

TUGAS AKHIR - KS09 1336

**PENERAPAN *GOAL PROGRAMMING* DALAM
OPTIMASI PERENCANAAN KAPASITAS TRAFIK
BASE TRANSCEIVER STATION (BTS) DENGAN
PENDEKATAN CLUSTER WILAYAH (STUDI
KASUS: PT. TELEKOMUNIKASI SELULAR)**

**MIYA OCTOVIANTI
NRP 5210 100 053**

Dosen Pembimbing

Wiwik Anggraeni, S.Si, M.Kom

Dr. Apol Pribadi Subriadi, S.T, M.T.

JURUSAN SISTEM INFORMASI

Fakultas Teknologi Informasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2014



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - KS09 1336

**IMPLEMENTATION OF GOAL PROGRAMMING
IN TRAFFIC CAPACITY OF BASE TRANSCEIVER
STATION (BTS) PLANNING OPTIMIZATION BY
AREA CLUSTER APPROACH (CASE STUDY: PT.
TELEKOMUNIKASI SELULAR)**

**MIYA OCTOVIANTI
NRP 5210 100 053**

SUPERVISORS

Wiwik Anggraeni, S.Si, M.Kom

Dr. Apol Pribadi Subriadi, S.T, M.T.

**INFORMATION SYSTEM DEPARTMENT
Faculty of Information Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014**

**PENERAPAN GOAL PROGRAMMING DALAM
OPTIMASI PERENCANAAN KAPASITAS TRAFIK BASE
TRANSCEIVER STATION (BTS) DENGAN PENDEKATAN
CLUSTER WILAYAH (STUDI KASUS: PT.
TELEKOMUNIKASI SELULAR)**

Nama Mahasiswa : MIYA OCTOVIANTI
NRP : 5210 100 053
Jurusan : SISTEM INFORMASI FTIF-ITS
Dosen Pembimbing : WIWIK ANGGRAENI, S.Si, M.Kom
Dr. APOL PRIBADI SUBRIADI, S.T,
M.T.

ABSTRAK

Dewasa ini, teknologi telepon seluler berkembang dengan pesat sehingga mengakibatkan peningkatan jumlah pengguna telepon seluler. Salah satunya adalah jumlah pengguna telepon seluler GSM (Global System for Mobile Communication) telah mencapai 229.4 juta pada tahun 2011. Hal ini menyebabkan operator seluler GSM harus dapat memenuhi kebutuhan trafik pelanggan, dengan cara membangun infrastruktur jaringan seperti BTS (Base Transceiver Station). BTS dibangun untuk dapat menampung trafik pelanggan selama beberapa tahun ke depan. Perencanaan pembangunan BTS diusahakan membutuhkan seminimal mungkin perangkat keras jaringan namun tetap dapat memenuhi semaksimal mungkin kapasitas trafik yang dibutuhkan pelanggan. Untuk melaksanakan perencanaan tersebut dibutuhkan optimasi kapasitas trafik perangkat keras jaringan (BTS) di suatu wilayah tertentu. Di tingkat manajemen, BTS yang berada di wilayah Surabaya telah dipetakan ke dalam 3 cluster,

yakni antara lain cluster Surabaya 1, cluster Surabaya 2 dan cluster Surabaya 3.

Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk meluruskan asumsi yang pernah digunakan di penelitian tugas akhir sebelumnya. Asumsi yang digunakan adalah estimasi trafik pelanggan bisa didapatkan dari jumlah penjualan kartu operator. Asumsi tersebut dianggap tidak layak karena mengesampingkan pelanggan yang hanya menggunakan kartu operator sementara waktu atau dalam kurun waktu yang relatif singkat.

Permintaan trafik pada pengerjaan tugas akhir ini diramalkan selama 5 tahun mendatang. Metode peramalan yang digunakan juga berbeda dari penelitian sebelumnya. Dalam tugas akhir ini menggunakan metode Triple Exponential Smoothing (Winter). Model optimasi dibuat dalam bentuk program linear, kemudian diubah sesuai dengan metode goal programming. Model yang terbentuk diselesaikan menggunakan program komputer.

Selain itu penelitian tugas akhir ini juga menentukan kapasitas trafik yang harus disediakan di masing-masing area kecamatan pada suatu cluster agar dapat memenuhi kebutuhan trafik pelanggan.

Berdasar hasil penelitian dan perhitungan diperoleh bahwa metode goal programming dapat dijadikan metode yang mampu menyelesaikan kasus dengan multi tujuan. Dari hasil optimasi didapatkan nilai kapasitas trafik yang harus disediakan di tiap area kecamatan pada masing-masing cluster.

Kata kunci— Base Transceiver Station, goal programming, optimasi, peramalan, telepon seluler GSM, trafik, winter

**IMPLEMENTATION OF GOAL PROGRAMMING IN
TRAFFIC CAPACITY OF BASE TRANSCEIVER
STATION (BTS) PLANNING OPTIMIZATION BY AREA
CLUSTER APPROACH (CASE STUDY: PT.
TELEKOMUNIKASI SELULAR)**

Name : MIYA OCTOVIANTI
NRP : 5210 100 053
Departement : INFORMATION SYSTEM FTIF-ITS
Supervisor : WIWIK ANGGRAENI, S.Si, M.Kom
Dr. APOL PRIBADI SUBRIADI, S.T, M.T.

ABSTRACT

Nowadays, mobile phone technology is growing rapidly, thus causing an increase the number of mobile phone users. One of them is number of users of GSM (Global System for Mobile Communication) mobile phones has reached 229.4 million in 2011. This causes the GSM mobile operators must be able to meet the traffic needs of customer by build a network infrastructure such as BTS (Base Transceiver Station). BTS constructed to accommodate user traffic during the next few years. BTS development planning requires a minimum attempted network hardware but still be able to meet the customer traffic capacity needs maximally. To implement the plan required network hardware traffic capacity optimization (BTS) in a particular region. At the management level, BTS located in Surabaya region has been mapped into 3 clusters, which include Surabaya 1 cluster, Surabaya 2 cluster and Surabaya 3 cluster.

This final project research aims to align the assumptions that have been used in previous final project research. The assumptions used are estimation of customer

traffic can be obtained from the amount of operator card sales. The assumption was considered not feasible because of the exclusion of customers who only use temporary operator card or within a relatively short period of time.

Traffic demand on this final project predicted during the next 5 years. Forecasting method used is also different from previous research. In this final project use Triple Exponential Smoothing (Winter) methods. Optimization model is made in linear program form, and then modified according to goal programming method. The model resolved using a computer program.

Furthermore this research also determines that traffic capacity must be provided in each subdistrict area in a cluster to be able to meet the needs of the customer traffic.

Based on the results of research and calculation shows that the goal programming method can be used as method that able to resolve the case with a multi-objectives. From the results of optimization obtained traffic capacity value that must be provided in each area of subdistrict in each cluster.

Keywords— *Base Transceiver Station, forecasting, goal programming, GSM mobile phones, optimization, traffic, winter*

**PENERAPAN GOAL PROGRAMMING DALAM
OPTIMASI PERENCANAAN KAPASITAS TRAFIK BASE
TRANSCIEVER STATION (BTS) DENGAN PENDEKATAN
CLUSTER WILAYAH (STUDI KASUS: PT.
TELEKOMUNIKASI SELULAR)**

TUGAS AKHIR

**Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer
pada**

**Jurusan Sistem Informasi
Fakultas Teknologi Informasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh:**

**MIYA OCTOVIANTI
5210 100 053**

Surabaya, 22 JULI 2014

KETUA JURUSAN SISTEM INFORMASI

**Dr.Eng Febrilyan Samopa, S.Kom, M.Kom
NIP 19730719 199802 1 001**



Halaman ini sengaja dikosongkan

**PENERAPAN GOAL PROGRAMMING DALAM
OPTIMASI PERENCANAAN KAPASITAS TRAFIK BASE
TRANSCEIVER STATION (BTS) DENGAN PENDEKATAN
CLUSTER WILAYAH (STUDI KASUS: PT.
TELEKOMUNIKASI SELULAR)**

TUGAS AKHIR

Disusun Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer
pada

Jurusan Sistem Informasi
Fakultas Teknologi Informasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh:

MIYA OCTOVIANTI
5210 100 053

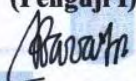
Disetujui Tim Penguji: Tanggal Ujian : 2 Juni 2014
Periode Wisuda : September 2014

1. **Wiwik Anggraeni, S.Si, M.Kom**
2. **Dr. Apol Pribadi Subriadi, S.T, M.T.**
3. **Rully Agus Hendrawan, S.Kom, M. Eng.**
4. **Raras Tyasnurita, S.Kom, MBA.**


(Pembimbing I)


(Pembimbing II)


(Penguji I)


(Penguji II)

Halaman ini sengaja dikosongkan

TUGAS AKHIR

Laporan Tugas Akhir
Membahas Cara Kerja Komputer
pada

Jurusan Sistem Informatika
Fakultas Teknologi Informatika
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Gresik

MIRA AGUSTYANTI

5340 100 023

Disusun dan Ditulis: Tanggal Pembuatan: 2 Juli 2014
Periode Waktu: September 2014

1. Wakil Asesoran, S.Kom, M.Kom

(Penyunting I)

2. Dr. Apol Priadi Subardi, S.T., M.T.

(Penyunting II)

3. Rully Aziz Hidayat, S.Kom, M.Tek

(Pegawai I)

4. Barys Yudianto, S.Kom, M.IA

(Pegawai II)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah atas karunia, rahmat, barakah, dan jalan yang telah diberikan Allah SWT selama ini sehingga penulis mendapatkan kelancaran dalam menyelesaikan tugas akhir dengan judul:

PENERAPAN *GOAL PROGRAMMING* DALAM OPTIMASI PERENCANAAN KAPASITAS TRAFIK *BASE TRANSCEIVER STATION (BTS)* DENGAN PENDEKATAN CLUSTER WILAYAH (STUDI KASUS: PT. TELEKOMUNIKASI SELULAR)

yang merupakan salah satu syarat kelulusan pada Jurusan Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Terima kasih atas pihak-pihak yang telah mendukung, memberikan saran, motivasi, semangat, dan bantuan baik materi maupun spiritual demi tercapainya tujuan pembuatan tugas akhir ini. Secara khusus penulis akan menyampaikan ucapan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

- 1) Kedua orang tua penulis yang telah merawat, membimbing, memberikan kasih sayang, motivasi, semangat, dan doa sehingga penulis mampu menyelesaikan pendidikan S1 ini dengan baik.
- 2) Semua keluarga yang memberikan dukungan baik secara moril maupun materil demi tercapainya Tugas Akhir ini.
- 3) Ibu Wiwik Anggraini, S.Si, M.Kom dan Bapak Dr. Apol Pribadi Subriadi, S.T, M.T selaku dosen pembimbing yang memberikan ilmu, petunjuk, dan motivasi untuk kelancaran Tugas Akhir ini.
- 4) Perusahaan PT. Telekomunikasi Selular Kantor Area III Jawa Bali Nusra, khususnya bagian ICT Network

Management Jawa Timur (TTC Gayungan – Surabaya), khususnya Bapak Ketut Widya yang telah memberi kesempatan untuk menggunakan data dan mencari informasi terkait keperluan Tugas Akhir ini.

- 5) Bapak Ahmad Mukhlason, S.Kom, M.Sc. dan Bapak Ir. Achmad Holil Noor Ali, M. Kom sebagai dosen wali penulis selama menempuh pendidikan di Jurusan Sistem Informasi.
- 6) Seluruh dosen pengajar beserta staf dan karyawan di Jurusan Sistem Informasi, FTIF ITS Surabaya yang telah memberikan ilmu dan bantuan kepada penulis selama ini.
- 7) Mbak Shanty, Mas Akmal, Mas Ivan, Mas Irwan, Rizki dan Fachri yang telah membantu penulis dalam pengumpulan data Tugas Akhir.
- 8) Tresna dan Fariz yang selalu menginspirasi dan memotivasi penulis dalam berkarya.
- 9) Rekan-rekan mahasiswa Jurusan Sistem Informasi GENESIS, 8IOS, AE9IS, FOXIS, BASILISK dan SOLA12IS atas semua bantuan ketika penulis kuliah di Sistem Informasi.
- 10) Teman-teman Beswan Djarum 28 yang selalu memberikan dukungan, motivasi dan doa kepada penulis selama ini.
- 11) Serta semua pihak yang telah membantu dalam pengerjaan Tugas Akhir ini yang belum mampu penulis sebutkan diatas.

Terima kasih atas segala bantuan, dukungan, serta doanya. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat hidayah serta membalas kebaikan yang telah diberikan kepada penulis.

Surabaya, 26 Mei 2014

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR SEGMENT KODE PROGRAM.....	xxix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Batasan Pengerjaan Tugas Akhir	3
1.4. Tujuan Tugas Akhir	4
1.5. Manfaat Tugas Akhir	4
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. GSM (Global System for Mobile Communication).....	7
2.1.1. Konsep GSM.....	7
2.1.2. Arsitektur Jaringan GSM	8
2.1.3. Trafik GSM	9
2.1.4. Kapasitas Jaringan Seluler	10
2.2. BTS (<i>Base Transceiver Station</i>)	11
2.3. Sistem Informasi / Teknologi Informasi pada Bidang Telekomunikasi.....	12
2.4. Peramalan.....	14
2.4.1. Peramalan dengan Metode Triple Exponential Smoothing (<i>Winter</i>).....	16
2.5. Linear Programming	18
2.6. Metode Optimasi Goal Programming	19
BAB III METODOLOGI TUGAS AKHIR	23
3.1. Identifikasi Masalah.....	25
3.2. Perumusan Masalah dan Menetapkan Tujuan Penelitian	25
3.3. Studi Pustaka.....	25

3.4.	Pengumpulan dan Pengolahan Data.....	25
3.5.	Peramalan Jumlah Pelanggan Selama 5 Tahun.....	26
3.6.	Penentuan <i>Error</i> Hasil Peramalan dengan Menggunakan MAPE	26
3.7.	Penentuan Nilai Optimal Parameter <i>Alpha</i> , <i>Beta</i> dan <i>Gamma</i>	26
3.8.	Penentuan Trafik Pelanggan	27
3.9.	Formulasi Model Sesuai dengan Metode <i>Goal Programming</i>	27
3.10.	Penyelesaian Model <i>Goal Programming</i>	27
3.11.	Validasi Model.....	27
3.12.	Pembuatan Solusi Alternatif Penambahan Kapasitas Trafik.....	28
3.13.	Pemilihan Solusi Alternatif Menggunakan AHP	28
3.14.	Pembuatan Buku Tugas Akhir	28
BAB IV FASE DESAIN		31
4.1.	Perbaikan terhadap Penelitian Sebelumnya	31
4.2.	Pengelolaan Data.....	33
4.3.	Peramalan Jumlah Pelanggan Selama 5 Tahun.....	39
4.4.	Penentuan <i>Error</i> Hasil Peramalan dengan Menggunakan MAPE	51
4.5.	Penentuan Nilai Optimal Parameter <i>Alpha</i> , <i>Beta</i> dan <i>Gamma</i>	55
4.6.	Penentuan Trafik Pelanggan	61
4.7.	Formulasi Model <i>Goal Programming</i>	63
4.7.1.	Penentuan Variabel Keputusan.....	63
4.7.2.	Perumusan Fungsi Tujuan	65
4.7.3.	Perumusan Batasan.....	65
4.7.4.	Perumusan Fungsi Tujuan <i>Goal Programming</i>	69
4.7.5.	Perumusan Batasan <i>Goal Programming</i>	72
4.8.	Metodologi Penyelesaian Model dengan Program Komputer	74
4.8.1.	Inisialisasi Data	74
4.8.2.	Memasukkan Data Awal	76

4.8.3.	Membuat Variabel Keputusan dan Memasukan Data Inisialisasi Nilai Awal x_0 , l_b dan u_b	76
4.8.4.	Memasukan Batasan Kapasitas Trafik Maksimal yang Dimiliki	78
4.8.5.	Membuat Batasan Variabel Deviasi	79
4.8.6.	Membuat Fungsi Tujuan	79
4.8.7.	Memasukkan Batasan Permintaan Kapasitas Trafik	80
4.8.8.	Memasukkan Fungsi Optimasi.....	80
4.9.	Implementasi Metode <i>Goal Programming</i> ke dalam Program Matlab	82
4.9.1.	Memasukan Data Awal	82
4.9.2.	Membuat Variabel Keputusan.....	83
4.9.3.	Memasukan Data Inisialisasi Nilai Awal x_0 , l_b dan u_b	83
4.9.4.	Memasukan Batasan Kapasitas Trafik Maksimal yang Dimiliki	84
4.9.5.	Membuat Batasan Variabel Deviasi	85
4.9.6.	Membuat Fungsi Tujuan	85
4.9.7.	Memasukan Batasan Permintaan Kapasitas Trafik	86
4.9.8.	Memasukkan Fungsi Optimasi	86
4.10.	Lingkungan Uji Coba.....	88
4.11.	Uji Coba Nilai Parameter Peramalan	89
4.12.	Uji Coba Model Optimasi dan Verifikasi	93
4.13.	Validasi Model Optimasi	96
4.14.	Pembuatan Solusi Alternatif Penambahan Kapasitas Trafik	99
4.14.1.	Cluster Surabaya 1	99
4.14.2.	Cluster Surabaya 2	123
4.14.3.	Cluster Surabaya 3	152
BAB V FASE PEMILIHAN		171
5.1.	Pemilihan Solusi Alternatif Menggunakan AHP	171
5.1.1.	Cluster Surabaya 1	171
5.1.2.	Cluster Surabaya 2	183

5.1.3. Cluster Surabaya 3.....	190
BAB VI PENUTUP.....	199
6.1. Kesimpulan	199
6.2. Saran	200
DAFTAR PUSTAKA.....	201
RIWAYAT PENULIS.....	205
LAMPIRAN A LAPORAN PENELITIAN TUGAS AKHIR . A-1	

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Pembagian Cluster, Wilayah dan Kecamatan di Surabaya.....	34
Tabel 4.2 Kapasitas Trafik yang Disediakan Tiap Area Kecamatan pada Cluster Surabaya 1.....	38
Tabel 4.3 Kapasitas Trafik yang Disediakan Tiap Area Kecamatan pada Cluster Surabaya 2.....	38
Tabel 4.4 Kapasitas Trafik yang Disediakan Tiap Area Kecamatan pada Cluster Surabaya 3.....	39
Tabel 4.5 Jumlah Pelanggan Telkomsel Tahun 2011 - 2013 pada Cluster Surabaya 1.....	40
Tabel 4.6 Jumlah Pelanggan Telkomsel Tahun 2011 - 2013 pada Cluster Surabaya 2.....	40
Tabel 4.7 Jumlah Pelanggan Telkomsel Tahun 2011 - 2013 pada Cluster Surabaya 3.....	41
Tabel 4.8 Nilai MAPE per Cluster.....	53
Tabel 4.9 Hasil Perubahan Nilai MAPE, <i>Alpha</i> , <i>Beta</i> dan <i>Gamma</i> pada Cluster Surabaya 1.....	57
Tabel 4.10 Hasil Perubahan Nilai MAPE, <i>Alpha</i> , <i>Beta</i> dan <i>Gamma</i> pada Cluster Surabaya 2.....	58
Tabel 4.11 Hasil Perubahan Nilai MAPE, <i>Alpha</i> , <i>Beta</i> dan <i>Gamma</i> pada Cluster Surabaya 3.....	60
Tabel 4.12 Nilai MAPE Optimal per Cluster.....	61
Tabel 4.13 Hasil Penentuan Trafik Pelanggan Cluster Surabaya 1.....	62
Tabel 4.14 Hasil Penentuan Trafik Pelanggan Cluster Surabaya 2.....	62
Tabel 4.15 Hasil Penentuan Trafik Pelanggan Cluster Surabaya 3.....	63
Tabel 4.16 Perangkat Keras Lingkungan Uji Coba.....	88
Tabel 4.17 Perangkat Lunak Lingkungan Uji Coba.....	88
Tabel 4.18 Perubahan Nilai MAPE, <i>Alpha</i> , <i>Beta</i> dan <i>Gamma</i> Cluster Surabaya 1 Setelah Uji Coba.....	90

Tabel 4.19 Perubahan Nilai MAPE, <i>Alpha</i> , <i>Beta</i> dan <i>Gamma</i> Cluster Surabaya 2 Setelah Uji Coba	91
Tabel 4.20 Perubahan Nilai MAPE, <i>Alpha</i> , <i>Beta</i> dan <i>Gamma</i> Cluster Surabaya 3 Setelah Uji Coba	93
Tabel 4.21 Hasil <i>Running</i> untuk Cluster Surabaya 1.....	94
Tabel 4.22 Hasil <i>Running</i> untuk Cluster Surabaya 2.....	95
Tabel 4.23 Hasil <i>Running</i> untuk Cluster Surabaya 3.....	95
Tabel 4.24 Perbandingan Hasil Optimasi Program Komputer dengan QM.....	97
Tabel 4.25 Hasil Perhitungan Nilai E2.....	99
Tabel 4.26 Perbandingan Trafik yang Tersedia dan Trafik Optimal Cluster Surabaya 1.....	99
Tabel 4.27 Solusi Optimal Trafik yang Dibutuhkan Tiap Variabel di Cluster Surabaya 1.....	100
Tabel 4.28 Selisih Kapasitas Trafik Kecamatan Bubutan Tahun 2014-2018.....	102
Tabel 4.29 Keterangan Visualisasi Pemetaan BTS di Kecamatan Bubutan	104
Tabel 4.30 Perhitungan Kapasitas Trafik yang Tersedia Saat Ini	106
Tabel 4.31 Perhitungan Kapasitas Trafik Setelah <i>Trx Upgrading</i>	106
Tabel 4.32 Solusi Alternatif 1 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Bubutan.....	106
Tabel 4.33 Solusi Alternatif 2 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Bubutan.....	107
Tabel 4.34 Solusi Alternatif 3 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Bubutan.....	108
Tabel 4.35 Solusi Alternatif 4 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Bubutan.....	109
Tabel 4.36 Solusi Alternatif 5 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Bubutan.....	109
Tabel 4.37 Jumlah Penambahan TRx dan Sisa Kapasitas Trafik Tahun 2015 Kecamatan Bubutan	110

Tabel 4.38 Solusi Alternatif 1 <i>TRx Upgrading</i> Tahun 2016 Kecamatan Bubutan	111
Tabel 4.39 Solusi Alternatif 2 <i>TRx Upgrading</i> Tahun 2016 Kecamatan Bubutan	111
Tabel 4.40 Solusi Alternatif 3 <i>TRx Upgrading</i> Tahun 2016 Kecamatan Bubutan	112
Tabel 4.41 Solusi Alternatif 4 <i>TRx Upgrading</i> Tahun 2016 Kecamatan Bubutan	113
Tabel 4.42 Solusi Alternatif 5 <i>TRx Upgrading</i> Tahun 2016 Kecamatan Bubutan	113
Tabel 4.43 Jumlah Penambahan <i>TRx</i> dan Sisa Kapasitas Trafik Tahun 2016 Kecamatan Bubutan	114
Tabel 4.44 Solusi Alternatif 1 <i>TRx Upgrading</i> Tahun 2017 Kecamatan Bubutan	115
Tabel 4.45 Solusi Alternatif 2 <i>TRx Upgrading</i> Tahun 2017 Kecamatan Bubutan	116
Tabel 4.46 Solusi Alternatif 3 <i>TRx Upgrading</i> Tahun 2017 Kecamatan Bubutan	116
Tabel 4.47 Solusi Alternatif 4 <i>TRx Upgrading</i> Tahun 2017 Kecamatan Bubutan	117
Tabel 4.48 Solusi Alternatif 5 <i>TRx Upgrading</i> Tahun 2017 Kecamatan Bubutan	118
Tabel 4.49 Jumlah Penambahan <i>TRx</i> dan Sisa Kapasitas Trafik Tahun 2017 Kecamatan Bubutan	118
Tabel 4.50 Solusi Alternatif 1 <i>TRx Upgrading</i> Tahun 2018 Kecamatan Bubutan	119
Tabel 4.51 Solusi Alternatif 2 <i>TRx Upgrading</i> Tahun 2018 Kecamatan Bubutan	120
Tabel 4.52 Solusi Alternatif 3 <i>TRx Upgrading</i> Tahun 2018 Kecamatan Bubutan	120
Tabel 4.53 Solusi Alternatif 4 <i>TRx Upgrading</i> Tahun 2018 Kecamatan Bubutan	121
Tabel 4.54 Solusi Alternatif 5 <i>TRx Upgrading</i> Tahun 2018 Kecamatan Bubutan	122

Tabel 4.55 Jumlah Penambahan TRx dan Sisa Kapasitas Trafik Tahun 2018 Kecamatan Bubutan	122
Tabel 4.56 Perbandingan Trafik yang Tersedia dan Trafik Optimal Cluster Surabaya 2.....	123
Tabel 4.57 Solusi Optimal Trafik yang Dibutuhkan Tiap Variabel di Cluster Surabaya 2.....	123
Tabel 4.58 Selisih Kapasitas Trafik Kecamatan Dukuh Pakis Tahun 2014-2018.....	125
Tabel 4.59 Keterangan Visualisasi Pemetaan BTS Kecamatan Dukuh Pakis.....	126
Tabel 4.60 Solusi Alternatif 1 TRx Upgrading Tahun 2014 Kecamatan Dukuh Pakis.....	127
Tabel 4.61 Solusi Alternatif 2 TRx Upgrading Tahun 2014 Kecamatan Dukuh Pakis.....	128
Tabel 4.62 Solusi Alternatif 3 TRx Upgrading Tahun 2014 Kecamatan Dukuh Pakis.....	129
Tabel 4.63 Solusi Alternatif 4 TRx Upgrading Tahun 2014 Kecamatan Dukuh Pakis.....	130
Tabel 4.64 Solusi Alternatif 5 TRx Upgrading Tahun 2014 Kecamatan Dukuh Pakis.....	131
Tabel 4.65 Jumlah Penambahan TRx dan Sisa Kapasitas Trafik Tahun 2014 Kecamatan Dukuh Pakis	132
Tabel 4.66 Solusi Alternatif 1 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Dukuh Pakis.....	132
Tabel 4.67 Solusi Alternatif 2 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Dukuh Pakis.....	133
Tabel 4.68 Solusi Alternatif 3 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Dukuh Pakis.....	134
Tabel 4.69 Solusi Alternatif 4 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Dukuh Pakis.....	135
Tabel 4.70 Solusi Alternatif 5 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Dukuh Pakis.....	136
Tabel 4.71 Jumlah Penambahan TRx dan Sisa Kapasitas Trafik Tahun 2015 Kecamatan Dukuh Pakis	137

Tabel 4.72 Solusi Alternatif 1 TRx Upgrading Tahun 2016 Kecamatan Dukuh Pakis	137
Tabel 4.73 Solusi Alternatif 2 TRx Upgrading Tahun 2016 Kecamatan Dukuh Pakis	138
Tabel 4.74 Solusi Alternatif 3 TRx Upgrading Tahun 2016 Kecamatan Dukuh Pakis	139
Tabel 4.75 Solusi Alternatif 4 TRx Upgrading Tahun 2016 Kecamatan Dukuh Pakis	140
Tabel 4.76 Solusi Alternatif 5 TRx Upgrading Tahun 2016 Kecamatan Dukuh Pakis	141
Tabel 4.77 Jumlah Penambahan TRx dan Sisa Kapasitas Trafik Tahun 2016 Kecamatan Dukuh Pakis	142
Tabel 4.78 Solusi Alternatif 1 TRx Upgrading Tahun 2017 Kecamatan Dukuh Pakis	142
Tabel 4.79 Solusi Alternatif 2 TRx Upgrading Tahun 2017 Kecamatan Dukuh Pakis	143
Tabel 4.80 Solusi Alternatif 3 TRx Upgrading Tahun 2017 Kecamatan Dukuh Pakis	144
Tabel 4.81 Solusi Alternatif 4 TRx Upgrading Tahun 2017 Kecamatan Dukuh Pakis	145
Tabel 4.82 Solusi Alternatif 5 TRx Upgrading Tahun 2017 Kecamatan Dukuh Pakis	146
Tabel 4.83 Jumlah Penambahan TRx dan Sisa Kapasitas Trafik Tahun 2017 Kecamatan Dukuh Pakis	147
Tabel 4.84 Solusi Alternatif 1 TRx Upgrading Tahun 2018 Kecamatan Dukuh Pakis	147
Tabel 4.85 Solusi Alternatif 2 TRx Upgrading Tahun 2018 Kecamatan Dukuh Pakis	148
Tabel 4.86 Solusi Alternatif 3 TRx Upgrading Tahun 2018 Kecamatan Dukuh Pakis	149
Tabel 4.87 Solusi Alternatif 4 TRx Upgrading Tahun 2018 Kecamatan Dukuh Pakis	150
Tabel 4.88 Solusi Alternatif 5 TRx Upgrading Tahun 2018 Kecamatan Dukuh Pakis	151

