sebesar *bit*.

Pada Tabel 3.2 dapat dilihat bahwa *traffic* pemakaian tertinggi terjadi pada Tanggal 15 Maret 2019 yaitu sebesar 22.727.425,384 *bit* dengan data yang diterima (*inbound*) sebesar 22.178.240,648 *bit* dan data yang dikirim (*outbound*) adalah 549.184,736 *bit*. Pemakaian terbanyak kedua terjadi pada Tanggal 21 Maret 2019 dengan *traffic* pemakaian mencapai 6.438.784,72 *bit* dengan data yang diterima (*inbound*) sebesar 6.243.064,064 *bit* dan data yang dikirim (*outbound*) adalah 195.720,664 *bit*, sedangkan untuk pemakaian terendah pada Tanggal 01 Maret 2019 yaitu sebesar 2.428,216 *bit* dengan data yang diterima (*inbound*) sebesar 1819,688 *bit* dan data yang dikirim (*outbound*) hanya sebesar 608,528 *bit*.

Berdasarkan Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 diperoleh Tabel 3.3. Data yang sebelumnya berjumlah 30 dibentuk menjadi 18 data dengan ketentuan rata-rata penggunaan data *traffic* lebih besar dari 100 kbps. Dari data yang tidak memenuhi ketentuan penggunaan data dibentuk dengan menggabungkan dua data

atau lebih. Untuk data ke-4 diperoleh dengan menjumlahkan data pada Tanggal 04, Tanggal 05 dan Tanggal 06 Maret. Untuk data ke-7 diperoleh dengan menjumlahkan data pada Tanggal 09 dan Tanggal 10 Maret. Untuk data ke- 8 diperoleh dengan menjumlahkan data pada Tanggal 11, Tanggal 12, dan Tanggal 13 Maret. Untuk data ke-13 diperoleh dengan menjumlahkan data pada Tanggal 18, Tanggal 19 dan Tanggal 20 Maret. Untuk data ke-18 diperoleh dengan menjumlahkan data pada Tanggal 25, Tanggal 26 dan Tanggal 27 Maret, sedangkan untuk data pada tanggal lainnya yang sudah memenuhi ketentuan tidak ada perubahan.

Tabel 3.4 Data Pemakaian *Traffic Sisfo* untuk Jam Sibuk dan Jam Tidak Sibuk

Tingkat Konsumsi	Pemakaian <i>Sisfo</i> (bit)	Pemakaian <i>Sisfo</i> (byte)	Pemakaian <i>Sisfo</i> (kbps)
$\bar{X} = \bar{X}_1$	6.145.099,136	768.137,392	750,134
\bar{X}_2	1.271.214,016	158.901,752	155,177
X_m	1.452,08	181,51	0,177
$\bar{Y} = \bar{Y}_1$	3.696.373,44	462.046,680	451,217
\bar{Y}_2	1.040.510,672	130.063,834	127,015
Y_m	688,588	86,073	0,084

Keterangan :

1. \bar{X} atau \bar{X}_1 merupakan rata-rata tingkat konsumsi yang paling maksimum pada saat jam sibuk dalam satuan *kilobyte per second*.

2. \bar{X}_2 merupakan rata-rata tingkat konsumsi yang paling maksimum kedua pada saat jam sibuk dalam satuan *kilobyte per second*.
3. X_m merupakan tingkat konsumsi yang paling minimum pada saat jam sibuk dalam satuan *kilobyte per second*.
4. \bar{Y} atau \bar{Y}_1 merupakan rata-rata tingkat konsumsi yang paling maksimum pada saat jam tidak sibuk dalam satuan *kilobyte per second*.
5. \bar{Y}_2 merupakan rata-rata tingkat konsumsi yang paling maksimum kedua pada saat jam tidak sibuk dalam satuan *kilobyte per second*.
6. Y_m merupakan tingkat konsumsi yang paling minimum pada saat jam tidak sibuk dalam satuan *kilobyte per second*.

Tabel 3.5 Traffic pada Hotspot 6 Untuk Data Jam**Sibuk**

No	Tanggal	Jam sibuk		Total Pemakain per Hari
		<i>Inbound</i>	<i>Outbound</i>	
1	1-Maret-2019	44.913.517,048	1.091.508,736	46.005.025,784
2	2-Maret-2019	11.237.183,328	2.310.424,296	13.547.607,624
3	3-Maret-2019	10.081.765,008	589.113,504	10.670.878,512
4	4-Maret-2019	4.804,864	1.407,128	6.212,000
5	5-Maret-2019	4.704,224	1.307,488	6.011,720
6	6-Maret-2019	20.114.847,648	3.283.302,576	23.398.150,224
7	7-Maret-2019	22.147.581,664	1.799.106,432	23.946.688,096
8	8-Maret-2019	15.679.197,408	3.483.691,568	19.162.888,976
9	9-Maret-2019	156.114,808	1.393,52	157.508,328
10	10-Maret-2019	13.793.406,824	1.166.410,264	14.959.817,088
11	11- Maret-2019	4.731,608	1.335,496	6.067,104
12	12- Maret-2019	18.743,000	7.413,88	26.156,880
13	13-Maret-2019	125.380.056,640	1.992.167,04	127.372.223,680
14	14-Maret-2019	11.507.209,952	764.068,448	12.271.278,400
15	15-Maret-2019	23.325.686,192	5.628.330,888	28.954.017,080
16	16-Maret-2019	5.575.766,040	753.113,16	6.328.879,192
17	17-Maret-2019	16.785.132,896	9.949.445,976	26.734.578,872
18	18-Maret-2019	1.035.800,720	1.626,088	1.037.426,808
19	19-Maret-2019	4.586,016	1.252,808	5.838,832
20	20-Maret-2019	30.982.919,752	2.045.341,36	33.028.261,112
21	21-Maret-2019	22.948.296,448	5.750.599,6	28.698.896,048
22	22-Maret-2019	23.594.144,528	1.474.012,064	25.068.156,592
23	23-Maret-2019	19.154.534,312	677.528,632	19.832.062,944
24	24-Maret-2019	13.112.935,480	4.978.664	18.091.599,480
25	25-Maret-2019	122.950,936	50.254,608	173.205,544
26	26-Maret-2019	4.681,696	1.354,328	6.036,024
27	27-Maret-2019	35.477.620,312	6.931.326,248	42.408.946,560
<i>Demand per bulan (bit)</i>		2.416.224,164		
<i>Demand per bulan (byte)</i>		302.028,0205		
<i>Demand per bulan (kbyte)</i>		294,949		

**Tabel 3.6 Traffic pada Hotspot 6 Untuk Data Jam
Tidak Sibuk**

No	Tanggal	Jam sibuk		Total Pemakain per Hari
		<i>Inbound</i>	<i>Outbound</i>	
1	1-Maret-2019	4.413.162,360	121.348,528	4.534.510,888
2	2-Maret-2019	1.051.310,568	111.393,72	1.162.704,288
3	3-Maret-2019	287.438,920	114.986,04	402.424,96
4	4-Maret-2019	4.583,960	1.286,096	5.870,056
5	5-Maret-2019	4.583,008	1.256,76	5.839,768
6	6-Maret-2019	2.458.038,224	92.204,72	2.550.242,952
7	7-Maret-2019	2.092.142,712	81.995,112	2.174.137,824
8	8-Maret-2019	2.741.229,432	9.051,76	2.750.281,192
9	9-Maret-2019	4.609,520	1.286,544	5.896,064
10	10-Maret-2019	993.832,504	102.273,544	1.096.106,048
11	11- Maret-2019	4.576,256	1.259,36	5.835,616
12	12- Maret-2019	4.605,440	1.262,808	5.868,248
13	13-Maret-2019	2.679.825,648	109.950,744	2.789.776,4
14	14-Maret-2019	974.304,360	37.254,944	1.011.559,304
15	15-Maret-2019	1.246.387,792	56.519,52	1.302.907,312
16	16-Maret-2019	4.067,256	1.423,496	5.490,744
17	17-Maret-2019	701.884,560	64.978,008	766.862,568
18	18-Maret-2019	4.574,304	1.258,376	5.832,68
19	19-Maret-2019	4.583,720	1.270,04	5.853,768
20	20-Maret-2019	1.981.541,992	150.574,32	2.132.116,304
21	21-Maret-2019	3.023.616,304	98.101,112	3.121.717,416
22	22-Maret-2019	5.178,152	1.872,632	7.050,792
23	23-Maret-2019	1.384.656,112	48.811,024	1.433.467,136
24	24-Maret-2019	2.495.551,648	110.199.000	2.605.750,648
25	25-Maret-2019	935.373,608	47.266,056	982.639,656
26	26-Maret-2019	4.551,800	1.249,896	5.801,696
27	27-Maret-2019	1.444.429,640	70.212,272	1.514.641,912
<i>Demand per bulan (bit)</i>		1.199.673,568		
<i>Demand per bulan (byte)</i>		149.959,196		
<i>Demand per bulan (kbyte)</i>		18.744,8995		

Tabel 3.7 Traffic pada Hotspot 6 yang Dibentuk Menjadi 20 Data (≥ 100 kbps)

No	<i>Demand per Hari (bit)</i>	<i>Demand per Hari (byte)</i>	<i>Demand per Hari (kilobyte)</i>
1	50.539.536,67	6.317.442,084	6.169,377
2	14.710.311,58	1.838.788,948	1.795,692
3	11.073.303,47	1.384.162,934	1.351,722
4	25.972.326,72	3.246.540,84	3.170,450
5	26.120.825,92	3.265.103,24	3.188,577
6	21.193.170,17	2.649.146,271	2.587,057
7	16.231.230,25	2.028.903,781	1.981,351
8	130.194.025,2	16.274.253,15	15.892,825
9	13.282.837,7	1.660.354,713	1.621,440
10	30.256.924,39	3.782.115,549	3.693,472
11	6.334.369,936	791.796,242	773.238,518
12	27.501.441,44	3.437.680,18	3.357,110
13	1.054.952,088	131.869,011	128,778
14	35.160.377,42	4.395.047,178	4.292,038
15	31.820.613,46	3.977.576,683	3.884,352
16	25.265.530,08	3.158.191,26	3.084,171
17	21.265.530,08	2.658.191,26	2.595,890
18	20.697.350,13	2.587.168,766	2.526,532
19	1.167.682,96	145.960,37	142,539
20	43.923.588,44	5.490.448,555	5.361,766

Pada Tabel 3.5 dan Tabel 3.6 merupakan data pemakaian internet atau *traffic* untuk penggunaan *hotspot* 6. Pada Tabel 3.5 dan Tabel 3.6 diperoleh rata-rata pemakaian pada jam sibuk untuk data yang diterima (*inbound*) lebih tinggi dari data yang dikirim (*outbound*).

Data diamati mulai dari Tanggal 1 Maret 2019 sampai 27 Maret 2019 yang dibedakan berdasarkan pemakaian saat jam sibuk (07.00 – 17.00 WIB) dan saat jam tidak sibuk (18.00 – 06.00 WIB). Berdasarkan data pada Tabel 3.5 diperoleh total pemakaian pada saat jam sibuk adalah sebesar 521.904.419,50 *bit* dengan rata-rata pemakaian per bulannya adalah 302.028,0205 *byte* atau 294,949 *kilobyte per second* (kbps). Sedangkan total pemakaian pada saat jam tidak sibuk adalah sebesar 32.391.186,24 *bit* dengan nilai rata-rata per bulannya adalah 149.959,196 *byte* atau sebesar 18.744,8995 *kilobyte per second* (kbps).

Pada Tabel 3.5 dapat dilihat untuk *traffic* pemakaian tertinggi terjadi pada Tanggal 13 Maret 2019 yaitu sebesar 127.372.223,680 *bit* dengan data yang diterima (*inbound*) sebesar 125.380.056,640 *bit* dan data yang dikirim (*outbound*) adalah 1.992.167,04 *bit*. Pemakaian terbanyak kedua terjadi pada Tanggal 01 Maret 2019 dengan *traffic* pemakaian mencapai 46.005.025,784 *bit* dengan data yang diterima (*inbound*) sebesar 44.913.517,048 *bit* dan data yang dikirim (*outbound*) adalah 1.091.508,736 *bit*, sedangkan untuk

pemakaian terendah terjadi pada Tanggal 19 Maret 2019 yaitu sebesar 5.838,832 *bit* dengan data yang diterima (*inbound*) sebesar 4.586,016 *bit* dan data yang dikirim (*outbound*) sebesar 1.252,808 *bit*.

Pada Tabel 3.6 dapat dilihat bahwa *traffic* pemakaian tertinggi terjadi pada Tanggal 01 Maret 2019 yaitu sebesar 4.534.510,888 *bit* dengan data yang diterima (*inbound*) sebesar 4.413.162,360 *bit* dan data yang dikirim (*outbound*) adalah 121.348,528 *bit*. Pemakaian terbanyak kedua terjadi pada Tanggal 21 Maret 2019 dengan *traffic* pemakaian mencapai 3.121.717,416 *bit* dengan data yang diterima (*inbound*) sebesar 3.023.616,304 *bit* dan data yang dikirim (*outbound*) adalah 98.101,112 *bit*, sedangkan untuk pemakaian terendah pada Tanggal 16 Maret 2019 yaitu sebesar 5.490,744 *bit* dengan data yang diterima (*inbound*) sebesar 4.067,256 *bit* dan data yang dikirim (*outbound*) hanya sebesar 1.423,496 *bit*.

Berdasarkan Tabel 3.5 dan Tabel 3.6 diperoleh Tabel 3.7. Data yang sebelumnya berjumlah 30 dibentuk menjadi 20 data dengan ketentuan rata-rata penggunaan data *traffic* lebih besar dari 100 kbps. Dari data yang tidak memenuhi ketentuan

penggunaan data dibentuk dengan menggabungkan dua data atau lebih. Untuk data ke-4 diperoleh dengan menjumlahkan data pada Tanggal 04, Tanggal 05 dan Tanggal 06 Maret. Untuk data ke-7 diperoleh dengan menjumlahkan data pada Tanggal 09, Tanggal 10 dan Tanggal 11 Maret. Untuk data ke-8 diperoleh dengan menjumlahkan data pada Tanggal 12, dan Tanggal 13 Maret. Untuk data ke-13 diperoleh dengan menjumlahkan data pada Tanggal 18 dan Tanggal 19 Maret. Untuk data ke-19 diperoleh dengan menjumlahkan data pada Tanggal 25 dan Tanggal 26 Maret, sedangkan untuk data pada tanggal lainnya yang sudah memenuhi ketentuan tidak ada perubahan.

Tabel 3.8 Data Pemakaian *Traffic* untuk Jam Sibuk dan Jam Tidak Sibuk

Tingkat Konsumsi	Pemakaian <i>Sisfo</i> (bit)	Pemakaian <i>Sisfo</i> (byte)	Pemakaian <i>Sisfo</i> (kbps)
$\bar{X} = \bar{X}_1$	20.896.676,104	2.612.084,513	2.550,863
\bar{X}_2	15.624.648,320	1.953.081,04	1.907,305
X_m	1.252,808	156,601	0,152
$\bar{Y} = \bar{Y}_1$	1.471.054,12	183.881,765	179,572
\bar{Y}_2	503.968,048	62.996,006	61,519
Y_m	1.249,896	156,237	0,152

Keterangan :

1. \bar{X} atau \bar{X}_1 merupakan rata-rata tingkat konsumsi yang paling maksimum pada saat jam sibuk dalam satuan *kilobyte per second*.

2. \bar{X}_2 merupakan rata-rata tingkat konsumsi yang paling maksimum kedua pada saat jam sibuk dalam satuan *kilobyte per second*.
3. X_m merupakan tingkat konsumsi yang paling minimum pada saat jam sibuk dalam satuan *kilobyte per second*.
4. \bar{Y} atau \bar{Y}_1 merupakan rata-rata tingkat konsumsi yang paling maksimum pada saat jam tidak sibuk dalam satuan *kilobyte per second*.
5. \bar{Y}_2 merupakan rata-rata tingkat konsumsi yang paling maksimum kedua pada saat jam tidak sibuk dalam satuan *kilobyte per second*.
6. Y_m merupakan tingkat konsumsi yang paling minimum pada saat jam tidak sibuk dalam satuan *kilobyte per second*.

Dari data untuk model C-RAN tersebut, maka perlu diketahui data *traffic* hotspot dalam satuan *byte* untuk model *Selfish Users* sebagai berikut :

Tabel 3.9 Traffic pada Hotspot 5 Untuk Data Jam**Sibuk**

No	Tanggal	Jam sibuk		Total Pemakain per Hari
		<i>Inbound</i>	<i>Outbound</i>	
1	1-Maret-2019	705480,940	37485,158	742966,098
2	2-Maret-2019	1587482,765	48751,564	1636234,329
3	3-Maret-2019	711965,078	42390,824	754355,901
4	4-Maret-2019	648,764	184,834	833,597
5	5-Maret-2019	648,345	185,338	833,683
6	6-Maret-2019	1108516,798	493709,269	1602226,067
7	7-Maret-2019	1372077,391	70834,389	1442911,780
8	8-Maret-2019	1569670,536	243289,013	1812959,549
9	9-Maret-2019	657,081	192,037	849,117
10	10-Maret-2019	1216454,437	95663,314	1312117,751
11	11- Maret-2019	657,283	197,210	854,492
12	12- Maret-2019	649,162	189,923	839,085
13	13-Maret-2019	999713,887	170298,613	1170012,500
14	14-Maret-2019	1270899,363	48176,874	1319076,237
15	15-Maret-2019	6445368,628	132728,941	6578097,569
16	16-Maret-2019	1356238,936	189458,988	1545697,924
17	17-Maret-2019	1811616,419	159652,690	1971269,109
18	18-Maret-2019	3690,451	1945,432	5635,883
19	19-Maret-2019	642,640	181,510	824,150
20	20-Maret-2019	1307809,837	107517,840	1415327,677
21	21-Mare-2019	1126438,506	71685,732	1198124,238
22	22-Maret-2019	1002591,914	212860,940	1215452,854
23	23-Maret-2019	974039,724	65384,884	1039424,608
24	24-Maret-2019	1093228,597	170481,703	1263710,300
25	25-Maret-2019	1236,253	750,346	1986,599
26	26-Maret-2019	640,096	182,247	822,343
27	27-Maret-2019	861642,987	181802,582	1043445,569
	<i>Demand</i>	982618,771	94303,044	1076921,815

Tabel 3.10 Traffic pada Hotspot 5 Untuk Data Jam**Tidak Sibuk**

No	Tanggal	Jam sibuk		Total Pemakain per Hari
		<i>Inbound</i>	<i>Outbound</i>	
1	1-Maret-2019	227,461	76,066	303,527
2	2-Maret-2019	655307,720	6799,877	662107,597
3	3-Maret-2019	32270,621	6799,877	39070,498
4	4-Maret-2019	606,541	187,330	793,871
5	5-Maret-2019	645,445	183,176	828,621
6	6-Maret-2019	6327,376	1224,152	7551,527
7	7-Maret-2019	185154,308	2726,998	187881,306
8	8-Maret-2019	320062,744	8358,857	328421,602
9	9-Maret-2019	649,828	186,761	836,588
10	10-Maret-2019	51170,465	5039,260	56209,725
11	11- Maret-2019	638,695	178,651	817,345
12	12- Maret-2019	637,877	178,614	816,491
13	13-Maret-2019	215829,021	13264,488	229093,509
14	14-Maret-2019	38685,792	3197,537	41883,329
15	15-Maret-2019	2772280,081	68648,092	2840928,173
16	16-Maret-2019	298768,939	19860,041	318628,980
17	17-Maret-2019	30182,525	31058,085	61240,610
18	18-Maret-2019	637,494	178,430	815,924
19	19-Maret-2019	639,192	178,743	817,936
20	20-Maret-2019	98384,256	4874,898	103259,154
21	21-Maret-2019	780383,008	24465,083	804848,090
22	22-Maret-2019	46479,900	2818,725	49298,625
23	23-Maret-2019	22411,001	946,622	23357,624
24	24-Maret-2019	57249,890	10047,493	67297,383
25	25-Maret-2019	646,336	180,007	826,343
26	26-Maret-2019	638,580	185,223	823,803
27	27-Maret-2019	149300,273	5209,188	154509,461
	<i>Demand</i>	213563,532	8038,973	221602,505

Tabel 3.9 dan 3.10 diperoleh dari penjumlahan dari seluruh data yang dihabiskan pada satu hari penggunaan

dalam kurun waktu dua puluh tujuh hari pada data hotspot 5. Yang diubah dari satuan asli data yaitu *bit* ke satuan data *byte*.

Tabel 3.11 Traffic pada Hotspot 6 Untuk Data Jam Sibuk

No	Tanggal	Jam sibuk		Total Pemakain per Hari
		<i>Inbound</i>	<i>Outbound</i>	
1	1-Maret-2019	5614189,631	136438,592	5750628,223
2	2-Maret-2019	1404647,916	288803,037	1693450,953
3	3-Maret-2019	1260220,626	73639,188	1333859,814
4	4-Maret-2019	600,608	175,891	776,500
5	5-Maret-2019	588,028	163,436	751,465
6	6-Maret-2019	2514355,956	410412,822	2924768,778
7	7-Maret-2019	2768447,708	224888,304	2993336,012
8	8-Maret-2019	1959899,676	435461,446	2395361,122
9	9-Maret-2019	19514,351	174,190	19688,541
10	10-Maret-2019	1724175,853	145801,283	1869977,136
11	11- Maret-2019	591,451	166,937	758,388
12	12- Maret-2019	2342,875	926,735	3269,610
13	13-Maret-2019	15672507,080	249020,880	15921527,960
14	14-Maret-2019	1438401,244	95508,556	1533909,800
15	15-Maret-2019	2915710,774	703541,361	3619252,135
16	16-Maret-2019	696970,755	94139,145	791109,899
17	17-Maret-2019	2098141,612	1243680,747	3341822,359
18	18-Maret-2019	129475,090	203,261	129678,351
19	19-Maret-2019	573,252	156,601	729,854
20	20-Maret-2019	3872864,969	255667,670	4128532,639
21	21-Maret-2019	2868537,056	718824,950	3587362,006
22	22-Maret-2019	2949268,066	184251,508	3133519,574
23	23-Maret-2019	2394316,789	84691,079	2479007,868
24	24-Maret-2019	1639116,935	622333,000	2261449,935
25	25-Maret-2019	15368,867	6281,826	21650,693
26	26-Maret-2019	585,212	169,291	754,503
27	27-Maret-2019	4434702,539	866415,781	5301118,320
<i>Demand</i>		2162819,071	253405,093	2416224,164

Tabel 3.12 Traffic pada Hotspot 6 Untuk Data Jam**Tidak Sibuk**

No	Tanggal	Jam sibuk		Total Pemakain per Hari
		<i>Inbound</i>	<i>Outbound</i>	
1	1-Maret-2019	551645,295	15168,566	566813,861
2	2-Maret-2019	131413,821	13924,215	145338,036
3	3-Maret-2019	35929,865	14373,255	50303,120
4	4-Maret-2019	572,995	160,762	733,757
5	5-Maret-2019	572,876	157,095	729,971
6	6-Maret-2019	307254,778	11525,590	318780,369
7	7-Maret-2019	261517,839	10249,389	271767,228
8	8-Maret-2019	342653,679	1131,470	343785,149
9	9-Maret-2019	576,190	160,818	737,008
10	10-Maret-2019	124229,063	12784,193	137013,256
11	11- Maret-2019	572,032	157,420	729,452
12	12- Maret-2019	575,680	157,851	733,531
13	13-Maret-2019	334978,206	13743,843	348722,050
14	14-Maret-2019	121788,045	4656,868	126444,913
15	15-Maret-2019	155798,474	7064,940	162863,414
16	16-Maret-2019	508,407	177,937	686,343
17	17-Maret-2019	87735,570	8122,251	95857,821
18	18-Maret-2019	571,788	157,297	729,085
19	19-Maret-2019	572,965	158,755	731,721
20	20-Maret-2019	247692,749	18821,790	266514,538
21	21-Maret-2019	377952,038	12262,639	390214,677
22	22-Maret-2019	647,269	234,079	881,349
23	23-Maret-2019	173082,014	6101,378	179183,392
24	24-Maret-2019	311943,956	13774,875	325718,831
25	25-Maret-2019	116921,701	5908,257	122829,957
26	26-Maret-2019	568,975	156,237	725,212
27	27-Maret-2019	180553,705	8776,534	189330,239
	<i>Demand</i>	143289,999	6669,196	149959,196

Tabel 3.11 dan 3.12 diperoleh dari penjumlahan dari seluruh data yang dihabiskan pada satu hari penggunaan

dalam kurun waktu dua puluh tujuh hari pada data hotspot 6. Yang diubah dari satuan asli data yaitu *bit* ke satuan data *byte*.

3.2 Perumusan Parameter dan Variabel

Setelah mendeskripsikan data pada *traffic hotspot 5* dan *traffic hotspot 6*, langkah selanjutnya adalah menentukan parameter dan variabel pada masing-masing skema pembiayaan untuk setiap jenis konsumen. Untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan keadaan yang terjadi diperlukan modifikasi untuk model tersebut. Berdasarkan hal itu penulis menggunakan 4 kasus yaitu :

- a. B_0 Sebagai Konstanta dan P^M Sebagai Variabel
- b. B_0 dan P^M Sebagai Konstanta
- c. B_0 Sebagai Variabel dan P^M Sebagai Konstanta
- d. B_0 dan P^M Sebagai Variabel

Dari keempat kasus ini diperoleh parameter dan variabel yang berbeda-beda untuk setiap kasus. Pada Tabel 3.13 menampilkan parameter yang digunakan untuk keempat kasus sedangkan Tabel 3.14 menampilkan variabel yang digunakan untuk keempat kasus.

Tabel 3.13 Parameter untuk Setiap Kasus pada Model C-

RAN

Kasus 1 : B_0 Sebagai Konstanta dan P^M Sebagai Variabel	
B_0	: Ketetapan <i>bandwith</i> yang telah ditentukan ISP
φ_{eff}	: Ketetapan harga <i>bandwidth</i> (Rp)
P_c^R	: Batas pemakaian <i>bandwidth</i> pada jam sibuk
P_{bh}	: Batas pemakaian <i>bandwidth</i> pada jam tidak sibuk
η_R	: Batas atas QoS
η_{ER}	: Batas bawah QoS
δ_0	: Batas tertinggi pemakaian <i>bandwidth</i> oleh <i>user</i>
P_{max}^R	: Maksimum perpindahan <i>bandwidth</i>
d_n^R	: Jumlah konsumsi Maksimum dan Minimum <i>bandwidth</i>
$h_{n,k}^R$: Jumlah konsumsi <i>bandwidth</i> setiap hari (kbps)

Kasus 2 : B_0 dan P^M sebagai Konstanta	
B_0	: Ketetapan <i>bandwith</i> yang telah ditentukan ISP
φ_{eff}	: Ketetapan harga <i>bandwidth</i> (Rp)
P_c^R	: Batas pemakaian <i>bandwidth</i> pada jam sibuk
P_{bh}	: Batas pemakaian <i>bandwidth</i> pada jam tidak sibuk
η_R	: Batas atas QoS
η_{ER}	: Batas bawah QoS
δ_0	: Batas tertinggi pemakaian <i>bandwidth</i> oleh <i>user</i>
P_{max}^R	: Maksimum perpindahan <i>bandwidth</i>
d_n^R	: Jumlah konsumsi Maksimum dan Minimum <i>bandwidth</i>
$h_{n,k}^R$: Jumlah konsumsi <i>bandwidth</i> setiap hari (kbps)
P^M	: Pemakaian awal <i>bandwidth</i>

Kasus 3 : B_0 Sebagai Variabel dan P^M Sebagai Konstanta	
φ_{eff}	: Ketetapan harga <i>bandwidth</i> (Rp)
p_c^R	: Batas pemakaian <i>bandwidth</i> pada jam sibuk
p_{bh}	: Batas pemakaian <i>bandwidth</i> pada jam tidak sibuk
η_R	: Batas atas QoS
η_{ER}	: Batas bawah QoS
δ_0	: Batas tertinggi pemakaian <i>bandwidth</i> oleh <i>user</i>
p_{max}^R	: Maksimum perpindahan <i>bandwidth</i>
d_n^R	: Jumlah konsumsi Maksimum dan Minimum <i>bandwidth</i>
$h_{n,k}^R$: Jumlah konsumsi <i>bandwidth</i> setiap hari (kbps)
p^M	: Pemakaian awal <i>bandwidth</i>
Kasus 4 : B_0 dan P^M Sebagai Variabel	
φ_{eff}	: Ketetapan harga <i>bandwidth</i> (Rp)
p_c^R	: Batas pemakaian <i>bandwidth</i> pada jam sibuk
p_{bh}	: Batas pemakaian <i>bandwidth</i> pada jam tidak sibuk
η_R	: Batas atas QoS
η_{ER}	: Batas bawah QoS
δ_0	: Batas tertinggi pemakaian <i>bandwidth</i> oleh <i>user</i>
p_{max}^R	: Maksimum perpindahan <i>bandwidth</i>
d_n^R	: Jumlah konsumsi Maksimum dan Minimum <i>bandwidth</i>
$h_{n,k}^R$: Jumlah konsumsi <i>bandwidth</i> setiap hari (kbps)

Tabel 3.14 Variabel untuk Setiap Kasus pada Model C-RAN

Kasus 1 : B_0 Sebagai Konstanta dan P^M Sebagai Variabel	
$a_{n,k}$: Indikator alokasi <i>Resource Block</i> (RB) yang bernilai 0 atau 1
$p_{n,k}$: Perpindahan <i>bandwidth</i> dari <i>Resource Block</i> (RB) ke <i>Remote User Equipment</i> (RUE)
d_k^{R2M}	: <i>Path loss</i> yang sesuai dari <i>Remote Radio Heads</i> (RRH) pada <i>ResourceBlock</i> (RB)
h_k^{R2M}	: <i>Channel gain</i> yang sesuai dari <i>Remote Radio Heads</i> (RRH) pada <i>Resource Block</i> (RB)
p^M	: Pemakaian awal <i>bandwidth</i>
d_n^M	: <i>Path loss</i> dari <i>Resource Block</i> (RB) ke <i>Remote User Equipment</i> (RUE)
$h_{n,k}^M$: <i>Channel gain</i> dari <i>Resource Block</i> (RB) ke <i>Remote User Equipment</i> (RUE)
N_0	: Pemakaian <i>bandwidth</i> saat tidak melakukan <i>hosting</i>

Kasus 2 : B_0 dan P^M Sebagai Konstanta	
$a_{n,k}$: Indikator alokasi <i>Resource Block</i> (RB) yang bernilai 0 atau 1
$p_{n,k}$: Perpindahan bandwidth dari <i>Resource Block</i> (RB) ke <i>Remote User Equipment</i> (RUE)
d_k^{R2M}	: <i>Path loss</i> yang sesuai dari <i>Remote Radio Heads</i> (RRH) pada <i>Resource Block</i> (RB)
h_k^{R2M}	: <i>Channel gain</i> yang sesuai dari <i>Remote Radio Heads</i> (RRH) pada <i>Resource Block</i> (RB)
d_n^M	: <i>Path loss</i> dari <i>Resource Block</i> (RB) ke <i>Remote User Equipment</i> (RUE)
$h_{n,k}^M$: <i>Channel gain</i> dari <i>Resource Block</i> (RB) ke <i>Remote User Equipment</i> (RUE)
N_0	: Pemakaian <i>bandwidth</i> saat tidak melakukan <i>hosting</i>
Kasus 3 : B_0 Sebagai Variabel dan P^M Sebagai Konstanta	
$a_{n,k}$: Indikator alokasi <i>Resource Block</i> (RB) yang bernilai 0 atau 1
$p_{n,k}$: Perpindahan bandwidth dari <i>Resource Block</i> (RB) ke <i>Remote User Equipment</i> (RUE)
d_k^{R2M}	: <i>Path loss</i> yang sesuai dari <i>Remote Radio Heads</i> (RRH) pada <i>Resource Block</i> (RB)
h_k^{R2M}	: <i>Channel gain</i> yang sesuai dari <i>Remote Radio Heads</i> (RRH) pada <i>Resource Block</i> (RB)
d_n^M	: <i>Path loss</i> dari <i>Resource Block</i> (RB) ke <i>Remote User Equipment</i> (RUE)
$h_{n,k}^M$: <i>Channel gain</i> dari <i>Resource Block</i> (RB) ke <i>Remote User Equipment</i> (RUE)
B_0	: Ketetapan <i>bandwidth</i> yang telah ditentukan ISP
N_0	: Pemakaian <i>bandwidth</i> saat tidak melakukan <i>hosting</i>