Tabel 4.89 Jumlah Penambahan TRx dan Sisa Kapasitas Trafik Tahun 2018 Kecamatan Dukuh Pakis	152
Tabel 4.90 Perbandingan Trafik yang Tersedia dan Kebutuhan Trafik Cluster Surabaya 3.....	152
Tabel 4.91 Solusi Optimal Trafik yang Dibutuhkan Tiap Variabel di Cluster Surabaya 3.....	153
Tabel 4.92 Selisih Kapasitas Trafik Kecamatan Asemrowo Tahun 2014-2018.....	154
Tabel 4.93 Keterangan Visualisasi Pemetaan BTS Kecamatan Asemrowo.....	156
Tabel 4.94 Solusi Alternatif 1 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Asemrowo.....	157
Tabel 4.95 Solusi Alternatif 2 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Asemrowo.....	157
Tabel 4.96 Solusi Alternatif 3 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Asemrowo.....	158
Tabel 4.97 Solusi Alternatif 4 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Asemrowo.....	158
Tabel 4.98 Solusi Alternatif 5 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Asemrowo.....	159
Tabel 4.99 Jumlah Penambahan TRx dan Sisa Kapasitas Trafik Tahun 2015 Kecamatan Asemrowo	160
Tabel 4.100 Solusi Alternatif 1 TRx Upgrading Tahun 2016 Kecamatan Asemrowo.....	160
Tabel 4.101 Solusi Alternatif 2 TRx Upgrading Tahun 2016 Kecamatan Asemrowo.....	161
Tabel 4.102 Solusi Alternatif 3 TRx Upgrading Tahun 2016 Kecamatan Asemrowo.....	161
Tabel 4.103 Solusi Alternatif 4 TRx Upgrading Tahun 2016 Kecamatan Asemrowo.....	162
Tabel 4.104 Solusi Alternatif 5 TRx Upgrading Tahun 2016 Kecamatan Asemrowo.....	162
Tabel 4.105 Jumlah Penambahan TRx dan Sisa Kapasitas Trafik Tahun 2016 Kecamatan Asemrowo	163

Tabel 4.106 Solusi Alternatif 1 TRx Upgrading Tahun 2017 Kecamatan Asemrowo	164
Tabel 4.107 Solusi Alternatif 2 TRx Upgrading Tahun 2017 Kecamatan Asemrowo	164
Tabel 4.108 Solusi Alternatif 3 TRx Upgrading Tahun 2017 Kecamatan Asemrowo	165
Tabel 4.109 Solusi Alternatif 4 TRx Upgrading Tahun 2017 Kecamatan Asemrowo	165
Tabel 4.110 Solusi Alternatif 5 TRx Upgrading Tahun 2017 Kecamatan Asemrowo	166
Tabel 4.111 Jumlah Penambahan TRx dan Sisa Kapasitas Trafik Tahun 2017 Kecamatan Asemrowo	166
Tabel 4.112 Solusi Alternatif 1 TRx Upgrading Tahun 2018 Kecamatan Asemrowo	167
Tabel 4.113 Solusi Alternatif 2 TRx Upgrading Tahun 2018 Kecamatan Asemrowo	168
Tabel 4.114 Solusi Alternatif 3 TRx Upgrading Tahun 2018 Kecamatan Asemrowo	168
Tabel 4.115 Solusi Alternatif 4 TRx Upgrading Tahun 2018 Kecamatan Asemrowo	169
Tabel 4.116 Solusi Alternatif 5 TRx Upgrading Tahun 2018 Kecamatan Asemrowo	169
Tabel 4.117 Jumlah Penambahan TRx dan Sisa Kapasitas Trafik Tahun 2018 Kecamatan Asemrowo	170
Tabel 5.1 Skala Perbandingan Saaty	172
Tabel 5.2 Perbandingan Berpasangan dengan Skala Saaty	173
Tabel 5.3 Penjumlahan Kolom Matriks.....	174
Tabel 5.4 Normalisasi Kolom Penjumlahan.....	174
Tabel 5.5 Bobot Kriteria.....	174
Tabel 5.6 Menghitung $\lambda_{max} x$	175
Tabel 5.7 Index Random Consistency.....	176
Tabel 5.8 Nilai Kriteria Untuk Masing-Masing Solusi Alternatif Tahun Ke-2 Cluster Surabaya 1	177
Tabel 5.9 Bobot Alternatif Tahun Ke-2 Cluster Surabaya 1	178

Tabel 5.10 Perangkingan Alternatif Tahun Ke-2 Cluster Surabaya 1	178
Tabel 5.11 Nilai Kriteria Untuk Masing-Masing Solusi Alternatif Tahun Ke-3 Cluster Surabaya 1.....	179
Tabel 5.12 Bobot Alternatif Tahun Ke-3 Cluster Surabaya 1 ...	179
Tabel 5.13 Perangkingan Alternatif Tahun Ke-3 Cluster Surabaya 1	180
Tabel 5.14 Nilai Kriteria Untuk Masing-Masing Solusi Alternatif Tahun Ke-4 Cluster Surabaya 1.....	180
Tabel 5.15 Bobot Alternatif Tahun Ke-4 Cluster Surabaya 1 ...	181
Tabel 5.16 Perangkingan Alternatif Tahun Ke-4 Cluster Surabaya 1	181
Tabel 5.17 Nilai Kriteria Untuk Masing-Masing Solusi Alternatif Tahun Ke-5 Cluster Surabaya 1.....	182
Tabel 5.18 Bobot Alternatif Tahun Ke-5 Cluster Surabaya 1 ...	182
Tabel 5.19 Perangkingan Alternatif Tahun Ke-5 Cluster Surabaya 1	182
Tabel 5.20 Nilai Kriteria Untuk Masing-Masing Solusi Alternatif Tahun Ke-1 Cluster Surabaya 2.....	183
Tabel 5.21 Bobot Alternatif Tahun Ke-1 Cluster Surabaya 2 ...	184
Tabel 5.22 Perangkingan Alternatif Tahun Ke-1 Cluster Surabaya 2	184
Tabel 5.23 Nilai Kriteria Untuk Masing-Masing Solusi Alternatif Tahun Ke-2 Cluster Surabaya 2.....	185
Tabel 5.24 Bobot Alternatif Tahun Ke-2 Cluster Surabaya 2 ...	185
Tabel 5.25 Perangkingan Alternatif Tahun Ke-2 Cluster Surabaya 2	186
Tabel 5.26 Nilai Kriteria Untuk Masing-Masing Solusi Alternatif Tahun Ke-3 Cluster Surabaya 2.....	186
Tabel 5.27 Bobot Alternatif Tahun Ke-3 Cluster Surabaya 2 ...	187
Tabel 5.28 Perangkingan Alternatif Tahun Ke-3 Cluster Surabaya 2	187
Tabel 5.29 Nilai Kriteria Untuk Masing-Masing Solusi Alternatif Tahun Ke-4 Cluster Surabaya 2.....	188
Tabel 5.30 Bobot Alternatif Tahun Ke-4 Cluster Surabaya 2 ...	188

Tabel 5.31 Perangkingan Alternatif Tahun Ke-4 Cluster Surabaya 2	188
Tabel 5.32 Nilai Kriteria Untuk Masing-Masing Solusi Alternatif Tahun Ke-5 Cluster Surabaya 2	189
Tabel 5.33 Bobot Alternatif Tahun Ke-5 Cluster Surabaya 2 ...	189
Tabel 5.34 Perangkingan Alternatif Tahun Ke-5 Cluster Surabaya 2	190
Tabel 5.35 Nilai Kriteria Untuk Masing-Masing Solusi Alternatif Tahun Ke-2 Cluster Surabaya 3	191
Tabel 5.36 Bobot Alternatif Tahun Ke-2 Cluster Surabaya 3 ...	192
Tabel 5.37 Perangkingan Alternatif Tahun Ke-2 Cluster Surabaya 3	192
Tabel 5.38 Nilai Kriteria Untuk Masing-Masing Solusi Alternatif Tahun Ke-3 Cluster Surabaya 3	193
Tabel 5.39 Bobot Alternatif Tahun Ke-3 Cluster Surabaya 3 ...	193
Tabel 5.40 Perangkingan Alternatif Tahun Ke-3 Cluster Surabaya 3	193
Tabel 5.41 Nilai Kriteria Untuk Masing-Masing Solusi Alternatif Tahun Ke-4 Cluster Surabaya 3	194
Tabel 5.42 Bobot Alternatif Tahun Ke-4 Cluster Surabaya 3 ...	194
Tabel 5.43 Perangkingan Alternatif Tahun Ke-4 Cluster Surabaya 3	195
Tabel 5.44 Nilai Kriteria Untuk Masing-Masing Solusi Alternatif Tahun Ke-5 Cluster Surabaya 3	196
Tabel 5.45 Bobot Alternatif Tahun Ke-5 Cluster Surabaya 3 ...	196
Tabel 5.46 Perangkingan Alternatif Tahun Ke-5 Cluster Surabaya 3	196
Tabel A.1 Daftar Cluster, Wilayah dan Kecamatan di Surabaya	A-2
Tabel A.2 Perbandingan Trafik yang Tersedia dan Kebutuhan Trafik Cluster Surabaya 1	A-4
Tabel A.3 Hasil Optimasi Cluster Surabaya 1	A-4
Tabel A.4 Perbandingan Trafik yang Tersedia dan Kebutuhan Trafik Cluster Surabaya 2	A-6
Tabel A.5 Hasil Optimasi Cluster Surabaya 2	A-7

Tabel A.6 Perbandingan Trafik yang Tersedia dan Kebutuhan Trafik Cluster Surabaya 3.....	A-7
Tabel A.7 Hasil Optimasi Cluster Surabaya 3.....	A-8

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arsitektur Jaringan GSM (Taufiq, 2002)	8
Gambar 2.2 Contoh Tabel Erlang-B.....	11
Gambar 3.1 Alur Metodologi Tugas Akhir	24
Gambar 4.1 Data BTS yang Didapat dari Perusahaan	33
Gambar 4.2 Pembacaan Tabel Erlang B.....	37
Gambar 4.3 Grafik Jumlah Pelanggan Cluster Surabaya 1	41
Gambar 4.4 Grafik Jumlah Pelanggan Cluster Surabaya 2	42
Gambar 4.5 Grafik Jumlah Pelanggan Cluster Surabaya 3	42
Gambar 4.6 <i>Data Analysis Regression</i> pada <i>Microsoft Excel</i>	43
Gambar 4.7 Proses <i>Regression</i> pada <i>Microsoft Excel</i>	43
Gambar 4.8 Hasil <i>Regression</i>	44
Gambar 4.9 Hasil Perhitungan <i>Deseasonalized Demand</i>	45
Gambar 4.10 Hasil Perhitungan <i>Deseasonalized Demand</i> pada Periode t.....	45
Gambar 4.11 Hasil Perhitungan Faktor Musiman.....	46
Gambar 4.12 Hasil Perhitungan S_t Periode Musiman Pertama ...	47
Gambar 4.13 Hasil Perhitungan S_t yang Dimulai dari Periode 13	48
Gambar 4.14 Hasil Perhitungan S_t untuk Periode Musiman Terakhir	48
Gambar 4.15 Hasil Penghitungan L_t dan T_t	49
Gambar 4.16 Hasil Peramalan Jumlah Pelanggan Tahun 2011 - 2013.....	50
Gambar 4.17 Hasil Peramalan Periode Baru Tanpa Data Histori	50
Gambar 4.18 Hasil Peramalan Tanpa Data Histori pada Tahun Kedua	51
Gambar 4.19 Hasil Perhitungan <i>Error</i>	52
Gambar 4.20 Hasil Perhitungan <i>Absolute Percentage Error</i>	52
Gambar 4.21 Hasil Perhitungan <i>Mean Absolute Percentage Error</i> (MAPE) pada Cluster Surabaya 1	54
Gambar 4.22 Hasil Perhitungan <i>Mean Absolute Percentage Error</i> (MAPE) pada Cluster Surabaya 2	54

Gambar 4.23 Hasil Perhitungan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) pada Cluster Surabaya 3	54
Gambar 4.24 Solver pada Menu Data	55
Gambar 4.25 Proses Menambahkan Batasan	56
Gambar 4.26 Pengisian Variabel, Tujuan dan Batasan pada <i>Solver Parameters</i>	56
Gambar 4.27 Hasil Penentuan Nilai Optimal Parameter pada Cluster Surabaya 1.....	57
Gambar 4.28 Grafik Perbandingan Data Jumlah Pelanggan dengan Hasil Peramalannya pada Cluster Surabaya 1.....	58
Gambar 4.29 Hasil Penentuan Nilai Optimal Parameter pada Cluster Surabaya 2.....	59
Gambar 4.30 Grafik Perbandingan Data Jumlah Pelanggan dengan Hasil Peramalannya pada Cluster Surabaya 2.....	59
Gambar 4.31 Hasil Penentuan Nilai Optimal Parameter pada Cluster Surabaya 3.....	60
Gambar 4.32 Grafik Perbandingan Data Jumlah Pelanggan dengan Hasil Peramalannya pada Cluster Surabaya 3.....	61
Gambar 4.33 Diagram Alur Memasukkan Data Awal	77
Gambar 4.34 Diagram Alur Membuat Variabel Keputusan dan Memasukkan Data Inisialisasi Nilai Awal x_0 , l_b dan u_b	78
Gambar 4.35 Diagram Alur Memasukan Batasan Kapasitas Trafik Maksimal yang	79
Gambar 4.36 Diagram Alur Memasukan Membuat Batasan Variabel Deviasi	79
Gambar 4.37 Diagram Alur Membuat Fungsi Tujuan.....	80
Gambar 4.38 Diagram Alur Memasukkan Batasan Permintaan Trafik	80
Gambar 4.39 Diagram Alur Memasukkan Fungsi Optimasi	81
Gambar 4.40 Hasil Uji Coba Nilai Parameter Peramalan Cluster Surabaya 1	89
Gambar 4.41 Hasil Uji Coba Nilai Parameter Peramalan Cluster Surabaya 2	91
Gambar 4.42 Hasil Uji Coba Nilai Parameter Peramalan Cluster Surabaya 3	92

Gambar 4.43 Validasi Model dengan QM	97
Gambar 4.44 Hasil Keluaran QM.....	97
Gambar 4.45 Visualisasi Pemetaan BTS di Kecamatan Bubutan	103
Gambar 4.46 Visualisasi Pemetaan BTS di Kecamatan Dukuh Pakis	125
Gambar 4.47 Visualisasi Pemetaan BTS di Kecamatan Asemrowo	155
Gambar 5.1 Struktur Hierarki AHP Pemilihan Solusi Alternatif Penambahan Kapasitas Trafik BTS.....	172
Gambar 5.2 Struktur Hierarki dengan Bobot Kriteria	177

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR SEGMENT KODE PROGRAM

Segmen Program 4.1 Memasukan Data Awal.....	82
Segmen Program 4.2 Membuat Variabel Keputusan	83
Segmen Program 4.3 Memasukan Data Inisialisasi Nilai Awal x_0 , lb dan ub	84
Segmen Program 4.4 Memasukan Batasan Kapasitas Trafik Maksimal yang Dimiliki.....	85
Segmen Program 4.5 Membuat Batasan Variabel Deviasi	85
Segmen Program 4.6 Membuat Fungsi Tujuan.....	86
Segmen Program 4.7 Memasukan Batasan Permintaan Kapasitas Trafik.....	86
Segmen Program 4.8 Fungsi Optimasi.....	87
Segmen Program 4.9 Menyimpan dan Menampilkan Hasil Optimasi	88

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai pendahuluan tugas akhir yang berisi latar belakang, perumusan masalah, batasan pengerjaan, tujuan, dan manfaat dari pengerjaan tugas akhir.

1.1. Latar Belakang

Teknologi informasi dan komunikasi merupakan teknologi yang sangat cepat pertumbuhannya saat ini. Hal ini ditandai dengan semakin banyaknya teknologi tanpa kabel yang digunakan oleh masyarakat. Salah satu teknologi tanpa kabel yang banyak dipakai masyarakat saat ini adalah telepon seluler GSM (*Global System for Mobile Communication*). Teknologi GSM adalah standar global komunikasi seluler digital yang di buat pada tahun 1982 untuk menghasilkan standar telepon di Eropa, digunakan sebagai spesifikasi radio seluler bergerak yang bekerja pada frekuensi 900 Mhz (Redl, 1998). Menurut *SM Research & Development of Service & Product PT. Telekomunikasi Indonesia*, perkembangan telepon seluler GSM saat ini sudah mencapai 229.4 juta pengguna hingga tahun 2011. Pertumbuhan pengguna telepon seluler GSM yang cepat ini tidak hanya terjadi di kota-kota besar melainkan sudah sampai ke kota-kota kecil bahkan pedesaan. Hal ini tentu saja memerlukan tersedianya infrastruktur jaringan yang mampu melayani pelanggan dengan kualitas yang baik dan memuaskan.

Teknologi telepon seluler GSM berjalan dalam satu sistem jaringan yang saling terhubung. Telepon seluler akan terhubung dengan BTS (*Base Transfer Station*) dalam satu wilayah sel. BTS menangani antarmuka radio ke *mobile station*. BTS adalah perlengkapan radio yang diperlukan untuk melayani setiap panggilan di masing-masing sel dalam suatu jaringan. Dalam satu wilayah sel terdapat beberapa BTS yang melayani jumlah trafik yang ada. Pembangunan infrastruktur jaringan seluler GSM membutuhkan perencanaan dengan tujuan dapat

memenuhi kebutuhan pengguna. Perencanaan infrastruktur jaringan seluler GSM diusahakan membutuhkan seminimal mungkin perangkat keras jaringan tetapi dapat memenuhi semaksimal mungkin kapasitas trafik yang ada. Untuk melaksanakan perencanaan tersebut dibutuhkan optimasi kapasitas trafik perangkat keras jaringan (BTS) di suatu wilayah tertentu.

Kapasitas trafik satu BTS dihitung dengan menentukan jumlah kanal, sektorisasi antena, besar *band* frekuensi yang dialokasikan, dan *Grade of Service* (GoS) yang ditawarkan (Sustika, 2010). Kapasitas trafik suatu BTS disesuaikan dengan trafik pelanggan yang ada pada wilayah yang dilayani.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Pramsistya (2010), didapatkan jumlah BTS dapat diminimasi dari jumlah yang sebenarnya, sehingga dapat mengoptimalkan jumlah BTS yang ada dengan menggunakan algoritma genetika. Namun penelitian ini hanya mencakup satu tujuan saja yakni optimasi jumlah BTS.

Berawal dari penelitian yang dilakukan oleh Hakim (2012), didapatkan jumlah optimal BTS untuk wilayah Surabaya dengan melakukan pendekatan *goal programming*. Namun pendekatan tersebut menggunakan jumlah penjualan kartu operator untuk mengestimasi kebutuhan trafik pelanggan. Hal tersebut dianggap tidak layak karena mengesampingkan pelanggan yang hanya menggunakan kartu operator sementara waktu atau dalam kurun waktu yang relatif singkat.

Menurut Mirsha (2004), BTS harus mampu berkomunikasi dengan *mobile station* dalam cakupan area tertentu dan menjaga standar kualitas panggilan. Jaringan radio harus mampu menawarkan kapasitas dan cakupan area yang cukup. Dengan berdasar pada penelitian yang dilakukan Susanti (2012), metode *goal programming* digunakan untuk mengoptimasi beberapa fungsi tujuan antara lain: terpenuhinya pesanan produk, meminimumkan biaya transportasi dari pabrik ke gudang, meminimumkan biaya penyimpanan produk di gudang, dan memaksimalkan pemanfaatan kapasitas mesin. Metode *goal*

programming merupakan metode yang tepat digunakan dalam pengambilan keputusan untuk mencapai tujuan-tujuan yang bertentangan di dalam batasan-batasan yang kompleks dalam perencanaan produksi (Taylor, 1982).

Dalam tugas akhir ini, model yang akan dibentuk mempunyai tujuan yang saling bertentangan yakni memaksimalkan kapasitas trafik agar dapat menampung semua permintaan trafik dari pelanggan di suatu wilayah tertentu dan meminimalkan kapasitas total trafik wilayah tertentu agar tidak melebihi total kapasitas yang dimiliki. Proses optimasi yang dilakukan menggunakan metode *goal programming* yang telah banyak diterapkan dalam penelitian-penelitian terdahulu sebagai solusi pemecahan masalah multi tujuan dalam pengambilan keputusan. Sehingga hasil luaran yang dicapai dapat memberikan masukan keputusan kepada operator jasa telekomunikasi dalam perencanaan kapasitas trafik BTS yang optimal dalam suatu wilayah pada periode tertentu.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah yang diambil adalah :

1. Bagaimana mengestimasi jumlah trafik pemakaian oleh pelanggan seluler untuk menghasilkan kebutuhan trafik pelanggan?
2. Apakah model *goal programming* mampu mengoptimalkan kapasitas trafik di suatu wilayah tertentu?

1.3. Batasan Pengerjaan Tugas Akhir

Batasan yang ada dalam pengerjaan tugas akhir ini meliputi :

1. Penggunaan jumlah sektor di tiap BTS sesuai dengan data aktual yang diperoleh dari perusahaan, dengan jumlah maksimal 3 sektor untuk tiap BTS .

2. Penggunaan jumlah TRx tiap BTS sesuai dengan data aktual yang diperoleh dari perusahaan, penggunaan TRx tidak selalu maksimal dimana BTS GSM900 maksimal memiliki 4 TRx dan BTS DCS1800 maksimal memiliki 12 TRx.
3. Optimasi ini hanya memperhatikan trafik *voice*.
4. Wilayah dalam proses optimasi dilakukan di wilayah Surabaya.
5. *TRx upgrading* tidak memperhatikan faktor biaya.

1.4. Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mengestimasi jumlah trafik yang dibutuhkan pelanggan pada wilayah dan periode tertentu.
2. Membuat model *goal programming* yang mampu mengoptimalkan kapasitas trafik dalam suatu wilayah tertentu.

1.5. Manfaat Tugas Akhir

Manfaat yang dapat diperoleh dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Perusahaan dapat mengestimasi jumlah trafik yang dibutuhkan di masa mendatang, sehingga bisa digunakan untuk merencanakan pembangunan BTS secara optimal.
2. Memberikan masukan kepada operator jasa telekomunikasi untuk mengoptimalkan kapasitas trafik BTS dalam suatu wilayah pada periode tertentu.

1.6. Sistematika Penulisan

Buku tugas akhir ini disusun berdasarkan urutan pelaksanaan penelitian yang mana antara bab satu dengan yang lainnya saling berhubungan. Buku tugas akhir ini disusun menjadi 6 bab dengan susunan sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan hal-hal dasar mengenai tugas akhir ini. Hal-hal yang dijelaskan di sini antara lain: latar belakang pengerjaan tugas akhir, rumusan permasalahan pengerjaan tugas akhir, batasan permasalahan pengerjaan tugas akhir, tujuan pengerjaan tugas akhir, manfaat dari pengerjaan tugas akhir, dan sistematika penulisan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan konsep mengenai perencanaan GSM (*Global System for Mobile Communication*), BTS (*Base Transceiver Station*), sistem informasi / teknologi informasi pada bidang telekomunikasi, peramalan dengan metode *Triple Exponential Smoothing (Winter)*, *linear programming* dan metode optimasi *goal programming*.

BAB III METODOLOGI TUGAS AKHIR

Bab ini menjelaskan mengenai metodologi pengerjaan tugas akhir. Metodologi tersebut terdiri dari beberapa tahapan yang akan digunakan sebagai acuan dalam pengerjaan tugas akhir ini sehingga pengerjaan menjadi lebih terstruktur dan sistematis.

BAB IV DESAIN DAN IMPLEMENTASI MODEL

Bab ini menjelaskan mengenai desain dan implementasi model optimasi perencanaan kapasitas trafik BTS metode *Goal Programming*. Pada tahapan desain terdapat proses pengelolaan data pendukung, peramalan jumlah pelanggan menggunakan metode *Triple Exponential Smoothing*, penentuan trafik pelanggan berdasar jumlah pelanggan di 5 tahun mendatang, pembuatan model optimasi dan pembuatan program komputer untuk optimasi menggunakan metode *goal programming*.

BAB V UJI COBA DAN ANALISIS HASIL

Bab ini menjelaskan mengenai implementasi dan uji coba model optimasi yang telah dibuat dengan menggunakan perangkat

lunak Matlab. Kemudian dari hasil yang ada dapat dilakukan analisis.

BAB VI PENUTUP

Bab ini menjelaskan mengenai simpulan dari pengerjaan tugas akhir serta saran untuk pengembangan selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas mengenai tinjauan pustaka dari tugas akhir. Bab ini berisi dasar teori yang mendukung tugas akhir sehingga ada dasar teori yang cukup kuat sebagai pendukung pelaksanaan tugas akhir.

2.1. GSM (Global System for Mobile Communication)

2.1.1. Konsep GSM

Pada tahun 1982 sebuah grup komunitas telekomunikasi di Eropa (CEPT) membuat standarisasi telepon seluler yang disebut *Global System for Mobile Communication* (GSM) (Redl, 1998). Sesuai dengan aturan ITU (*International Telecommunication Union*) frekuensi yang digunakan oleh jaringan GSM adalah pada range 900 MHz, yaitu frekuensi *uplink*: 890–915 MHz dan frekuensi *downlink* : 935–960 MHz. Kemudian ITU memutuskan untuk menambah alokasi frekuensi untuk selular yaitu di frekuensi 1800 MHz, yang disebut DCS (*Digital Cellular System*) atau GSM 1800. Pembagian frekuensinya adalah *uplink*: 1710-1785 Mhz dan frekuensi *downlink*: 1805-1880 Mhz.

Sistem telepon seluler membagi suatu wilayah menjadi beberapa sel-sel kecil. GSM adalah jaringan seluler, yang artinya bahwa telepon seluler bisa terkoneksi dengan mencari sel-sel disekitarnya yang berdekatan. Ada beberapa keuntungan dari penggunaan jaringan seluler yaitu peningkatan kapasitas, penurunan penggunaan daya listrik, dan jangkauan area yang lebih baik. Sistem seluler ini memungkinkan penggunaan frekuensi ulang pada wilayah yang lain, sehingga jutaan orang bisa menggunakan telepon seluler secara bersamaan.

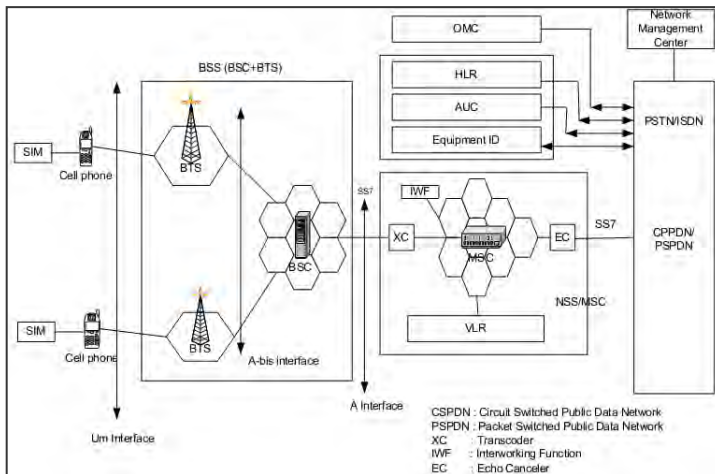
Ada beberapa macam ukuran sel pada jaringan GSM, yaitu sel *macro*, *micro*, *pico* dan *umbrella*. Area cakupan masing-masing sel bervariasi tergantung dari implementasi terhadap

daerah yang dicakupinya masing-masing. Sel *macro* bisa ditemui ketika antena BTS di pasang pada bangunan atau atap gedung yang tinggi. Sel *micro* adalah sel yang tinggi antenanya di bawah atap gedung. Biasanya digunakan pada daerah perumahan. *Picocells* adalah sel yang berukuran kecil dimana luasnya hanya beberapa m². Sel *umbrella* biasanya digunakan untuk menjangkau sel yang kecil dan mengisi kekosongan di antara sel yang kecil.

Jangkauan sel bervariasi tergantung pada tinggi antena, *gain* antena, propagasi dari beberapa ratus meter sampai puluhan kilometer. Jangkauan terjauh dari GSM dalam praktiknya adalah 35 km atau 22 mil.

2.1.2. Arsitektur Jaringan GSM

Pada dasarnya sistem GSM atau DCS dirancang sebagai kombinasi dari 3 subsistem utama: subsistem jaringan (*network subsystem*), subsistem radio (*radio subsystem*), dan subsistem yang mendukung operasi (Taufiq, 2002). Arsitektur jaringan GSM ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Arsitektur Jaringan GSM (Taufiq, 2002)

Network subsystem terdiri dari peralatan dan fungsi yang dihubungkan ke *end-to-end call*, manajemen dari pelanggan, mobilitas, dan *interface* dengan PSTN. *Switching subsystem* terdiri dari MSC, VLR, HLR, AuC, dan EIR. *Radio subsystem* terdiri dari BSC, BTS, dan MS. Sistem GSM direalisasikan sebagai suatu jaringan radio sel, yang secara bersama menyediakan cakupan dan area pelayanan yang utuh. Tiap sel memiliki 1 BTS dengan sejumlah *transceiver* (TRx). Sekelompok BTS dikontrol oleh 1 BSC.

Subsistem *Operational and Maintenance Center* (OMC) mengandung peralatan operasi dan perawatan GSM dan mendukung *interface* operator jaringan. Itu dihubungkan ke seluruh peralatan dalam sistem *switching* dan ke BSC.