Kasus 4 : B_0 dan P^M Sebagai Variabel	
$a_{n,k}$: Indikator alokasi <i>Resource Block</i> (RB) yang bernilai 0 atau 1
$p_{n,k}$: Perpindahan bandwidth dari <i>Resource Block</i> (RB) ke <i>Remote User Equipment</i> (RUE)
d_k^{R2M}	: <i>Path loss</i> yang sesuai dari <i>Remote Radio Heads</i> (RRH) pada <i>Resource Block</i> (RB)
h_k^{R2M}	: <i>Channel gain</i> yang sesuai dari <i>Remote Radio Heads</i> (RRH) pada <i>Resource Block</i> (RB)
d_n^M	: <i>Path loss</i> dari <i>Resource Block</i> (RB) ke <i>Remote User Equipment</i> (RUE)
$h_{n,k}^M$: <i>Channel gain</i> dari HPN ke <i>Remote User Equipment</i> (RUE)
B_0	: Ketetapan <i>bandwidth</i> yang telah ditentukan ISP
P^M	: Pemakaian awal <i>bandwidth</i>
N_0	: Pemakaian <i>bandwidth</i> saat tidak melakukan <i>hosting</i>

Setelah menentukan parameter dan variabel yang digunakan pada model C-RAN, langkah selanjutnya adalah menentukan besar nilai-nilai dari parameter yang digunakan

dalam model *C-RAN*. Nilai parameter yang telah ditentukan merupakan nilai yang di inputkan pada masing-masing model untuk memperoleh solusi optimal. Nilai parameter yang digunakan disajikan dalam Tabel 3.15 dan Tabel 3.16 berikut:

**Tabel 3.15 Nilai –Nilai Parameter pada *Traffic Hotspot 5*
dan *Traffic Hotspot 6***

Parameter	Nilai (dalam kbps)	
	Hotspot 5	Hotspot 6
Path loss dari Remote Radio Heads (RRH) ($d_1^R = \bar{X}_1$)	750,134	2.550,863
Path loss dari Remote Radio Heads (RRH) ($d_2^R = \bar{X}_2$)	155,177	1.907,305
Path loss dari Remote Radio Heads (RRH) ($d_3^R = X_m$)	0,177	0,152
Path loss dari Remote Radio Heads (RRH) ($d_4^R = \bar{Y}_1$)	451,217	179,572
Path loss dari Remote Radio Heads (RRH) ($d_5^R = \bar{Y}_2$)	127,015	61,519
Path loss dari Remote Radio Heads (RRH) ($d_6^R = Y_m$)	0,084	0,152
Channel gain dari Remote Radio Heads (RRH) (h_{11}^R)	725,849	6.169,377
Channel gain dari Remote Radio Heads (RRH) (h_{12}^R)	2.244,475	1.795,692
Channel gain dari Remote Radio Heads (RRH) (h_{21}^R)	737,451	1.351,722
Channel gain dari Remote Radio Heads (RRH) (h_{22}^R)	1.574,529	3.170,450
Channel gain dari Remote Radio Heads (RRH) (h_{31}^R)	1.592,571	3.188,577
Channel gain dari Remote Radio Heads (RRH) (h_{32}^R)	2.091,193	2.587,057
Channel gain dari Remote Radio Heads (RRH) (h_{41}^R)	1.337,903	1.981,351
Channel gain dari Remote Radio Heads (RRH) (h_{42}^R)	228,116	15.892,825
Channel gain dari Remote Radio Heads (RRH) (h_{51}^R)	1.329,062	1.621,440
Channel gain dari Remote Radio Heads (RRH) (h_{52}^R)	9.198,267	3.693,472
Channel gain dari Remote Radio Heads (RRH) (h_{61}^R)	1.820,632	773.238,518
Channel gain dari Remote Radio Heads (RRH) (h_{62}^R)	1.984,873	3.357,110
Channel gain dari Remote Radio Heads (RRH) (h_{13}^R)	1.490,899	128,778
Channel gain dari Remote Radio Heads (RRH) (h_{23}^R)	1.956,028	4.292,038
Channel gain dari Remote Radio Heads (RRH) (h_{33}^R)	1.235,109	3.884,352
Channel gain dari Remote Radio Heads (RRH) (h_{44}^R)	1.037,873	3.084,171
Channel gain dari Remote Radio Heads (RRH) (h_{45}^R)	1.299,812	2.595,890
Channel gain dari Remote Radio Heads (RRH) (h_{46}^R)	1.174,233	2.526,532
Channel gain dari Remote Radio Heads (RRH) (h_{54}^R)	0	142,539
Channel gain dari Remote Radio Heads (RRH) (h_{55}^R)	0	5.361,766
Channel gain dari Remote Radio Heads (RRH) (h_{56}^R)	0	0
Channel gain dari Remote Radio Heads (RRH) (h_{64}^R)	0	0
Channel gain dari Remote Radio Heads (RRH) (h_{65}^R)	0	0
Channel gain dari Remote Radio Heads (RRH) (h_{66}^R)	0	0

Tabel 3.15 merupakan nilai-nilai parameter yang digunakan di semua kasus yang diperoleh dari Tabel 3.3, Tabel 4.4, Tabel 4.7 dan Tabel 3.8. Untuk Tabel 3.3 dan Tabel

3.6 menjelaskan penggunaan data untuk *Channel gain* dari *Remote Radio Heads* (RRH) ($h_{n,k}^R$) terhadap konsumsi *bandwidth*, sedangkan Tabel 3.4 dan Tabel 3.8 menjelaskan penggunaan data untuk *Path loss* dari *Remote Radio Heads* (RRH) (d_n^R) terhadap konsumsi *bandwidth*.

Tabel 3.15 pemakaian untuk (d_1^R) diperoleh dari jumlah maksimum konsumsi *bandwidth* pada jam sibuk ($\bar{X} = \bar{X}_1$), untuk (d_2^R) diperoleh dari jumlah maksimum ke dua konsumsi *bandwidth* pada jam sibuk (\bar{X}_2) dan untuk (d_3^R) diperoleh dari jumlah minimum konsumsi *bandwidth* pada jam sibuk. Untuk (d_4^R) diperoleh dari jumlah maksimum konsumsi *bandwidth* pada jam tidak sibuk ($\bar{Y} = \bar{Y}_1$), untuk (d_5^R) diperoleh dari jumlah maksimum kedua konsumsi *bandwidth* pada jam tidak sibuk (\bar{Y}_2) dan untuk (d_6^R) diperoleh dari jumlah minimum konsumsi *bandwidth* pada jam tidak sibuk.

Tabel 3.16 Nilai Parameter pada model C-RAN

Parameter	Nilai (dalam <i>kbps</i>)
<i>Bandwidth</i> (B_0)	5000
Efisiensi dari <i>power amplifier</i> (φ_{eff})	500
<i>Circuit bandwidth</i> (P_c^R)	4500
Konsumsi <i>bandwidth</i> dari <i>fronthaul link</i> (P_{bh})	4000
Batas atas QoS (η_R)	128
Batas bawah QoS (η_{ER})	64
Batas yang telah ditentukan (δ_0)	4500
Maksimum perpindahan <i>bandwidth</i> (P_{max}^R)	500
Pemakaian awal <i>bandwidth</i> (P_m)	150

Tabel 3.16 menunjukkan nilai parameter yang digunakan pada semua kasus baik data *traffic hotspot 5* maupun *traffic hotspot 6*.

BAB IV

HASIL MODEL SELFISH USERS DAN C-RAN PADA LINGO

13.0

Setelah menentukan variabel dan nilai-nilai parameter, selanjutnya model *C-RAN* diformulasikan sehingga diperoleh skema pembiayaan internet yang dapat memaksimalkan keuntungan ISP.

4.1 Model Skema Pembiayaan Internet Berdasarkan Pemakaian Data

Berdasarkan Persamaan 2.1 dan Kendala 2.1a sampai Kendala 2.1g, banyaknya jumlah Pemakaian *Remote User Equipment* (RUE) terhadap *Remote Radio Heads* (RRH) dipilih sebanyak 3 RUE. Pemakaian *Remote User Equipment* (RUE) terhadap *Resource Block* (RB) dipilih sebanyak 3 RUE. Pemakaian server terhadap *Resource Block* (RB) dipilih sebanyak 2 server. Pada penelitian ini dipilih $N = 3$, $M = 3$, $K = 2$.

Karena

$$\Omega_1 = n \in \{1, \dots, N\};$$

$$\Omega_2 = n \in \{N + 1, \dots, N + M\};$$

$$\Omega_{II} = \Omega_1 \cup \Omega_2$$

sehingga

$$\Omega_1 = n \in \{1,2,3\}$$

$$\Omega_2 = n \in \{4,5,6\}$$

$$\Omega_{II} = \{1,2,3,4,5,6\}$$

Ω_1 Merupakan alokasi *Remote User Equipment* (RUE) terhadap batas atas QoS

Ω_2 Merupakan alokasi *Remote User Equipment* (RUE) terhadap batas bawah QoS

Ω_{II} Merupakan alokasi *Remote User Equipment* (RUE) terhadap *Resource Block*

Tabel 4.1 Nilai Parameter pada model *Selfish Users*

Parameter	Nilai
Waktu yang dipakai dalam model ini (T)	2 jam
Phi (π)	3,14
Nilai parameter kimia (β)	0,5
Basis logaritma (e)	2,71
Konsumsi jatah bandwidth energi perangkat ketika terhubung (d)	10.240 Kb
Konsumsi baterai per jarak unit (η)	6 jam
Koefisien propagasi (n)	2,71

Tabel 4.1 menunjukkan nilai parameter yang digunakan pada semua kasus baik data *traffic hotspot 5* maupun *traffic hotspot 6*.

Tabel 4.2 Nilai Variabel pada model *Selfish Users*

Variabel
Tingkat penggunaan baterai ($\zeta(T)$)
Energi perangkat (E)
Fungsi utilitas didasarkan pada throughput yang diterima dan di konsumsi oleh baterai (Ω)
Mewakili nilai throughput dan energi yang dikonsumsi oleh pengguna (C_{ij} and E_{ij})
Nilai bobot (w_1 and w_2)

Tabel 4.2 menunjukkan nilai parameter yang digunakan pada semua kasus baik data *traffic hotspot 5* maupun *traffic hotspot 6*.

4.2 Model Skema Pembiayaan Internet pada Traffic Hotspot 5

Berdasarkan data *traffic hotspot 5* yang disajikan pada Tabel 3.15 dan ketentuan parameter pada Tabel 3.16, pembentukan model skema pembiayaan internet dalam model ini dimodifikasi menjadi 4 Kasus dengan ketentuan pemakaian awal dan jumlah konsumsi *bandwidth* yang telah ditentukan.

4.2.1 Model pada Kasus 1 (B_0 Sebagai Konstanta dan P^M Sebagai Variabel)

Pada skema pembiayaan internet pada Kasus 1 diketahui B_0 sebagai konstanta sedangkan P^M sebagai variabel. Model persamaan yang digunakan untuk Kasus 1 menggunakan fungsi tujuan pada Persamaan (2.1) dan Kendala pada Persamaan (2.1a) sampai Persamaan (2.1g). Dalam kasus ini penentuan *bandwidth* mengikuti ketentuan dari ISP. Selanjutnya nilai parameter yang ada pada Tabel 3.15 dan Tabel 3.16 di inputkan pada Persamaan (2.1), maka dibentuk model *improved* sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Maks} &= \frac{\sum_{n=1}^{3+3} \sum_{k=1}^2 a_{n,k} B_0 \log_2(1 + \sigma_{n,k} p_{n,k})}{\varphi_{\text{eff}} \sum_{n=1}^{3+3} \sum_{k=1}^2 a_{n,k} p_{n,k} + P_c^R + P_{bh}} + \frac{[\sum_i C_{ij}]^{w_1} + [\sum_i E_{ij}]^{w_2}}{\sum_i C_{ij} + \sum_i E_{ij}} \\
 &= (a_{11} 5000 \log_2(1 + \sigma_{11} p_{11}) + a_{12} 5000 \log_2(1 + \sigma_{12} p_{12}) \\
 &\quad + a_{21} 5000 \log_2(1 + \sigma_{21} p_{21}) + a_{22} 5000 \log_2(1 + \sigma_{22} p_{22}) \\
 &\quad + a_{31} 5000 \log_2(1 + \sigma_{31} p_{31}) + a_{32} 5000 \log_2(1 + \sigma_{32} p_{32}) \\
 &\quad + a_{41} 5000 \log_2(1 + \sigma_{41} p_{41}) + a_{42} 5000 \log_2(1 + \sigma_{42} p_{42}) \\
 &\quad + a_{51} 5000 \log_2(1 + \sigma_{51} p_{51}) + a_{52} 5000 \log_2(1 + \sigma_{52} p_{52}) \\
 &\quad + a_{61} 5000 \log_2(1 + \sigma_{61} p_{61}) + a_{62} 5000 \log_2(1 + \sigma_{62} p_{62}))/ \\
 &\quad 500((a_{11} p_{11} + 4500 + 4000) + (a_{12} p_{12} + 4500 + 4000)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +(a_{21} p_{21} + 4500 + 4000) + (a_{22} p_{22} + 4500 + 4000) \\
& +(a_{31} p_{31} + 4500 + 4000) + (a_{32} p_{32} + 4500 + 4000) \\
& +(a_{41} p_{41} + 4500 + 4000) + (a_{42} p_{42} + 4500 + 4000) \\
& +(a_{51} p_{51} + 4500 + 4000) + (a_{52} p_{52} + 4500 + 4000) \\
& +(a_{61} p_{61} + 4500 + 4000) + (a_{62} p_{62} + 4500 + 4000)) + \\
& [C_{11} + C_{21} + C_{31}]^{W_1} + [E_{11} + E_{21} + E_{31}]^{W_2} / C_{11} + \\
& C_{21} + C_{31} + E_{11} + E_{21} + E_{31} \tag{4.1}
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1 a) diperoleh :

$$\begin{aligned}
a_{11} + a_{21} + a_{31} + a_{41} + a_{51} + a_{61} &= 1 \\
a_{12} + a_{22} + a_{32} + a_{42} + a_{52} + a_{62} &= 1 \tag{4.2}
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1 b) diperoleh :

$$\begin{aligned}
C_{11} + C_{12} &\geq 128 \\
C_{21} + C_{22} &\geq 128 \\
C_{31} + C_{32} &\geq 128 \tag{4.3}
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1b), Kendala (2.1f) dan Kendala (2.1g) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{11} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(750,134) (725,849)}{5000N_0} p_{11} \right) + a_{12} 5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(750,134) (2244,475)}{5000N_0} p_{12} \right) + a_{13} 5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(750,134) (1490,899)}{5000N_0} p_{13} \right) \geq 128
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& a_{21} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(155,177) (737,451)}{5000N_0} p_{21} \right) + a_{22} 5000 \log_2 \\
& \quad \left(1 + \frac{(155,177) (1574,529)}{5000N_0} p_{22} \right) + a_{23} 5000 \log_2 \\
& \quad \left(1 + \frac{(155,177) (1956,028)}{5000N_0} p_{32} \right) \geq 128 \\
& a_{31} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(0,177) (1592,571)}{5000N_0} p_{31} \right) + a_{32} 5000 \log_2 \\
& \quad \left(1 + \frac{(0,177) (2091,193)}{5000N_0} p_{32} \right) + a_{33} 5000 \log_2 \\
& \quad \left(1 + \frac{(0,177) (1235,109)}{5000N_0} p_{33} \right) \geq 128 \quad (4.4)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1c) diperoleh :