2.1.3. Trafik GSM

Trafik adalah perpindahan suatu benda dari suatu tempat ke tempat yang lain. Di dalam dunia telekomunikasi, benda disini adalah informasi-informasi, dalam suatu telekomunikasi seluler perpindahan informasi dari suatu tempat ke tempat lain melalui media gelombang elektromagnetik (Mufti, 2003). Trafik dalam seluler didefinisikan sebagai kumpulan panggilan telepon bergerak melalui suatu grup kanal dengan memandang durasi dan jumlah panggilan. Sehingga dalam tugas akhir ini hanya memperhatikan trafik *voice* saja. Secara matematis dirumuskan seperti persamaan 2.1 berikut:

$$E = \lambda \times t_h \text{Erlang} \quad (2.1)$$

Dimana:

E : Intensitas trafik (erlang)

λ : call arrival rate (call/hour)

t : mean holding rate (hour/call)

Satuan yang digunakan adalah *erlang*. 1 *erlang* didefinisikan sebagai jumlah trafik yang berlangsung ketika 1 pelanggan menduduki 1 kanal percakapan selama 1 kurun waktu rujukan (detik, menit atau jam). Jika waktu rujukan adalah menit,

maka 1 *erlang* adalah ketika 1 pelanggan menduduki satu kanal percakapan (1 TS) selama 1 menit. Demikian juga, jika waktu rujukan adalah jam maka 1 *erlang* adalah ketika 1 pelanggan menduduki satu kanal percakapan (1 TS) selama 1 jam. Tapi biasanya yang dijadikan rujukan adalah trafik per jam.

Operator tidak hanya memastikan berapa kapasitas TRx yang dibutuhkan pada keadaan trafik normal tetapi juga cukup fleksibel untuk mengakomodasi lonjakan trafik pada jam-jam sibuk. Untuk melakukan itu ada konsep yang dikenal sebagai *Grade of Service* (GoS) atau kelas layanan (Taufiq, 2002). GoS menentukan berapa banyak potensial trafik pelanggan yang tidak bisa diakomodasi per seratus pelanggan. Jika dikatakan GoS-nya adalah 2 % berarti akan ada 2 pelanggan yang ditolak pada setiap 100 panggilan selama 1 rujukan waktu.

Suatu sistem seluler didesain untuk menangani trafik pada jam sibuk dengan lancar dan untuk memuaskan pelanggan. Seluruh sistem didesain berdasarkan jumlah trafik ponsel yang diantisipasi selama jam sibuk. Untuk telepon seluler, puncak jam sibuk biasanya terjadi antara jam 10.00 dan 12.00, dengan beberapa detik puncak antara jam 13.00 sampai jam 15.00 berdasarkan pengguna bisnis dan komersial (Mufti, 2003).

2.1.4. Kapasitas Jaringan Seluler

Analisis statistik pertumbuhan pelanggan diperlukan untuk estimasi jumlah pelanggan pada waktu-waktu mendatang. Menurut Mufti (2003), ukuran sel yang dirancang, harus mampu melayani sejumlah pengguna yang diprediksikan pada suatu daerah (*traffic demand*). *Traffic demand* selalu dihitung sampai beberapa tahun kedepan (5 tahun, 10 tahun, dsb) untuk mengamankan investasi dan tergantung juga dari prospek bisnis, efisiensi berkaitan dengan laju perkembangan teknologi, dsb. Umumnya untuk penentuan lokasi akan direncanakan untuk waktu yang lebih panjang dibandingkan dengan jaringan perangkat radionya. Persamaan 2.2 berikut merupakan rumus untuk menghitung *traffic demand* (A_{TOT}):

$$A_{TOT} = \text{jumlah pengguna yang diramalkan} \times \text{trafik rata-rata per pengguna} \quad (2.2)$$

Untuk menghitung kapasitas yang dimiliki oleh jaringan seluler dibutuhkan jumlah kanal yang dimiliki, kemudian dari jumlah kanal tersebut dapat dihitung menggunakan tabel *Erlang-B* dengan spesifikasi GoS yang dipersyaratkan untuk melihat kapasitas *erlang* per-sel. Gambar 2.2 adalah *capture* dari tabel *Erlang-B*.

Erlang B Traffic Table

Maximum Offered Load Versus B and N

N/B	B is in %											
	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0	2	5	10	15	20	30	40
1	.0001	.0005	.0010	.0050	.0101	.0204	.0526	.1111	.1765	.2500	.4286	.6667
2	.0142	.0321	.0458	.1054	.1526	.2235	.3813	.5954	.7962	1.000	1.449	2.000
3	.0868	.1517	.1938	.3490	.4555	.6022	.8994	1.271	1.603	1.930	2.633	3.480
4	.2347	.3624	.4393	.7012	.8694	1.092	1.525	2.045	2.501	2.945	3.891	5.021
5	.4520	.6486	.7621	1.132	1.361	1.657	2.219	2.881	3.454	4.010	5.189	6.596
6	.7282	.9957	1.146	1.622	1.909	2.276	2.960	3.758	4.445	5.109	6.514	8.191
7	1.054	1.392	1.579	2.158	2.501	2.935	3.738	4.666	5.461	6.230	7.856	9.800
8	1.422	1.830	2.051	2.730	3.128	3.627	4.543	5.597	6.498	7.369	9.213	11.42
9	1.826	2.302	2.558	3.333	3.783	4.345	5.370	6.546	7.551	8.522	10.58	13.05
10	2.260	2.803	3.092	3.961	4.461	5.084	6.216	7.511	8.616	9.685	11.95	14.68

Gambar 2.2 Contoh Tabel Erlang-B

2.2. BTS (*Base Transceiver Station*)

Base Transceiver Station (BTS) adalah bagian dari *network element* GSM yang berhubungan langsung dengan *Mobile Station* (MS) (Mirsha, 2004). Tiap sel memiliki sebuah BTS yang menjamin komunikasi radio antar MS dalam sel melalui *air interface* dan *mobile station* dengan jaringan tetap (PSTN). Fungsi utama dari BTS adalah menjaga dan memonitor koneksi ke MS dalam sebuah sel. BTS merupakan bagian yang berhubungan langsung dengan MS melalui gelombang radio, BTS disebut juga modem radio.

Penghubung antara sejumlah BTS dan MSC adalah BSC (*Base Station Controller*). Tiap BSC mengontrol 1 atau lebih

BTS. BSC dihubungkan ke beberapa BTS melalui *Abis-interface* (Mirsha, 2004). BSC berfungsi untuk menjaga sentral dan mengatur subsistem, sama dengan BSS (*Base Station Subsystem*). BSS terdiri dari BSC itu sendiri dan BTS yang terhubung.

TRx (*Transmitter and Receiver*) bertanggung jawab untuk transmisi dan penerima sinyal radio. Untuk menghitung kapasitas suatu BTS dalam melayani pelanggan, maka kita harus memperhatikan berapa jumlah TRx yang digunakan dalam tiap sektornya (Mirsha, 2004). Dengan asumsi tiap BTS menggunakan antena sektoral, maka akan ada 3 sektor dalam setiap BTS yang akan dihitung kapasitasnya. Setiap TRx yang digunakan akan mampu menangani 8 kanal, masing-masing kanal ini akan diduduki oleh satu panggilan/pembicaraan pelanggan. Jika operator menggunakan konfigurasi 4x4x4, maka tiap sektor diisi dengan 4 TRx sehingga perhitungan bisa dilakukan sebagai berikut:

- 1 sektor terdiri atas 4 TRx
- 1 TRx = 8 kanal
- 4 TRx = 8 x 4 = 32 kanal

Setiap sektor membutuhkan 1 kanal BCCH (*Broadcast Control Channel*) dan 1 kanal SDCCH (*Standalone Dedicated Control Channel*) yang berguna dalam *broadcast* sinyal dan juga mengatur panggilan setiap pelanggan. Jadi, 1 sektor yang terdiri atas 4 TRx mampu melayani $32 - 2 = 30$ panggilan secara teoritis. Maksud dari istilah kapasitas secara teoritis di sini karena masih ada faktor *interference*, *blocking*, *congestion*, dan sebagainya.

BTS standar GSM (2G) terdiri dari BTS GSM900 dan DCS1800. Untuk BTS GSM900 maksimal memiliki 4 TRx. Sedangkan BTS DCS1800 maksimal memiliki 12 TRx.

2.3. Sistem Informasi / Teknologi Informasi pada Bidang Telekomunikasi

Optimasi adalah pencarian nilai-nilai variabel yang dianggap optimal, efektif dan efisien untuk mencapai hasil yang

diinginkan. Masalah optimasi beraneka ragam sesuai dengan bidang masing-masing. Mulai dari kesehatan, transportasi, manufaktur, inventori hingga teknologi informasi dan komunikasi.

Pada bidang teknologi informasi, optimasi sudah banyak dilakukan untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Seperti optimasi pada jaringan (*networking*), penggunaan *bandwidth*, penggunaan memori (*storage*) dan lain sebagainya. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Mustaziri (2012), "Sistem Pakar *Fuzzy* untuk Optimasi Penggunaan *Bandwidth* Jaringan Komputer" bertujuan untuk mengidentifikasi kebutuhan *bandwidth* yang akan terjadi sehingga dapat meningkatkan kualitas layanan dan menentukan biaya yang harus dikeluarkan. Serupa dengan Deng & Zhou (2011) yang melakukan optimasi terhadap sistem penyimpanan yang berbasis *flash memory*. Tujuannya adalah untuk memberikan penjelasan mengenai analisis, optimasi dan pengembangan teknik untuk meningkatkan performa dan mengurangi konsumsi energi dari sistem penyimpanan berbasis *flash memory*.

Berbicara mengenai telekomunikasi, maka sangat erat kaitannya dengan teknologi informasi. Begitu pula dengan telekomunikasi seluler dimana masyarakat begitu dekat dengan hal ini. Trafik berupa *voice* maupun data merupakan produk dari teknologi informasi dan komunikasi.

Sistem telekomunikasi seluler merupakan suatu komunikasi antara dua buah terminal dengan salah satu atau kedua terminal berpindah tempat. Dengan adanya perpindahan tempat ini, sistem komunikasi bergerak tidak menggunakan kabel sebagai media transmisi.

Sistem telekomunikasi seluler dapat melayani banyak pengguna pada cakupan area tertentu dengan frekuensi terbatas. Daerah jangkauan dibatasi dengan adanya pembagian area menjadi sel-sel. Untuk menangani hal tersebut, maka dibutuhkan suatu alat penghubung yang dikenal dengan *Base Transceiver Station* (BTS). Setiap BTS memiliki kemampuan yang berbeda-

beda tergantung pada bentuk geografis dan demografi di sekitar BTS tersebut.

Dengan demikian, tugas akhir ini menjadi salah satu bagian dari sistem informasi telekomunikasi, antara *subscriber* (pelanggan), BTS dan demografi. Sehingga luaran tugas akhir ini dapat menjadi bahan informasi pembuat keputusan (*decision making*) dalam menentukan jumlah BTS yang optimal.

2.4. Peramalan

Peramalan merupakan proses untuk memprediksi berapakah kebutuhan di masa akan datang dengan memperhatikan faktor-faktor, seperti kualitas, kuantitas, waktu, dan lokasi. Peramalan permintaan sangat penting dalam proses perencanaan dan operasi perusahaan. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan informasi mengenai infrastruktur dan sumber daya yang dibutuhkan dalam proses pengoperasian. Hal-hal tersebut tidak dapat ditentukan apabila jumlah permintaan belum ditentukan.

Situasi peramalan yang terjadi biasanya bergantung pada pola data yang digunakan. Untuk menghadapi hal tersebut, terdapat beberapa teknik yang telah dikembangkan. Teknik tersebut antara lain dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu teknik dengan metode kuantitatif dan metode kualitatif.

Metode kuantitatif dapat dibagi ke dalam deret berkala (*time series*) dan metode kausal. Sedangkan metode kualitatif dapat dibagi menjadi metode eksploratoris dan normatif (Makridakis, 1998).

Sedangkan menurut Hyndman (1998), teknik peramalan dibagi menjadi dua kategori, yaitu metode kuantitatif dan metode kualitatif. Metode kuantitatif dibagi menjadi dua yaitu *time series* dan *explanatory*. Peramalan kuantitatif dapat diaplikasikan jika telah memenuhi kondisi berikut:

1. Tersedia informasi numerik di masa lalu.
2. Masuk akal bila berasumsi bahwa beberapa aspek pola pada masa lalu akan terus berlanjut pada masa yang akan datang.

Model peramalan berdasarkan model *time series* merupakan suatu teknik peramalan berdasarkan nilai masa lalu suatu variabel yang disusun menurut urutan waktu. Model ini cocok untuk meramalkan sejumlah besar variabel dalam waktu yang singkat dengan sumberdaya yang terbatas (Mulyono, 2000).

Model *time series* ini dibagi menjadi empat pola (Hanke, 2003) yaitu :

1. Pola Horizontal
Pola horizontal terjadi ketika suatu nilai data yang digunakan berfluktuasi di sekitar nilai rata-rata yang konstan. Deret ini disebut juga deret stasioner terhadap nilai rata-ratanya.
2. Pola Musiman
Pola ini terjadi ketika data yang digunakan dipengaruhi oleh faktor musiman misalnya bulanan, tahunan. Komponen musiman sendiri merupakan fluktuasi yang terjadi kurang dari setahun dan berulang pada tahun-tahun berikutnya.
3. Pola Siklik
Pola siklik terjadi ketika data yang digunakan dipengaruhi oleh fluktuasi ekonomi jangka panjang dan terlihat naik/turun dalam periode waktu yang tidak tetap.
4. Pola Kecenderungan (*Trend*)
Pola trend terbentuk ketika terdapat kenaikan atau penurunan pada data yang akan digunakan dalam peramalan dalam jangka waktu yang panjang. *Trend* merupakan komponen jangka panjang yang mendasari pertumbuhan atau penurunan data *time series*.

Setiap data historis memiliki pola yang berbeda-beda sehingga metode peramalan yang tepat juga bisa berbeda. Begitu juga dengan data historis perusahaan ini. Data historis menunjukkan adanya *trend* dan perilaku musiman (*seasonal*). Untuk data dengan pola tersebut, peramalan dapat menggunakan

metode *Winter* (Triple Exponential Smoothing). (Chopra & Meindl, 2007).

2.4.1. Peramalan dengan Metode Triple Exponential Smoothing (*Winter*)

Metode peramalan *Winter* merupakan metode peramalan yang tepat untuk data yang memiliki faktor trend, level, dan seasonal. Metode ini memiliki kelebihan yaitu mudah dan cepat dalam memperbarui ramalan ketika data baru diperoleh. Dalam metode *Winter* terdapat tiga parameter yang digunakan yaitu α , β dan γ (Gaynor, 1994). Berikut adalah bentuk matematisnya.

$$F_{t+1} = (L_t + T_t) \times S_{t+1} \quad (2.3)$$

$$L_0 = \sum_{t=1}^s \frac{Dt}{s} \quad (2.4)$$

$$T_0 = \left(\sum_{t=1}^s Dt/s \right) - \left(\sum_{t=s+1}^{2s} Dt/s \right) \quad (2.5)$$

$$S_0 = \frac{D}{\sum_{t=1}^s \frac{Dt}{s}} \quad (2.6)$$

$$L_{t+1} = \alpha (D_{t+1}/S_{t+1}) + (1-\alpha) (L_t + T_t) \quad (2.7)$$

$$S_{t+p+1} = \gamma (D_{t+1} / L_{t+1}) + (1-\gamma) S_{t+1} \quad (2.8)$$

$$T_{t+1} = \beta (L_{t+1} - L_t) + (1-\beta) T_t \quad (2.9)$$

$$0 \leq \alpha \leq 1, 0 \leq \gamma \leq 1, \text{ dan } 0 \leq \beta \leq 1 \quad (2.10)$$

Setelah menghitung proyeksi nilai yang akan diharapkan pada periode tertentu maka langkah selanjutnya adalah mencari nilai *error*. Berikut adalah rumus mencari nilai *error* pada periode $t+1$ (Chopra & Meindl, 2007).

$$E_{t+1} = F_{t+1} - D_{t+1} \quad (2.11)$$

Salah satu penghitungan *error* dalam peramalan adalah *Mean Squared Error* (MSE). MSE berhubungan dengan varians kesalahan dalam peramalan. Berikut adalah rumusnya (Chopra & Meindl, 2007).

$$\text{MSE}_n = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n E_t^2 \quad (2.12)$$

Absolute Deviation (A) merupakan nilai absolute dari nilai *error* pada periode t. Berikut adalah rumusnya (Chopra & Meindl, 2007).

$$A_t = |E_t| \quad (2.13)$$

Mean Absolute Deviation (MAD) merupakan rata-rata dari *Absolute Deviation* pada periode. MAD dapat digunakan untuk mengestimasi standart deviasi dari komponen random. Berikut adalah rumusnya (Chopra & Meindl, 2007).

$$\text{MAD}_n = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n A_t \quad (2.14)$$

Mean Absolute Percentage Error (MAPE) adalah persentasi rata-rata *Absolute Deviation*. MAPE digunakan untuk menentukan apakah hasil peramalan bagus atau tidak. Apabila MAPE kurang dari 20 maka dapat dikatakan bahwa peramalan bagus. Sedangkan peramalan dapat dikatakan sangat bagus apabila MAPE kurang dari 10. Berikut adalah rumusnya (Chopra & Meindl, 2007).

$$\text{MAPE}_n = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{E_t}{D_t} \right| 100}{n} \quad (2.15)$$

Dimana :

L = Level

- T = Tren
- S = faktor musim
- D = permintaan
- s = periode peramalan
- F = proyeksi nilai yang akan diharapkan pada periode $t+n$
- α = konstanta pemulusan untuk level
- γ = konstanta pemulusan untuk faktor musim
- β = konstanta pemulusan untuk tren
- E = *Error*

2.5. Linear Programming

Linear Programming adalah sebuah solusi yang dapat menyelesaikan permasalahan pengalokasian sumber-sumber yang terbatas seperti tenaga kerja, bahan baku, dan jam kerja mesin dengan cara terbaik sehingga diperoleh hasil yang optimal. Hasil optimal tersebut berupa maksimasi keuntungan atau minimasi biaya (Anderson, Sweeney, & Williams, 2003).

Salah satu langkah dalam penyelesaian masalah menggunakan *linear programming* adalah formulasi permasalahan. Tidak semua permasalahan dapat diselesaikan dengan *linear programming*. Berikut adalah ciri-ciri masalah yang dapat diselesaikan dengan *linear programming*:

1. Semua variabel penyusunnya (x_1, x_2, \dots, x_n) bernilai tidak negatif.
2. Fungsi obyektif $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ dapat dinyatakan sebagai fungsi linier variabel-variabelnya.
3. Batasan dapat dinyatakan sebagai suatu sistem persamaan linier.

Karakteristik dari *linear programming* adalah dapat menyelesaikan masalah yang dapat diidentifikasi dengan *linear programming*, yaitu persamaan dan pertidaksamaan yang linier. Linier disini memiliki beberapa ketentuan, diantaranya adalah:

1. Variabel pangkat 0 atau 1,

misal : $2x + y = 10$

2. Tidak ada perkalian antar variabel, seperti : $4xy = 20$
3. Tidak ada fungsi trigonometri, seperti : $4 \sin a + 5 \cos b = 35$
4. Tidak ada fungsi logaritmik atau eksponensial, seperti : $3 \log a + \log b = 50$

Tujuan dari *linear programming* adalah merumuskan permasalahan yang tidak terstruktur ke dalam model matematika sehingga didapatkan permasalahan yang terstruktur. Dalam *linear programming* terdapat dua jenis metode pendekatan, yaitu:

1. Metode Grafik
Metode ini digunakan untuk menyelesaikan optimasi dengan jumlah variabel tidak lebih dari dua.
2. Metode Simplek
Metode ini digunakan untuk proses dengan jumlah variabel lebih dari dua.

2.6. Metode Optimasi Goal Programming

Goal programming merupakan perluasan dari model *linear programming* yang mampu menyelesaikan permasalahan dengan tujuan lebih dari satu. Model ini telah digunakan dalam beberapa penelitian untuk memberikan solusi permasalahan yang mempunyai multi tujuan. Metode *goal programming* efektif digunakan untuk menentukan kombinasi jumlah produk yang akan dihasilkan sehingga mencapai hasil yang optimal dan sekaligus mencapai sasaran-sasaran yang diinginkan perusahaan (Jones & Tamiz, 2010).

Menurut Papandreou & Shang (2008), konsep dasar dari *goal programming* adalah mengubah objektif dari masalah menjadi *goal* dengan menghubungkan *level* target untuk setiap objektif. Dengan demikian fokus dari *goal programming* adalah meminimalkan deviasi. Sebelumnya terdapat juga penerapan *goal programming* yang dilakukan oleh Leung & Chan (2009) tentang

perencanaan sebuah produksi dengan beberapa permasalahan kendala operasional. Hal ini membuktikan bahwa *goal programming* dapat digunakan dalam pemberian solusi dengan banyak tujuan.

Permasalahan lainnya yang telah berhasil diselesaikan dengan metode *goal programming* adalah “*A Goal Programming Model for Production Planning of Perishable Products with Postponement.*” Penelitian tersebut mengenai perencanaan produksi untuk produk yang mudah rusak dengan strategi penundaan. Perencanaan produksi dalam permasalahan ini menggunakan tiga tujuan, yaitu meminimalkan biaya operasi, biaya persediaan, dan biaya perekrutan dan PHK (Leung & Ng, 2007).

Penelitian lainnya dalam “*A Goal Programming Approach to Production Planning for Flexible Manufacturing System*” juga menunjukkan bahwa *goal programming* terbukti membantu dalam perencanaan *Flexible Manufacturing System (FMS)* (Dean, Yu, & Schniederjans, 1990).

Dalam metode *goal programming* terdapat beberapa komponen, yaitu variabel keputusan, fungsi tujuan, dan batasan. Variabel keputusan berguna untuk mencari nilai optimal variabel yang ingin dicari. Kemudian terdapat fungsi tujuan yang berfungsi untuk menentukan tujuan yang ingin dicapai. Sedangkan batasan dalam model *goal programming* merupakan aspek pembatas dalam perhitungan.

Metode *goal programming* ini merupakan metode yang melibatkan seluruh tujuan ke dalam formulasi model *goal programming*. Tujuan merupakan keputusan harapan yang ingin dicapai oleh pembuat keputusan misalnya memaksimalkan pendapatan, meminimalkan biaya, dan memaksimalkan penggunaan mesin (Jones & Tamiz, 2010). Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

X_1, X_2, \dots, X_n = variabel keputusan
 K = banyaknya tujuan yang dipertimbangkan

- C_{jk} = koefisien X_j ($j= 1, 2, \dots, n$) pada fungsi tujuan dalam setiap tujuan- k ($k = 1, 2, \dots, K$)
 G_k = target untuk tujuan- k

Metode *goal programming* ini merupakan metode yang melakukan pendekatan untuk mencapai nilai tujuan dan meminimumkan penyimpangan.

$$\sum_{j=1}^n C_{jk}X_j = G_k \quad (2.16)$$

Dimana:

- C_{jk} = koefisien X_j ($j= 1, 2, \dots, n$) pada fungsi obyektif dalam setiap tujuan - k ($k = 1, 2, \dots, K$)
 X_j = variabel keputusan ($j= 1, 2, \dots, n$)
 G_k = target untuk tujuan- k

Dalam metode *goal programming* tidak memungkinkan untuk mencapai seluruh target sehingga perlu didefinisikan fungsi tujuan yang menyeluruh dari tujuan awal. Dengan harapan penyimpangan dapat bernilai negatif atau positif maka fungsi tujuan dalam metode *goal programming* adalah:

$$Z_{min} = \sum_{k=1}^K | \sum_{j=1}^n C_{jk}X_j - G_k | \quad (2.17)$$

Dimana:

- Z_{min} = fungsi tujuan minimal
 C_{jk} = koefisien X_j ($j= 1, 2, \dots, n$) pada fungsi tujuan dalam setiap tujuan - k ($k = 1, 2, \dots, K$)
 X_j = variabel keputusan ($j= 1, 2, \dots, n$)
 G_k = target untuk tujuan - k

Fungsi tujuan menyeluruh dari metode *goal programming* sangat sulit untuk diselesaikan, maka harus dilakukan transformasi format ke bentuk *linear programming*

agar diselesaikan dengan cara yang lebih sederhana. Tahap awal transformasi adalah membuat variabel baru yang didefinisikan sebagai berikut.

$$d_k = \sum_{j=1}^n C_{jk} X_j = G_k \text{ untuk } k = 1, 2, \dots, K \quad (2.18)$$

Sehingga, fungsi tujuan *goal programming* menjadi:

$$Z_{\min} = \sum_{k=1}^K |d_k| \quad (2.19)$$

d_k dapat bernilai positif atau negatif. Oleh karena itu, variabel ini dapat diganti dengan dua variabel non negatif baru.

$$d_k = d_k^+ - d_k^-, \text{ dimana } d_k^+ \text{ dan } d_k^- > 0 \quad (2.20)$$

Variabel d_k^+ dan d_k^- merupakan variabel penyimpangan (*deviational variabels*) yang merepresentasi tingkat pencapaian melebihi tujuan (*over achievement*) dan pencapaian kurang dari tujuan (*under achievement*). *Over achievement* dan *under achievement* tidak mungkin terjadi secara bersamaan, maka berlaku hubungan $d_k^+ * d_k^- = 0$.

Dalam model *goal programming* ini setiap tujuan dimasukkan dalam batasan yang ada dalam persamaan. Fungsi tujuan yang menjadi batasan tersebut dinamakan *goal constraint*, dimana dalam persamaannya melibatkan variabel penyimpangan d_k^+ dan d_k^- . Kemudian untuk menemukan solusinya dapat dilakukan dengan menggunakan metode simplek.

Pada banyak kasus, sebuah *goal programming* mengandung d_k^+ dan d_k^- , walaupun kedua variabel penyimpangan ini tidak muncul pada fungsi tujuan. Dengan demikian sangat mungkin untuk menuliskan fungsi kendala target seperti berikut.

$$\sum_{k=1}^K C_{jk} X_j - d_k = G_k \Rightarrow \sum_{j=1}^n C_{jk} X_j \leq G_k \quad (2.21)$$

BAB III

METODOLOGI TUGAS AKHIR

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai langkah-langkah sistematis yang dilakukan dalam tugas akhir agar terlaksana dengan terstruktur.

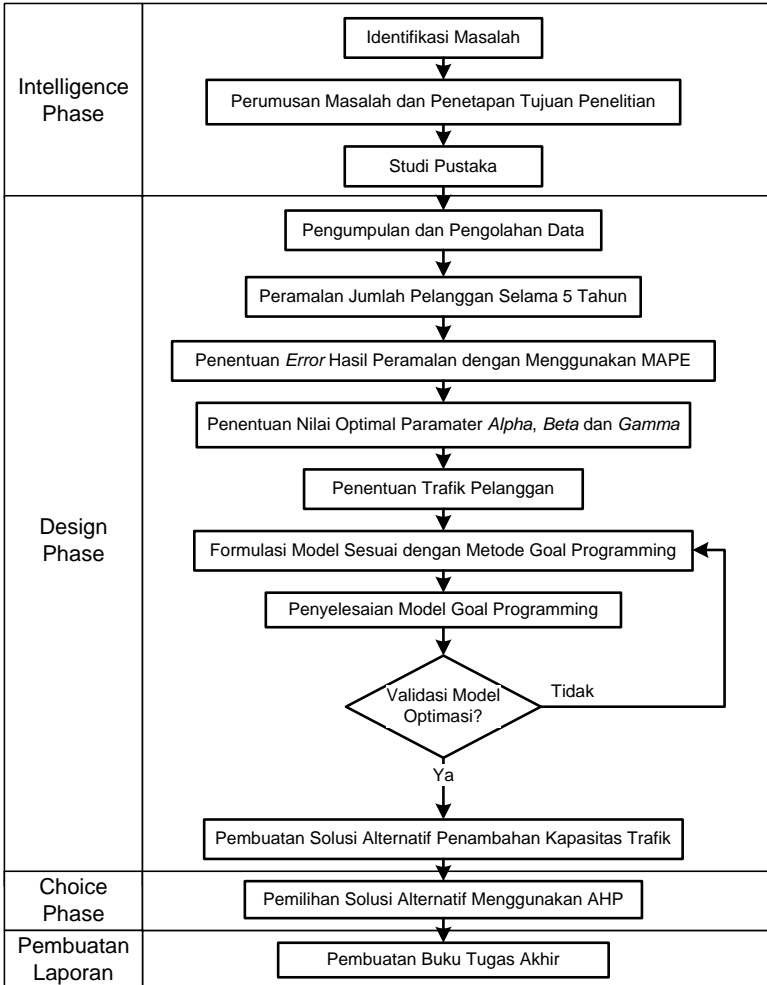
Metode penelitian dalam tugas akhir ini dikembangkan dari *Simon's Four Phase* pada *Decision Making Process*. (Turban, Aronson, Liang, & Sharda, 2007)

Metode penelitian dalam tugas akhir ini terdiri dari empat belas bagian, yaitu identifikasi masalah, perumusan masalah dan penetapan tujuan penelitian, studi pustaka yang tergolong dalam *intelligence phase*. *Intelligence phase* merupakan proses penelusuran dan pendeteksian dari lingkup problematika serta proses pengenalan masalah.

Tahapan pengumpulan dan pengolahan data, peramalan jumlah pelanggan selama 5 tahun, penentuan *error* hasil peramalan dengan menggunakan MAPE, penentuan nilai optimal parameter peramalan (*alpha*, *beta*, *gamma*), penentuan trafik pelanggan, formulasi model sesuai dengan metode *goal programming*, penyelesaian model *goal programming*, validasi model optimasi dan pembuatan solusi alternatif penambahan kapasitas berada pada *design phase*. *Design phase* merupakan proses pengembangan dan pencarian solusi alternatif yang dapat digunakan.