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

Berdasarkan Kendala (2.1c), Kendala (2.1f) dan Kendala (2.1g) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{44} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(451,217) (1037,873)}{(P^M d_4^M h_{44}^M + 5000N_0)} p_{44} \right) + a_{45} 5000 \log_2 \\
& \quad \left(1 + \frac{(451,217) (1299,812)}{(P^M d_4^M h_{45}^M + 5000N_0)} p_{45} \right) + a_{46} 5000 \log_2 \\
& \quad \left(1 + \frac{(451,217) (1174,233)}{(P^M d_4^M h_{46}^M + 5000N_0)} p_{46} \right) \geq 64 \\
& a_{54} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(127,015) (0)}{(P^M d_5^M h_{54}^M + 5000N_0)} p_{54} \right) + a_{55} 5000 \log_2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left(1 + \frac{(127,015)(0)}{(P^M d_5^M h_{55}^M + 5000N_0)} p_{55}\right) + a_{56} 5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(127,015)(0)}{(P^M d_5^M h_{56}^M + 5000N_0)} p_{56}\right) \geq 64 \\
& a_{64} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(0,084)(0)}{(P^M d_6^M h_{64}^M + 5000N_0)} p_{64}\right) + a_{65} 5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(0,084)(0)}{(P^M d_6^M h_{65}^M + 5000N_0)} p_{65}\right) + a_{66} 5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(0,084)(0)}{(P^M d_6^M h_{66}^M + 5000N_0)} p_{66}\right) \geq 64 \quad (4.6)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1d) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{31} p_{31} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{41} p_{41} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{51} p_{51} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{61} p_{61} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{32} p_{32} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{42} p_{42} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{52} p_{52} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{62} p_{62} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{33} p_{33} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{43} p_{43} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{53} p_{53} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{63} p_{63} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{34} p_{34} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{44} p_{44} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{54} p_{54} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{64} p_{64} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{35} p_{35} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{45} p_{45} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{55} p_{55} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{65} p_{65} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{36} p_{36} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{46} p_{46} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{56} p_{56} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{66} p_{66} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \quad (4.7)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1e) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{11} p_{11} + a_{12} p_{12} + a_{21} p_{21} + a_{22} p_{22} + a_{31} p_{31} + a_{32} p_{32} \\
& + a_{41} p_{41} + a_{42} p_{42} + \\
& a_{51} p_{51} + a_{52} p_{52} + a_{61} p_{61} + a_{62} p_{62} \leq 500 \quad (4.8)
\end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan selfish users diperoleh persamaan pada kasus ini sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
& \frac{[C_{11} + C_{21} + C_{31}]^{W_1} + [E_{11} + E_{21} + E_{31}]^{W_2}}{C_{11} + C_{21} + C_{31} + E_{11} + E_{21} + E_{31}} = \\
& \frac{[3358701,127 + 9574872,394 + 3012381,892]^1 + [4,4262 * 10^{11} + 4,4262 * 10^{11} + 4,4262 * 10^{11}]^2}{3358701,127 + 9574872,394 + 3012381,892 + 4,4262 * 10^{11} + 4,4262 * 10^{11} + 4,4262 * 10^{11}}
\end{aligned}$$

4.2.2 Model pada Kasus 2 (B_0 dan P^M Sebagai Konstanta)

Pada skema pembiayaan internet pada Kasus 2 diketahui bahwa B_0 dan P^M sebagai konstanta. Model persamaan yang digunakan untuk Kasus 2 menggunakan fungsi tujuan pada Persamaan (2.1) dan kendala pada Persamaan (2.1a) sampai Persamaan (2.1g). Selanjutnya nilai parameter yang ada pada Tabel 3.11 dan Tabel 3.12 di inputkan pada Persamaan (2.1), maka dibentuk model *improved* sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\text{Maks} &= \frac{\sum_{n=1}^{3+3} \sum_{k=1}^2 a_{n,k} B_0 \log_2(1 + \sigma_{n,k} p_{n,k})}{\varphi_{\text{eff}} \sum_{n=1}^{3+3} \sum_{k=1}^2 a_{n,k} p_{n,k} + P_c^R + P_{bh}} + \frac{[\sum_i C_{ij}]^{w_1} + [\sum_i E_{ij}]^{w_2}}{\sum_i C_{ij} + \sum_i E_{ij}} \\
&= (a_{11} 5000 \log_2(1 + \sigma_{11} p_{11})) + a_{12} 5000 \log_2(1 + \sigma_{12} p_{12})
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + a_{21} 5000 \log_2(1 + \sigma_{21} p_{21}) + a_{22} 5000 \log_2(1 + \sigma_{22} p_{22}) \\
& + a_{31} 5000 \log_2(1 + \sigma_{31} p_{31}) + a_{32} 5000 \log_2(1 + \sigma_{32} p_{32}) \\
& + a_{41} 5000 \log_2(1 + \sigma_{41} p_{41}) + a_{42} 5000 \log_2(1 + \sigma_{42} p_{42}) \\
& + a_{51} 5000 \log_2(1 + \sigma_{51} p_{51}) + a_{52} 5000 \log_2(1 + \sigma_{52} p_{52}) \\
& + a_{61} 5000 \log_2(1 + \sigma_{61} p_{61}) + a_{62} 5000 \log_2(1 + \sigma_{62} p_{62}) / \\
& 500((a_{11} p_{11} + 4500 + 4000) + (a_{12} p_{12} + 4500 + 4000) \\
& + (a_{21} p_{21} + 4500 + 4000) + (a_{22} p_{22} + 4500 + 4000) \\
& + (a_{31} p_{31} + 4500 + 4000) + (a_{32} p_{32} + 4500 + 4000) \\
& + (a_{41} p_{41} + 4500 + 4000) + (a_{42} p_{42} + 4500 + 4000) \\
& + (a_{51} p_{51} + 4500 + 4000) + (a_{52} p_{52} + 4500 + 4000) \\
& + (a_{61} p_{61} + 4500 + 4000) + (a_{62} p_{62} + 4500 + 4000)) + \\
& [C_{12} + C_{22} + C_{32}]^{W_1} + [E_{12} + E_{22} + E_{32}]^{W_2} / C_{12} + \\
& C_{22} + C_{32} + E_{12} + E_{22} + E_{32} \tag{4.1}
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1 a) diperoleh :

$$\begin{aligned}
a_{11} + a_{21} + a_{31} + a_{41} + a_{51} + a_{61} &= 1 \\
a_{12} + a_{22} + a_{32} + a_{42} + a_{52} + a_{62} &= 1 \tag{4.2}
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1 b) diperoleh :

$$\begin{aligned}
C_{11} + C_{12} &\geq 128 \\
C_{21} + C_{22} &\geq 128 \\
C_{31} + C_{32} &\geq 128 \tag{4.3}
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1b), Kendala (2.1f) dan Kendala (2.1g) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{11} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(750,134) (725,849)}{5000N_0} p_{11} \right) + a_{12} 5000 \log_2 \\
& \quad \left(1 + \frac{(750,134) (2244,475)}{5000N_0} p_{12} \right) + a_{13} 5000 \log_2 \\
& \quad \left(1 + \frac{(750,134) (1490,899)}{5000N_0} p_{13} \right) \geq 128 \\
& a_{21} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(155,177) (737,451)}{5000N_0} p_{21} \right) + a_{22} 5000 \log_2 \\
& \quad \left(1 + \frac{(155,177) (1574,529)}{5000N_0} p_{22} \right) + a_{23} 5000 \log_2 \\
& \quad \left(1 + \frac{(155,177) (1956,028)}{5000N_0} p_{23} \right) \geq 128 \\
& a_{31} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(0,177) (1592,571)}{5000N_0} p_{31} \right) + a_{32} 5000 \log_2 \\
& \quad \left(1 + \frac{(0,177) (2091,193)}{5000N_0} p_{32} \right) + a_{33} 5000 \log_2 \\
& \quad \left(1 + \frac{(0,177) (1235,109)}{5000N_0} p_{33} \right) \geq 128 \quad (4.4)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1c) diperoleh :

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

Berdasarkan Kendala (2.1c), Kendala (2.1f) dan Kendala (2.1g) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{44} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(451,217) (1037,873)}{(150d_4^M h_{44}^M + 5000N_0)} p_{44} \right) + a_{45} 5000 \log_2 \\
& \quad \left(1 + \frac{(451,217) (1299,812)}{(150d_4^M h_{45}^M + 5000N_0)} p_{45} \right) + a_{46} 5000 \log_2 \\
& \quad \left(1 + \frac{(451,217) (1174,233)}{(150d_4^M h_{46}^M + 5000N_0)} p_{46} \right) \geq 64 \\
& a_{54} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(127,015) (0)}{(150d_5^M h_{54}^M + 5000N_0)} p_{54} \right) + a_{55} 5000 \log_2 \\
& \quad \left(1 + \frac{(127,015)(0)}{(150d_5^M h_{55}^M + 5000N_0)} p_{55} \right) + a_{56} 5000 \log_2 \\
& \quad \left(1 + \frac{(127,015) (0)}{(150d_5^M h_{56}^M + 5000N_0)} p_{56} \right) \geq 64 \\
& a_{64} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(0,084) (0)}{(150d_6^M h_{64}^M + 5000N_0)} p_{64} \right) + a_{65} 5000 \log_2 \\
& \quad \left(1 + \frac{(0,084) (0)}{(150d_6^M h_{65}^M + 5000N_0)} p_{65} \right) + a_{66} 5000 \log_2 \\
& \quad \left(1 + \frac{(0,084) (0)}{(150d_6^M h_{66}^M + 5000N_0)} p_{66} \right) \geq 64 \quad (4.6)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1d) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{31} p_{31} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{41} p_{41} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{51} p_{51} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{61} p_{61} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{32} p_{32} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{42} p_{42} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{52} p_{52} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{62} p_{62} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{33} p_{33} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{43} p_{43} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{53} p_{53} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{63} p_{63} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{34} p_{34} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{44} p_{44} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{54} p_{54} d_1^{R2M} h_1^{R2M}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + a_{64} p_{64} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{35} p_{35} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{45} p_{45} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{55} p_{55} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& + a_{65} p_{65} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{36} p_{36} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{46} p_{46} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{56} p_{56} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& + a_{66} p_{66} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \tag{4.7}
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1e) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{11} p_{11} + a_{12} p_{12} + a_{21} p_{21} + a_{22} p_{22} + a_{31} p_{31} + a_{32} p_{32} + \\
& a_{41} p_{41} + a_{42} p_{42} + a_{51} p_{51} + a_{52} p_{52} + a_{61} p_{61} + \\
& a_{62} p_{62} \leq 500 \tag{4.8}
\end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan selfish users diperoleh persamaan pada kasus ini sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
& \frac{[C_{12} + C_{22} + C_{32}]W_1 + [E_{12} + E_{22} + E_{32}]W_2}{C_{12} + C_{22} + C_{32} + E_{12} + E_{22} + E_{32}} = \\
& \frac{[5983722,969 + 4122359,572 + 3024851,055]^1 + [4,4262 * 10^{11} + 4,4262 * 10^{11} + 4,4262 * 10^{11}]^2}{5983722,969 + 4122359,572 + 3024851,055 + 4,4262 * 10^{11} + 4,4262 * 10^{11} + 4,4262 * 10^{11}}
\end{aligned}$$

4.2.3 Model pada Kasus 3 (B_0 Sebagai Variabel dan P^M Sebagai Konstanta)

Pada skema pembiayaan internet pada Kasus 3 diketahui B_0 sebagai variabel dan P^M sebagai konstanta. Model persamaan yang digunakan untuk Kasus 3 menggunakan fungsi tujuan pada Persamaan (2.1) dan kendala

pada Persamaan (2.1a) sampai Persamaan (2.1g). Selanjutnya nilai parameter yang ada pada Tabel 3.11 dan Tabel 3.12 di inputkan pada Persamaan (2.1), maka dibentuk model *improved* sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
\text{Maks} &= \frac{\sum_{n=1}^{3+3} \sum_{k=1}^2 a_{n,k} B_0 \log_2(1 + \sigma_{n,k} p_{n,k})}{\varphi_{\text{eff}} \sum_{n=1}^{3+3} \sum_{k=1}^2 a_{n,k} p_{n,k} + P_c^R + P_{bh}} + \frac{[\sum_i C_{ij}]^{w_1} + [\sum_i E_{ij}]^{w_2}}{\sum_i C_{ij} + \sum_i E_{ij}} \\
&= (a_{11} B_0 \log_2(1 + \sigma_{11} p_{11}) + a_{12} B_0 \log_2(1 + \sigma_{12} p_{12}) \\
&\quad + a_{21} B_0 \log_2(1 + \sigma_{21} p_{21}) + a_{22} B_0 \log_2(1 + \sigma_{22} p_{22}) \\
&\quad + a_{31} B_0 \log_2(1 + \sigma_{31} p_{31}) + a_{32} B_0 \log_2(1 + \sigma_{32} p_{32}) \\
&\quad + a_{41} B_0 \log_2(1 + \sigma_{41} p_{41}) + a_{42} B_0 \log_2(1 + \sigma_{42} p_{42}) \\
&\quad + a_{51} B_0 \log_2(1 + \sigma_{51} p_{51}) + a_{52} B_0 \log_2(1 + \sigma_{52} p_{52}) \\
&\quad + a_{61} B_0 \log_2(1 + \sigma_{61} p_{61}) + a_{62} B_0 \log_2(1 + \sigma_{62} p_{62}))/ \\
&500((a_{11} p_{11} + 4500 + 4000) + (a_{12} p_{12} + 4500 + 4000) \\
&\quad + (a_{21} p_{21} + 4500 + 4000) + (a_{22} p_{22} + 4500 + 4000) \\
&\quad + (a_{31} p_{31} + 4500 + 4000) + (a_{32} p_{32} + 4500 + 4000) \\
&\quad + (a_{41} p_{41} + 4500 + 4000) + (a_{42} p_{42} + 4500 + 4000) \\
&\quad + (a_{51} p_{51} + 4500 + 4000) + (a_{52} p_{52} + 4500 + 4000) \\
&\quad + (a_{61} p_{61} + 4500 + 4000) + (a_{62} p_{62} + 4500 + 4000)) + \\
&[C_{11} + C_{21} + C_{31}]^{W_1} + [E_{11} + E_{21} + E_{31}]^{W_2} / C_{11} + \\
&C_{21} + C_{31} + E_{11} + E_{21} + E_{31} \tag{4.17}
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1 a) diperoleh :

$$\begin{aligned} a_{11} + a_{21} + a_{31} + a_{41} + a_{51} + a_{61} &= 1 \\ a_{12} + a_{22} + a_{32} + a_{42} + a_{52} + a_{62} &= 1 \end{aligned} \quad (4.18)$$

Berdasarkan Kendala (2.1 b) diperoleh :

$$\begin{aligned} C_{11} + C_{12} &\geq 128 \\ C_{21} + C_{22} &\geq 128 \\ C_{31} + C_{32} &\geq 128 \end{aligned} \quad (4.19)$$

Berdasarkan Kendala (2.1b), Kendala (2.1f) dan Kendala (2.1g) diperoleh :

$$\begin{aligned} a_{11} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(750,134) (725,849)}{B_0 N_0} p_{11} \right) + a_{12} 5000 \log_2 \\ \left(1 + \frac{(750,134) (2244,475)}{B_0 N_0} p_{12} \right) + a_{13} 5000 \log_2 \\ \left(1 + \frac{(750,134) (1490,899)}{B_0 N_0} p_{13} \right) &\geq 128 \\ a_{21} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(155,177) (737,451)}{B_0 N_0} p_{21} \right) + a_{22} 5000 \log_2 \\ \left(1 + \frac{(155,177) (1574,529)}{B_0 N_0} p_{22} \right) + a_{23} 5000 \log_2 \\ \left(1 + \frac{(155,177) (1956,028)}{B_0 N_0} p_{23} \right) &\geq 128 \\ a_{31} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(0,177) (1592,571)}{B_0 N_0} p_{31} \right) + a_{32} 5000 \log_2 \\ \left(1 + \frac{(0,177) (2091,193)}{B_0 N_0} p_{32} \right) + a_{33} 5000 \log_2 \end{aligned}$$

$$\left(1 + \frac{(0,177) (1235,109)}{B_0 N_0} p_{33}\right) \geq 128 \quad (4.4)$$

Berdasarkan Kendala (2.1c) diperoleh :

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

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

$$C_{61} + C_{62} \geq 64 \quad (4.5)$$

Berdasarkan Kendala (2.1c), Kendala (2.1f) dan Kendala

(2.1g) diperoleh :

$$a_{44} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(451,217) (1037,873)}{(150d_4^M h_{44}^M + B_0 N_0)} p_{44}\right) + a_{45} 5000 \log_2$$

$$\left(1 + \frac{(451,217) (1299,812)}{(150d_4^M h_{45}^M + B_0 N_0)} p_{45}\right) + a_{46} 5000 \log_2$$

$$\left(1 + \frac{(451,217) (1174,233)}{(150d_4^M h_{46}^M + B_0 N_0)} p_{46}\right) \geq 64$$

$$a_{54} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(127,015) (0)}{(150d_5^M h_{54}^M + B_0 N_0)} p_{54}\right) + a_{55} 5000 \log_2$$

$$\left(1 + \frac{(127,015)(0)}{(150d_5^M h_{55}^M + B_0 N_0)} p_{55}\right) + a_{56} 5000 \log_2$$

$$\left(1 + \frac{(127,015) (0)}{(150d_5^M h_{56}^M + B_0 N_0)} p_{56}\right) \geq 64$$

$$a_{64} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(0,084) (0)}{(150d_6^M h_{64}^M + B_0 N_0)} p_{64}\right) + a_{65} 5000 \log_2$$

$$\left(1 + \frac{(0,084) (0)}{(150d_6^M h_{65}^M + B_0 N_0)} p_{65}\right) + a_{66} 5000 \log_2$$

$$\left(1 + \frac{(0,084) (0)}{(150d_6^M h_{66}^M + B_0 N_0)} p_{66}\right) \geq 64 \quad (4.6)$$

Berdasarkan Kendala (2.1d) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{31} p_{31} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{41} p_{41} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{51} p_{51} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{61} p_{61} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{32} p_{32} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{42} p_{42} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{52} p_{52} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{62} p_{62} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{33} p_{33} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{43} p_{43} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{53} p_{53} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{63} p_{63} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{34} p_{34} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{44} p_{44} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{54} p_{54} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{64} p_{64} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{35} p_{35} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{45} p_{45} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{55} p_{55} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{65} p_{65} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{36} p_{36} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{46} p_{46} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{56} p_{56} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{66} p_{66} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \tag{4.7}
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1e) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{11} p_{11} + a_{12} p_{12} + a_{21} p_{21} + a_{22} p_{22} + a_{31} p_{31} + a_{32} p_{32} + \\
& a_{41} p_{41} + a_{42} p_{42} + a_{51} p_{51} + a_{52} p_{52} + a_{61} p_{61} + \\
& a_{62} p_{62} \leq 500 \tag{4.8}
\end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan selfish users diperoleh persamaan pada kasus ini sebagai berikut :

$$\frac{[C_{11} + C_{21} + C_{31}]^{W_1} + [E_{11} + E_{21} + E_{31}]^{W_2}}{C_{11} + C_{21} + C_{31} + E_{11} + E_{21} + E_{31}} =$$

$$\frac{[418922,621 + 3840192,81 + 86244,2]^1 + [4,4262 * 10^{11} + 4,4262 * 10^{11} + 4,4262 * 10^{11}]^2}{418922,621 + 3840192,81 + 86244,2 + 4,4262 * 10^{11} + 4,4262 * 10^{11} + 4,4262 * 10^{11}}$$

4.2.4 Model pada Kasus 4 (B_0 dan P^M Sebagai Variabel)

Pada skema pembiayaan internet pada Kasus 4 diketahui bahwa B_0 dan P^M sebagai variabel. Model persamaan yang digunakan untuk Kasus 4 menggunakan fungsi tujuan pada Persamaan (2.1) dan Kendala pada Persamaan (2.1a) sampai Persamaan (2.1g). Selanjutnya nilai parameter yang ada pada Tabel 4.11 dan Tabel 4.12 diinputkan pada Persamaan (2.1), maka dibentuk model *improved* sebagai berikut:

$$\text{Maks} = \frac{\sum_{n=1}^{3+3} \sum_{k=1}^2 a_{n,k} B_0 \log_2(1 + \sigma_{n,k} p_{n,k})}{\varphi_{\text{eff}} \sum_{n=1}^{3+3} \sum_{k=1}^2 a_{n,k} p_{n,k} + P_c^R + P_{bh}} + \frac{[\sum_i C_{ij}]^{w_1} + [\sum_i E_{ij}]^{w_2}}{\sum_i C_{ij} + \sum_i E_{ij}}$$

$$= (a_{11} B_0 \log_2(1 + \sigma_{11} p_{11}) + a_{12} B_0 \log_2(1 + \sigma_{12} p_{12})$$

$$+ a_{21} B_0 \log_2(1 + \sigma_{21} p_{21}) + a_{22} B_0 \log_2(1 + \sigma_{22} p_{22})$$

$$+ a_{31} B_0 \log_2(1 + \sigma_{31} p_{31}) + a_{32} B_0 \log_2(1 + \sigma_{32} p_{32})$$

$$+ a_{41} B_0 \log_2(1 + \sigma_{41} p_{41}) + a_{42} B_0 \log_2(1 + \sigma_{42} p_{42})$$

$$+ a_{51} B_0 \log_2(1 + \sigma_{51} p_{51}) + a_{52} B_0 \log_2(1 + \sigma_{52} p_{52})$$

$$+ a_{61} B_0 \log_2(1 + \sigma_{61} p_{61}) + a_{62} B_0 \log_2(1 + \sigma_{62} p_{62}))/$$

$$\begin{aligned}
& 500((a_{11} p_{11} + 4500 + 4000) + (a_{12} p_{12} + 4500 + 4000)) \\
& + (a_{21} p_{21} + 4500 + 4000) + (a_{22} p_{22} + 4500 + 4000) \\
& + (a_{31} p_{31} + 4500 + 4000) + (a_{32} p_{32} + 4500 + 4000) \\
& + (a_{41} p_{41} + 4500 + 4000) + (a_{42} p_{42} + 4500 + 4000) \\
& + (a_{51} p_{51} + 4500 + 4000) + (a_{52} p_{52} + 4500 + 4000) \\
& + (a_{61} p_{61} + 4500 + 4000) + (a_{62} p_{62} + 4500 + 4000)) + \\
& [C_{12} + C_{22} + C_{32}]^{W_1} + [E_{12} + E_{22} + E_{32}]^{W_2} / C_{12} + \\
& C_{22} + C_{32} + E_{12} + E_{22} + E_{32} \quad (4.17)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1 a) diperoleh :

$$\begin{aligned}
a_{11} + a_{21} + a_{31} + a_{41} + a_{51} + a_{61} &= 1 \\
a_{12} + a_{22} + a_{32} + a_{42} + a_{52} + a_{62} &= 1 \quad (4.18)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1 b) diperoleh :

$$\begin{aligned}
C_{11} + C_{12} &\geq 128 \\
C_{21} + C_{22} &\geq 128 \\
C_{31} + C_{32} &\geq 128 \quad (4.19)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1b), Kendala (2.1f) dan Kendala (2.1g) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{11} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(750,134) (725,849)}{B_0 N_0} p_{11} \right) + a_{12} 5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(750,134) (2244,475)}{B_0 N_0} p_{12} \right) + a_{13} 5000 \log_2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left(1 + \frac{(750,134)(1490,899)}{B_0 N_0} p_{13}\right) \geq 128 \\
& a_{21} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(155,177)(737,451)}{B_0 N_0} p_{21}\right) + a_{22} 5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(155,177)(1574,529)}{B_0 N_0} p_{22}\right) + a_{23} 5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(155,177)(1956,028)}{B_0 N_0} p_{32}\right) \geq 128 \\
& a_{31} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(0,177)(1592,571)}{B_0 N_0} p_{31}\right) + a_{32} 5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(0,177)(2091,193)}{B_0 N_0} p_{32}\right) + a_{33} 5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(0,177)(1235,109)}{B_0 N_0} p_{33}\right) \geq 128 \quad (4.4)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1c) diperoleh :

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

Berdasarkan Kendala (2.1c), Kendala (2.1f) dan Kendala (2.1g) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{44} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(451,217)(1037,873)}{(P^M d_4^M h_{44}^M + B_0 N_0)} p_{44}\right) + a_{45} 5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(451,217)(1299,812)}{(P^M d_4^M h_{45}^M + B_0 N_0)} p_{45}\right) + a_{46} 5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(451,217)(1174,233)}{(P^M d_4^M h_{46}^M + B_0 N_0)} p_{46}\right) \geq 64
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& a_{54} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(127,015) (0)}{(P^M d_5^M h_{54}^M + B_0 N_0)} p_{54} \right) + a_{55} 5000 \log_2 \\
& \quad \left(1 + \frac{(127,015)(0)}{(P^M d_5^M h_{55}^M + B_0 N_0)} p_{55} \right) + a_{56} 5000 \log_2 \\
& \quad \left(1 + \frac{(127,015) (0)}{(P^M d_5^M h_{56}^M + B_0 N_0)} p_{56} \right) \geq 64 \\
& a_{64} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(0,084) (0)}{(P^M d_6^M h_{64}^M + B_0 N_0)} p_{64} \right) + a_{65} 5000 \log_2 \\
& \quad \left(1 + \frac{(0,084) (0)}{(P^M d_6^M h_{65}^M + B_0 N_0)} p_{65} \right) + a_{66} 5000 \log_2 \\
& \quad \left(1 + \frac{(0,084) (0)}{(P^M d_6^M h_{66}^M + B_0 N_0)} p_{66} \right) \geq 64 \\
& (4.6)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1d) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{31} p_{31} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{41} p_{41} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{51} p_{51} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{61} p_{61} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{32} p_{32} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{42} p_{42} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{52} p_{52} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{62} p_{62} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{33} p_{33} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{43} p_{43} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{53} p_{53} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{63} p_{63} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{34} p_{34} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{44} p_{44} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{54} p_{54} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{64} p_{64} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{35} p_{35} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{45} p_{45} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{55} p_{55} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{65} p_{65} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{36} p_{36} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{46} p_{46} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{56} p_{56} d_1^{R2M} h_1^{R2M}
\end{aligned}$$

$$+ a_{66} p_{66} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \quad (4.7)$$

Berdasarkan Kendala (2.1e) diperoleh :

$$\begin{aligned} & a_{11} p_{11} + a_{12} p_{12} + a_{21} p_{21} + a_{22} p_{22} + a_{31} p_{31} + a_{32} p_{32} + \\ & a_{41} p_{41} + a_{42} p_{42} + a_{51} p_{51} + a_{52} p_{52} + a_{61} p_{61} + \\ & a_{62} p_{62} \leq 500 \end{aligned} \quad (4.8)$$

Berdasarkan persamaan selfish users diperoleh persamaan pada kasus ini sebagai berikut :

$$\frac{[C_{12} + C_{22} + C_{32}]^{W_1} + [E_{12} + E_{22} + E_{32}]^{W_2}}{C_{12} + C_{22} + C_{32} + E_{12} + E_{22} + E_{32}} =$$

$$\frac{[1136495,485 + 424931,201 + 76481,325]^1 + [4,4262 * 10^{11} + 4,4262 * 10^{11} + 4,4262 * 10^{11}]^2}{1136495,485 + 424931,201 + 76481,325 + 4,4262 * 10^{11} + 4,4262 * 10^{11} + 4,4262 * 10^{11}}$$

4.2.5 Solusi dan Nilai-Nilai Variabel dari Model Skema Pembiayaan Internet pada *Traffic Hotspot 5*

Model yang diperoleh pada Sub Bab 4.3 Dengan menggunakan data Traffic Hotspot 5 dan nilai parameter yang ada selanjutnya Model yang diperoleh diselesaikan menggunakan Program Lingo dan diperoleh solusi optimal pada masing-masing kasus.

Pada Tabel 4.3 menampilkan solusi optimal dari model skema pembiayaan internet pada *Traffic Hotspot 5* untuk Kasus 1, Kasus 2, Kasus 3 dan Kasus 4.

Tabel 4.3 Solusi Optimal Model *Cloud Radio Access Network (C-RAN)* dan *Selfish Users* pada *Traffic Hotspot 5*

Solver Status	Nilai			
	Kasus 1	Kasus 2	Kasus 3	Kasus 4
<i>Model Class</i>	<i>MINLP</i>	<i>MINLP</i>	<i>MINLP</i>	<i>MINLP</i>
<i>State</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>
<i>Objective</i>	0,999997	1	1	1
<i>Infeasibility</i>	0	5,68	0	2,45
<i>Iterations</i>	41	52	41	74
Extended Solver Status				
<i>Solver Type</i>	<i>Branch and Bound</i>	<i>Branch and Bound</i>	<i>Branch and Bound</i>	<i>Branch and Bound</i>
<i>Best Objective</i>	0,999997	1	1	1
<i>Steps</i>	0	0	0	1
<i>Update Interval</i>	2	2	2	2
<i>GMU (K)</i>	66	66	64	66
<i>ER (Sec)</i>	1	1	0	0

Tabel 4.3 menampilkan solusi optimal yang diperoleh dari model *C-RAN* dan *Selfish Users* menggunakan nilai parameter data *traffic Hotspot 5* pada setiap kasus sebagai berikut :

Pada Kasus 1 diperoleh solusi optimalnya yaitu sebesar Rp. 0,999997 /kbps yang didapatkan melalui 41 iterasi dan *Infeasibility* bernilai 0. *Extended solver status* menunjukkan metode yang digunakan dalam kasus ini adalah metode *Branch*

and Bound. Generated Memory Used (GMU) menunjukkan jumlah alokasi memori yang digunakan yaitu sebesar 64K dan lamanya waktu yang digunakan dalam menyelesaikan dan menghasilkan model dinyatakan dalam *Elapsed Runtime (ER)* yaitu sebesar 1 detik.

Pada Kasus 2 diperoleh solusi optimalnya yaitu sebesar Rp.1/kbps yang didapatkan melalui 52 iterasi dan *Infeasibility* bernilai 5,68. *Extended solver status* menunjukkan metode yang digunakan dalam kasus ini adalah metode *Branch and Bound. Generated Memory Used (GMU)* menunjukkan jumlah alokasi memori yang digunakan yaitu sebesar 66K dan lamanya waktu yang digunakan dalam menyelesaikan dan menghasilkan model dinyatakan dalam *Elapsed Runtime (ER)* yaitu sebesar 1 detik.

Pada Kasus 3 diperoleh solusi optimalnya yaitu sebesar Rp. 1/kbps yang didapatkan melalui 41 iterasi dan *Infeasibility* bernilai 0. *Extended solver status* menunjukkan metode yang digunakan dalam kasus ini adalah metode *Branch and Bound. Generated Memory Used (GMU)* menunjukkan jumlah alokasi memori yang digunakan yaitu sebesar 64K dan lamanya waktu

yang digunakan dalam menyelesaikan dan menghasilkan model dinyatakan dalam *Elapsed Runtime* (ER) yaitu sebesar 0 detik.

Pada Kasus 4 diperoleh solusi optimalnya yaitu sebesar Rp. 1/kbps yang didapatkan melalui 74 iterasi dan *Infeasibility* bernilai 2,45. *Extended solver status* menunjukkan metode yang digunakan dalam kasus ini adalah metode *Branch and Bound*. *Generated Memory Used* (GMU) menunjukkan jumlah alokasi memori yang digunakan yaitu sebesar 66K dan lamanya waktu yang digunakan dalam menyelesaikan dan menghasilkan model dinyatakan dalam *Elapsed Runtime* (ER) yaitu sebesar 0 detik.

4.3 Model Skema Pembiayaan Internet pada *Traffic Hotspot 6*

Pembentukan model skema berdasarkan data *traffic hotspot 6* disajikan pada Tabel 3.15 dan ketentuan parameter disajikan pada Tabel 3.16. Dalam model ini terdapat 4 kasus yang dimodifikasi berdasarkan ketentuan pemakaian awal dan jumlah konsumsi *bandwidth* yang telah ditentukan.