Selanjutnya adalah *choice phase* merupakan pemilihan solusi alternatif yang memperhatikan kriteria-kriteria berdasarkan tujuan yang akan dicapai. Tahapan yang berada pada *choice phase* antara lain pemilihan solusi alternatif. Pemilihan solusi alternatif ini menggunakan AHP (*Analytic Hierarchy Process*). Sehingga hasil dari tugas akhir ini adalah mendapatkan solusi alternatif penambahan kapasitas trafik untuk mengatasi permasalahan kekurangan kapasitas trafik dengan berdasarkan hasil optimasi kapasitas trafik. Solusi alternatif berupa *TRx*

Upgrading dan pembangunan BTS baru. Serta tahapan yang terakhir adalah pembuatan buku tugas akhir. Diagram alur metodologi dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Alur Metodologi Tugas Akhir

Berikut adalah detail penjelasan dari setiap tahapan dalam tugas akhir ini.

3.1. Identifikasi Masalah

Sebagai langkah awal dalam penelitian ini, maka masalah yang ingin diselesaikan/diteliti harus diidentifikasi secara jelas untuk menghindari kerancuan yang dapat timbul, serta menentukan studi kasus yang bagaimana yang akan digunakan. Adapun pada akhirnya penelitian ini mengambil permasalahan mengenai optimasi perencanaan kapasitas trafik BTS 5 tahun mendatang di Surabaya.

3.2. Perumusan Masalah dan Menetapkan Tujuan Penelitian

Setelah masalah teridentifikasi, maka dilanjutkan dengan perumusan masalah yang ada secara rinci agar diketahui secara tepat pokok permasalahannya. Selain itu, ditentukan pula tujuan apa saja yang ingin dicapai dengan diadakannya penelitian ini. Sehingga memberi pedoman pada penelitian ini dan pembahasan permasalahan lebih fokus serta tidak terjadi penyimpangan dalam proses pelaksanaannya.

3.3. Studi Pustaka

Studi literatur ini dilakukan untuk memperoleh dan lebih memahami teori-teori yang berhubungan dengan konsep GSM, BTS, peramalan dengan metode *Triple Exponential Smoothing (Winter)*, dan optimasi dengan model yang sesuai metode *goal programming*. Studi literatur juga dilakukan dengan meninjau penelitian-penelitian terdahulu yang telah dilakukan untuk meyakinkan bahwa yang diteliti saat ini belum pernah dilakukan atau merupakan pengembangan dari penelitian terdahulu.

3.4. Pengumpulan dan Pengolahan Data

Tahap pengumpulan data ini berupa pencarian data yang berhubungan dengan data pelanggan Telkomsel di wilayah Surabaya dan data mengenai BTS yang tersebar di wilayah

Surabaya. Pengumpulan data pada PT. Telkomsel di wilayah Surabaya merupakan data historis perusahaan. Data pelanggan Telkomsel di wilayah Surabaya digunakan untuk meramalkan pelanggan dan trafik yang dibutuhkan untuk 5 tahun mendatang. Sedangkan data BTS digunakan untuk melakukan optimasi kapasitas trafik BTS.

Setelah data terkumpul, data kemudian diolah untuk mendapatkan nilai trafik tiap area kecamatan di Surabaya. Nilai trafik didapatkan dari jumlah kanal yang dimiliki tiap sektor dalam satu area. Nilai tiap sektor dapat dilihat dengan menggunakan Tabel Erlang B.

3.5. Peramalan Jumlah Pelanggan Selama 5 Tahun

Untuk menentukan trafik yang dibutuhkan pelanggan di wilayah tertentu, maka dilakukan peramalan dengan metode *Triple Exponential Smoothing (Winter)*. Peramalan jumlah pelanggan dilakukan setiap bulan selama 5 tahun mendatang. Hal ini dikarenakan BTS dibangun untuk memenuhi pengguna selama 5-10 tahun ke depan. Hasil peramalan jumlah pelanggan digunakan untuk menentukan trafik yang dibutuhkan pelanggan.

3.6. Penentuan *Error* Hasil Peramalan dengan Menggunakan MAPE

Tahap selanjutnya setelah melakukan peramalan adalah melakukan evaluasi hasil peramalan. Evaluasi hasil peramalan menggunakan *Mean Percentage Error* (MAPE). MAPE merupakan ukuran ketepatan relatif yang digunakan untuk mengetahui persentase penyimpangan hasil ramalan. MAPE ini yang akan menentukan apakah metode peramalan yang dipilih ini sudah tepat/belum. Semakin kecil nilai MAPE, maka peramalan tersebut semakin akurat.

3.7. Penentuan Nilai Optimal Parameter *Alpha*, *Beta* dan *Gamma*

Parameter yang optimal juga dibutuhkan dalam peramalan yang menggunakan metode *Triple Exponential*

Smoothing (Winter) agar *error* yang diperoleh dapat seminimal mungkin. Untuk menentukan parameter peramalan yang optimal digunakan bantuan *Solver* pada Excel.

3.8. Penentuan Trafik Pelanggan

Penentuan trafik pelanggan menggunakan hasil peramalan jumlah pelanggan untuk 5 tahun mendatang. Hasil peramalan jumlah pelanggan menggunakan model peramalan yang sudah optimal memberikan tingkat kesalahan terkecil. Untuk mendapatkan trafik pelanggan, jumlah pelanggan akan dikalikan dengan rata-rata trafik yang dibutuhkan per pelanggan. Rata-rata trafik yang dibutuhkan per pelanggan adalah 0.025 *erlang*.

3.9. Formulasi Model Sesuai dengan Metode *Goal Programming*

Penulisan model matematis menggunakan bentuk model *linear programming* terlebih dahulu dan setelah itu bentuk *linier programming* diubah kedalam bentuk model *goal programming*. Dalam penelitian ini *goal* yang akan dicapai ada dua, yakni:

- **Goal 1:** Kapasitas trafik dapat menampung semua permintaan trafik dari pelanggan di tiap clusternya
- **Goal 2:** Kapasitas total trafik tiap area kecamatan tidak melebihi total kapasitas yang dimiliki tiap cluster.

3.10. Penyelesaian Model *Goal Programming*

Penyelesaian model *goal programming* akan digunakan *software* komputer. Ada beberapa *software* komputer yang menawarkan *tool* untuk menyelesaikan model *goal programming*. Pengerjaan tugas akhir ini menggunakan Matlab sebagai *tool* dalam membangun model pada program komputer.

3.11. Validasi Model

Validasi model merupakan proses untuk memastikan apakah model dan program sudah sesuai dengan tujuan yang

diharapkan. Salah satu cara untuk melakukan validasi adalah dengan membandingkan antara hasil yang dikeluarkan program yang telah dibuat dengan hasil yang dikeluarkan perangkat lunak yang sudah ada, misalnya QM. Apabila hasil yang dikeluarkan sama atau berada di tingkat kesalahan (*error*) yang diperbolehkan maka dapat dikatakan model dan program sudah valid.

3.12. Pembuatan Solusi Alternatif Penambahan Kapasitas Trafik

Pada tahap ini dilakukan analisis hasil optimasi. Analisis hasil optimasi merupakan analisis yang didapat dari hasil optimasi yang berupa hasil solusi optimal tiap variabel dalam optimasi dan analisis pencapaian tujuan optimasi. Analisis hasil ini terkait dengan nilai kapasitas trafik optimal yang harus disediakan pihak operator untuk memenuhi kebutuhan trafik pelanggan. Sehingga pihak operator dapat mengetahui wilayah yang mengalami kekurangan atau kelebihan kapasitas trafik.

Untuk mengatasi kekurangan kapasitas trafik yang terjadi, pihak operator dapat melakukan *TRx Upgrading* atau pembangunan BTS baru. Sehingga tahap ini menghasilkan beberapa solusi alternatif untuk mengatasi kekurangan kapasitas trafik di masing-masing cluster di setiap tahunnya.

3.13. Pemilihan Solusi Alternatif Menggunakan AHP

Tahapan ini merupakan pemilihan solusi alternatif terbaik dari solusi alternatif yang tersedia. Pemilihan solusi alternatif menggunakan AHP (*Analytics Hierarchy Process*). Pembobotan dilakukan berdasar pada kebijakan perusahaan sebagai referensi atau landasan. Pemilihan solusi alternatif ini dilakukan di setiap tahun yang mengalami kekurangan kapasitas trafik.

3.14. Pembuatan Buku Tugas Akhir

Pada tahapan terakhir ini akan dilakukan pembuatan laporan dalam bentuk buku tugas akhir yang disusun sesuai format yang telah ditentukan. Buku ini berisi dokumentasi langkah-langkah pengerjaan tugas akhir secara rinci. Buku ini

diharapkan dapat bermanfaat sebagai referensi untuk pengerjaan penelitian lain, serta sebagai acuan untuk pengembangan lebih lanjut terhadap topik penelitian yang serupa.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

FASE DESAIN

Bab ini menjelaskan mengenai desain model optimasi menggunakan metode *goal programming* dan membuat solusi alternatif penambahan kapasitas trafik. Sebelum melakukan desain model maka perlu dilakukan pengelolaan data. Pengolahan data terkait BTS bertujuan mengetahui kapasitas trafik di setiap area dan mengestimasi kebutuhan trafik pelanggan selama 5 tahun mendatang. Setelah semua data diolah, langkah selanjutnya adalah mengembangkan model, dan menyelesaikan model.

Pada bab ini, terdapat satu subbab yang membahas secara khusus mengenai perbaikan yang dilakukan bila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

4.1. Perbaikan terhadap Penelitian Sebelumnya

Subbab ini secara khusus membahas mengenai perbaikan yang dilakukan pada penelitian berikut bila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Terdapat beberapa hal perbaikan, antara lain:

1. Wilayah yang menjadi objek penelitian tetap sama, yakni wilayah Surabaya. Yang menjadi pembeda adalah pendekatan yang dilakukan. Berdasar pada informasi yang didapat, perusahaan menggunakan pendekatan cluster wilayah. Wilayah Surabaya dibagi ke dalam 3 cluster, antara lain Surabaya 1, Surabaya 2 dan Surabaya 3. Tiap cluster diyakini memiliki karakter dan pola masing-masing sehingga tidak dapat disamakan.
2. Terdapat dua jenis BTS yang digunakan oleh perusahaan, yakni GSM900 dan DCS1800. Hal ini telah dijelaskan pada Bab 2 - Tinjauan Pustaka, bahwasanya kedua jenis BTS tersebut memiliki kemampuan menyediakan kapasitas trafik yang

berbeda. Serta faktanya tidak semua BTS menggunakan kemampuan maksimalnya, hal ini terkait dengan jumlah TRx yang ada di tiap sektor BTS. Pada akhirnya, pada penelitian ini akan memperhatikan jenis dan kemampuan masing-masing sektor BTS.

3. Penelitian ini tidak menggunakan aturan 4 / 4 / 4 untuk TRx yang ada pada BTS. Hal ini masih ada kaitannya dengan jenis dan kemampuan daya tampung trafik pada BTS. Aturan TRx 4 / 4 / 4 pada BTS menunjukkan bahwa BTS memiliki 3 sektor dengan 4 TRx untuk masing-masing sektor. Faktanya, berdasar pada data aktual yang didapat dari perusahaan, menunjukkan bahwa tidak semua BTS terdiri dari 3 sektor dengan 4 TRx untuk masing-masing sektornya. Serta tidak semua BTS menggunakan TRx dengan jumlah maksimal, yakni 4 TRx untuk BTS GSM900 dan 12 TRx untuk DCS1800.
4. Pada penelitian sebelumnya, peramalan trafik pengguna selama kurun waktu tertentu menggunakan data histori penjualan kartu telkomsel. Data tersebut kemudian dianggap menjadi data pelanggan dan dikalikan dengan rata-rata trafik yang dibutuhkan tiap pelanggan. Hal tersebut dipandang sebagai sesuatu yang tidak semestinya. Data penjualan kartu tidak bisa dijadikan dasar menghitung trafik pelanggan. Hal ini dikarenakan bila menggunakan data tersebut berarti penggunaan kartu oleh pelanggan hanya berlaku pada tahun ketika pelanggan membeli kartu tersebut. Sedangkan ada pelanggan yang menggunakan kartu bertahun-tahun atau bahkan hanya beberapa bulan saja (dalam periode waktu yang singkat). Sehingga penggunaan data penjualan kartu yang menjadi dasar dalam perhitungan trafik pelanggan dianggap tidak layak.
5. Rata-rata trafik pengguna adalah 0.025 erlang. Sedangkan pada penelitian sebelumnya menggunakan

0.052 sebagai rata-rata trafik pengguna. Nilai 0.025 juga dibenarkan oleh pihak perusahaan sebagai nilai rata-rata trafik pengguna di Indonesia.

6. Data yang digunakan, baik data BTS maupun pelanggan, diperbarui hingga bulan Desember tahun 2013. Hal ini bertujuan agar data yang digunakan bersifat aktual.

4.2. Pengelolaan Data

Sebelum melakukan optimasi menggunakan metode *goal programming*, terlebih dahulu data diolah agar sesuai dengan kebutuhan. Data pertama yang diolah adalah mengenai kapasitas trafik BTS. Data yang digunakan didapatkan dari data BTS yang dimiliki oleh perusahaan. Data BTS yang digunakan tercatat hingga bulan Desember 2013 dan hanya untuk wilayah Surabaya saja. Dari data inilah kapasitas trafik dari setiap BTS dapat diketahui. Pada Gambar 4.1 merupakan data BTS yang diambil dari *Microsoft Excel*.

	B	C	D	F	K	L	Q	R	T
1	Site Name	BTS Name	Cell Name-Sector	Kecamatan	Cluster	SYSID	SiteLong	SiteLat	Cell Type
2	AKARDAYA	AKARDAYAMD	AKARDAYAMD1	Sukomanunggal	SURABAYA BARAT	DCS1800	112.708	-7.28813	Macro DCS
3	AKARDAYA	AKARDAYAMD	AKARDAYAMD2	Sukomanunggal	SURABAYA BARAT	DCS1800	112.708	-7.28813	Macro DCS
4	AKARDAYA	AKARDAYAMD	AKARDAYAMD3	Sukomanunggal	SURABAYA BARAT	DCS1800	112.708	-7.28813	Macro DCS
5	AKARDAYA	AKARDAYAMG	AKARDAYAMG1	Sukomanunggal	SURABAYA BARAT	GSM900	112.708	-7.28813	Macro GSM
6	AKARDAYA	AKARDAYAMG	AKARDAYAMG2	Sukomanunggal	SURABAYA BARAT	GSM900	112.708	-7.28813	Macro GSM
7	AKARDAYA	AKARDAYAMG	AKARDAYAMG3	Sukomanunggal	SURABAYA BARAT	GSM900	112.708	-7.28813	Macro GSM
8	ANTEVE	ANTEVEMD	ANTEVEMD1	Lakar Santri	SURABAYA BARAT	DCS1800	112.678	-7.28139	Macro DCS
9	ANTEVE	ANTEVEMD	ANTEVEMD2	Lakar Santri	SURABAYA BARAT	DCS1800	112.678	-7.28139	Macro DCS
10	ANTEVE	ANTEVEMD	ANTEVEMD3	Lakar Santri	SURABAYA BARAT	DCS1800	112.678	-7.28139	Macro DCS
11	ANTEVE	ANTEVEMG	ANTEVEMG1	Lakar Santri	SURABAYA BARAT	GSM900	112.678	-7.28139	Macro GSM
12	ANTEVE	ANTEVEMG	ANTEVEMG2	Lakar Santri	SURABAYA BARAT	GSM900	112.678	-7.28139	Macro GSM
13	ANTEVE	ANTEVEMG	ANTEVEMG3	Lakar Santri	SURABAYA BARAT	GSM900	112.678	-7.28139	Macro GSM
14	ASEMBMULYA	ASEMBMULYAMD	ASEMBMULYAMD1	Asemrowo	SURABAYA BARAT	DCS1800	112.711	-7.25411	Macro DCS
15	ASEMBMULYA	ASEMBMULYAMD	ASEMBMULYAMD2	Asemrowo	SURABAYA BARAT	DCS1800	112.711	-7.25411	Macro DCS
16	ASEMBMULYA	ASEMBMULYAMD	ASEMBMULYAMD3	Asemrowo	SURABAYA BARAT	DCS1800	112.711	-7.25411	Macro DCS
17	BANGKINGAN1	BANGKINGAN1MG	BANGKINGAN1MG1	Lakar Santri	SURABAYA BARAT	GSM900	112.651	-7.32085	Macro GSM
18	BANGKINGAN1	BANGKINGAN1MG	BANGKINGAN1MG2	Lakar Santri	SURABAYA BARAT	GSM900	112.651	-7.32085	Macro GSM
19	BANGKINGAN1	BANGKINGAN1MG	BANGKINGAN1MG3	Lakar Santri	SURABAYA BARAT	GSM900	112.651	-7.32085	Macro GSM
20	BANYUURIP	BANYUURIPMD	BANYUURIPMD1	Sawahah	SURABAYA BARAT	DCS1800	112.7205	-7.27059	Macro DCS
21	BANYUURIP	BANYUURIPMD	BANYUURIPMD2	Sawahah	SURABAYA BARAT	DCS1800	112.7205	-7.27059	Macro DCS
22	BANYUURIP	BANYUURIPMD	BANYUURIPMD3	Sawahah	SURABAYA BARAT	DCS1800	112.7205	-7.27059	Macro DCS
23	BANYUURIP	BANYUURIPMG	BANYUURIPMG1	Sawahah	SURABAYA BARAT	GSM900	112.7205	-7.27059	Macro GSM
24	BANYUURIP	BANYUURIPMG	BANYUURIPMG2	Sawahah	SURABAYA BARAT	GSM900	112.7205	-7.27059	Macro GSM
25	BANYUURIP	BANYUURIPMG	BANYUURIPMG3	Sawahah	SURABAYA BARAT	GSM900	112.7205	-7.27059	Macro GSM
26	BENOWO2	BENOWO2MD	BENOWO2MD1	Benowo	SURABAYA BARAT	DCS1800	112.653	-7.24331	Macro DCS

Gambar 4.1 Data BTS yang Didapat dari Perusahaan

Pada Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa BTS telah diuraikan ke dalam sektor area BTS. Pembagian cakupan area BTS di Surabaya dipetakan ke dalam 3 cluster. Sehingga dalam pengolahan dan perhitungan akan dikelompokkan berdasarkan cluster. Terdapat 1158 sektor BTS yang tersebar di 28 kecamatan di Surabaya.

Cluster wilayah yang nantinya akan digunakan bernama Surabaya 1, Surabaya 2 dan Surabaya 3. Cluster Surabaya 1 terdiri dari 15 kecamatan yang berada di wilayah Surabaya Utara, Surabaya Timur dan Surabaya Pusat. Cluster Surabaya 2 terdiri dari 6 kecamatan yang berada di wilayah Surabaya Selatan. Sedangkan cluster Surabaya 3 terdiri dari 7 kecamatan yang berada di wilayah Surabaya Barat. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Pembagian Cluster, Wilayah dan Kecamatan di Surabaya

Cluster	Wilayah	Kecamatan
Surabaya 1	Surabaya Utara Surabaya Timur Surabaya Pusat	Bubutan Genteng Gubeng Gunung Anyar Kenjeran Krembangan Mulyorejo Pabean Cantian Rungkut Semampir Simokerto Sukolilo Tambaksari Tegal Sari Tenggilis Mejoyo
Surabaya 2	Surabaya Selatan	Dukuh Pakis Gayungan Jambangan

Cluster	Wilayah	Kecamatan
		Karang Pilang Wonocolo Wonokromo
Surabaya 3	Surabaya Barat	Asemrowo Benowo Lakar Santri Sawahan Sukomanunggal Tandes Wiyung

Untuk mengetahui kapasitas trafik yang dimiliki setiap sektor BTS di wilayah kecamatan di Surabaya maka harus diketahui jumlah kanal atau saluran yang terdapat di sektor BTS tersebut. Untuk mendapatkan jumlah kanal di setiap sektor BTS, maka dibutuhkan data mengenai jumlah TRx (*Transceiver* atau *Receiver*).

Terdapat 2 jenis BTS, yakni GSM900 dan DCS1800, yang memiliki kemampuan maksimal yang berbeda dalam penggunaan jumlah TRx. GSM900 maksimal memiliki 4 TRx. Sedangkan BTS DCS1800 maksimal memiliki 12 TRx. Pada dasarnya setiap BTS belum tentu menggunakan kemampuan maksimal penggunaan TRx, karena penggunaan TRx di tiap sektor BTS disesuaikan dengan kebutuhan trafik pelanggan. Bilapun kapasitas trafik BTS ingin ditambah, maka TRx inilah yang akan ditambah. Sehingga bukan berarti harus menambah atau membangun BTS baru, kecuali jumlah TRx pada suatu sektor BTS sudah mencapai jumlah maksimal. Untuk itu dibutuhkan data aktual dari perusahaan mengenai jumlah TRx yang digunakan di setiap sektor BTS.

Untuk menghitung jumlah kanal yang tersedia, cukup melihat berapa jumlah TRx yang dimiliki oleh sektor BTS tersebut. Seperti sektor BTS ASEMMULYAMD1 yang berada di kecamatan Asemrowo wilayah Surabaya Barat. Sektor BTS ini

termasuk BTS DCS1800 dan memiliki 4 TRx. Sehingga terlihat bahwa belum tentu setiap BTS menggunakan kemampuan maksimal penggunaan TRx, dimana BTS jenis ini maksimal dapat menggunakan 12 TRx.

Untuk 1 TRx setara dengan 8 kanal. Dalam 1 sektor BTS, 2 kanal akan digunakan sebagai *signalling* yakni 1 kanal SDCCH, 1 kanal BCCH dan sisanya digunakan untuk saluran pembicaraan. Jadi dalam 1 sektor BTS yang memiliki 4 TRx terdapat:

$$4 \times 8 - 2 = 30 \text{ kanal}$$

Sehingga untuk mendapatkan jumlah kanal untuk tiap-tiap sektor adalah sebagai berikut:

$$\text{Jumlah kanal} = (\text{Jumlah TRx pada sektor} \times 8) - 2 \quad (4.1)$$

Secara normal 30 kanal BTS tersebut dapat menampung 30 *erlang* trafik yang akan masuk, artinya dengan 1 kanal dapat menyediakan 1 *erlang*. Namun pada tiap BTS terdapat batasan nilai GoS (*Grade of Service*) yang merupakan presentase kegagalan dalam melayani panggilan. Untuk itu perusahaan telekomunikasi biasanya dalam penyediaan trafik BTS harus menyertakan nilai GoS. Dalam penelitian ini nilai GoS adalah sebesar 2%. Untuk menentukan trafik yang dimiliki tiap sektor BTS, dapat menggunakan bantuan Tabel *Erlang B*.

Dalam Tabel *Erlang B*, N pada kolom sebelah kanan adalah jumlah kanal yang tersedia dalam 1 sektor, sedangkan pada baris atas adalah nilai GoS yang digunakan.

Cara membaca Tabel *Erlang B* dapat dicontohkan untuk sektor BTS OSOWILANGUNMG1 yang merupakan BTS dengan jenis GSM900 yang memiliki TRx sejumlah 2. Maka sektor BTS tersebut memiliki kanal sejumlah:

$$(2 \times 8) - 2 = 14 \text{ kanal}$$

Untuk mendapatkan nilai trafik dengan GoS 2% maka data yang dimiliki saat ini adalah $N = 14$ dan nilai GoS 2%. Dengan melihat tabel erlang B maka dapat diketahui trafik dengan GoS 2% sebesar 8.2 *erlang* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.

Erlang B Traffic Table

Maximum Offered Load Versus B and N
B is in %

N/B	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0	2	5	10	15
1	.0001	.0005	.0010	.0050	.0101	.0204	.0526	.1111	.1765
2	.0142	.0321	.0458	.1054	.1526	.2235	.3813	.5954	.7962
3	.0868	.1517	.1938	.3490	.4555	.6022	.8994	1.271	1.603
4	.2347	.3624	.4393	.7012	.8694	1.092	1.525	2.045	2.501
5	.4520	.6486	.7621	1.132	1.361	1.657	2.219	2.881	3.454
6	.7282	.9957	1.146	1.622	1.909	2.276	2.960	3.758	4.445
7	1.054	1.392	1.579	2.158	2.501	2.935	3.738	4.666	5.461
8	1.422	1.830	2.051	2.730	3.128	3.627	4.543	5.597	6.498
9	1.826	2.302	2.558	3.333	3.783	4.345	5.370	6.546	7.551
10	2.260	2.803	3.092	3.961	4.461	5.084	6.216	7.511	8.616
11	2.722	3.329	3.651	4.610	5.160	5.842	7.076	8.487	9.691
12	3.207	3.878	4.231	5.279	5.876	6.615	7.950	9.474	10.78
13	3.713	4.447	4.831	5.964	6.607	7.402	8.835	10.47	11.87
14	4.229	5.022	5.446	6.662	7.352	8.200	9.730	11.47	12.97
15	4.781	5.634	6.077	7.376	8.108	9.010	10.63	12.48	14.07

Gambar 4.2 Pembacaan Tabel Erlang B

Sedangkan untuk jumlah kanal sebanyak 30 dengan nilai GoS sebesar 2%, jumlah trafik yang mampu disediakan adalah sebesar 21.93 *erlang*. Hal ini dilakukan terhadap seluruh sektor BTS yang tersebar di wilayah Surabaya untuk mendapatkan jumlah kapasitas trafik BTS yang mampu disediakan pada saat ini.

Hasil perhitungan kapasitas trafik BTS yang tersebar di 28 kecamatan dan 3 cluster di Surabaya dapat dilihat pada Tabel 4.2 untuk cluster Surabaya 1, Tabel 4.3 untuk cluster Surabaya 2 dan Tabel 4.4 untuk cluster Surabaya 3.

Tabel 4.2 Kapasitas Trafik yang Disediakan Tiap Area Kecamatan pada Cluster Surabaya 1

CLUSTER : SURABAYA 1	
Kecamatan	Trafik dengan GoS 2% (erlang)
Bubutan	1157.04
Genteng	1169.22
Gubeng	1883.77
Gunung Anyar	917.74
Kenjeran	1377.49
Krembangan	1210.55
Mulyorejo	1761.36
Pabean Cantian	2171.07
Rungkut	1166.51
Semampir	681.93
Simokerto	666.43
Sukolilo	2391.55
Tambaksari	1379.29
Tegal Sari	1153.11
Tenggilis Mejoyo	878.90
TOTAL	19965.96

Tabel 4.3 Kapasitas Trafik yang Disediakan Tiap Area Kecamatan pada Cluster Surabaya 2

CLUSTER : SURABAYA 2	
Kecamatan	Trafik dengan GoS 2% (erlang)
Dukuh Pakis	1175.95
Gayungan	1582.59
Jambangan	549.33
Karang Pilang	869.78
Wonocolo	1099.07
Wonokromo	1288.66
TOTAL	6565.38

Tabel 4.4 Kapasitas Trafik yang Disediakan Tiap Area Kecamatan pada Cluster Surabaya 3

CLUSTER : SURABAYA 3	
Kecamatan	Trafik dengan GoS 2% (erlang)
Asemrowo	478.87
Benowo	713.06
Lakar Santri	1911.65
Sawahan	1642.66
Sukomanunggal	1138.21
Tandes	831.80
Wiyung	1003.80
TOTAL	7720.05

4.3. Peramalan Jumlah Pelanggan Selama 5 Tahun

Hasil peramalan jumlah pelanggan selama 5 tahun mendatang digunakan sebagai dasar untuk mengetahui trafik yang dibutuhkan pelanggan dalam kurun waktu 5 tahun mendatang. Hal ini bertujuan agar perusahaan dapat menyediakan dan memenuhi permintaan trafik pelanggan dengan proses perencanaan penyediaan kapasitas trafik BTS.

Dalam tahap peramalan jumlah pelanggan, didapatkan data pelanggan Telkomsel selama 3 tahun ke belakang, yakni data pelanggan mulai tahun 2011 hingga tahun 2013. Data pelanggan yang didapat berupa data bulanan. Sehingga terdapat 36 data bulanan untuk masing-masing cluster terkait jumlah pelanggan Telkomsel di Surabaya.

Kemudian dari data pelanggan Telkomsel yang dimiliki akan diramalkan jumlah pelanggan untuk 5 tahun mendatang. Peramalan jumlah pelanggan ini menggunakan metode peramalan tertentu.

Data pelanggan Telkomsel pada tahun 2011 hingga tahun 2013 dapat dilihat pada Tabel 4.5 untuk cluster Surabaya 1, Tabel 4.6 untuk cluster Surabaya 2 dan Tabel 4.7 untuk cluster Surabaya 3.