4.3.1 Model pada Kasus 1 (B_0 Sebagai Konstanta dan P^M Sebagai Variabel)

Pada skema pembiayaan internet pada Kasus 1 diketahui bahwa B_0 sebagai konstanta sedangkan P^M sebagai variabel. Model persamaan yang digunakan untuk Kasus 1 menggunakan fungsi tujuan pada Persamaan (2.1) dan Kendala pada Persamaan (2.1a) sampai Persamaan (2.1g). Selanjutnya nilai parameter yang ada pada Tabel 4.15 dan Tabel 4.16 di inputkan pada Persamaan (2.1), maka dibentuk model *improved* sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Maks} &= \frac{\sum_{n=1}^{3+3} \sum_{k=1}^2 a_{n,k} B_0 \log_2(1 + \sigma_{n,k} p_{n,k})}{\varphi_{eff} \sum_{n=1}^{3+3} \sum_{k=1}^2 a_{n,k} p_{n,k} + P_c^R + P_{bh}} \\
 &= (a_{11} 5000 \log_2(1 + \sigma_{11} p_{11}) + a_{12} 5000 \log_2(1 + \sigma_{12} p_{12}) \\
 &\quad + a_{21} 5000 \log_2(1 + \sigma_{21} p_{21}) + a_{22} 5000 \log_2(1 + \sigma_{22} p_{22}) \\
 &\quad + a_{31} 5000 \log_2(1 + \sigma_{31} p_{31}) + a_{32} 5000 \log_2(1 + \sigma_{32} p_{32}) \\
 &\quad + a_{41} 5000 \log_2(1 + \sigma_{41} p_{41}) + a_{42} 5000 \log_2(1 + \sigma_{42} p_{42}) \\
 &\quad + a_{51} 5000 \log_2(1 + \sigma_{51} p_{51}) + a_{52} 5000 \log_2(1 + \sigma_{52} p_{52}) \\
 &\quad + a_{61} 5000 \log_2(1 + \sigma_{61} p_{61}) + a_{62} 5000 \log_2(1 + \sigma_{62} p_{62})) / \\
 &\quad 500((a_{11} p_{11} + 4500 + 4000) + (a_{12} p_{12} + 4500 + 4000) \\
 &\quad + (a_{21} p_{21} + 4500 + 4000) + (a_{22} p_{22} + 4500 + 4000)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&+(a_{31} p_{31} + 4500 + 4000) + (a_{32} p_{32} + 4500 + 4000) \\
&+(a_{41} p_{41} + 4500 + 4000) + (a_{42} p_{42} + 4500 + 4000) \\
&+(a_{51} p_{51} + 4500 + 4000) + (a_{52} p_{52} + 4500 + 4000) \\
&+(a_{61} p_{61} + 4500 + 4000) + (a_{62} p_{62} + 4500 + 4000)
\end{aligned}
\tag{4.33}$$

Berdasarkan Kendala (2.1 a) diperoleh :

$$\begin{aligned}
a_{11} + a_{21} + a_{31} + a_{41} + a_{51} + a_{61} &= 1 \\
a_{12} + a_{22} + a_{32} + a_{42} + a_{52} + a_{62} &= 1
\end{aligned}
\tag{4.34}$$

Berdasarkan Kendala (2.1 b) diperoleh :

$$\begin{aligned}
C_{11} + C_{12} &\geq 128 \\
C_{21} + C_{22} &\geq 128 \\
C_{31} + C_{32} &\geq 128
\end{aligned}
\tag{4.35}$$

Berdasarkan Kendala (2.1b), Kendala (2.1f) dan Kendala (2.1g) diperoleh :

$$\begin{aligned}
&a_{11} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.550,863) (6.169,377)}{5000N_0} p_{11} \right) + a_{12} 5000 \log_2 \\
&\quad \left(1 + \frac{(2.550,863) (1.795,692)}{5000N_0} p_{12} \right) + a_{13} 5000 \log_2 \\
&\quad \left(1 + \frac{(2.550,863) (128,778)}{5000N_0} p_{13} \right) \geq 128 \\
&a_{21} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.907,305) (1.351,722)}{5000N_0} p_{21} \right) + a_{22} 5000 \log_2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left(1 + \frac{(1.907,305)(3.170,450)}{5000N_0} p_{22}\right) + a_{23}5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(1.907,305)(4.292,038)}{5000N_0} p_{23}\right) \geq 128 \\
& a_{31}5000 \log_2 \left(1 + \frac{(0,177)(3.188,577)}{5000N_0} p_{31}\right) + a_{32}5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(0,177)(2.587,057)}{5000N_0} p_{32}\right) + a_{33}5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(0,177)(3.884,352)}{5000N_0} p_{33}\right) \geq 128 \quad (4.36)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1c) diperoleh :

$$\begin{aligned}
C_{41} + C_{42} & \geq 64 \\
C_{51} + C_{52} & \geq 64 \\
C_{61} + C_{62} & \geq 64 \quad (4.37)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1c), Kendala (2.1f) dan Kendala (2.1g) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{44} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(179,572)(3.084,171)}{(P^M d_4^M h_{44}^M + 5000N_0)} p_{44}\right) + a_{45} 5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(179,572)(2.595,890)}{(P^M d_4^M h_{45}^M + 5000N_0)} p_{45}\right) + a_{46} 5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(179,572)(2.526,532)}{(P^M d_4^M h_{46}^M + 5000N_0)} p_{46}\right) \geq 64 \\
& a_{54} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(61,519)(142,539)}{(P^M d_5^M h_{54}^M + 5000N_0)} p_{54}\right) + a_{55} 5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(61,519)(5.361,766)}{(P^M d_5^M h_{55}^M + 5000N_0)} p_{55}\right) + a_{56} 5000 \log_2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left(1 + \frac{(61,519) (0)}{(P^M d_5^M h_{56}^M + 5000N_0)} p_{56} \right) \geq 64 \\
& a_{64} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(0,084) (0)}{(P^M d_6^M h_{64}^M + 5000N_0)} p_{64} \right) + a_{65} 5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(0,084) (0)}{(P^M d_6^M h_{65}^M + 5000N_0)} p_{65} \right) + a_{66} 5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(0,084) (0)}{(P^M d_6^M h_{66}^M + 5000N_0)} p_{66} \right) \geq 64 \quad (4.38)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1d) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{31} p_{31} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{41} p_{41} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{51} p_{51} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{61} p_{61} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{32} p_{32} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{42} p_{42} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{52} p_{52} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{62} p_{62} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{33} p_{33} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{43} p_{43} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{53} p_{53} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{63} p_{63} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{34} p_{34} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{44} p_{44} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{54} p_{54} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{64} p_{64} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{35} p_{35} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{45} p_{45} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{55} p_{55} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{65} p_{65} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{36} p_{36} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{46} p_{46} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{56} p_{56} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{66} p_{66} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \quad (4.39)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1e) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 & a_{11} p_{11} + a_{12} p_{12} + a_{21} p_{21} + a_{22} p_{22} + a_{31} p_{31} + a_{32} p_{32} + \\
 & a_{41} p_{41} + a_{42} p_{42} + a_{51} p_{51} + a_{52} p_{52} + a_{61} p_{61} + \\
 & a_{62} p_{62} \leq 500 \qquad (4.40)
 \end{aligned}$$

4.3.2 Model pada Kasus 2 (B_0 dan P^M Sebagai Konstanta)

Pada skema pembiayaan internet pada Kasus 2 diketahui bahwa B_0 dan P^M sebagai konstanta. Model persamaan yang digunakan untuk Kasus 2 menggunakan fungsi tujuan pada Persamaan (2.1) dan Kendala pada Persamaan (2.1a) sampai Persamaan (2.1g). Dalam kasus ini penentuan *bandwidth* mengikuti ketentuan dari ISP. Selanjutnya nilai parameter yang ada pada Tabel 3.11 dan Tabel 3.12 diinputkan pada Persamaan (2.1), maka dibentuk model *improved* sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Maks} &= \frac{\sum_{n=1}^{3+3} \sum_{k=1}^2 a_{n,k} B_0 \log_2(1 + \sigma_{n,k} p_{n,k})}{\varphi_{\text{eff}} \sum_{n=1}^{3+3} \sum_{k=1}^2 a_{n,k} p_{n,k} + P_c^R + P_{bh}} \\
 &= (a_{11} 5000 \log_2(1 + \sigma_{11} p_{11}) + a_{12} 5000 \log_2(1 + \sigma_{12} p_{12}) \\
 &\quad + a_{21} 5000 \log_2(1 + \sigma_{21} p_{21}) + a_{22} 5000 \log_2(1 + \sigma_{22} p_{22}) \\
 &\quad + a_{31} 5000 \log_2(1 + \sigma_{31} p_{31}) + a_{32} 5000 \log_2(1 + \sigma_{32} p_{32}) \\
 &\quad + a_{41} 5000 \log_2(1 + \sigma_{41} p_{41}) + a_{42} 5000 \log_2(1 + \sigma_{42} p_{42})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + a_{51} 5000 \log_2(1 + \sigma_{51} p_{51}) + a_{52} 5000 \log_2(1 + \sigma_{52} p_{52}) \\
& + a_{61} 5000 \log_2(1 + \sigma_{61} p_{61}) + a_{62} 5000 \log_2(1 + \sigma_{62} p_{62}) / \\
& 500((a_{11} p_{11} + 4500 + 4000) + (a_{12} p_{12} + 4500 + 4000) \\
& + (a_{21} p_{21} + 4500 + 4000) + (a_{22} p_{22} + 4500 + 4000) \\
& + (a_{31} p_{31} + 4500 + 4000) + (a_{32} p_{32} + 4500 + 4000) \\
& + (a_{41} p_{41} + 4500 + 4000) + (a_{42} p_{42} + 4500 + 4000) \\
& + (a_{51} p_{51} + 4500 + 4000) + (a_{52} p_{52} + 4500 + 4000) \\
& + (a_{61} p_{61} + 4500 + 4000) + (a_{62} p_{62} + 4500 + 4000))
\end{aligned} \tag{4.41}$$

Berdasarkan Kendala (2.1 a) diperoleh :

$$\begin{aligned}
a_{11} + a_{21} + a_{31} + a_{41} + a_{51} + a_{61} &= 1 \\
a_{12} + a_{22} + a_{32} + a_{42} + a_{52} + a_{62} &= 1
\end{aligned} \tag{4.42}$$

Berdasarkan Kendala (2.1 b) diperoleh :

$$\begin{aligned}
C_{11} + C_{12} &\geq 128 \\
C_{21} + C_{22} &\geq 128 \\
C_{31} + C_{32} &\geq 128
\end{aligned} \tag{4.43}$$

Berdasarkan Kendala (2.1b), Kendala (2.1f) dan Kendala (2.1g) diperoleh :

$$a_{11} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(2.550,863) (6.169,377)}{5000N_0} p_{11} \right) + a_{12} 5000 \log_2$$

$$\begin{aligned}
& \left(1 + \frac{(2.550,863)(1.795,692)}{5000N_0} p_{12}\right) + a_{13} 5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(2.550,863)(128,778)}{5000N_0} p_{13}\right) \geq 128 \\
& a_{21} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(1.907,305)(1.351,722)}{5000N_0} p_{21}\right) + a_{22} 5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(1.907,305)(3.170,450)}{5000N_0} p_{22}\right) + a_{23} 5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(1.907,305)(3.188,577)}{5000N_0} p_{23}\right) \geq 128 \\
& a_{31} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(0,152)(3.188,577)}{5000N_0} p_{31}\right) + a_{32} 5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(0,152)(2.587,057)}{5000N_0} p_{32}\right) + a_{33} 5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(0,152)(3.884,352)}{5000N_0} p_{33}\right) \geq 128 \quad (4.44)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1c) diperoleh :

$$\begin{aligned}
C_{41} + C_{42} & \geq 64 \\
C_{51} + C_{52} & \geq 64 \\
C_{61} + C_{62} & \geq 64 \quad (4.45)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1c), Kendala (2.1f) dan Kendala (2.1g) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{44} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(179,572)(3.084,171)}{(150d_4^M h_{44}^M + 5000N_0)} p_{44}\right) + a_{45} 5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(179,572)(2.595,890)}{(150d_4^M h_{45}^M + 5000N_0)} p_{45}\right) + a_{46} 5000 \log_2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left(1 + \frac{(179,572)(2.526,532)}{(150d_5^M h_{54}^M + 5000N_0)} p_{46}\right) \geq 64 \\
& a_{54} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(61,519)(142,539)}{(150d_5^M h_{54}^M + 5000N_0)} p_{54}\right) + a_{55} 5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(61,519)(5.361,766)}{(150d_5^M h_{55}^M + 5000N_0)} p_{55}\right) + a_{56} 5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(61,519)(0)}{(150d_5^M h_{56}^M + 5000N_0)} p_{56}\right) \geq 64 \\
& a_{64} 5000 \log_2 \left(1 + \frac{(0,152)(0)}{(150d_6^M h_{64}^M + 5000N_0)} p_{64}\right) + a_{65} 5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(0,152)(0)}{(150d_6^M h_{65}^M + 5000N_0)} p_{65}\right) + a_{66} 5000 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(0,152)(0)}{(150d_6^M h_{66}^M + 5000N_0)} p_{66}\right) \geq 64 \quad (4.46)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1d) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{31} p_{31} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{41} p_{41} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{51} p_{51} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{61} p_{61} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{32} p_{32} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{42} p_{42} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{52} p_{52} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{62} p_{62} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{33} p_{33} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{43} p_{43} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{53} p_{53} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{63} p_{63} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{34} p_{34} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{44} p_{44} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{54} p_{54} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{64} p_{64} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{35} p_{35} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{45} p_{45} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{55} p_{55} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& \quad + a_{65} p_{65} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& a_{36} p_{36} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{46} p_{46} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{56} p_{56} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& + a_{66} p_{66} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \quad (4.47)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1e) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{11} p_{11} + a_{12} p_{12} + a_{21} p_{21} + a_{22} p_{22} + a_{31} p_{31} + a_{32} p_{32} + \\
& a_{41} p_{41} + a_{42} p_{42} + a_{51} p_{51} + a_{52} p_{52} + a_{61} p_{61} + \\
& a_{62} p_{62} \leq 500 \quad (4.48)
\end{aligned}$$