Tabel 4.5 Jumlah Pelanggan Telkomsel Tahun 2011 - 2013 pada Cluster Surabaya 1

		TAHUN		
		2011	2012	2013
BULAN	1	470227	543624	640023
	2	462910	638544	628828
	3	460325	586015	617632
	4	454920	607149	623594
	5	430754	632200	622277
	6	424319	632043	620959
	7	430176	633037	619642
	8	322810	612929	618324
	9	355254	601467	684174
	10	443371	651109	692768
	11	440871	661957	699345
	12	442093	632350	714502

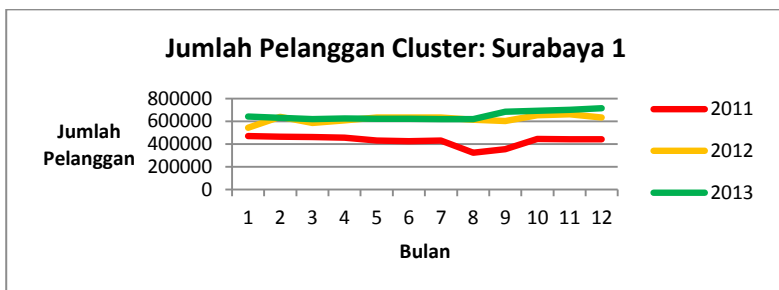
Tabel 4.6 Jumlah Pelanggan Telkomsel Tahun 2011 - 2013 pada Cluster Surabaya 2

		TAHUN		
		2011	2012	2013
BULAN	1	194785	170406	235462
	2	191754	194616	232511
	3	190683	201009	229560
	4	188444	207261	228418
	5	178433	214200	227857
	6	175768	241169	227296
	7	178194	231136	226734
	8	174111	217387	226173
	9	164911	208405	247881
	10	196621	235082	251681
	11	193053	236011	255518
	12	187578	233167	255577

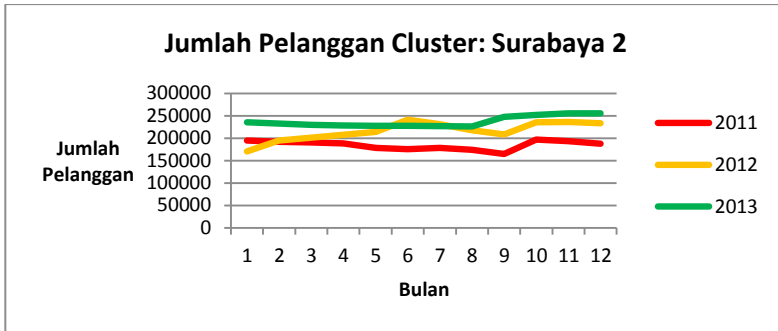
Tabel 4.7 Jumlah Pelanggan Telkomsel Tahun 2011 - 2013 pada Cluster Surabaya 3

		TAHUN		
		2011	2012	2013
BULAN	1	132410	145275	191008
	2	130350	159947	193594
	3	129622	163495	201033
	4	128100	169675	221934
	5	121295	175521	227518
	6	119483	184797	221452
	7	121132	181821	230291
	8	113399	178540	219326
	9	105388	171396	242202
	10	128885	191554	248439
	11	128511	196048	230188
	12	129945	187737	229489

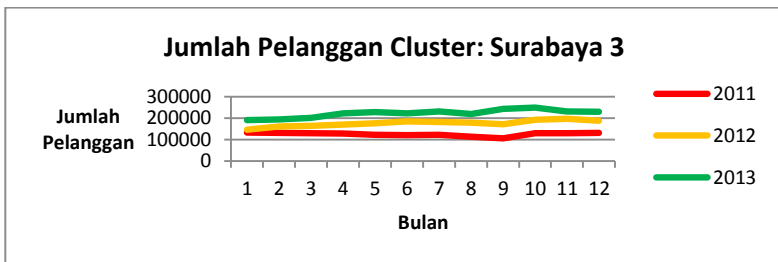
Untuk menentukan metode peramalan yang tepat dapat dilihat dari pola data. Masing-masing pola data memiliki metode peramalan yang berbeda. Untuk memudahkan dalam penentuan metode yang akan digunakan, dibuatlah grafik data pelanggan untuk tiap cluster. Ketiga grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.3 untuk cluster Surabaya 1, Gambar 4.4 untuk cluster Surabaya 2 dan Gambar 4.5 untuk cluster Surabaya 3.



Gambar 4.3 Grafik Jumlah Pelanggan Cluster Surabaya 1



Gambar 4.4 Grafik Jumlah Pelanggan Cluster Surabaya 2

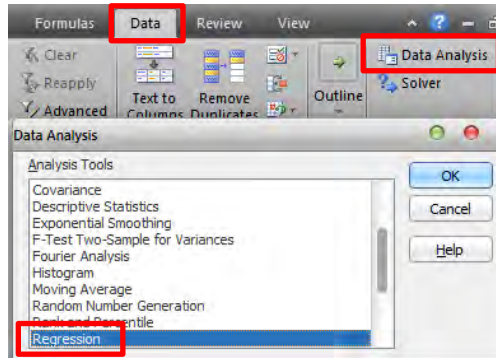


Gambar 4.5 Grafik Jumlah Pelanggan Cluster Surabaya 3

Berdasar pada ketiga grafik di atas, pola perkembangan jumlah pelanggan di ketiga cluster menunjukkan adanya *trend* dan *seasonal*. Titik *seasonal* memang tidak begitu terlihat jelas. Namun dapat dilihat pada bulan ke-8 dan ke-9 seringkali mengalami penurunan di setiap tahunnya (12 bulan). Berdasarkan hal tersebut, diputuskan bahwa metode peramalan yang akan digunakan adalah metode *Winter (Triple Exponential Smoothing)*.

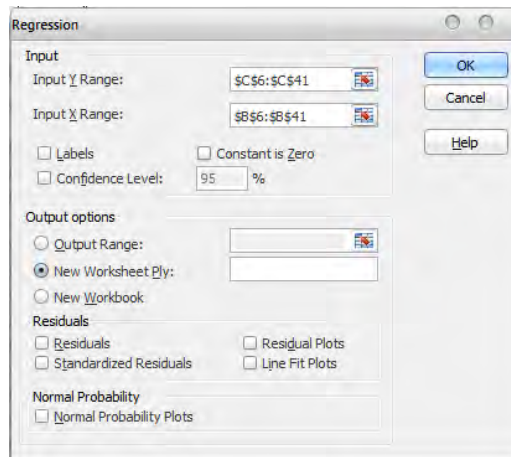
Metode *Winter* merupakan metode peramalan yang cocok untuk pola data yang memiliki *trend*, *seasonal*, dan *level*. Langkah pertama dalam meramalkan dengan metode ini adalah menentukan nilai awal dari periode musiman (p), *level* (L_0) dan *trend* (T_0). Berdasar pada grafik diatas maka diketahui periode musiman (p) sebesar 12. Untuk *level* (L_0) dan *trend* (T_0) didapat dengan bantuan *Data Analysis Regression* pada *Microsoft Excel*.

Data Analysis berada pada menu Data. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 *Data Analysis Regression* pada *Microsoft Excel*

Input Y Range diisi dengan nilai jumlah pelanggan yang dalam hal ini ditunjukkan dalam sel \$C\$6:\$C\$41 dan input X Range diisi dengan nilai periode pada sel \$B\$6:\$B\$41. Proses tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Proses *Regression* pada *Microsoft Excel*

Hasil yang didapat dari proses *regression* dapat dilihat pada Gambar 4.8.

SUMMARY OUTPUT								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0.843367957							
R Square	0.711269511							
Adjusted R Square	0.702777437							
Standard Error	57711.08793							
Observations	36							
<i>ANOVA</i>								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	1	2.78958E+11	3E+11	83.7569	1.073E-10			
Residual	34	1.13239E+11	3E+09					
Total	35	3.92197E+11						
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Intercept	408584.0322	19644.92688	20.798	6.5E-21	368660.737	448507.33	368660.7374	448507.327
X Variable 1	8473.7175	925.8992874	9.1519	1.1E-10	6592.06376	10355.371	6592.063757	10355.37124

Gambar 4.8 Hasil Regression

Dari hasil Regression pada Gambar 4.8 didapatkan nilai *level* (L_0) dari nilai *Intercept* yakni sebesar 408584.0322 dan nilai *trend* (T_0) didapat dari nilai *X Variable 1* yakni sebesar 8473.7175.

Peramalan menggunakan metode *Winter* membutuhkan 3 nilai parameter yang dikenal sebagai *alpha* (α), *beta* (β) dan *gamma* (γ). Sebagai inialisasi, nilai *alpha*, *beta* dan *gamma* ditentukan sebesar 0.2 untuk masing-masing parameter.

Selanjutnya adalah melakukan *deseasonalized demand*. Hal ini bertujuan menghilangkan fluktuasi musiman pada data. *Deseasonalized demand* dimulai pada periode 7, yakni pertengahan tahun pertama dengan rumus perhitungan $= (C6 + C18 + 2 * \text{SUM}(C7:C17)) / 2 * \$C\$1$. Rumus tersebut dapat ditarik atau disalin sampai periode 30, yakni pertengahan tahun terakhir dari data yang dimiliki. Hasilnya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.9.

	A	B	C	D
5	TAHUN	Periode	Surabaya 1	Deseasonalized Demand
6	2011	1	470227	
7		2	462910	
8		3	460325	
9		4	454920	
10		5	430754	
11		6	424319	
12		7	430176	62096745
13		8	322810	63590927
14		9	355254	65398871
15		10	443371	67066386
16		11	440871	69188436
17		12	442093	71643455

Gambar 4.9 Hasil Perhitungan *Deseasonalized Demand*

Langkah selanjutnya adalah menghitung \bar{D}_t . \bar{D}_t adalah *deseasonalized demand* pada periode t. Rumus yang digunakan adalah $\bar{D}_t = L_0 + tT_0$. Sehingga untuk periode 1 sel E6 diisi dengan $=\$C\$2+\$C\$3*B6$. Rumus tersebut ditarik atau disalin hingga periode terakhir, yakni periode 36. Hasil perhitungan \bar{D}_t atau *deseasonalized demand* pada periode t dapat dilihat pada Gambar 4.10.

	A	B	C	D	E
5	TAHUN	Periode	Surabaya 1	Deseasonalized Demand	Dt-bar
6	2011	1	470227		417057.75
7		2	462910		425531.47
8		3	460325		434005.18
9		4	454920		442478.9
10		5	430754		450952.62
11		6	424319		459426.34
12		7	430176	62096745	467900.05
13		8	322810	63590927	476373.77
14		9	355254	65398871	484847.49
15		10	443371	67066386	493321.21
16		11	440871	69188436	501794.92
17		12	442093	71643455	510268.64

Gambar 4.10 Hasil Perhitungan *Deseasonalized Demand* pada Periode t

Kemudian dilanjutkan dengan menghitung faktor musiman (*seasonal*) yang dilambangkan dengan simbol \bar{S} . Rumus untuk menghitung faktor musiman pada periode t adalah $\bar{S} = D_t / \overline{D}_t$. Sehingga pada sel F6 berisi rumus =C6/E6. Rumus tersebut ditarik atau disalin hingga periode 36 sebagai periode terakhir dari data histori yang dimiliki. Hasil perhitungan \bar{S} atau faktor musiman dapat dilihat pada Gambar 4.11.

	A	B	C	D	E	F
5	TAHUN	Periode	Surabaya 1	Deseasonalized Demand	Dt-bar	S-bar
6	2011	1	470227		417057.75	1.12749
7		2	462910		425531.47	1.08784
8		3	460325		434005.18	1.06064
9		4	454920		442478.9	1.02812
10		5	430754		450952.62	0.95521
11		6	424319		459426.34	0.92358
12		7	430176	62096745	467900.05	0.91938
13		8	322810	63590927	476373.77	0.67764
14		9	355254	65398871	484847.49	0.73271
15		10	443371	67066386	493321.21	0.89875
16		11	440871	69188436	501794.92	0.87859
17		12	442093	71643455	510268.64	0.86639

Gambar 4.11 Hasil Perhitungan Faktor Musiman

Selanjutnya adalah menghitung faktor musiman secara keseluruhan dengan cara merata-rata faktor musiman suatu periode tertentu antar siklus. Nilai ini disimbolkan dengan S_t dan hanya berlaku untuk periode musiman pertama (siklus pertama). Sehingga pada sel G6 berisi rumus =(F6+F18+F30)/3, dimana sel F6 adalah \bar{S} periode 1, sel F18 adalah \bar{S} periode 13 dan sel F30 adalah periode 25.

Hasil perhitungan S_t ditunjukkan pada Gambar 4.12. Untuk menunjukkan rumus yang digunakan berbeda, maka diberi warna kuning untuk S_t siklus periode musiman (p) pertama atau 12 periode pertama.

	A	B	C	D	E	F	G	
5	TAHUN	Periode	Surabaya 1	Deseasonalized Demand	Dt-bar	S-bar	St	
6	2011	1	470227		417057.75	1.12749	1.06901	
7		2	462910		425531.47	1.08784	1.09963	
8		3	460325		434005.18	1.06064	1.0412	
9		4	454920		442478.9	1.02812	1.03647	
10		5	430754		450952.62	0.95521	1.01673	
11		6	424319		459426.34	0.92358	0.99563	
12		7	430176		62096745	467900.05	0.91938	0.98462
13		8	322810		63590927	476373.77	0.67764	0.88254
14		9	355254		65398871	484847.49	0.73271	0.91743
15		10	443371		67066386	493321.21	0.89875	0.9958
16		11	440871		69188436	501794.92	0.87859	0.98908
17		12	442093		71643455	510268.64	0.86639	0.96698

Gambar 4.12 Hasil Perhitungan S_t Periode Musiman Pertama

Sedangkan untuk S_t yang dimulai dari periode 13, menggunakan rumus $S_{t+p+1} = \gamma (D_{t+1}/L_{t+1}) + (1 - \gamma)S_{t+1}$. Sehingga sel G18 berisi rumus $=G3*(C6/H6)+(1-G3)*G6$. Rumus tersebut dapat ditarik atau disalin hingga 1 siklus periode musiman setelah periode data terakhir yang dimiliki, dimana S_t pada 1 siklus periode musiman terakhir tersebut nantinya akan digunakan sebagai S_t peramalan tanpa data histori.

Hasil perhitungan S_t yang dimulai dari periode 13 dapat dilihat pada Gambar 4.13. Untuk hasil perhitungan S_t pada 1 siklus periode musiman terakhir (tanpa data histori) dapat dilihat pada Gambar 4.14. Pemberian warna hijau diperuntukan sebagai penanda bahwa S_t inilah yang akan digunakan untuk meramalkan ketika tidak ada data histori.

Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai L_t dan T_t . Nilai L_t dihitung dengan rumus $L_{t+1} = \alpha (D_{t+1}/S_{t+1}) + (1 - \alpha)(L_t + T_t)$ dan nilai T_t dihitung dengan rumus $T_{t+1} = \beta (L_{t+1} - L_t) + (1 - \beta)T_t$. Sehingga rumus yang dimasukan adalah sebagai berikut:

Untuk L_1 pada sel H6 $=G1*(C6/G6)+(1-G1)*(C2+C3)$

Untuk T_1 pada sel I6 $=G2*(H6-C2)+(1-G2)*C3$

	A	B	C	D	E	F	G
5	TAHUN	Periode	Surabaya 1	Deseasonalized Demand	Dt-bar	S-bar	St
6	2011	1	470227		417057.75	1.12749	1.06901
7		2	462910		425531.47	1.08784	1.09963
8		3	460325		434005.18	1.06064	1.0412
9		4	454920		442478.9	1.02812	1.03647
10		5	430754		450952.62	0.95521	1.01673
11		6	424319		459426.34	0.92358	0.99563
12		7	430176	62096745	467900.05	0.91938	0.98462
13		8	322810	63590927	476373.77	0.67764	0.88254
14		9	355254	65398871	484847.49	0.73271	0.91743
15		10	443371	67066386	493321.21	0.89875	0.9958
16		11	440871	69188436	501794.92	0.87859	0.98908
17		12	442093	71643455	510268.64	0.86639	0.96698
18	2012	13	543624	74106966	518742.36	1.04797	1.07827
19		14	638544	77064846	527216.08	1.21116	1.09551
20		15	586015	80282838	535689.79	1.09394	1.04277
21		16	607149	83006544	544163.51	1.11575	1.03311
22		17	632200	85579488	552637.23	1.14397	1.0054
23		18	632043	88047546	561110.95	1.12641	0.985
24		19	633037	89767482	569584.66	1.1114	0.97778

Gambar 4.13 Hasil Perhitungan S_t yang Dimulai dari Periode 13

	A	B	C	D	E	F	G
5	TAHUN	Periode	Surabaya 1	Deseasonalized Demand	Dt-bar	S-bar	St
35	2013	30	620959	92891886	662795.56	0.9368786	1.00112
36		31	619642		671269.27	0.9230893	0.98637
37		32	618324		679742.99	0.9096438	0.86882
38		33	684174		688216.71	0.9941258	0.89621
39		34	692768		696690.43	0.9943699	0.98896
40		35	699345		705164.14	0.9917478	0.98252
41		36	714502		713637.86	1.0012109	0.95741
42	2014	1		Peramalan Tahun Ke-1			1.0648
43		2			1.0980		
44		3			1.0391		
45		4			1.0361		
46		5			1.0181		
47		6			0.9976		
48		7			0.9866		
49		8			0.8880		
50		9			0.9228		
51		10			0.9963		
52		11			0.9896		
53		12			0.9688		

Gambar 4.14 Hasil Perhitungan S_t untuk Periode Musiman Terakhir

Kedua rumus tersebut dapat ditarik atau disalin hingga periode terakhir, yakni periode 36. Sehingga hasilnya seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.15.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
1	Periode Musiman	12				Alpha	0,2			
2	L0	408584.03			Parameter	Beta	0,2			
3	T0	8473.72				Gamma	0,2			
4										
5	TAHUN	Periode	Surabaya 1	Deseasonalized Demand	Dt-bar	S-bar	St	Lt	Tt	
6	2011	1	470227		417057.75	1.1274877	1.06901	421620.37	9386.24	
7		2	462910		425531.47	1.0878401	1.09963	428999.21	8984.76	
8		3	460325		434005.18	1.0606437	1.0412	438808.78	9149.72	
9		4	454920		442478.9	1.0281167	1.03647	446149.45	8787.91	
10		5	430754		450952.62	0.9552093	1.01673	448682.75	7536.99	
11		6	424319		459426.34	0.9235842	0.99563	450212.44	6335.53	
12		7	430176		62096745	467900.05	0.9193758	0.98462	452617.28	5549.39
13		8	322810		63590927	476373.77	0.6776402	0.88254	439688.44	1853.75
14		9	355254		65398871	484847.49	0.7327129	0.91743	430678.89	-318.91
15		10	443371		67066386	493321.21	0.8987471	0.9958	433335.97	276.29
16		11	440871		69188436	501794.92	0.878588	0.98908	436037.61	761.36
17		12	442093		71643455	510268.64	0.8663926	0.96698	440877.23	1577.01

Gambar 4.15 Hasil Penghitungan Lt dan Tt

Kemudian dilanjutkan dengan menghitung nilai yang diramalkan yang akan disimbolkan dengan lambang F_t . Rumus yang digunakan adalah $F_{t+1} = (L_{t+1}T_t)(S_{t+1})$. Sehingga rumus yang dimasukan adalah sebagai berikut:

Untuk F_t pada sel J6 $= (C2+C3)*G6$

Rumus diatas dapat ditarik atau disalin hingga periode terakhir, yakni periode 36. Sehingga hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.16

Selanjutnya adalah menentukan peramalan pada periode baru dimana tidak terdapat data histori jumlah pelanggan. Rumus yang digunakan adalah $F_{t+n} = (L_t + nT_t) S_{t+n}$ dimana n adalah periode peramalan tanpa data histori. Untuk peramalan tanpa data histori, nilai awal periode dimulai dari periode 1 hingga periode yang diinginkan. Gambar 4.17 merupakan hasil peramalan dengan memasukan rumus $= (H41 + (B42 * I41)) * G42$ ke

dalam sel J42. Rumus tersebut dapat ditarik atau disalin hingga satu periode musiman (12 bulan).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Periode Musiman	12				Alpha	0.2			
2	L0	408584.03			Parameter	Beta	0.2			
3	T0	8473.72				Gamma	0.2			
4										
5	TAHUN	Periode	Surabaya 1	Deseasonalized Demand	Dt-bar	S-bar	St	Lt	Tt	Ft
6	2011	1	470227		417057.75	1.1274877	1.06901	421620.37	9386.24	445839.99
7		2	462910		425531.47	1.0878401	1.09963	428999.21	8984.76	473947.16
8		3	460325		434005.18	1.0606437	1.0412	438808.78	9149.72	456030.93
9		4	454920		442478.9	1.0281167	1.03647	446149.45	8787.91	464295.07
10		5	430754		450952.62	0.9552093	1.01673	448682.75	7536.99	462550.53
11		6	424319		459426.34	0.9235842	0.99563	450212.44	6335.53	454223.99
12		7	430176	62096745	467900.05	0.9193758	0.98462	452617.28	5549.39	449527.21
13		8	322810	63590927	476373.77	0.6776402	0.88254	439688.44	1853.75	404348.53
14		9	355254	65398871	484847.49	0.7327129	0.91743	430678.89	-318.91	405085.77
15		10	443371	67066386	493321.21	0.8987471	0.9958	433335.97	276.29	428553.49
16		11	440871	69188436	501794.92	0.878588	0.98908	436037.61	761.36	428876.68
17		12	442093	71643455	510268.64	0.8663926	0.96698	440877.23	1577.01	422375.00

Gambar 4.16 Hasil Peramalan Jumlah Pelanggan Tahun 2011 - 2013

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Periode Musiman	12				Alpha	0.2			
2	L0	408584.03			Parameter	Beta	0.2			
3	T0	8473.72				Gamma	0.2			
4										
5	TAHUN	Periode	Surabaya 1	Deseasonalized Demand	Dt-bar	S-bar	St	Lt	Tt	Ft
35	2013	30	620959	92891886	662795.56	0.9368786	1.00112	631514.40	-4287.28	635038.84
36		31	619642		671269.27	0.9230893	0.98637	627422.94	-4248.12	618675.73
37		32	618324		679742.99	0.9096438	0.86882	640876.16	-707.85	541427.55
38		33	684174		688216.71	0.9941258	0.89621	664815.87	4221.66	573726.74
39		34	692768		696690.43	0.9943699	0.98896	675329.92	5480.14	661653.34
40		35	699345		705164.14	0.9917478	0.98252	687005.76	6719.28	668908.07
41	36	714502		713637.86	1.0012109	0.95741	704236.91	8821.66	664180.98	
42	2014	1					1.0648			759230.42
43		2					1.0980			792609.96
44		3					1.0391			759275.49
45		4					1.0361			766198.93
46		5					1.0181			761910.78
47		6					0.9976			755315.28
48		7			Peramalan Tahun Ke-1		0.9866			755733.94
49		8					0.8880			688046.23
50		9					0.9228			723130.33
51		10					0.9963			789548.87
52		11					0.9896			792947.08
53		12					0.9688			784858.37

Gambar 4.17 Hasil Peramalan Periode Baru Tanpa Data Histori

Untuk periode 13 pada peramalan tanpa data histori, dimana periode tersebut adalah periode pertama pada periode musiman, sehingga S_{t+n} yang digunakan sama dengan S_{t+n} ketika $n = 1$. Begitu seterusnya untuk periode selanjutnya. Sehingga untuk

tahun peramalan kedua, yakni tahun 2015, rumus yang digunakan untuk sel J54 $=(\$H\$41+(B54*\$I\$41))*\$G\42 . Rumus tersebut dapat ditarik atau disalin hingga satu periode musiman (bulan Desember 2015). Pada Gambar 4.18 adalah hasil peramalan tanpa data histori untuk tahun kedua.

Langkah-langkah peramalan diatas dilakukan kembali untuk meramalkan pelanggan Telkomsel pada cluster Surabaya 2 dan Surabaya 3.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Periode Musiman	12				Alpha	0.2			
2	L0	408584.03			Parameter	Beta	0.2			
3	T0	8473.72				Gamma	0.2			
4										
5	TAHUN	Periode	Surabaya 1	Deseasonalized Demand	Dt-bar	S-bar	St	Lt	Tt	Ft
42	2014	1	Peramalan Tahun Ke-1				1.0648			759230.42
43		2					1.0980			792609.96
44		3					1.0391			759275.49
45		4					1.0361			766198.93
46		5					1.0181			761910.78
47		6					0.9976			755315.28
48		7					0.9866			755733.94
49		8					0.8880			688046.23
50		9					0.9228			723130.33
51		10					0.9963			789548.87
52		11					0.9896			792947.08
53		12					0.9688			784858.37
54	2015	13	Peramalan Tahun Ke-2							871944.91
55		14								908841.96
56		15								869274.93
57		16								875877.27
58		17								869689.61
59		18								860916.27
60		19								860176.63
61		20								782051.81
62		21								820817.13
63		22								895020.73
64		23								897706.69
65		24								887420.19

Gambar 4.18 Hasil Peramalan Tanpa Data Histori pada Tahun Kedua

4.4. Penentuan *Error* Hasil Peramalan dengan Menggunakan MAPE

Setelah melakukan semua langkah-langkah peramalan untuk ketiga cluster dan mendapatkan hasil dari peramalan, langkah selanjutnya adalah menganalisis hasil peramalan dengan mengukur akurasi hasil peramalan. Pengukuran akurasi

menggunakan data pelanggan tahun 2011 sampai 2013 dan MAPE untuk mengetahui presentase *error* pada hasil peramalan.

Pengukuran akurasi dengan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) menggunakan *Microsoft Excel* sebagai aplikasi perhitungan. Terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan, yang pertama adalah menghitung nilai *error* peramalan dengan mengurangkan data peramalan dengan data aktual (histori). Sehingga rumus yang dimasukkan ke dalam sel L6 adalah =J6-C6. Rumus tersebut ditarik atau disalin hingga periode terakhir, yakni periode 36. Hasil perhitungan *error* ditunjukkan oleh Gambar 4.19.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Periode Musiman	12		Parameter	Alpha	0.2					
2	L0	408584.03			Beta	0.2					
3	T0	8473.72			Gamma	0.2					
4											
5	TAHUN	Periode	Surabaya 1	Deseasonalized Demand	Dt-bar	S-bar	St	lt	Tt	Ft	Et
6	2011	1	470227		417057.75	1.1274877	1.06901	421620.37	9386.24	445839.99	-24388
7		2	462910		425531.47	1.0878401	1.09963	428999.21	8984.76	473947.16	11037
8		3	460325		434005.18	1.0606437	1.0412	438808.78	9149.72	456030.93	-4294
9		4	454920		442478.9	1.0281167	1.03647	446149.45	8787.91	464295.07	9375
10		5	430754		450952.62	0.9552093	1.01673	448682.75	7536.99	462550.53	31796
11		6	424319		459426.34	0.9235842	0.99563	450212.44	6335.53	454223.99	29905
12		7	430176		62096745	467900.05	0.9193758	0.98462	452617.28	5549.39	449527.21

Gambar 4.19 Hasil Perhitungan *Error*

Kemudian dilanjutkan dengan mencari nilai absolut dari nilai *error* serta menjadikannya ke dalam bentuk persentase. Sehingga pada sel M6 dimasukkan rumus =(ABS(L6/C6)*100). Rumus tersebut dapat ditarik atau disalin hingga periode 36 sebagai periode terakhir. Hasil perhitungan *absolute percentage error* dapat dilihat pada Gambar 4.20.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Periode Musiman	12		Parameter	Alpha	0.2						
2	L0	408584.03			Beta	0.2						
3	T0	8473.72			Gamma	0.2						
4												
5	TAHUN	Periode	Surabaya 1	Deseasonalized Demand	Dt-bar	S-bar	St	lt	Tt	Ft	Et	Et/Dt *100
6	2011	1	470227		417057.75	1.1274877	1.06901	421620.37	9386.24	445839.99	-24388	5.386321101
7		2	462910		425531.47	1.0878401	1.09963	428999.21	8984.76	473947.16	11037	2.384260705
8		3	460325		434005.18	1.0606437	1.0412	438808.78	9149.72	456030.93	-4294	0.932807581
9		4	454920		442478.9	1.0281167	1.03647	446149.45	8787.91	464295.07	9375	2.060831403
10		5	430754		450952.62	0.9552093	1.01673	448682.75	7536.99	462550.53	31796	7.38156796
11		6	424319		459426.34	0.9235842	0.99563	450212.44	6335.53	454223.99	29905	7.047785851
12		7	430176		62096745	467900.05	0.9193758	0.98462	452617.28	5549.39	449527.21	19351

Gambar 4.20 Hasil Perhitungan *Absolute Percentage Error*

Langkah terakhir adalah menghitung nilai MAPE. Nilai MAPE didapatkan dengan membagi nilai *absolute percentage error* dengan jumlah data. Berikut adalah rumus yang digunakan dalam menghitung nilai MAPE:

Pada sel N6 =AVERAGE(M6)

Pada sel N7 =AVERAGE(\$M\$6:M7)

Pada sel N8 =AVERAGE(\$M\$6:M8)

Rumus di atas ditarik atau disalin hingga periode 36. Sehingga didapatkan nilai MAPE pada sel N4 sebesar 9.498 %. Hasil perhitungan MAPE dapat dilihat pada Gambar 4.21.

Langkah-langkah perhitungan MAPE di atas dilakukan kembali untuk hasil peramalan jumlah pelanggan pada cluster Surabaya 2 dan Surabaya 3. Hasil perhitungan MAPE untuk cluster Surabaya 2 dapat dilihat pada Gambar 4.22 dan cluster Surabaya 3 dapat dilihat pada Gambar 4.23.

Berikut adalah hasil nilai MAPE yang didapat untuk masing-masing cluster.

Tabel 4.8 Nilai MAPE per Cluster

Surabaya 1	Surabaya 2	Surabaya 3
9.498 %	5.648 %	7.125 %

Apabila MAPE kurang dari 20 % maka dapat dikatakan bahwa model peramalan bagus. Sedangkan model peramalan dapat dikatakan sangat bagus apabila MAPE kurang dari 10 %. Berdasar pada Tabel 4.8 maka model peramalan untuk ketiga cluster dapat dikatakan sangat bagus.

Namun model peramalan yang digunakan oleh ketiga cluster belum tentu optimal. Hal ini dikarenakan nilai parameter *alpha*, *beta* dan *gamma* diberikan secara langsung. Sehingga dibutuhkan tahapan penentuan nilai optimal dari parameter *alpha*, *beta* dan *gamma* agar mendapatkan model peramalan optimal.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Periode Musiman	12			Alpha	0.2							
2	L0	408384.03			Beta	0.2							
3	T0	8473.72			Gamma	0.2							
4													
TAHUN	Periode	Surabaya 1	Deseasonalized Demand	Dt-bar	S-bar	St	Lt	Tt	Ft	Et	Et/Dt *100	MAPE	
25	640023		90473559	620426.97	1.0315847	1.10168	697912.75	11218.97	801066.88	161064	25.16532758	9.189	
26	628828		90425556	628900.69	0.9998836	1.14046	67581.20	4906.86	808728.48	179911	28.61054525	9.936	
27	617632		80954168	637374.40	0.9690234	1.06361	661913.41	793.53	727264.95	109633	17.75052984	10.23	
28	623594		91700364	645848.12	0.9655428	1.05466	648420.46	-2063.76	698930.98	75357	12.08109429	10.29	
29	622277		92174664	654321.84	0.9510251	1.02884	638051.93	-3724.72	664997.88	42721	6.865336518	10.17	
30	620959		92891886	662795.56	0.9368786	1.00112	631514.40	-4287.28	635038.84	14080	2.267434598	9.91	
31	619642			671269.27	0.9230893	0.98637	627422.34	-4248.12	618675.73	-966	0.155858957	9.505	
32	618224			679742.99	0.9096448	0.86882	640076.16	-707.85	541427.55	-7896	12.43627104	9.664	
33	684174			683216.71	0.9941258	0.89621	664815.87	4921.66	573726.74	-110467	16.14315371	9.88	
34	692768			696690.43	0.9943699	0.93896	675139.92	5480.18	661653.94	-31115	4.491354337	9.721	
35	699345			705164.14	0.9917478	0.98252	687005.76	6719.28	668908.07	-30437	4.352205403	9.566	
36	714502			713637.86	1.0012309	0.95741	704236.91	8821.66	664180.96	-50321	7.042809602	9.496	

Gambar 4.21 Hasil Perhitungan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) pada Cluster Surabaya 1

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Periode Musiman	12			Alpha	0.2							
2	L0	172098.21			Beta	0.2							
3	T0	2182.16			Gamma	0.2							
4													
TAHUN	Periode	Surabaya 2	Deseasonalized Demand	Dt-bar	S-bar	St	Lt	Tt	Ft	Et	Et/Dt *100	MAPE	
25	235462		32881084.5	226652.08	1.03886978	1.00004	240658.00	3899.70	242076.07	6614	2.808975194	5.610	
26	232511		32907390	228834.24	1.01660736	1.0311	240746.80	3137.52	252157.58	19647	8.449742991	5.719	
27	229580		33196962	231016.39	0.99369572	1.0266	239830.47	2326.75	250368.14	20808	9.064357014	5.843	
28	228418		33532412	233198.55	0.9795001	1.0202	2389505.35	1596.37	247045.97	18628	8.155210894	5.926	
29	227857		33790048	235380.7	0.96803496	0.9993	237683.68	1112.77	239938.74	12082	5.302448036	5.904	
30	227296		34001550	237562.86	0.95678046	1.0302	235165.33	386.54	245998.68	18703	8.228573501	5.982	
31	226734			239745.01	0.94573083	0.9999	233793.64	34.90	235524.36	8790	3.876851521	5.914	
32	226173			241927.17	0.93488093	0.9929	234531.64	179.52	228222.95	-3350	1.481190779	5.773	
33	247881			243109.32	1.01345077	0.9288	241140.97	1462.28	218001.63	-29879	12.05391707	9.966	
34	251681			246291.48	1.0218827	1.0331	242809.71	1502.77	239683.18	-1046	0.415533997	5.802	
35	255518			248473.63	1.02835056	1.0209	245502.35	1741.55	249423.66	-6094	2.385092328	5.705	
36	255577			250655.79	1.01968335	0.9959	249120.08	2116.78	246234.38	-9343	3.655500191	5.648	

Gambar 4.22 Hasil Perhitungan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) pada Cluster Surabaya 2

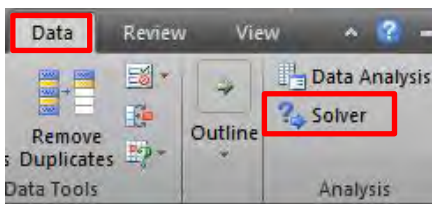
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Periode Musiman	12			Alpha	0.2							
2	L0	102157.81			Beta	0.2							
3	T0	3863.54			Gamma	0.2							
4													
TAHUN	Periode	Surabaya 3	Deseasonalized Demand	Dt-bar	S-bar	St	Lt	Tt	Ft	Et	Et/Dt *100	MAPE	
25	191008		28654440	198746.29	0.961064	1.0793	204720.85	4459.75	228433.62	37426	19.5937462	7.523	
26	193594		29189976	202609.83	0.955502	1.081	203161.15	8255.86	226130.02	32536	16.80631643	7.880	
27	201033		29859528	206473.36	0.973651	1.0628	202965.94	2565.65	219371.24	18338	9.122005451	7.926	
28	221934		30625674	210336.90	1.055136	1.0654	206085.88	2676.51	218981.18	-2953	1.330493254	7.691	
29	227518		31171824	214200.44	1.062173	1.0364	210916.96	3107.42	218353.38	-11183	4.907135177	7.959	
30	222452		31627176	218063.98	1.015537	1.019	214684.77	3239.50	218087.40	-3365	1.519335559	7.392	
31	230291			221927.52	1.037686	0.9995	220421.77	3739.00	217810.03	-12481	5.419650153	7.329	
32	219326			225791.06	0.971367	0.9354	226221.22	4351.09	209688.86	-9637	4.393978227	7.297	
33	242202			229654.60	1.054636	0.8999	238127.66	5702.16	207307.54	-34894	14.40717211	7.454	
34	248439			233518.14	1.063896	0.9947	245014.21	5939.04	242548.17	-5891	2.371136372	7.305	
35	253188			237381.68	0.969696	0.9647	248483.67	5445.12	242100.30	11912	5.175010603	7.244	
36	229489			241345.22	0.951269	0.9304	252475.91	5154.55	236247.56	6759	2.945049314	7.125	

Gambar 4.23 Hasil Perhitungan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) pada Cluster Surabaya 3

4.5. Penentuan Nilai Optimal Paramater *Alpha*, *Beta* dan *Gamma*

Penentuan nilai optimal parameter *alpha*, *beta* dan *gamma* menggunakan bantuan *Solver* pada *Microsoft Excel*. Pada peramalan yang dilakukan sebelumnya, nilai *alpha*, *beta* dan *gamma* langsung diberikan sebagai bentuk inisialisasi. Berikut adalah langkah-langkah penentuan nilai optimal parameter *alpha*, *beta* dan *gamma*.

Langkah pertama adalah membuka *Solver* yang berada pada menu *Data* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24 Solver pada Menu Data

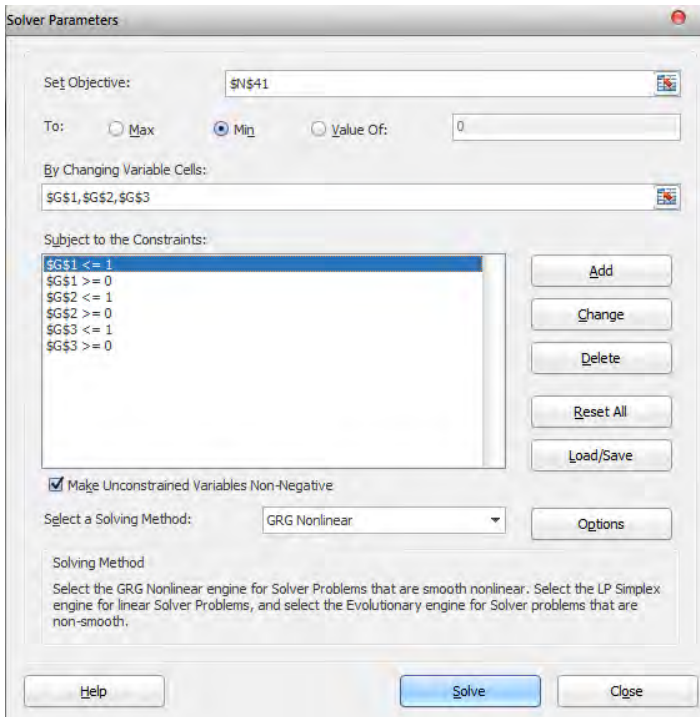
Selanjutnya adalah pengisian variabel, tujuan dan batasan pada jendela *Solver Parameters*. Pada *Set Objective* isikan sel MAPE dimana pada cluster Surabaya 1 adalah N41. Selanjutnya pilih tujuan pada *To : Min* untuk meminimalkan nilai MAPE. Pada *By Changing Variable Cells* diisi oleh sel dari ketiga parameter yang akan diubah nilainya, yakni sel G1 (*alpha*), sel G2 (*beta*) dan sel G3 (*gamma*).

Kemudian dilanjutkan pengisian batasan untuk ketiga variabel atau parameter pada *Subject to the Constraints*. Untuk menambahkan batasan pilih *Add*. Paramater *alpha*, *beta* dan *gamma* memiliki batasan yakni nilai parameter antara 0 dan 1 (Makridakis, Wheelwright & McGee, 1983). Sehingga masukkan sel G1 sebagai nilai *alpha* pada *Cell Reference*, pilih tanda \geq dan 0 pada *Constraint*. Ulangi langkah ini dan masukan semua

batasan yang ada, lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.25 dan seluruh batasan dapat dilihat Gambar 4.26.



Gambar 4.25 Proses Menambahkan Batasan



Gambar 4.26 Pengisian Variabel, Tujuan dan Batasan pada *Solver Parameters*

Setelah memilih Solve maka terjadi perubahan pada sel MAPE, nilai *alpha*, nilai *beta* dan nilai *gamma*. Nilai pada keempat sel tersebut berubah menjadi nilai optimal. Nilai MAPE berubah menjadi lebih kecil bila dibandingkan dengan sebelumnya. Untuk hasil penentuan nilai optimal parameter pada cluster Surabaya 1 dapat dilihat pada Gambar 4.27.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Periode Musiman	12			Parameter	Alpha	0.83677							
2	L0	408584.03				Beta	0							
3	T0	8473.72				Gamma	0							
4														
5	TAHUN	Periode	Surabaya 1	Deseasonalized Demand	Dt-bar	S-bar	St	Tt	TI	FI		FI	FI/Dt *100	MAPE
6		1	470227	417057.75	1.12749	1.66901	436147.00	8473.72	445839.99			-24358	5.186521101	5.186
7		2	462910	425531.47	1.08794	1.09969	424830.25	8473.72	483917.62			26007	5.618248568	5.402
8		3	460325	434003.18	1.09094	1.02119	440670.88	8473.72	431158.09			9187	1.991374252	4.265
9		4	454920	442478.9	1.02817	1.03947	440383.34	8473.72	483524.43			10804	2.331068661	3.782
10		5	430794	430952.62	0.95521	1.01678	427809.24	8473.72	436571.62			23818	5.993604703	4.224
11		6	424319	439426.34	0.92356	0.99563	427851.86	8473.72	434374.42			10056	2.369802733	3.915
12		7	430176	462096743	467900.05	0.91938	0.96462	436798.40	8473.72	429596.10		580	0.1348005153	3.375
13		8	322810	476373.77	0.67784	0.88294	378751.99	8473.72	392968.62			70159	21.73371942	5.67
14		9	335254	484847.49	0.78271	0.91743	387225.71	8473.72	355254.00			0	1.05631E-07	5.04
15		10	443371	67066366	493321.21	0.89875	0.99838	437153.28	8473.72	394038.45		49333	11.12670235	5.649
16		11	440871	69186456	501794.92	0.87839	0.98308	445720.73	8473.72	440760.21		-111	0.025130899	5.137
17		12	442093	71643455	510268.64	0.86639	0.96608	456701.30	8473.72	439196.06		2897	0.65527802	4.764
18		25	640023	90473559	620426.97	1.03158	1.06901	609720.76	8473.72	712164.17		72143	11.27196589	4.774
19		26	628628	90425056	628900.09	0.99988	1.09963	579418.72	8473.72	679784.27		50957	8.10345764	4.902
20		27	617632	90954168	637374.4	0.96903	1.0412	592325.13	8473.72	612116.31		-5516	0.893037757	4.754
21		28	623594	91700364	645848.12	0.96554	1.03647	601513.05	8473.72	622709.35		-885	0.341863616	4.589
22		29	622277	92174646	654321.84	0.95103	1.01673	611700.14	8473.72	620194.62		2082	0.354590883	4.442
23		30	620599	92891886	662795.56	0.93688	0.99565	623113.82	8473.72	617460.90		3498	0.56338876	4.313
24		31	619642	671269.27	0.92309	0.98462	629689.41	8473.72	621875.03			2234	0.360454821	4.186
25		32	618304	679742.99	0.90964	0.38254	690426.58	8473.72	563201.86			-55122	8.914766739	4.333
26		33	684174	688216.71	0.99413	0.91743	738100.43	8473.72	641194.83			42979	6.281905796	4.392
27		34	692768	696690.43	0.99427	0.9958	703994.51	8473.72	743440.21			50672	2.314470747	4.278
28		35	699845	705164.14	0.99175	0.98980	707948.70	8473.72	704687.20			5342	0.763885975	4.372
29		36	714502	713637.86	1.00121	0.96698	735232.50	8473.72	692764.74			-21737	3.04229568	4.335

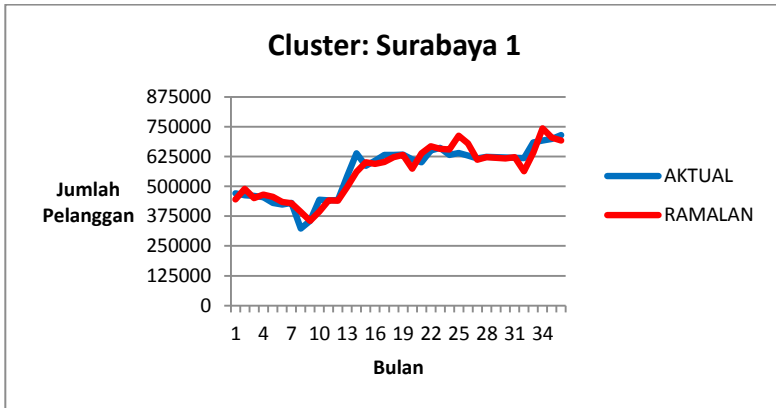
Gambar 4.27 Hasil Penentuan Nilai Optimal Parameter pada Cluster Surabaya 1

Sehingga didapat perubahan nilai MAPE dan ketiga nilai parameter *alpha*, *beta* dan *gamma* untuk cluster Surabaya 1 yang dijelaskan pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil Perubahan Nilai MAPE, *Alpha*, *Beta* dan *Gamma* pada Cluster Surabaya 1

	MAPE	Alpha	Beta	Gamma
Sebelum Penentuan Nilai Optimal	9.498 %	0.2	0.2	0.2
Setelah Penentuan Nilai Optimal	4.335 %	0.837	0	0

Gambar 4.28 adalah grafik perbandingan antara data jumlah pelanggan pada cluster Surabaya 1 dengan hasil peramalannya yang menggunakan nilai parameter α , β dan γ optimal.



Gambar 4.28 Grafik Perbandingan Data Jumlah Pelanggan dengan Hasil Peramalannya pada Cluster Surabaya 1

Sedangkan hasil penentuan nilai optimal parameter pada cluster Surabaya 2 dapat dilihat pada Gambar 4.29. Sehingga didapat perubahan nilai MAPE dan ketiga nilai parameter α , β dan γ untuk cluster Surabaya 2 yang dijelaskan pada Tabel 4.10.

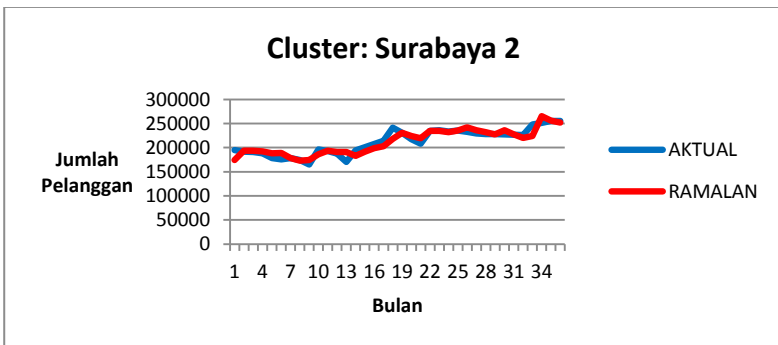
Tabel 4.10 Hasil Perubahan Nilai MAPE, α , β dan γ pada Cluster Surabaya 2

	MAPE	Alpha	Beta	Gamma
Sebelum Penentuan Nilai Optimal	5.648 %	0.2	0.2	0.2
Setelah Penentuan Nilai Optimal	3.475 %	0.673	0	0

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Periode Musiman	12			Alpha	0.673							
2	I0	172098.21			Beta	0							
3	T0	2182.16			Gamma	0							
4													
5	TAHUN	Periode	Surabaya 2	Deseasonalized Demand	Dt-bar	S-bar	St	It	Tl	Ft	Et	EI/Dt [*100]	MAPE
6	2011	1	194785		174280.36	1.1177	1.0022	187793.51	2182.16	174662.03	-20123	10.33074141	10.331
7		2	191734		176462.52	1.0867	1.021	188514.45	2182.16	193970.48	2217	1.156083744	5.743
8		3	190683		178644.67	1.0674	1.0141	188897.79	2182.16	193393.31	2711	1.421519124	4.303
9		4	188444		180826.83	1.0421	1.0670	188348.27	2182.16	192533.60	4090	2.120296284	3.770
10		5	178433		183008.98	0.975	0.989	183726.40	2182.16	188432.00	9999	5.603500576	4.136
11		6	175768		185191.14	0.9491	1.0156	177265.23	2182.16	188811.11	13043	7.420772791	4.684
12		7	178194	26425738	187373.29	0.951	0.993	179447.39	2182.16	178194.00	0	8.03597E-07	4.015
13		8	174111	26296639	189555.45	0.9185	0.9537	182261.18	2182.16	173215.94	-895	0.514071804	3.577
14		9	164911	26375771	191737.6	0.8601	0.944	177887.68	2182.16	174105.88	9195	5.575664207	3.799
15		10	196621	26550632	193919.76	1.0139	1.0346	186781.26	2182.16	186303.51	10317	5.247400562	3.944
16		11	193053	26878134	196101.91	0.9845	1.0248	185565.80	2182.16	193658.48	605	1.316333576	3.614
17		12	187578	27485141	198284.07	0.944	1.0015	188430.31	2182.16	191026.75	3449	1.838566295	3.466
18	2013	25	235462	32881084.5	226652.08	1.0389	1.0022	234893.08	2182.16	235295.29	-167	0.070802787	3.709
19		26	232511	32907390	228834.24	1.0161	1.021	230780.73	2182.16	242060.45	9549	4.107098902	3.724
20		27	229560	33196962	231016.39	0.9937	1.0141	228518.40	2182.16	236257.30	6697	2.917452911	3.694
21		28	228418	33533412	233198.55	0.9795	1.0076	230003.72	2182.16	232455.62	4038	1.767646648	3.625
22		29	227857	33756048	235380.7	0.968	0.989	230326.09	2182.16	227650.70	-206	0.090428525	3.503
23		30	227296	34001550	237562.86	0.9568	1.0156	226648.42	2182.16	236138.36	8843	3.890467049	3.516
24		31	226734		239745.01	0.9457	0.993	228493.05	2182.16	227232.26	498	0.219643729	3.410
25		32	226173		241927.17	0.9349	0.9537	235038.77	2182.16	219989.67	-6183	2.733892653	3.389
26		33	247881		244109.32	1.0135	0.944	234300.45	2182.16	239925.46	-2996	9.664130505	3.579
27		34	251081		246291.48	1.0219	1.0346	247583.56	2182.16	260361.54	13681	5.425666002	3.634
28		35	255518		248173.63	1.0284	1.0248	249467.90	2182.16	259717.50	454	0.177483696	3.535
29		36	255577		250655.79	1.0196	1.0015	254041.89	2182.16	252017.86	-3559	1.392588721	3.475

Gambar 4.29 Hasil Penentuan Nilai Optimal Parameter pada Cluster Surabaya 2

Gambar 4.30 adalah grafik perbandingan antara data jumlah pelanggan pada cluster Surabaya 2 dengan hasil peramalannya yang menggunakan nilai parameter α , β dan γ optimal.



Gambar 4.30 Grafik Perbandingan Data Jumlah Pelanggan dengan Hasil Peramalannya pada Cluster Surabaya 2

Sedangkan untuk hasil penentuan nilai optimal parameter pada cluster Surabaya 3 dapat dilihat pada Gambar 4.31.

A B C			D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
Periode Musiman			12	Parameter			Alpha	1					
LO			102157.81	Beta			0						
TD			3863.54	Gamma			0						

TAHUN	Periode	Surabaya 3	Deseasonalized Demand	Dt-bar	S-bar	St	Lt	Tl	Ft	ET	E /Dt *100	MAPE	
2011	1	132410		106021.34	1.2489	1.0544	125574.02	3863.54	111792.90	-20617	15.57063986	15.571	
	2	130350		109884.88	1.1862	1.0391	123337.78	3863.54	136574.61	6225	4.77688795	10.173	
	3	129622		113748.42	1.1395	1.0448	124066.15	3863.54	133106.05	3485	2.88320632	7.678	
	4	128100		117611.96	1.0892	1.0597	120883.93	3863.54	135655.90	7466	5.82853466	7.216	
	5	121295		121475.50	0.9985	1.0355	117137.87	3863.54	129174.43	7880	6.496270683	7.072	
	6	119483		125839.04	0.9533	1.015	117713.80	3863.54	122819.74	3337	2.792888351	6.359	
	7	121132		129202.58	0.9375	1.0036	120695.31	3863.54	122017.22	885	0.730786923	5.555	
	8	113399		18194183	133066.12	0.8322	0.9393	120696.51	3863.54	117027.82	3629	3.200046488	5.260
	9	105388		18575008	136929.66	0.7897	0.9158	114577.74	3863.54	114569.67	9182	8.712251523	5.644
	10	128885		19027702	140793.20	0.9154	1.0009	128764.07	3863.54	118552.52	-10332	8.016820932	5.881
	11	128511		19602511	144656.74	0.8884	0.9615	133661.06	3863.54	127876.46	-994	0.773191049	5.417
	12	129945		20319754	148520.28	0.8749	0.9298	139749.21	3863.54	127876.46	-2069	1.591857947	5.098
2013	25	191008	28654440	198746.29	0.9611	1.0544	181146.79	3863.54	216966.47	25958	13.59025413	4.460	
	26	193594	29189976	202609.83	0.9555	1.0551	183477.26	3863.54	195211.59	1618	0.835559744	4.320	
	27	201033	29859828	206473.36	0.9737	1.0448	192417.03	3863.54	195729.47	-5304	3.638136958	4.358	
	28	221934	30625674	210336.90	1.0551	1.0597	209432.81	3863.54	207996.69	-13037	6.279934424	4.330	
	29	227518	31171824	214200.44	1.0622	1.0355	219720.69	3863.54	220865.68	-6652	2.923865408	4.282	
	30	221452	31627176	218963.98	1.0155	1.015	218173.44	3863.54	226944.09	5492	2.480036467	4.222	
	31	230291		221927.52	1.0377	1.0036	229460.79	3863.54	228840.34	-7451	3.235325297	4.190	
	32	219326		225791.06	0.9714	0.9395	233440.17	3863.54	219217.16	-109	0.049695342	4.060	
	33	242202		229654.60	1.0546	0.9198	263321.81	3863.54	218270.69	-23931	9.880723148	4.237	
	34	246439		233518.14	1.0639	1.0009	248205.89	3863.54	267436.28	18997	7.646558361	4.337	
	35	230188		237381.68	0.9697	0.9615	239412.76	3863.54	242357.60	12169	5.286549779	4.364	
	36	229489		241245.22	0.9513	0.9298	246803.70	3863.54	226209.66	-3280	1.42923446	4.283	

Gambar 4.31 Hasil Penentuan Nilai Optimal Parameter pada Cluster Surabaya 3

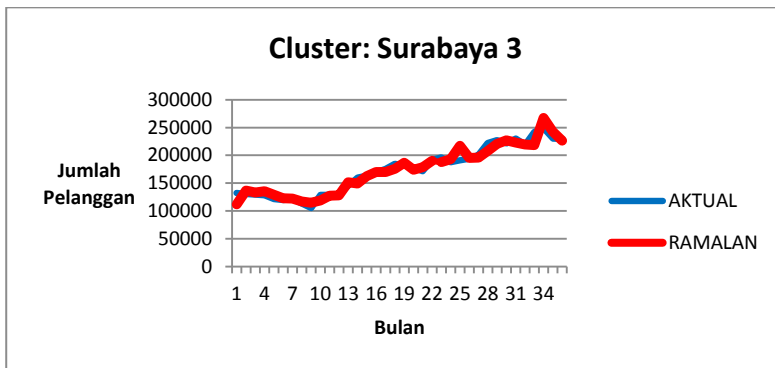
Sehingga didapat perubahan nilai MAPE dan ketiga nilai parameter *alpha*, *beta* dan *gamma* untuk cluster Surabaya 3 yang dijelaskan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil Perubahan Nilai MAPE, Alpha, Beta dan Gamma pada Cluster Surabaya 3

	MAPE	Alpha	Beta	Gamma
Sebelum Penentuan Nilai Optimal	7.125 %	0.2	0.2	0.2
Setelah Penentuan Nilai Optimal	4.283 %	1	0	0

Gambar 4.32 adalah grafik perbandingan antara data jumlah pelanggan pada cluster Surabaya 3 dengan hasil

peramalannya yang menggunakan nilai parameter α , β dan γ optimal.



Gambar 4.32 Grafik Perbandingan Data Jumlah Pelanggan dengan Hasil Peramalannya pada Cluster Surabaya 3

Sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil peramalan yang akan digunakan adalah hasil peramalan dari model peramalan yang optimal dimana MAPE untuk masing-masing dapat dilihat pada Tabel 4.12, serta ketiga model peramalan tersebut memiliki kinerja yang sangat bagus karena MAPE kurang dari 10 %.

Tabel 4.12 Nilai MAPE Optimal per Cluster

Surabaya 1	Surabaya 2	Surabaya 3
4.335 %	3.475 %	4.283 %

4.6. Penentuan Trafik Pelanggan

Penentuan trafik pelanggan menggunakan hasil peramalan jumlah pelanggan pada 5 tahun mendatang. Hasil peramalan jumlah pelanggan menggunakan model peramalan yang sudah optimal memberikan tingkat kesalahan terkecil. Untuk mendapatkan trafik pelanggan, jumlah pelanggan akan dikalikan dengan rata-rata trafik yang dibutuhkan per pelanggan. Rata-rata trafik yang dibutuhkan per pelanggan adalah 0.025 *erlang*.

Dalam ilmu statistika, ada beberapa cara untuk melakukan penaksiran dari sejumlah data. Salah satu metode penaksiran yang sering digunakan adalah dengan menghitung *mean* (rata-rata). (Walpole & Myers, 1989).

Dalam tugas akhir ini, untuk mendapatkan hasil peramalan pelanggan dalam satu tahun, digunakan nilai *mean* (rata-rata). Nilai *mean* digunakan sebagai satuan statistik yang mencerminkan suatu data dalam kurun waktu tertentu.

Sebagai contoh perhitungan trafik pelanggan di cluster Surabaya 1 pada tahun 2014 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Trafik Pelanggan} &= \text{Hasil Peramalan Pelanggan} \times 0.025 \\ &= 788775 \times 0.025 \\ &= 19719.37 \text{ erlang} \end{aligned}$$

Hasil penentuan trafik pelanggan ditunjukkan pada Tabel 4.13 untuk cluster Surabaya 1, Tabel 4.14 untuk cluster Surabaya 2 dan Tabel 4.15 untuk cluster Surabaya 3.

Tabel 4.13 Hasil Penentuan Trafik Pelanggan Cluster Surabaya 1

Tahun	Hasil Peramalan Pelanggan	Trafik Pelanggan
2014	788775	19719.37
2015	890418	22260.45
2016	992061	24801.53
2017	1093705	27342.62
2018	1195348	29883.7

Tabel 4.14 Hasil Penentuan Trafik Pelanggan Cluster Surabaya 2

Tahun	Hasil Peramalan Pelanggan	Trafik Pelanggan
2014	268226	6705.65
2015	294414	7360.36
2016	320603	8015.07
2017	346791	8669.78
2018	372980	9324.49

Tabel 4.15 Hasil Penentuan Trafik Pelanggan Cluster Surabaya 3

Tahun	Hasil Peramalan Pelanggan	Trafik Pelanggan
2014	271798	6794.95
2015	318237	7955.92
2016	364676	9116.89
2017	411115	10277.86
2018	457553	11438.83

4.7. Formulasi Model Goal Programming

Dalam membuat formulasi model *goal programming*, langkah yang harus dilakukan terlebih dahulu adalah membuat model *linear programming*. *Linear programming* merupakan metode optimasi yang mempertimbangkan satu tujuan saja. Metode ini merupakan langkah awal dalam optimasi dengan metode *goal programming*. Langkah-langkah yang harus ditempuh dalam pemodelan *linear programming* adalah penentuan variabel keputusan, fungsi tujuan dan batasan.