4.3.3 Model pada Kasus 2 (B_0 Sebagai Variabel dan P^M Sebagai Konstanta)

Pada skema pembiayaan internet pada Kasus 3 diketahui bahwa B_0 sebagai variabel dan P^M sebagai konstanta. Model persamaan yang digunakan untuk Kasus 3 menggunakan fungsi tujuan pada Persamaan (2.1) dan Kendala dari Persamaan (2.1a) sampai Persamaan (2.1g). Dalam kasus ini penentuan *bandwidth* mengikuti ketentuan dari ISP. Selanjutnya nilai parameter yang ada pada Tabel 4.15 dan Tabel 4.16 di inputkan pada Persamaan (2.1), maka dibentuk model *improved* sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
\text{Maks} &= \frac{\sum_{n=1}^{3+3} \sum_{k=1}^2 a_{n,k} B_0 \log_2(1 + \sigma_{n,k} p_{n,k})}{\varphi_{\text{eff}} \sum_{n=1}^{3+3} \sum_{k=1}^2 a_{n,k} p_{n,k} + P_c^R + P_{bh}} \\
&= (a_{11} B_0 \log_2(1 + \sigma_{11} p_{11}) + a_{12} B_0 \log_2(1 + \sigma_{12} p_{12}))
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + a_{21}B_0 \log_2(1 + \sigma_{21}p_{21}) + a_{22}B_0 \log_2(1 + \sigma_{22}p_{22}) \\
& + a_{31}B_0 \log_2(1 + \sigma_{31}p_{31}) + a_{32}B_0 \log_2(1 + \sigma_{32}p_{32}) \\
& + a_{41}B_0 \log_2(1 + \sigma_{41}p_{41}) + a_{42}B_0 \log_2(1 + \sigma_{42}p_{42}) \\
& + a_{51}B_0 \log_2(1 + \sigma_{51}p_{51}) + a_{52}B_0 \log_2(1 + \sigma_{52}p_{52}) \\
& + a_{61}B_0 \log_2(1 + \sigma_{61}p_{61}) + a_{62}B_0 \log_2(1 + \sigma_{62}p_{62})/ \\
& 500((a_{11} p_{11} + 4500 + 4000) + (a_{12} p_{12} + 4500 + 4000) \\
& + (a_{21} p_{21} + 4500 + 4000) + (a_{22} p_{22} + 4500 + 4000) \\
& + (a_{31} p_{31} + 4500 + 4000) + (a_{32} p_{32} + 4500 + 4000) \\
& + (a_{41} p_{41} + 4500 + 4000) + (a_{42} p_{42} + 4500 + 4000) \\
& + (a_{51} p_{51} + 4500 + 4000) + (a_{52} p_{52} + 4500 + 4000) \\
& + (a_{61} p_{61} + 4500 + 4000) + (a_{62} p_{62} + 4500 + 4000)) \\
& \hspace{15em} (4.49)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1 a) diperoleh :

$$\begin{aligned}
a_{11} + a_{21} + a_{31} + a_{41} + a_{51} + a_{61} &= 1 \\
a_{12} + a_{22} + a_{32} + a_{42} + a_{52} + a_{62} &= 1 \hspace{10em} (4.50)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1 b) diperoleh :

$$\begin{aligned}
C_{11} + C_{12} &\geq 128 \\
C_{21} + C_{22} &\geq 128 \\
C_{31} + C_{32} &\geq 128 \hspace{10em} (4.51)
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1b), Kendala (2.1f) dan Kendala (2.1g)

diperoleh :

$$\begin{aligned}
 & a_{11}B_0 \log_2 \left(1 + \frac{(2.550,863)(6.169,377)}{B_0N_0} p_{11} \right) + a_{12}B_0 \log_2 \\
 & \quad \left(1 + \frac{(2.550,863)(1.795,692)}{B_0N_0} p_{12} \right) + a_{13}B_0 \log_2 \\
 & \quad \left(1 + \frac{(2.550,863)(128,778)}{B_0N_0} p_{13} \right) \geq 128 \\
 & a_{21}B_0 \log_2 \left(1 + \frac{(1.907,305)(1.351,722)}{B_0N_0} p_{21} \right) + a_{22}B_0 \log_2 \\
 & \quad \left(1 + \frac{(1.907,305)(3.170,450)}{B_0N_0} p_{22} \right) + a_{23}B_0 \log_2 \\
 & \quad \left(1 + \frac{(1.907,305)(4.292,038)}{B_0N_0} p_{23} \right) \geq 128 \\
 & a_{31}B_0 \log_2 \left(1 + \frac{(0,152)(3.188,577)}{B_0N_0} p_{31} \right) + a_{32}B_0 \log_2 \\
 & \quad \left(1 + \frac{(0,152)(2.587,057)}{B_0N_0} p_{32} \right) + a_{33}B_0 \log_2 \\
 & \quad \left(1 + \frac{(0,152)(3.884,352)}{B_0N_0} p_{33} \right) \geq 128 \quad (4.52)
 \end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1c) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 C_{41} + C_{42} & \geq 64 \\
 C_{51} + C_{52} & \geq 64 \\
 C_{61} + C_{62} & \geq 64 \quad (4.53)
 \end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1c), Kendala (2.1f) dan Kendala (2.1g) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{44} B_0 \log_2 \left(1 + \frac{(179,572)(3.084,171)}{(150d_3^M h_{31}^M + B_0 N_0)} p_{31} \right) + a_{45} B_0 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(179,572)(2.595,890)}{(150d_3^M h_{32}^M + B_0 N_0)} p_{32} \right) + a_{46} B_0 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(179,572)(2.526,532)}{(150d_3^M h_{32}^M + B_0 N_0)} p_{32} \right) \geq 64 \\
& a_{54} B_0 \log_2 \left(1 + \frac{(61,519)(142,539)}{(150d_3^M h_{31}^M + B_0 N_0)} p_{31} \right) + a_{55} B_0 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(61,519)(5.361,766)}{(150d_3^M h_{32}^M + B_0 N_0)} p_{32} \right) + a_{56} B_0 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(61,519) \cdot (0)}{(150d_3^M h_{32}^M + B_0 N_0)} p_{32} \right) \geq 64 \\
& a_{64} B_0 \log_2 \left(1 + \frac{(0,152)(0)}{(150d_3^M h_{31}^M + B_0 N_0)} \cdot p_{31} \right) + a_{65} B_0 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(0,152)(0)}{(150h_{32}^M + B_0 N_0)} \cdot p_{32} \right) + a_{66} B_0 \log_2 \\
& \left(1 + \frac{(0,152)(0)}{(150d_3^M h_{32}^M + B_0 N_0)} \cdot p_{32} \right) \geq 64 \tag{4.54}
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1d) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{31} p_{31} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{41} p_{41} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{51} p_{51} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& + a_{61} p_{61} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{32} p_{32} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{42} p_{42} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{52} p_{52} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& + a_{62} p_{62} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{33} p_{33} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{43} p_{43} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{53} p_{53} d_1^{R2M} h_1^{R2M}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + a_{63} p_{63} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{34} p_{34} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{44} p_{44} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{54} p_{54} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& + a_{64} p_{64} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{35} p_{35} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{45} p_{45} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{55} p_{55} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& + a_{65} p_{65} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{36} p_{36} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{46} p_{46} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{56} p_{56} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& + a_{66} p_{66} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \tag{4.55}
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1e) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{11} p_{11} + a_{12} p_{12} + a_{21} p_{21} + a_{22} p_{22} + a_{31} p_{31} + a_{32} p_{32} + \\
& a_{41} p_{41} + a_{42} p_{42} + a_{51} p_{51} + a_{52} p_{52} + a_{61} p_{61} + \\
& a_{62} p_{62} \leq 500 \tag{4.56}
\end{aligned}$$

4.3.4 Model pada Kasus 4 (B_0 dan P^M Sebagai Variabel)

Pada skema pembiayaan internet pada Kasus 4 diketahui bahwa B_0 dan P^M sebagai variabel. Model persamaan yang digunakan untuk Kasus 4 menggunakan fungsi tujuan pada Persamaan (2.1) dan Kendala pada Persamaan (2.1a) sampai Persamaan (2.1g). Dalam kasus ini penentuan *bandwidth* mengikuti ketentuan dari ISP. Selanjutnya nilai parameter yang ada pada Tabel 3.11 dan Tabel 3.12 di inputkan pada

Persamaan (2.1), maka dibentuk model *improved* sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
\text{Maks} &= \frac{\sum_{n=1}^{3+3} \sum_{k=1}^2 a_{n,k} B_0 \log_2(1 + \sigma_{n,k} p_{n,k})}{\varphi_{eff} \sum_{n=1}^{3+3} \sum_{k=1}^2 a_{n,k} p_{n,k} + P_c^R + P_{bh}} \\
&= (a_{11} B_0 \log_2(1 + \sigma_{11} p_{11}) + a_{12} B_0 \log_2(1 + \sigma_{12} p_{12}) \\
&\quad + a_{21} B_0 \log_2(1 + \sigma_{21} p_{21}) + a_{22} B_0 \log_2(1 + \sigma_{22} p_{22}) \\
&\quad + a_{31} B_0 \log_2(1 + \sigma_{31} p_{31}) + a_{32} B_0 \log_2(1 + \sigma_{32} p_{32}) \\
&\quad + a_{41} B_0 \log_2(1 + \sigma_{41} p_{41}) + a_{42} B_0 \log_2(1 + \sigma_{42} p_{42}) \\
&\quad + a_{51} B_0 \log_2(1 + \sigma_{51} p_{51}) + a_{52} B_0 \log_2(1 + \sigma_{52} p_{52}) \\
&\quad + a_{61} B_0 \log_2(1 + \sigma_{61} p_{61}) + a_{62} B_0 \log_2(1 + \sigma_{62} p_{62}))/ \\
&500((a_{11} p_{11} + 4500 + 4000) + (a_{12} p_{12} + 4500 + 4000) \\
&\quad + (a_{21} p_{21} + 4500 + 4000) + (a_{22} p_{22} + 4500 + 4000) \\
&\quad + (a_{31} p_{31} + 4500 + 4000) + (a_{32} p_{32} + 4500 + 4000) \\
&\quad + (a_{41} p_{41} + 4500 + 4000) + (a_{42} p_{42} + 4500 + 4000) \\
&\quad + (a_{51} p_{51} + 4500 + 4000) + (a_{52} p_{52} + 4500 + 4000) \\
&\quad + (a_{61} p_{61} + 4500 + 4000) + (a_{62} p_{62} + 4500 + 4000))
\end{aligned} \tag{4.57}$$

Berdasarkan Kendala (2.1 a) diperoleh :

$$\begin{aligned}
a_{11} + a_{21} + a_{31} + a_{41} + a_{51} + a_{61} &= 1 \\
a_{12} + a_{22} + a_{32} + a_{42} + a_{52} + a_{62} &= 1
\end{aligned} \tag{4.58}$$

Berdasarkan Kendala (2.1 b) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 C_{11} + C_{12} &\geq 128 \\
 C_{21} + C_{22} &\geq 128 \\
 C_{31} + C_{32} &\geq 128
 \end{aligned} \tag{4.59}$$

Berdasarkan Kendala (2.1b), Kendala (2.1f) dan Kendala (2.1g) diperoleh :

$$\begin{aligned}
 &a_{11}B_0 \log_2 \left(1 + \frac{(750,134)(6.169,377)}{B_0N_0} p_{11} \right) + a_{12}B_0 \log_2 \\
 &\quad \left(1 + \frac{(750,134)(1.795,692)}{B_0N_0} p_{12} \right) + a_{13}B_0 \log_2 \\
 &\quad \left(1 + \frac{(750,134)(128,778)}{B_0N_0} p_{13} \right) \geq 128 \\
 &a_{21}B_0 \log_2 \left(1 + \frac{(1.907,305)(1.351,722)}{B_0N_0} p_{21} \right) + a_{22}B_0 \log_2 \\
 &\quad \left(1 + \frac{(1.907,305)(3.170,450)}{B_0N_0} p_{22} \right) + a_{23}B_0 \log_2 \\
 &\quad \left(1 + \frac{(1.907,305)(4.292,038)}{B_0N_0} p_{23} \right) \geq 128 \\
 &a_{31}B_0 \log_2 \left(1 + \frac{(0,152)(3.188,577)}{B_0N_0} p_{31} \right) + a_{32}B_0 \log_2 \\
 &\quad \left(1 + \frac{(0,152)(2.587,057)}{B_0N_0} p_{32} \right) + a_{33}B_0 \log_2 \\
 &\quad \left(1 + \frac{(0,152)(3.884,352)}{B_0N_0} p_{33} \right) \geq 128
 \end{aligned} \tag{4.60}$$

Berdasarkan Kendala (2.1c) diperoleh :

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

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

$$C_{61} + C_{62} \geq 64 \quad (4.61)$$

Berdasarkan Kendala (2.1c), Kendala (2.1f) dan Kendala (2.1g) diperoleh :

$$\begin{aligned} & a_{44} B_0 \log_2 \left(1 + \frac{(179,572) (3.084,171)}{(P^M d_3^M h_{31}^M + B_0 N_0)} p_{31} \right) + a_{45} B_0 \log_2 \\ & \left(1 + \frac{(179,572) (2.595,890)}{(P^M d_3^M h_{32}^M + B_0 N_0)} p_{32} \right) + a_{46} B_0 \log_2 \\ & \left(1 + \frac{(179,572) (2.526,532)}{(P^M d_3^M h_{32}^M + B_0 N_0)} p_{32} \right) \geq 64 \\ & a_{54} B_0 \log_2 \left(1 + \frac{(61,519) (142,539)}{(P^M d_3^M h_{31}^M + B_0 N_0)} p_{31} \right) + a_{55} B_0 \log_2 \\ & \left(1 + \frac{(61,519) (5.361,766)}{(P^M d_3^M h_{32}^M + B_0 N_0)} p_{32} \right) + a_{56} B_0 \log_2 \\ & \left(1 + \frac{(61,519) \cdot (0)}{(P^M d_3^M h_{32}^M + B_0 N_0)} p_{32} \right) \geq 64 \\ & a_{64} B_0 \log_2 \left(1 + \frac{(0,152) (0)}{(P^M d_3^M h_{31}^M + B_0 N_0)} p_{31} \right) + a_{65} B_0 \log_2 \\ & \left(1 + \frac{(0,152) (0)}{(P^M h_{32}^M + B_0 N_0)} p_{32} \right) + a_{66} B_0 \log_2 \\ & \left(1 + \frac{(0,152) (0)}{(P^M d_3^M h_{32}^M + B_0 N_0)} p_{32} \right) \geq 64 \quad (4.62) \end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1d) diperoleh :

$$\begin{aligned} & a_{31} p_{31} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{41} p_{41} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{51} p_{51} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\ & + a_{61} p_{61} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\ & a_{32} p_{32} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{42} p_{42} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{52} p_{52} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + a_{62} p_{62} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{33} p_{33} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{43} p_{43} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{53} p_{53} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& + a_{63} p_{63} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{34} p_{34} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{44} p_{44} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{54} p_{54} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& + a_{64} p_{64} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{35} p_{35} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{45} p_{45} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{55} p_{55} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& + a_{65} p_{65} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \\
& a_{36} p_{36} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{46} p_{46} d_1^{R2M} h_1^{R2M} + a_{56} p_{56} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \\
& + a_{66} p_{66} d_1^{R2M} h_1^{R2M} \leq 4500 \tag{4.63}
\end{aligned}$$

Berdasarkan Kendala (2.1e) diperoleh :

$$\begin{aligned}
& a_{11} p_{11} + a_{12} p_{12} + a_{21} p_{21} + a_{22} p_{22} + a_{31} p_{31} + a_{32} p_{32} + \\
& a_{41} p_{41} + a_{42} p_{42} + a_{51} p_{51} + a_{52} p_{52} + a_{61} p_{61} + a_{62} p_{62} \leq 500 \\
& \tag{4.64}
\end{aligned}$$

4.3.5 Solusi Optimal dari Model Skema Pembiayaan Internet pada *Traffic Hotspot 6*

Model yang diperoleh pada Sub Bab 4.4 yaitu diselesaikan menggunakan Program Lingo. Dengan menggunakan data *Traff Hotspot 6* diperoleh solusi optimal pada masing- masing Kasus sebagai berikut:

Pada Tabel 4.4 menampilkan solusi optimal dari model skema pembiayaan internet pada *Traffic Hotspot 6* untuk Kasus

1, Kasus 2, Kasus 3 dan Kasus 4. Tabel 3.15 menampilkan *Best Objective* atau nilai optimum yang diperoleh dengan menerapkan model dengan ketentuan yang ada .

Tabel 4.4 Solusi Optimal Model Cloud Radio Access Network (C-RAN) pada Traffic Hotspot 6

Solver Status	Nilai			
	Kasus 1	Kasus 2	Kasus 3	Kasus 4
<i>Model Class</i>	<i>MINLP</i>	<i>MINLP</i>	<i>MINLP</i>	<i>MINLP</i>
<i>State</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>	<i>Local Optimal</i>
<i>Objective</i>	0,999999	1	1	1
<i>Infeasibility</i>	0	0	0	0
<i>Iterations</i>	18	24	24	24
Extended Solver Status				
<i>Solver Type</i>	<i>Branch and Bound</i>	<i>Branch and Bound</i>	<i>Branch and Bound</i>	<i>Branch and Bound</i>
<i>Best Objective</i>	0,999999	1	1	1
<i>Steps</i>	0	0	0	0
<i>Update Interval</i>	2	2	2	2
<i>GMU (K)</i>	66	66	66	66
<i>ER (Sec)</i>	1	1	1	0

Tabel 4.4 menampilkan solusi optimal yang diperoleh dari model C-RAN dan *Selfish users* menggunakan nilai parameter data hotspot 6 pada setiap kasus sebagai berikut :

Pada Kasus 1 diperoleh solusi optimalnya yaitu sebesar Rp. 0,999999 /kbps yang didapatkan melalui 18 iterasi dan *Infeasibility* bernilai 0. *Extended solver status* menunjukkan metode yang digunakan dalam kasus ini adalah metode *Branch and Bound*. *Generated Memory Used (GMU)* menunjukkan

jumlah alokasi memori yang digunakan yaitu sebesar 66K dan lamanya waktu yang digunakan dalam menyelesaikan dan menghasilkan model dinyatakan dalam *Elapsed Runtime* (ER) yaitu sebesar 1 detik.