4.7.1. Penentuan Variabel Keputusan

Dalam tugas akhir ini, terdapat 3 cluster dimana masing-masing memiliki model yang berbeda. Sehingga nantinya model akan dibahas satu per satu dari setiap cluster.

Permasalahan yang akan diselesaikan adalah mengetahui jumlah trafik yang harus disediakan di setiap area kecamatan. Sehingga variable keputusannya adalah:

CLUSTER: SURABAYA 1

- y1 = jumlah trafik yang disediakan di Kecamatan Bubutan
- y2 = jumlah trafik yang disediakan di Kecamatan Genteng
- y3 = jumlah trafik yang disediakan di Kecamatan Gubeng
- y4 = jumlah trafik yang disediakan di Kecamatan Gunung Anyar
- y5 = jumlah trafik yang disediakan di Kecamatan Kenjeran
- y6 = jumlah trafik yang disediakan di Kecamatan

Krembangan

- y7 = jumlah trafik yang disediakan di Kecamatan Mulyorejo
- y8 = jumlah trafik yang disediakan di Kecamatan Pabean
Cantian
- y9 = jumlah trafik yang disediakan di Kecamatan Rungkut
- y10 = jumlah trafik yang disediakan di Kecamatan Semampir
- y11 = jumlah trafik yang disediakan di Kecamatan Simokerto
- y12 = jumlah trafik yang disediakan di Kecamatan Sukolilo
- y13 = jumlah trafik yang disediakan di Kecamatan Tambaksari
- y14 = jumlah trafik yang disediakan di Kecamatan Tegal Sari
- y15 = jumlah trafik yang disediakan di Kecamatan Tenggilis
Mejoyo

CLUSTER: SURABAYA 2

- y1 = jumlah trafik yang disediakan di Kecamatan Dukuh
Pakis
- y2 = jumlah trafik yang disediakan di Kecamatan Gayungan
- y3 = jumlah trafik yang disediakan di Kecamatan Jambangan
- y4 = jumlah trafik yang disediakan di Kecamatan Karang
Pilang
- y5 = jumlah trafik yang disediakan di Kecamatan Wonocolo
- y6 = jumlah trafik yang disediakan di Kecamatan
Wonokromo

CLUSTER: SURABAYA 3

- y1 = jumlah trafik yang disediakan di Kecamatan Asemrowo
- y2 = jumlah trafik yang disediakan di Kecamatan Benowo
- y3 = jumlah trafik yang disediakan di Kecamatan Lakar
Santri
- y4 = jumlah trafik yang disediakan di Kecamatan Sawahan
- y5 = jumlah trafik yang disediakan di Kecamatan
Sukomanunggal
- y6 = jumlah trafik yang disediakan di Kecamatan Tandes
- y7 = jumlah trafik yang disediakan di Kecamatan Wiyung

4.7.2. Perumusan Fungsi Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini ada dua, yakni:

- Goal 1: Kapasitas trafik dapat menampung semua permintaan trafik dari pelanggan di tiap clusternya
- Goal 2: Kapasitas total trafik tiap area kecamatan tidak melebihi total kapasitas yang dimiliki tiap cluster.

Sehingga fungsi tujuannya adalah:

CLUSTER: SURABAYA 1

Goal 1: $\text{Max } Z = y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8 + y_9 + y_{10} + y_{11} + y_{12} + y_{13} + y_{14} + y_{15}$

Goal 2: $\text{Min } Z = y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8 + y_9 + y_{10} + y_{11} + y_{12} + y_{13} + y_{14} + y_{15}$

CLUSTER: SURABAYA 2

Goal 1: $\text{Max } Z = y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6$

Goal 2: $\text{Min } Z = y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6$

CLUSTER: SURABAYA 3

Goal 1: $\text{Max } Z = y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7$

Goal 2: $\text{Min } Z = y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7$

4.7.3. Perumusan Batasan

Batasan yang ada dalam model antara lain kapasitas trafik per area kecamatan, trafik pelanggan yang harus dipenuhi, kapasitas trafik minimal area kecamatan.

1. Batasan Kapasitas Trafik per Area Kecamatan

Batasan ini bertujuan untuk membatasi nilai maksimal dari kapasitas trafik yang ada di tiap area kecamatan. Kapasitas trafik yang digunakan di tiap kecamatan harus kurang dari atau sama dengan kapasitas trafik yang ada di area kecamatan tersebut.

CLUSTER: SURABAYA 1

$$\begin{array}{lll}
 y1 \leq 1157.04 & y6 \leq 1210.55 & y11 \leq 666.43 \\
 y2 \leq 1169.22 & y7 \leq 1761.36 & y12 \leq 2391.55 \\
 y3 \leq 1883.77 & y8 \leq 2171.07 & y13 \leq 1379.29 \\
 y4 \leq 917.74 & y9 \leq 1166.51 & y14 \leq 1153.11 \\
 y5 \leq 1377.49 & y10 \leq 681.93 & y15 \leq 878.90
 \end{array}$$

CLUSTER: SURABAYA 2

$$\begin{array}{lll}
 y1 \leq 1175.95 & y3 \leq 549.33 & y5 \leq 1099.07 \\
 y2 \leq 1582.59 & y4 \leq 869.78 & y6 \leq 1288.66
 \end{array}$$

CLUSTER: SURABAYA 3

$$\begin{array}{lll}
 y1 \leq 478.87 & y4 \leq 1642.66 & y7 \leq 1003.80 \\
 y2 \leq 713.06 & y5 \leq 1138.21 & \\
 y3 \leq 1911.65 & y6 \leq 831.80 &
 \end{array}$$

2. Batasan Trafik Pelanggan yang Harus Dipenuhi

Batasan ini bertujuan agar jumlah kapasitas trafik yang disediakan tiap area kecamatan dapat memenuhi trafik pelanggan di tiap cluster pada periode tertentu. Jumlah kapasitas trafik tiap area kecamatan harus lebih besar atau sama dengan trafik pelanggan.

CLUSTER: SURABAYA 1

Tahun ke-1

$$y1 + y2 + y3 + y4 + y5 + y6 + y7 + y8 + y9 + y10 + y11 + y12 + y13 + y14 + y15 \geq 19719.37$$

Tahun ke-2

$$y1 + y2 + y3 + y4 + y5 + y6 + y7 + y8 + y9 + y10 + y11 + y12 + y13 + y14 + y15 \geq 22260.45$$

Tahun ke-3

$$y1 + y2 + y3 + y4 + y5 + y6 + y7 + y8 + y9 + y10 + y11 + y12 + y13 + y14 + y15 \geq 24801.53$$

Tahun ke-4

$$y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8 + y_9 + y_{10} + y_{11} + y_{12} + y_{13} + y_{14} + y_{15} \geq 27342.62$$

Tahun ke-5

$$y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8 + y_9 + y_{10} + y_{11} + y_{12} + y_{13} + y_{14} + y_{15} \geq 29883.7$$

CLUSTER: SURABAYA 2

Tahun ke-1

$$y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 \geq 6705.65$$

Tahun ke-2

$$y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 \geq 7360.36$$

Tahun ke-3

$$y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 \geq 8015.07$$

Tahun ke-4

$$y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 \geq 8669.78$$

Tahun ke-5

$$y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 \geq 9324.49$$

CLUSTER: SURABAYA 3

Tahun ke-1

$$y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 \geq 6794.95$$

Tahun ke-2

$$y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 \geq 7955.92$$

Tahun ke-3

$$y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 \geq 9116.89$$

Tahun ke-4

$$y1 + y2 + y3 + y4 + y5 + y6 + y7 \geq 10277.86$$

Tahun ke-5

$$y1 + y2 + y3 + y4 + y5 + y6 + y7 \geq 11438.83$$

3. Batasan Kapasitas Trafik Minimal Area Kecamatan

Batasan ini bertujuan untuk memberi batas minimal trafik yang ada di tiap area kecamatan. Nilai minimal yang digunakan adalah nilai rata-rata trafik per pengguna, yakni 0.025.

CLUSTER: SURABAYA 1

$y1 \geq 0.025$	$y6 \geq 0.025$	$y11 \geq 0.025$
$y2 \geq 0.025$	$y7 \geq 0.025$	$y12 \geq 0.025$
$y3 \geq 0.025$	$y8 \geq 0.025$	$y13 \geq 0.025$
$y4 \geq 0.025$	$y9 \geq 0.025$	$y14 \geq 0.025$
$y5 \geq 0.025$	$y10 \geq 0.025$	$y15 \geq 0.025$

CLUSTER: SURABAYA 2

$y1 \geq 0.025$	$y3 \geq 0.025$	$y5 \geq 0.025$
$y2 \geq 0.025$	$y4 \geq 0.025$	$y6 \geq 0.025$

CLUSTER: SURABAYA 3

$y1 \geq 0.025$	$y4 \geq 0.025$	$y7 \geq 0.025$
$y2 \geq 0.025$	$y5 \geq 0.025$	
$y3 \geq 0.025$	$y6 \geq 0.025$	

Kemudian dari model *Linear Programming* diatas, langkah selanjutnya adalah mengubah ke model *Goal Programming*. Tujuan yang ingin dicapai ada dua, yakni:

- Goal 1: Kapasitas trafik dapat menampung semua permintaan trafik dari pelanggan di tiap clusternya
- Goal 2: Kapasitas total trafik tiap area kecamatan tidak melebihi total kapasitas yang dimiliki tiap cluster.

Sehingga fungsi tujuan dan batasan dalam model *Goal Programming* adalah sebagai berikut.

4.7.4. Perumusan Fungsi Tujuan *Goal Programming*

Fungsi tujuan pada model *Linear Programming* berubah menjadi batasan dengan adanya target. Untuk goal 1, ditambahkan target permintaan trafik pelanggan yang harus dipenuhi. Target tersebut merupakan batas minimal trafik yang harus disediakan agar dapat memenuhi permintaan trafik dari pelanggan. Target tersebut diperoleh dari hasil peramalan pelanggan yang kemudian dikalikan dengan rata-rata trafik per pelanggan. Dikarenakan peramalan dilakukan untuk 5 tahun mendatang, sehingga target akan berubah sebanyak 5 kali.

Sehingga tambahan batasan mengenai permintaan trafik pelanggan untuk masing-masing cluster dapat dituliskan sebagai berikut, misalnya untuk tahun pertama.

CLUSTER: SURABAYA 1

Goal 1:

$$y1 + y2 + y3 + y4 + y5 + y6 + y7 + y8 + y9 + y10 + y11 + y12 + y13 + y14 + y15 \geq 19719.37$$

CLUSTER: SURABAYA 2

Goal 1:

$$y1 + y2 + y3 + y4 + y5 + y6 \geq 6705.65$$

CLUSTER: SURABAYA 3

Goal 1:

$$y1 + y2 + y3 + y4 + y5 + y6 + y7 \geq 6794.95$$

Untuk goal 2, ditambahkan target total kapasitas yang dimiliki tiap cluster. Target tersebut merupakan batas maksimal kapasitas trafik yang dapat disediakan dalam suatu cluster. Target tersebut diperoleh dari hasil perhitungan kapasitas trafik yang mampu dilayani dari masing-masing area kecamatan di tiap cluster dan kemudian dijumlahkan.

Sehingga tambahan batasan mengenai total kapasitas yang dimiliki tiap cluster dapat dituliskan sebagai berikut.

CLUSTER: SURABAYA 1

Goal 2:

$$y1 + y2 + y3 + y4 + y5 + y6 + y7 + y8 + y9 + y10 + y11 + y12 + y13 + y14 + y15 \leq 19965.96$$

CLUSTER: SURABAYA 2

Goal 2:

$$y1 + y2 + y3 + y4 + y5 + y6 \leq 6565.38$$

CLUSTER: SURABAYA 3

Goal 2:

$$y1 + y2 + y3 + y4 + y5 + y6 + y7 \leq 7720.05$$

Dengan penambahan variabel deviasi maka tambahan batasan yang berasal dari fungsi tujuan *Linear Programming* berubah menjadi seperti berikut.

GOAL 1

CLUSTER: SURABAYA 1

$$y1 + y2 + y3 + y4 + y5 + y6 + y7 + y8 + y9 + y10 + y11 + y12 + y13 + y14 + y15 + d_1^- - d_1^+ = 19719.37$$

CLUSTER: SURABAYA 2

$$y1 + y2 + y3 + y4 + y5 + y6 + d_1^- - d_1^+ = 6705.65$$

CLUSTER: SURABAYA 3

$$y1 + y2 + y3 + y4 + y5 + y6 + y7 + d_1^- - d_1^+ = 6794.95$$

GOAL 2

CLUSTER: SURABAYA 1

$$y1 + y2 + y3 + y4 + y5 + y6 + y7 + y8 + y9 + y10 + y11 + y12 + y13 + y14 + y15 + d_2^- - d_2^+ = 19965.96$$

CLUSTER: SURABAYA 2

$$y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + d_2^- - d_2^+ = 6565.38$$

CLUSTER: SURABAYA 3

$$y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + d_2^- - d_2^+ = 7720.05$$

Keterangan :

d_j^- = nilai penyimpangan di bawah

d_j^+ = nilai penyimpangan di atas

Fungsi tujuan yang baru terdiri dari variabel deviasi. Ada beberapa ketentuan dalam *Goal Programming* untuk menentukan fungsi tujuan yang baru, yaitu :

1. Jika formula awal yang ditambahkan variabel deviasi adalah $y_i \geq 0$, maka fungsi tujuan yang baru adalah meminimalkan d_j^- .
2. Begitu pula sebaliknya, jika formula awal yang ditambahkan variabel deviasi adalah $y_i \leq 0$, maka fungsi tujuan yang baru adalah meminimalkan d_j^+ .

Berdasarkan ketentuan tersebut maka tujuan *Goal Programming* menjadi :

Goal 1 :

$$\text{Min } Z = \sum d_1^-$$

Goal 2 :

$$\text{Min } Z = \sum d_2^+$$

Sehingga fungsi tujuan Z menjadi :

$$\text{Min } Z = \sum d_1^- + \sum d_2^+$$

4.7.5. Perumusan Batasan *Goal Programming*

Setelah mengelola model dari *Linear Programming* menjadi *Goal Programming* maka ada beberapa tambahan batasan yang akan diperhitungkan. Berikut adalah batasan-batasan yang akan menjadi batasan dalam *Goal Programming*.

1. Batasan Trafik Pelanggan yang Harus Dipenuhi

Berikut adalah batasan mengenai trafik pelanggan yang harus dipenuhi di tiap cluster, misalnya untuk tahun pertama.

CLUSTER: SURABAYA 1

Tahun ke-1

$$y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8 + y_9 + y_{10} + y_{11} + y_{12} + y_{13} + y_{14} + y_{15} \geq 19719.37$$

CLUSTER: SURABAYA 2

Tahun ke-1

$$y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 \geq 6705.65$$

CLUSTER: SURABAYA 3

Tahun ke-1

$$y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 \geq 6794.95$$

2. Batasan Kapasitas yang Dimiliki Tiap Cluster

Berikut adalah batasan mengenai kapasitas yang dimiliki tiap cluster.

CLUSTER: SURABAYA 1

$$y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 + y_7 + y_8 + y_9 + y_{10} + y_{11} + y_{12} + y_{13} + y_{14} + y_{15} \leq 19965.96$$

CLUSTER: SURABAYA 2

$$y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 \leq 6565.38$$

CLUSTER: SURABAYA 3

$$y1 + y2 + y3 + y4 + y5 + y6 + y7 \leq 7720.05$$

3. Batasan Kapasitas Trafik per Area Kecamatan

Berikut adalah batasan mengenai batas maksimal kapasitas trafik yang terdapat di tiap area kecamatan.

CLUSTER: SURABAYA 1

$$\begin{array}{lll} y1 \leq 1157.04 & y6 \leq 1210.55 & y11 \leq 666.43 \\ y2 \leq 1169.22 & y7 \leq 1761.36 & y12 \leq 2391.55 \\ y3 \leq 1883.77 & y8 \leq 2171.07 & y13 \leq 1379.29 \\ y4 \leq 917.74 & y9 \leq 1166.51 & y14 \leq 1153.11 \\ y5 \leq 1377.49 & y10 \leq 681.93 & y15 \leq 878.90 \end{array}$$

CLUSTER: SURABAYA 2

$$\begin{array}{lll} y1 \leq 1175.95 & y3 \leq 549.33 & y5 \leq 1099.07 \\ y2 \leq 1582.59 & y4 \leq 869.78 & y6 \leq 1288.66 \end{array}$$

CLUSTER: SURABAYA 3

$$\begin{array}{lll} y1 \leq 478.87 & y4 \leq 1642.66 & y7 \leq 1003.80 \\ y2 \leq 713.06 & y5 \leq 1138.21 & \\ y3 \leq 1911.65 & y6 \leq 831.80 & \end{array}$$

4. Batasan Kapasitas Trafik Minimal Area Kecamatan

Berikut adalah batasan mengenai kapasitas trafik minimal yang ada di tiap area kecamatan.

CLUSTER: SURABAYA 1

$$\begin{array}{lll} y1 \geq 0.025 & y6 \geq 0.025 & y11 \geq 0.025 \\ y2 \geq 0.025 & y7 \geq 0.025 & y12 \geq 0.025 \\ y3 \geq 0.025 & y8 \geq 0.025 & y13 \geq 0.025 \\ y4 \geq 0.025 & y9 \geq 0.025 & y14 \geq 0.025 \\ y5 \geq 0.025 & y10 \geq 0.025 & y15 \geq 0.025 \end{array}$$

CLUSTER: SURABAYA 2

$$y1 \geq 0.025$$

$$y3 \geq 0.025$$

$$y5 \geq 0.025$$

$$y2 \geq 0.025$$

$$y4 \geq 0.025$$

$$y6 \geq 0.025$$

CLUSTER: SURABAYA 3

$$y1 \geq 0.025$$

$$y2 \geq 0.025$$

$$y3 \geq 0.025$$

$$y4 \geq 0.025$$

$$y5 \geq 0.025$$

$$y6 \geq 0.025$$

5. Batasan Variabel Deviasi

$$d_1^- \geq 0$$

$$d_2^+ \geq 0$$

4.8. Metodologi Penyelesaian Model dengan Program Komputer

Goal Programming merupakan salah satu metode pendukung keputusan yang dapat diselesaikan dengan menggunakan perangkat lunak Matlab. Matlab yang akan digunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini adalah Matlab 7.8. Dalam pembuatan program komputer, langkah awal yang harus dilakukan adalah membuat algoritma program. Dengan adanya algoritma program maka pembuatan program akan lebih mudah. Salah satu cara pembuatan algoritma program adalah dengan cara membuat diagram alur.

4.8.1. Inisialisasi Data

Sebelum data dan variabel program melakukan suatu proses maka data dan variabel harus diinisialisasikan terlebih dahulu. Terdapat lima data yang akan dimasukkan ke dalam program aplikasi yang akan dibuat. Berikut adalah kelima data yang perlu diinisialisasikan dalam program.

1. Jumlah Area
Jumlah area merupakan pembagian area BTS yang terbagi menurut kecamatan di Surabaya. Data ini bersifat integer. Pada cluster Surabaya 1 terdapat 15 kecamatan, cluster Surabaya 2 terdapat 6 kecamatan dan untuk cluster Surabaya 3 terdapat 7 kecamatan. Setiap area kecamatan tersebut mempunyai sejumlah BTS yang menyediakan trafik.
2. Jumlah Tahun Peramalan
Jumlah tahun peramalan merupakan total tahun peramalan yang dilakukan. Dalam hal ini jumlah tahun peramalan akan dilakukan selama 5 tahun. Data ini bersifat integer.
3. Permintaan Trafik Pelanggan
Permintaan trafik oleh pelanggan berupa data yang bertipe float. Data ini didapatkan dari hasil peramalan pelanggan yang dilakukan dengan metode *Winter (Triples Exponential Smoothing)* selama 5 tahun yang kemudian dikalikan dengan nilai rata-rata trafik per pelanggan. Data yang akan dimasukkan adalah data trafik pelanggan di setiap tahunnya.
4. Kapasitas Trafik yang Tersedia di Tiap Area Kecamatan
Kapasitas trafik ini berupa data yang bertipe float. Data ini merupakan hasil pengolahan data BTS dimana masing-masing sektor di tiap BTS memiliki kemampuan yang berbeda dalam menyediakan trafik. Nilai kapasitas trafik yang digunakan sudah menggunakan aturan GoS sebesar 2 %.
5. Total Kapasitas Trafik di Tiap Cluster
Data ini merupakan total kapasitas trafik yang tersedia di tiap cluster. Data ini juga bertipe float.

Sedangkan data lain yang diperlukan untuk perhitungan dalam Matlab pada fungsi `fmincon` adalah sebagai berikut:

1. x_0
Nilai x_0 merupakan nilai inisialisasi awal perhitungan untuk variabel keputusan ke- n . Variabel ini mempunyai nilai bertipe float.

2. lb

Nilai variabel lb merupakan nilai batas bawah dari suatu fungsi. Nilainya bertipe *float*. Tidak ada batasan yang ditentukan untuk mengisi nilai ini, tetapi jika dikehendaki untuk ditentukan nilainya maka diisi dengan nilai yang ditentukan tersebut.

3. ub

Nilai variabel ub merupakan nilai batas atas dari suatu fungsi. Nilainya bertipe *float*. Tidak ada batasan yang ditentukan untuk mengisi nilai ini, tetapi jika dikehendaki untuk ditentukan nilainya maka diisi dengan nilai yang ditentukan tersebut.

Data keluaran yang akan dihasilkan adalah berupa nilai optimal tiap variabel keputusan.

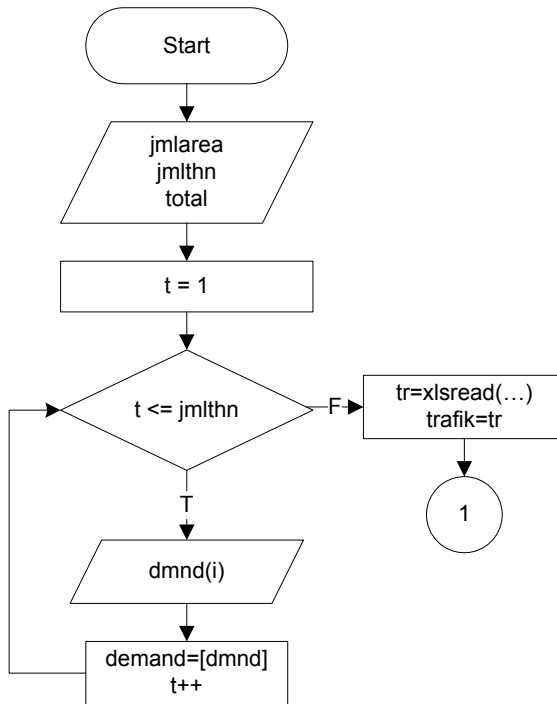
4.8.2. Memasukkan Data Awal

Data yang akan dimasukkan pertama kali ketika program dijalankan adalah data jumlah area, jumlah tahun peramalan, total kapasitas trafik di tiap cluster, permintaan trafik pelanggan dan kapasitas trafik yang tersedia di tiap area kecamatan.

Nilai permintaan trafik pelanggan dimasukan sebanyak nilai yang dimasukan pada jumlah tahun. Sedangkan nilai kapasitas trafik yang tersedia di tiap area kecamatan akan dimasukkan sebanyak jumlah area. Kapasitas trafik yang dimasukan tersebut berasal dari file Excel. Proses memasukan data ditunjukkan pada diagram alur seperti pada Gambar 4.33.

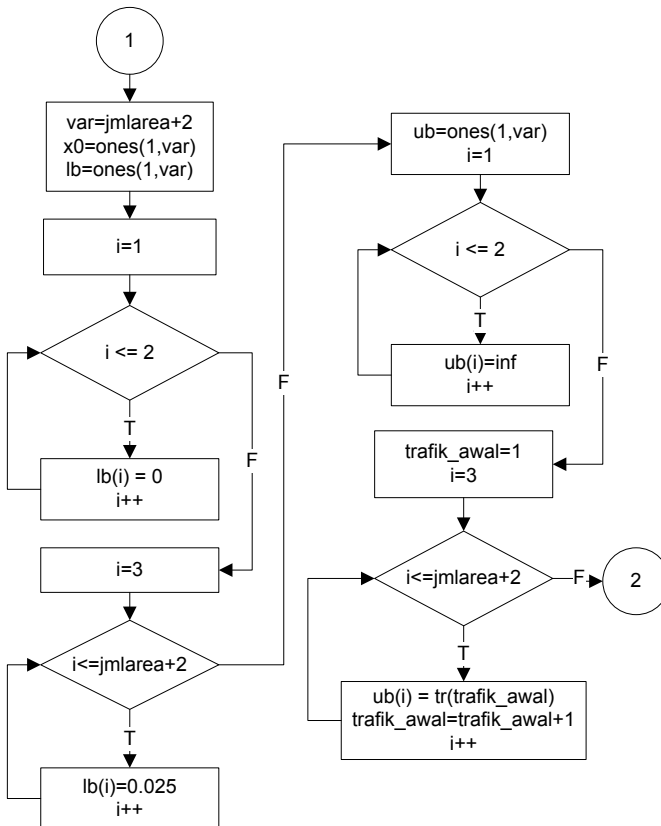
4.8.3. Membuat Variabel Keputusan dan Memasukan Data Inisialisasi Nilai Awal x_0 , lb dan ub

Tahap selanjutnya adalah membuat variabel keputusan dan memasukan data inisialisasi nilai awal x_0 , lb, dan ub. Jumlah variabel keputusan bergantung pada cluster. Variabel keputusan adalah jumlah area kecamatan yang terdapat pada cluster tertentu ditambah dua. Penambahan dua variabel keputusan diperuntukan variabel deviasi karena terdapat dua tujuan pada model.



Gambar 4.33 Diagram Alur Memasukkan Data Awal

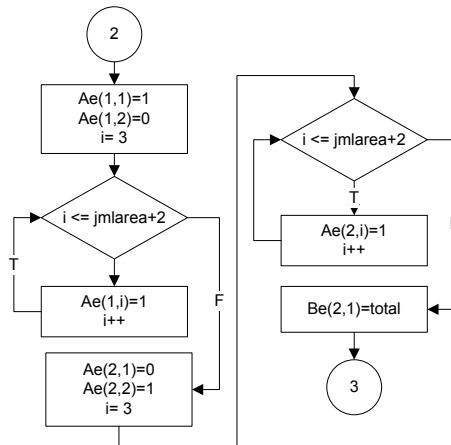
Untuk nilai x_0 akan dimulai dengan angka 1 semua variabel. Untuk nilai batas bawah variabel deviasi adalah nol (0). Sedangkan nilai batas bawah untuk variabel keputusan yang lain adalah 0.025 (sesuai jumlah minimal trafik per pengguna). Untuk nilai batas atas, variabel deviasi diberikan nilai tak terhingga (inf) sedangkan nilai variabel yang lain disesuaikan dengan jumlah trafik per area yang sudah dimasukkan melalui file *Excel*. Proses tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.34.



Gambar 4.34 Diagram Alur Membuat Variabel Keputusan dan Memasukkan Data Inisialisasi Nilai Awal x_0 , lb dan ub

4.8.4. Memasukan Batasan Kapasitas Trafik Maksimal yang Dimiliki

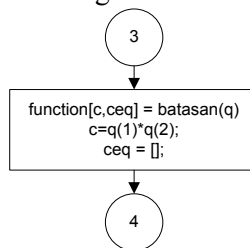
Berikut adalah tahap pengisian batasan trafik maksimal yang tersedia di masing-masing cluster. Batasan trafik diubah kedalam bentuk matriks. Kemudian disimpan dalam matriks A_e dan B_e dan otomatis akan tergabung dengan matriks sebelumnya. Gambar 4.35 menjelaskan mengenai proses memasukkan batasan kapasitas trafik maksimal yang dapat dimiliki.



Gambar 4.35 Diagram Alur Memasukan Batasan Kapasitas Trafik Maksimal yang

4.8.5. Membuat Batasan Variabel Deviasi

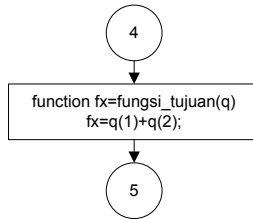
Untuk membuat batasan variabel deviasi harus dibuatkan file tersendiri karena persamaan ini merupakan persamaan nonlinier, yaitu berupa perkalian antar variabel deviasi. Gambar 4.36 adalah diagram alur mengenai batasan variabel deviasi.



Gambar 4.36 Diagram Alur Memasukan Membuat Batasan Variabel Deviasi

4.8.6. Membuat Fungsi Tujuan

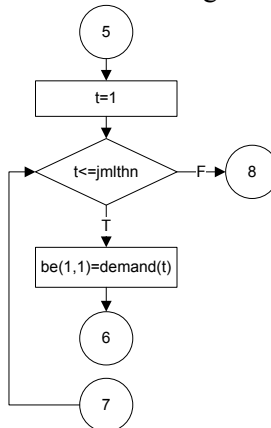
Untuk membuat fungsi tujuan *Goal Programming* juga dapat dilakukan dengan cara membuatkan file tersendiri. Gambar 4.37 adalah diagram alur mengenai pembuatan fungsi tujuan.