Pada Kasus 2 diperoleh solusi optimalnya yaitu sebesar Rp. 1/kbps yang didapatkan melalui 24 iterasi dan *Infeasibility* bernilai 0. *Extended solver status* menunjukkan metode yang digunakan dalam kasus ini adalah metode *Branch and Bound*. *Generated Memory Used* (GMU) menunjukkan jumlah alokasi memori yang digunakan yaitu sebesar 66K dan lamanya waktu yang digunakan dalam menyelesaikan dan menghasilkan model dinyatakan dalam *Elapsed Runtime* (ER) yaitu sebesar 1 detik.

Pada Kasus 3 diperoleh solusi optimalnya yaitu sebesar Rp. 1/kbps yang didapatkan melalui 526 iterasi dan *Infeasibility* bernilai 24. *Extended solver status* menunjukkan metode yang digunakan dalam kasus ini adalah metode *Branch and Bound*. *Generated Memory Used* (GMU) menunjukkan jumlah alokasi memori yang digunakan yaitu sebesar 66K dan lamanya waktu yang digunakan dalam menyelesaikan dan

menghasilkan model dinyatakan dalam *Elapsed Runtime* (ER) yaitu sebesar 1 detik.

Pada Kasus 4 diperoleh solusi optimalnya yaitu sebesar Rp. 1/kbps yang didapatkan melalui 35 iterasi dan *Infeasibility* bernilai

0. *Extended solver status* menunjukkan metode yang digunakan dalam kasus ini adalah metode *Branch and Bound*. *Generated Memory Used* (GMU) menunjukkan jumlah alokasi memori yang digunakan yaitu sebesar 66K dan lamanya waktu yang digunakan dalam menyelesaikan dan menghasilkan model dinyatakan dalam *Elapsed Runtime* (ER) yaitu sebesar 0 detik.

4.4 Rekapitulasi Solusi Model Skema Pembiayaan Internet pada *Traffic Hotspot 5* dan *Traffic Hotspot 6*

Hasil rekapitulasi solusi model pada Kasus 1 sampai Kasus 4 untuk pemakaian data *Traffic Hotspot 5* disajikan pada Tabel 4.3 dan hasil rekapitulasi solusi model pada Kasus 1 sampai Kasus 4 untuk pemakaian data *Traffic Hotspot 6* disajikan pada Tabel 4.4. Berdasarkan Tabel 4.3 dan Tabel 4.4

dibentuk rekapitulasi solusi model untuk data *Traffic Hotspot 5* dan *Traffic Hotspot 6* pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Rekapitulasi Solusi Model Skema Pembiayaan Internet pada *Traffic Hotspot 5* dan *Traffic Hotspot 6*

Solver Status								
	Traffic Sisco				Traffic File			
	Kasus 1	Kasus 2	Kasus 3	Kasus 4	Kasus 1	Kasus 2	Kasus 3	Kasus 4
<i>Model Class</i>	MINLP	MINLP	MINLP	MINLP	MINLP	MINLP	MINLP	MINLP
<i>State</i>	Local Optimal	Local Optimal	Local Optimal	Local Optimal	Local Optimal	Local Optimal	Local Optimal	Local Optimal
<i>Objective</i>	0,9997	1	1	1	0,9999	1	1	1
<i>Infeasibility</i>	0	5,68	0	2,45	0	0	0	0
<i>Iterations</i>	41	52	41	74	18	24	24	35
Extended Solver Status								
<i>Solver Type</i>	Branch and Bound	Branch and Bound	Branch and Bound	Branch and Bound	Branch and Bound	Branch and Bound	Branch and Bound	Branch and Bound
<i>Best Objective</i>	0,9997	1	1	1	0,9999	1	1	1
<i>Update Interval</i>	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>GMU (K)</i>	66	66	64	66	66	66	66	66
<i>ER (Sec)</i>	1	1	0	0	1	1	1	0

Berdasarkan hasil rekapitulasi solusi model penggunaan data *Traffic Hotspot 5* dan *Traffic Hotspot 6* pada Tabel 4.5 diperoleh keuntungan maksimum pada Kasus 1 dan Kasus 2 untuk penggunaan data *Traffic Hotspot 5* dan *Traffic Hotspot 6* yakni sebesar Rp 1 /kbps. Solusi optimal dari model ini diperoleh dengan *Extended solver status* yang menunjukkan

bahwa metode yang digunakan dalam kasus ini adalah metode *Branch and Bound. Generated Memory Used (GMU)* menunjukkan jumlah alokasi memori yang digunakan yaitu sebesar 66K kecuali pada *Traffic Hotspot 5* di kasus 3 sebesar 64K dan lamanya waktu yang digunakan dalam menyelesaikan dan menghasilkan model dinyatakan dalam *Elapsed Runtime (ER)* yaitu sebesar 1 detik.

4.5 KESIMPULAN

Berdasarkan dari dua metode diatas dapat disimpulkan untuk kepuasan pengguna terhadap layanan internet yang mencapai maksimum dengan harga Rp. 1; per *byte* setiap waktu pengaksesan.

DAFTAR PUSTAKA

- Byun, J., & Chatterjee, S. (2004). A Strategic Pricing for Quality of Service (QoS) Network Business. Paper presented at the proceeding of the Tenth Americas Conference on Information Systems, New York.
- Galeh, F. E. A., P, R., & H.H, M. (2017). Manajemen Bandwidth dan Manajemen Pengguna pada Jaringan Wireless Mesh Network dengan Mikrotik. 1(11), 1126-1235.
- Gunawan, A.H. (2008). Quality of Service dalam Data Komunikasi. Retrieved 25 Agustus 2019, from [http://www.academia.edu/30432517/Quality of Service d
alam Komunikasi Data](http://www.academia.edu/30432517/Quality_of_Service_dalam_Komunikasi_Data)
- Indiarto, E., E.N, L., & Fauziati, S. (2017). Quality of Experience (QoE) Assesment pada layanan Broadband Internet Personal, Keluarga di Lingkungan Urban dan Program Desa Internet (PILK). 1-10.
- Indrawati, Puspita, F. M., Erlita, S., Nadeak, I., & Arisha, B. (2018). Optimasi Model Cloud Radio Access Network (C-RAN) pada Efisiensi Konsumsi Bandwidth dalam Jaringan. Paper presented at the Prosiding Annual Research Seminar 2017, Computer Science and ICT 3(1): 117-120.
- Indrawati, Puspita, F. M., Ernelita, S., Nadeak, I., & Arisha, B. (2018). LINGO-Based Optimization Problem of Cloud Computing of Bandwidth Consumption in The Internet.
- Indrawati, Puspita, F. M., Erlita, S., Nadeak, I., & Arisha, B. (2018). LINGO-Based Optimization Problem of Cloud Computing Of Bandwidth Consumption in The Internet Paper presented at the Conference On Information And Communications Technology (ICOIACT).

- Iskandar, I., & Hidayat, A. (2015). Analisa Quality of Service (QoS) Jaringan Internet Kampus (Studi Kasus: UIN Suska Riau). *CoreIT*, 1, 67-76.
- Jiang, M., & Mahmoodi, T. (2016). Traffic Management in 5G Mobile Networks: Selfish Users and Fair Network. *Departement of Informatics Kings's College London*, 4(1), 2054-7420.
- Kamarullah, A. H. (2009). Penerapan Metode Quality Of Service pada jaringan Traffic yang padat. *Jurnal jaringan komputer universitas sriwijaya*.
- Maryono, Y., Istiana, B.P. (2006). Teknologi Informasi & Komunikasi. In A.B. Darmadi (Ed): Quadra.
- Max, M. (2019). Pengertian ISP. from <https://www.maxmanroe.com/vid/teknologi/internet/pengertian-isp.html>
- Permaza, B. (2017). Apa Itu Internet?, from <http://itjambi.com/apa-itu-internet/>.
- Pratiwi, P.E., Isnawati, A.F., Hikmaturokhman, A. (2012). Analisis QoS Pada Jaringan Multi Protocol Label Switching (Mpls) Studi Kasus Di Pelabuhan Indonesia lii Cabang Tanjung Intan Cilacap
- Puspita, F. M., Irmeilyana, Indrawati, Agustin, R. T., & Ulfa, M. (2017). Wireless Single Link PRICING Scheme Under Multi Service Network With Bandwidth QOS Attribute. 12(12)
- Puspita, F. M., Irmeilyana, & Indrawati. (2014). An Improved Model of Internet Pricing Scheme of Multi Link Multi Service Network with Various Value of Base Price, Quality Premium and QoS Level. Paper presented at the 1st International Conference on Computer Science and Engineering, Palembang, South Sumatera, Indonesia.

- Puspita, F. M., Oktaryna, M., & Febrian, Y. (2015). Improved Permasalahan Integer Nonlinear Pada Skema Pembiayaan Internet Wireless Berdasarkan Pada Fungsi Utilitas Perfect Substitute.
- Puspita, F. M., Seman, K., Taib, B. M., & Shafii, Z. (2012). A New Approach Of Optimization Model Internet Charging Scheme In Multi Service Net. *Internation Journal Of Science and Technology*, 2(6).
- Ramadhani, G. (2017). Modul Pengenalan Internet. from <http://dhani.singcat.com>.
- Schulzrinne, H., & Wang, X. (2011). Pricing Network Resource for Adaptive Applications in a Differentiated Services Network.
- Song, K. B., & Ca, S. T. (2002). Dyanamic Spectrum Management for Next-Generation DSL System. Paper presented at the IEEE Communication Magazine.
- Sugeng. (2016). Pengertian,Fungsi dan Jenis Layanan ISP. Retrieved 2 juni 2017, from <http://www.seputarilmu.com/2016/04/pengertian-fungsi-dan-5-jenis-layanan.html>
- Syafitri, I. (2019). Pengertian Bandwidth Beserta Fungsi dan Cara Kerja Bandwidth Yang Perlu Diketahui. Retrieved 25 Agustus 2019 from <https://www.nesabamedia.com/pengertian-bandwidth-beserta-fungsinya-dan-cara-kerja-bandwidth/>.
- Wallenius E, Hamalainen T. 2002. Pricing Model for 3G/4G Networks. Prosiding Seminar13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications. Lisbon, Portugal.

- Yang, W. (2004). Pricing Network Resources in Differentiated Service Networks. Phd Thesis. Georgia Institute of Technology.
- Yasin, K. (2018). Pengertian Bandwidth dan Fungsinya (Lengkap). Retrieved 25 Agustus 2019, from <https://www.niaga-hoster.co.id/blog/pengertian-bandwidth/>.
- Yuanzhang, X., & V.D.S, M. (2010). Dynamic Spectrum Sharing among Repeatedly Interacting Selfish Users with Imperfecting Monitoring. IEEE Journal on Selected in Communication, 30(10), 1890-1899.

INDEKS

<i>Bandwidth</i>	iv, vii, 16, 17, 18, 50, 29, 30, 31, 32
<i>Base Band Unit, BBU</i>	15
<i>Base Station Eksklusif</i>	15
<i>Bit</i>	ix
<i>Branch and Bound</i>	75, 76, 77, 95, 96, 97, 98, 99, 100
<i>Byte</i>	ix
<i>Cloud Radio Access Network, C-RAN</i>	14, 15, 74, 95, 29
<i>Dedicated</i>	vii
<i>Dial-Up</i>	13
<i>Down Stream</i>	18
<i>ER, Elapsed Runtime</i>	76, 77, 96, 97, 98, 100
<i>Extended solver</i>	75, 76, 77, 96, 97, 100
<i>File Transfer Protocol, FTP</i>	x
<i>Flat Fee</i>	vii
<i>Fungsi Utilitas</i>	31
<i>Generated Memory Used, GMU</i>	75, 76, 77, 96, 97, 98, 100
<i>Hotspot</i>	13
<i>Improved</i>	v, 31
<i>Inbound</i>	23, 24, 31, 32, 38, 39, 41, 42
<i>Infeasibility</i>	75, 76, 77, 95, 96, 97, 99
<i>Internet</i>	viii, 5
<i>Internet Service Provider, ISP</i>	iii, viii, 1, 11
<i>IP, Internet Protocol</i>	viii, 5
<i>Iterations</i>	75, 95, 99
<i>Jitter</i>	viii
<i>Kilobyte</i>	ix
<i>Latency</i>	ix
<i>Mixed Integer Nonlinear Programming , MINLP</i>	iv, 16
<i>Mobile Access</i>	13
<i>Networks</i>	30, 32
<i>Optimasi</i>	29
<i>Outbound</i>	23, 24, 31, 32, 38, 39, 41, 42
<i>Path loss</i>	18
<i>Perfect Substitute</i>	31
<i>Quality of Experience , QoE</i>	iii, 3, 10
<i>Quality of Service, QoS</i>	iii, viii, 1, 6, 7, 8, 14, 29, 30
<i>Remote Radio Heads, RRHs</i>	15, 18, 19

<i>Remote User Equipment, RUE</i>	18, 19
<i>Resource Block, RB</i>	18, 19
<i>Selfish Users</i>	iii, iv, v, 14, 30, 32
<i>Server</i>	vii, 5
<i>The International Telecommunication Union, ITU</i>	3, 10
<i>Throughput</i>	ix
<i>Traffic, Traffic Sisfo, Traffic Digilib, Traffic File</i>	vii, viii, 4, 22, 23, 24, 26, 30, 31, 32, 33, 37, 38, 39, 41, 42, 48, 55, 74, 78, 94, 95, 98, 99, 100, 30
<i>Up Stream</i>	18
<i>Wireless</i>	29, 30, 31
<i>World Wide Web, WWW</i>	6, 13

BIOGRAFI PENGARANG

	<p>Indrawati mendapatkan gelar S.Si nya dalam Bidang Matematika dari Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan, Indonesia di tahun 1996. Beliau menerima M.Sc bidang Aktuaria di Institut Teknologi Bandung pada tahun 2004. Beliau mulai dari Tahun 1998 sampai saat ini menjadi tenaga pendidik di Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya. Bidang minar riset beliau adalah aktuaria, optimasi dan aplikasinya pada pembiayaan layanan internet.</p>
	<p>Fitri Maya Puspita mendapatkan gelar S.Si nya dalam Bidang Matematika dari Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan, Indonesia di tahun 1997. Beliau menerima M.Sc bidang Matematika dari Curtin University of Technology (CUT) Australia Barat pada tahun 2004. Beliau mendapatkan gelar Ph.D dalam bidang Sains dan technology di tahun 2015 dari Univerisiti Sains Islam Malaysia. Beliau mulai dari Tahun 1998 sampai saat ini menjadi tenaga pendidik di Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya. Bidang minar riset beliau adalah optimasi dan aplikasinya seperti pada masalah perutean kendaraan (Vehicle Routing Problem) dan charging dalam third generation internet.</p>
	<p>Bela Olivia Marlina Silaen adalah mahasiswa semester akhir di Jurusan Matematika FMIPA Universitas Sriwijaya. Beliau sekarang ini sedang mempersiapkan tugas akhir di Jurusan Matematika. Bidang minat beliau adalah optimasi khususnya pengoptimalan pembiayaan dan skema pembiayaan berbasis C_RAN, kepuasan pengguna internet terhadap layanan internet.</p>
	<p>Evi Yuliza mendapatkan gelar S.Si nya dalam Bidang Matemika dari Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan, Indonesia di tahun 2000. Beliau menerima M.Si bidang Matematika dari Univeristas Gajah Mada tahun 2004. Bidang Minat Beliau adalah Aljabar. Beliau sampai saat ini menjadi tenaga pendidik di Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya sejak 2008. Mata kuliah yang diampu beliau meliputi Topologi, Kalkulus Peubah Banyak, Persamaan Diferensial Parsial, Kalkulus I, Persamaan Diferensial Biasa, Aljabar I, Aljabar II, Persamaan Diferensial Biasadan Aljabar Abstrak</p>
	<p>Oki Dwipurwani mendapatkan gelar S.Si nya dalam Bidang Statistika dari Institut PErtanian Bogor, Indonesia di tahun 1997. Beliau menerima M.Si bidang Statistika dari Institut Pertanian Bogor pada Tahun 2003. Bidang Minat Beliau adalah Statistika dan Terapan. Beliau sampai saat ini menjadi tenaga pendidik di Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya sejak Tahun 2000. Mata kuliah yang diampu beliau meliputi Teori Peluang, Statistika Matematika, Komputasi Statistika, Time Series, Teknik Sampling, Analisis Multivariat dan Matematika Kalkulus.</p>