Gambar 4.37 Diagram Alur Membuat Fungsi Tujuan

4.8.7. Memasukkan Batasan Permintaan Kapasitas Trafik

Pada Gambar 4.38 ini menjelaskan mengenai proses memasukkan batasan trafik yang harus disediakan. Batasan ini diperuntukan agar permintaan trafik pelanggan dapat terpenuhi. Sehingga batasan ini didapat dari hasil peramalan pelanggan selama 5 tahun yang kemudian dihitung kebutuhan trafiknya.



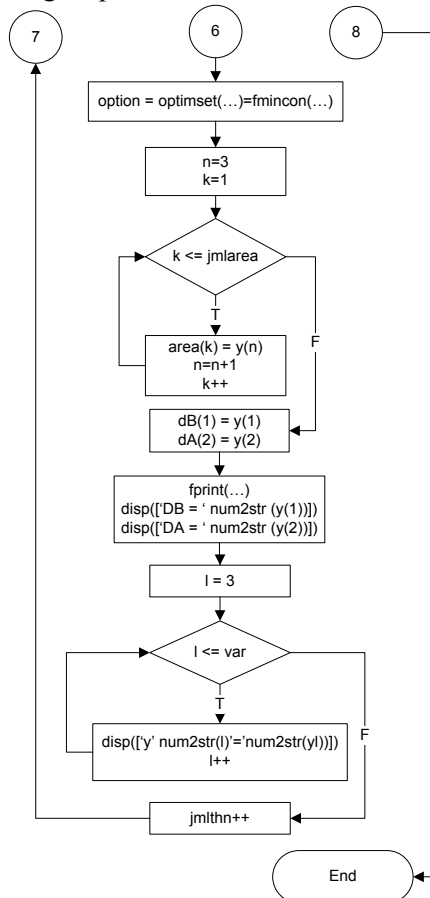
Gambar 4.38 Diagram Alur Memasukkan Batasan Permintaan Trafik

4.8.8. Memasukkan Fungsi Optimasi

Penyelesaian program *goal programming* dapat memanfaatkan fungsi dari Matlab, yaitu *fmincon*. Dengan memasukkan fungsi tujuan, batasan variabel keputusan dan variabel deviasi, serta variabel keputusan sesuai ketentuan fungsi *fmincon* maka didapatkan nilai variabel keputusan yang paling

optimal. Setelah fungsi menemukan nilai solusi optimal dari fungsi tujuan, selanjutnya akan menampilkannya satu per satu.

Proses tersebut merupakan proses pada optimasi di tahun pertama. Untuk proses optimasi tahun kedua dan seterusnya, proses akan berjalan sama tetapi pada batasan permintaan trafik akan berubah tiap tahunnya. Gambar 4.39 adalah diagram alur memasukkan fungsi optimasi.



Gambar 4.39 Diagram Alur Memasukkan Fungsi Optimasi

4.9. Implementasi Metode *Goal Programming* ke dalam Program Matlab

Berdasarkan algoritma yang telah disusun maka model dapat diimplementasikan ke dalam Matlab. Dalam program ini akan ada tiga file, yaitu file *utama.m*, *fungsi_tujuan.m*, dan *batasan.m*. File *utama.m* merupakan file yang mengintegrasikan semua file, meliputi inisialisasi data, membuat variabel keputusan, batas atas, batas bawah, batasan, dan mengeksekusi fungsi optimasi *Goal Programming*. File *fungsi_tujuan.m* merupakan file yang berisi fungsi tujuan *Goal Programming*. Sedangkan file *batasan.m* berisi batasan variabel deviasi yang merupakan persamaan nonlinier.

4.9.1. Memasukan Data Awal

Pada tahap input data, proses ini terletak pada file *utama.m*. Penjelasan data yang dimasukkan terdapat pada subbab 4.6.1. Potongan program dari file *utama.m*. ditunjukkan oleh Segmen Program 4.1.

```

1.  %memasukkan input awal%
2.  jmlarea=input('Masukkan Jumlah Area : ');
3.  jmlthn=input('Masukkan Jumlah Tahun Peramalan :
   ');
4.  total=input('Masukkan Total Kapasitas Trafik
   Cluster: ');
5.  %Memasukkan jumlah trafik demand peramalan sesuai
   time frame peramalan%
6.  for t=1:jmlthn;
7.  fprintf('Permintaan Trafik Tahun: %i\n',t)
8.  dmnd(t)=input('Masukkan Kebutuhan Trafik : ');
9.  fprintf('-----\n')
10. demand=[dmnd];
11. end
12. %Mengambil data trafik tersedia tiap wilayah%
13. tr=xlsread('data_program.xlsx',1,'C4:C18');
14. trafik=tr;

```

Segmen Program 4.1 Memasukan Data Awal

Pada segmen program 4.1 adalah proses pengisian jumlah area, jumlah tahun peramalan, jumlah permintaan trafik, dan total kapasitas trafik yang disediakan tiap wilayah. Pada kode program No. 6 sampai dengan No. 11 merupakan pengisian nilai kapasitas permintaan trafik sejumlah tahun peramalan, yakni 5 tahun, kemudian disimpan dalam matrik [dmnd]. Sedangkan pada kode program No. 13, nilai kapasitas trafik per area kecamatan pada masing-masing cluster diambil melalui *file Excel*.

Segmen program 4.1 merupakan kode program untuk cluster Surabaya 1. Kode program untuk cluster Surabaya 2 dan Surabaya 3 hampir sama, namun terdapat perbedaan pada data kapasitas trafik per area kecamatan yang menyesuaikan clusternya masing-masing.

4.9.2. Membuat Variabel Keputusan

Variabel keputusan dibuat pada file *utama.m*. Jumlah variabel keputusan adalah jumlah area kecamatan di masing-masing cluster ditambah 2. Penambahan 2 diperuntukan variabel deviasi. Sehingga dapat dituliskan seperti segmen program 4.2.

```
15. %Inisialisasi Variabel Keputusan %
16. var=jmlarea+2;
```

Segmen Program 4.2 Membuat Variabel Keputusan

4.9.3. Memasukan Data Inisialisasi Nilai Awal x0, lb dan ub

Tahap selanjutnya adalah proses memasukan data inisialisasi nilai awal. Pada kode program baris 18, nilai awal x0 adalah 1 untuk semua variabel keputusan, termasuk variabel deviasi. Pada batas bawah (lb) diisikan nilai 0 untuk variabel deviasi seperti yang ditunjukkan pada baris program No. 21 sampai dengan No. 23. Sedangkan batas bawah (lb) untuk variabel keputusan lainnya diisi dengan 0.025, hal ini bisa dilihat pada baris program No. 24 sampai dengan 26.

Berikut merupakan segmen program 4.3 yakni potongan program pada *file utama.m* untuk proses inisialisasi nilai awal.

```

17. %nilai awal%
18. x0=ones(1,var);
19. %inisialisasi batas bawah%
20. lb=ones(1,var);
21. for i=1:2 %nilai variabel deviasi q1 q2%
22. lb(i)=0;
23. end
24. for i=3:jmlarea+2 %nilai variabel kapasitas q3
    .. q9%
25. lb(i)=0.025;
26. end
27. %inisialisasi batas atas%
28. ub=ones(1,var);
29. for i=1:2 %nilai variabel deviasi q1 q2%
30. ub(i)=inf;
31. end
32. trafik_awal=1; %nilai variabel kapasitas q3 ..
    q9%
33. for i=3:jmlarea+2
34. ub(i)=tr(trafik_awal);
35. trafik_awal=trafik_awal+1;
36. end

```

Segmen Program 4.3 Memasukan Data Inisialisasi Nilai Awal x_0 , lb dan ub

Pada bagian baris 28 hingga 36 merupakan pengisian nilai batas atas (ub). Untuk nilai dua variabel deviasi diisi dengan nilai tak hingga (inf) dan variabel keputusan lainnya diisi dengan nilai trafik tiap area kecamatan yang sudah diambil dari *file Excel*.

4.9.4. Memasukan Batasan Kapasitas Trafik Maksimal yang Dimiliki

Berikut adalah tahap pengisian batasan trafik maksimal yang tersedia di masing-masing cluster. Batasan trafik diubah kedalam bentuk matriks. Kemudian disimpan dalam matriks A_e dan B_e dan otomatis akan tergabung dengan matriks sebelumnya. Segmen Program 4.4 berikut menjelaskan mengenai proses memasukkan batasan kapasitas trafik maksimal yang dapat dimiliki.

```

37. %Memasukkan Batasan Trafik Demand%
38. Ae(1,1)=1;
39. Ae(1,2)=0;
40. for i=3:jmlarea+2
41. Ae(1,i)=1;
42. end
43. %Memasukkan Batasan Total Trafik Capacity%
44. Ae(2,1)=0;
45. Ae(2,2)=1;
46. for i=3:jmlarea+2
47. Ae(2,i)=1;
48. end
49. be(2,1)=total;

```

Segmen Program 4.4 Memasukan Batasan Kapasitas Trafik Maksimal yang Dimiliki

4.9.5. Membuat Batasan Variabel Deviasi

Batasan variabel deviasi merupakan perkalian antara variabel deviasi yang menjadi tujuan dalam model. Persamaan ini merupakan persamaan non linear sehingga perlu dituliskan dalam file yang terpisah. Kode ini berada pada *file batasan.m*. File ini nantinya akan dipanggil dalam fungsi optimasi dalam *file utama.m*. Berikut ini merupakan segmen program 4.5 yang menjelaskan kode program dari batasan variabel deviasi.

```

1. function [c,ceq] = batasan(q)
2. c = q(1)*q(2);
3. ceq = [];
4. end

```

Segmen Program 4.5 Membuat Batasan Variabel Deviasi

4.9.6. Membuat Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan *goal programming* merupakan penjumlahan variabel deviasi yang menjadi tujuan model *goal programming*. Kode ini berada pada file *fungsi_tujuan.m*. File fungsi tujuan ini nantinya akan dipanggil dalam fungsi optimasi

dalam *file utama.m*. Berikut ini merupakan segmen program 4.6 yang merupakan penulisan kode program untuk fungsi tujuan.

```
1. function fx=fungsi_tujuan(q)
2. fx= q(1)+q(2);
```

Segmen Program 4.6 Membuat Fungsi Tujuan

4.9.7. Memasukan Batasan Permintaan Kapasitas Trafik

Pada segmen program 4.7 ini menjelaskan mengenai proses memasukan batasan trafik yang harus disediakan. Batasan ini diperuntukan agar permintaan trafik pelanggan dapat terpenuhi. Sehingga batasan ini didapat dari hasil peramalan pelanggan selama 5 tahun yang kemudian dihitung kebutuhan trafiknya.

```
for t=2:jmlthn
%Memasukkan batasan permintaan trafik%
be(1,1)=demand(t);
end
```

Segmen Program 4.7 Memasukan Batasan Permintaan Kapasitas Trafik

4.9.8. Memasukkan Fungsi Optimasi

Untuk mencari solusi optimal dari model dengan menggunakan perangkat lunak Matlab dapat memanfaatkan fungsi *fmincon*. Pada fungsi tersebut, file-file yang terpisah tadi dipanggil sesuai fungsinya. Seperti yang ada pada segmen program 4.8 dapat diketahui fungsi dan variabel apa saja yang harus dimasukkan dalam fungsi tersebut, diantaranya adalah :

1. Fungsi tujuan yang berasal dari file *fungsi_tujuan.m*.
2. Variabel *x0* yang merupakan nilai awal variabel keputusan.
3. Tanda [] yang pertama merupakan tempat untuk batasan yang berbentuk persamaan. Karena pada model tidak ada batasan yang berbentuk persamaan maka variabel tersebut tidak perlu diisi.

4. Tanda [] yang kedua merupakan nilai atau kapasitas dari batasan yang berbentuk persamaan.
5. Variabel Ae adalah batasan yang berbentuk pertidaksamaan.
6. Variabel be merupakan nilai kapasitas dari batasan yang berbentuk pertidaksamaan.
7. Variabel lb merupakan batas bawah model
8. Variabel ub merupakan batas atas model.
9. Fungsi untuk memanggil fungsi batasan *nonlinear* yang berada pada file *batasan.m*

```

109. %Eksekusi Fungsi Tujuan%
110. options = optimset('Display',
    'iter', 'Algorithm', 'interior-
    point', 'MaxFunEvals', 5000);
111. [y, fx, exitflag, output, lambda]=fmincon(@fungsi_tu
    juan, x0, [], [], Ae, be, lb, ub, @batasan, options)

```

Segmen Program 4.8 Fungsi Optimasi

Setelah fungsi optimasi sudah dituliskan maka selanjutnya adalah menyimpan hasil optimasi dan dilanjutkan dengan menampilkan hasilnya. Pada segmen program 4.9 merupakan potongan kode program untuk menyimpan dan menampilkan hasil optimasi.

```

112. %simpan hasil optimasi%
113. n=3;
114. for k=1:jmlarea
115.     area(k)=y(n);
116.     n=n+1;
117. end
118. dB(1)=y(1);
119. dA(2)=y(2);
120. %Display hasil optimasi%
121. fprintf('Hasil Optimasi Tahun %i\n', t)
122. %disp('----- Hasil Optimasi Tahun 2
    sampai 5 -----')

```

```

123. disp(['DB = ' num2str(y(1))])
124. disp(['DA = ' num2str(y(2))])
125. for l=3:var
126.     disp(['y ' num2str(l) ' = '
            num2str(y(l))])
127. end
128. end

```

Segmen Program 4.9 Menyimpan dan Menampilkan Hasil Optimasi

4.10. Lingkungan Uji Coba

Lingkungan uji coba ini menjelaskan mengenai lingkungan pengujian yang digunakan untuk melakukan implementasi tugas akhir ini. Lingkungan uji coba meliputi perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan. Spesifikasi perangkat lunak dan perangkat keras yang digunakan dalam pembuatan aplikasi ini ditunjukkan pada tabel 4.16 berikut.

Tabel 4.16 Perangkat Keras Lingkungan Uji Coba

Perangkat Keras	Spesifikasi
Jenis	Notebook
Processor	Core i7
RAM	4GB
Hard Disk Drive	750GB

Selain itu juga terdapat lingkungan perangkat lunak yang digunakan dalam uji coba model. Tabel 4.17 berikut adalah daftar perangkat lunak yang digunakan dalam uji coba.

Tabel 4.17 Perangkat Lunak Lingkungan Uji Coba

Perangkat Lunak	Fungsi
Windows 7	Sistem operasi
Matlab 2009	Membuat kode program
Microsoft Excel 2010	Mengelola data Menghitung peramalan
QM	Validasi model

4.11. Uji Coba Nilai Parameter Peramalan

Dalam proses peramalan, terdapat tahapan penentuan nilai optimal parameter α , β dan γ yang telah dijelaskan pada subbab 4.5. Hasil yang diperoleh menunjukkan ada beberapa nilai parameter yang memiliki nilai optimal 0 dan 1. Pada tahapan uji coba nilai parameter peramalan ini, menunjukkan bahwasanya nilai optimal 0 dan 1 yang diperoleh tidaklah memiliki nilai yang tepat 0 dan 1. Dengan kata lain, nilai 0 dan 1 diperoleh karena adanya proses pembulatan nilai.

Uji coba nilai parameter peramalan akan dilakukan untuk setiap cluster. Pada cluster Surabaya 1 uji coba dilakukan pada nilai parameter β dan γ . Nilai β dan γ yang memiliki nilai 0 diganti dengan nilai 0.00001. Untuk hasil uji coba nilai optimal parameter pada cluster Surabaya 1 dapat dilihat pada Gambar 4.40.

A B C			D			E F G			H I J			K L M N		
1	Periode Musiman	12				Parameter	Alpha	0.83677						
2	L0	408584.03					Beta	0.00001						
3	T0	8473.72					Gamma	0.00001						
4														
5	TAHUN	Periode	Surabaya 1	Deseasonalized Demand	Dt-bar	S-bar	St	It	Tt	Ft	Et	Et/Dt *100	MAPE	
6	2011	1	470227	417057.75	1.12749	1.06901	436147.00	8473.91	445839.59	-24388	5.186321101	5.186		
7		2	462910	425531.47	1.08784	1.09963	424830.28	8473.71	488917.83	26008	5.618294211	5.402		
8		3	460325	434005.18	1.06064	1.0412	440670.89	8473.78	451158.12	-9167	1.99136779	4.265		
9		4	454920	442478.9	1.02812	1.03647	440583.35	8473.70	465524.50	10605	2.331082946	3.782		
10		5	430754	450952.62	0.95521	1.01673	427809.24	8473.49	485671.81	25818	5.993602948	4.224		
11		6	424319	459426.34	0.92358	0.99361	427831.82	8473.40	494374.19	10055	2.369748144	3.915		
12		7	430176	62096745	467900.05	0.91938	0.98462	436798.34	8473.41	429595.75	-580	0.134886162	3.375	
13		8	322810	63509927	476373.77	0.67764	0.88254	378751.93	8472.74	392968.29	70158	21.73361859	5.67	
14		9	355254	65398871	484847.49	0.73271	0.91749	387225.54	8472.74	355253.05	-1	0.000267756	5.04	
15		10	443371	67066386	493321.21	0.89875	0.9958	437153.10	8473.16	394037.29	-49334	11.1269588	5.649	
16		11	440871	69188436	501794.92	0.87859	0.98908	445720.61	8473.16	440759.47	-112	0.02529865	5.137	
17		12	442093	71643455	510268.64	0.86639	0.96608	456701.19	8473.18	439195.40	-2898	0.655428391	4.764	
18	2013	25	640023	96473559	620426.97	1.03158	1.06901	809720.74	8473.61	712166.95	72144	11.2720873	4.774	
19		26	628828	90425556	628900.69	0.99988	1.09963	579418.64	8473.22	679784.21	50957	8.103447828	4.902	
20		27	617632	90954168	637374.4	0.96903	1.0412	592325.04	8473.27	612115.71	-5516	0.893134702	4.754	
21		28	623594	91700364	645848.12	0.96534	1.03647	601512.96	8473.27	622708.79	-885	0.141953517	4.589	
22		29	622277	92174648	654321.84	0.95103	1.01673	611700.07	8473.29	620194.07	-2082	0.336447418	4.442	
23		30	620959	92891886	662795.56	0.93688	0.99565	623113.74	8473.32	617460.39	-3499	0.563420834	4.313	
24		31	619642	671269.27	0.92309	0.98462	629689.33	8473.30	621874.57	2233	0.360380429	4.186		
25		32	618324	679742.99	0.90964	0.88254	690426.63	8473.82	563201.29	-55123	8.914859298	4.333		
26		33	684174	688216.71	0.99413	0.91749	738100.52	8474.22	641194.52	-42979	6.281892778	4.392		
27		34	692768	696690.43	0.99437	0.9958	703994.52	8473.79	743441.00	50673	7.314570645	4.478		
28		35	699345	705164.14	0.99175	0.98908	707948.70	8473.75	704687.29	5342	0.763899162	4.372		
29		36	714502	713637.86	1.00121	0.96699	735232.61	8475.93	692764.74	-21737	3.042295396	4.335		

Gambar 4.40 Hasil Uji Coba Nilai Parameter Peramalan Cluster Surabaya 1

Pengujian nilai parameter peramalan juga dilakukan dengan beberapa nilai agar mampu menunjukkan perubahan yang

signifikan terhadap MAPE. Uji coba dilakukan sebanyak 5 kali dengan perubahan nilai *beta* dan *gamma*.

Hasil uji coba dan perubahan nilai MAPE serta ketiga nilai parameter *alpha*, *beta* dan *gamma* untuk cluster Surabaya 1 ditunjukkan pada Tabel 4.18

Tabel 4.18 Perubahan Nilai MAPE, Alpha, Beta dan Gamma Cluster Surabaya 1 Setelah Uji Coba

	MAPE	Alpha	Beta	Gamma
Sebelum Penentuan Nilai Optimal	9.498 %	0.2	0.2	0.2
Setelah Penentuan Nilai Optimal	4.335 %	0.837	0	0
Uji Coba 1	4.335 %	0.837	0.00001	0.00001
Uji Coba 2	4.770 %	0.837	0.1	0.1
Uji Coba 3	5.256 %	0.837	0.3	0.3
Uji Coba 4	5.876 %	0.837	0.6	0.6
Uji Coba 5	7.417 %	0.837	0.9	0.9

Terlihat pada Tabel 4.18 bahwa semakin jauh nilai *beta* dan *gamma* dari nilai optimal, maka nilai MAPE semakin besar. Semakin besar nilai MAPE menunjukkan bahwa semakin besar tingkat kesalahan yang terjadi.

Selanjutnya untuk cluster Surabaya 2, uji coba dilakukan pada nilai parameter *beta* dan *gamma*. Nilai *beta* dan *gamma* yang memiliki nilai 0 diganti dengan nilai 0.00001. Untuk hasil uji coba nilai optimal parameter pada cluster Surabaya 2 dapat dilihat pada Gambar 4.41.

Sama halnya dengan cluster Surabaya 1, pengujian nilai parameter peramalan juga dilakukan dengan beberapa nilai agar mampu menunjukkan perubahan yang signifikan terhadap MAPE. Sehingga perubahan nilai MAPE dan ketiga nilai parameter *alpha*, *beta* dan *gamma* untuk uji coba cluster Surabaya 2 ditunjukkan pada Tabel 4.19

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Periode Musiman	12			Parameter	Alpha	0.67301						
2	LD	172098.21				Beta	0.00001						
3	TD	2182.16				Gamma	0.00001						
4													
5	TAHUN	Periode	Surabaya 2	Desseasonalized Demand	Dt bar	S bar	St	I1	T1	F1	FT	 E/Dr *100	MAPE
6	2011	1	134785	174280.36	1.1177	1.00210	187793.51	2182.29	174662.03	-20123	10.33074141	10.331	
7		2	191754	176462.52	1.0867	1.02103	188514.49	2182.28	193970.62	2217	1.156156097	5.743	
8		3	190683	178644.67	1.0674	1.01414	188897.84	2182.26	193993.48	2711	1.421606722	4.303	
9		4	188444	180826.83	1.0421	1.00761	188348.32	2182.23	192533.75	4050	2.170379904	3.770	
10		5	178433	183008.98	0.975	0.98899	183726.44	2182.16	188432.12	9999	5.603570606	4.136	
11		6	175768	185191.14	0.9491	1.01561	177265.25	2182.08	188811.16	13043	7.420800806	4.684	
12		7	178194	187373.29	0.951	0.99602	179447.37	2182.08	178193.94	0	3.445371E-05	4.013	
13		8	174111	189555.45	0.9185	0.95688	182761.15	2182.08	179215.85	-895	0.54126576	3.577	
14		9	164911	191737.61	0.8601	0.94395	177887.65	2182.02	174105.78	9195	5.275603736	3.799	
15		10	196621	26550632	1.0139	1.03662	186781.20	2182.08	186303.33	-10318	5.247491619	3.944	
16		11	193052	26878134	0.9845	1.02482	188565.76	2182.08	193058.25	605	0.13565641	3.614	
17		12	187578	27482141	0.946	1.00348	188430.27	2182.06	191026.63	3449	1.83850372	3.466	
18	25	235462	32881084.5	1.0389	1.00219	234893.12	2182.24	235295.41	-167	0.070751971	3.709		
19	2013	26	232511	32907390	1.0161	1.02103	230780.75	2182.17	242060.63	9550	4.107171963	3.724	
20		27	229560	33196962	0.9937	1.01414	228518.39	2182.13	236257.37	6697	2.917479985	3.694	
21		28	228418	33533412	0.9795	1.00761	228003.70	2182.10	232455.61	-4039	1.767640024	3.625	
22		29	227857	33750048	0.968	0.98899	230326.07	2182.10	227850.63	-206	0.090459919	3.504	
23		30	227296	34001550	0.9568	1.01561	226640.38	2182.05	236138.30	8843	3.89042836	3.516	
24		31	226734		0.9457	0.99302	228498.00	2182.04	227232.11	498	0.219580882	3.410	
25		32	226173		0.9348	0.95368	235038.73	2182.09	219889.50	-6183	2.733968387	3.388	
26		33	247881		0.9155	0.94395	254300.48	2182.26	239825.28	23956	9.664203318	3.579	
27		34	251681		0.9219	1.03462	247583.57	2182.17	263361.72	11681	5.435737688	3.634	
28		35	255518		0.9264	1.02845	249467.91	2182.17	259971.54	454	0.1774942	3.553	
29		36	255577		0.9196	1.00146	254041.91	2182.19	252017.87	-3559	1.392586845	3.475	

Gambar 4.41 Hasil Uji Coba Nilai Parameter Peramalan Cluster Surabaya 2

Tabel 4.19 Perubahan Nilai MAPE, Alpha, Beta dan Gamma Cluster Surabaya 2 Setelah Uji Coba

	MAPE	Alpha	Beta	Gamma
Sebelum Penentuan Nilai Optimal	5.648 %	0.2	0.2	0.2
Setelah Penentuan Nilai Optimal	3.475 %	0.673	0	0
Uji Coba 1	3.475 %	0.673	0.00001	0.00001
Uji Coba 2	3.854 %	0.673	0.1	0.1
Uji Coba 3	4.463 %	0.673	0.3	0.3
Uji Coba 4	5.053 %	0.673	0.6	0.6
Uji Coba 5	5.560 %	0.673	0.9	0.9

Hasil uji coba menunjukkan bahwa semakin jauh nilai parameter dari nilai optimalnya, maka nilai MAPE akan semakin besar, yang artinya semakin besar pula tingkat kesalahan yang terjadi.

Sedangkan untuk cluster Surabaya 3, uji coba dilakukan pada nilai parameter α , β dan γ . Nilai α yang memiliki nilai 1 diganti dengan nilai 0.99999. Sedangkan nilai β dan γ yang memiliki nilai 0 diganti dengan nilai 0.00001. Untuk hasil uji coba nilai optimal parameter pada cluster Surabaya 3 dapat dilihat pada Gambar 4.42.

Periode Musiman	12			Parameter	Alpha	0.99999										
L0	102157.81				Beta	0.00001										
T0	3863.54				Gamma	0.00001										
TAHUN	Periode	Surabaya 3	Deseasonalized Demand	DI-bar	S-bar	St	It	Tt	Ft	Et	Et/Dt *100	MAPE				
2011	1	132410		106021.34	1.2489	1.05444	125573.83	3863.73	111792.90	-20617	15.57063966	15.571				
	2	130350		109884.89	1.1862	1.05514	123527.84	3863.68	136574.61	6225	4.775688794	10.173				
	3	129622		113748.42	1.1395	1.04478	124066.18	3863.64	133106.25	3485	2.68837823	7.676				
	4	128100		117511.96	1.0892	1.05969	120884.00	3863.57	135566.05	7466	5.82647407	7.216				
	5	121295		121475.50	0.9985	1.03549	117137.95	3863.50	129174.54	7880	6.496358763	7.072				
	6	119483		125339.04	0.9533	1.01503	117713.83	3863.46	122819.77	3337	2.792916144	6.359				
	7	121132	17939408	129202.58	0.9375	1.00362	120695.32	3863.45	122017.17	885	0.730750981	5.555				
	8	113399	18194183	133066.12	0.8522	0.93954	120896.53	3863.42	117027.75	3629	3.199833007	5.260				
	9	105388	18575008	136929.66	0.7697	0.91079	114577.64	3863.32	114569.39	9182	8.712172722	5.644				
	10	128885	19027702	140793.20	0.9154	1.00094	128763.97	3863.42	118552.40	-10333	8.016916997	5.881				
	11	128511	19602511	144656.78	0.8884	0.96147	133661.05	3863.43	127517.15	-994	0.773358278	5.417				
	12	129945	20319794	148520.28	0.8749	0.92984	139749.19	3863.45	127876.35	-2069	1.591944024	5.098				
2013	25	191008	28654440	198746.29	0.9611	1.05444	181147.03	3863.36	216966.61	25559	13.59032526	4.460				
	26	193594	29189976	202609.83	0.9555	1.05514	183477.28	3863.35	195211.67	1618	0.835598	4.320				
	27	201032	29859528	206473.36	0.9737	1.04478	192416.98	3863.40	195729.29	-5304	2.638228421	4.258				
	28	221934	30625674	210336.90	1.0551	1.05969	209432.68	3863.53	207996.49	-13938	6.280025578	4.330				
	29	227518	31171824	214200.44	1.0622	1.03549	219720.62	3863.59	220865.53	6652	2.92392938	4.282				
	30	221452	31627176	218063.98	1.0155	1.01503	218173.50	3863.54	226944.08	5492	2.480032325	4.222				
	31	230291		221927.52	1.0377	1.00362	229460.71	3863.61	222840.39	-7451	3.235301237	4.190				
32	219326		225791.06	0.9714	0.93954	234440.17	3863.62	219217.16	-109	0.049624871	4.060					
33	242202		229654.60	1.0546	0.91979	263321.55	3863.88	218270.76	-23931	9.880694538	4.237					
34	246439		233518.14	1.0639	1.00094	248206.08	3863.69	267436.36	18997	7.646689182	4.337					
35	230188		237381.68	0.9697	0.96147	239412.88	3863.56	242357.33	12169	5.286690404	4.364					
36	229489		241245.22	0.9513	0.92984	246803.66	3863.59	226209.20	-3280	1.429174947	4.283					

Gambar 4.42 Hasil Uji Coba Nilai Parameter Peramalan Cluster Surabaya 3

Pengujian nilai parameter peramalan juga dilakukan dengan beberapa nilai agar mampu menunjukkan perubahan yang signifikan terhadap MAPE. Pada uji coba 2 hingga 4, nilai α tetap menggunakan nilai optimal dan nilai β dan γ diganti dengan sejumlah nilai tertentu. Sedangkan uji coba 5 hingga 7, nilai β dan γ tetap menggunakan nilai optimal dan nilai α diganti dengan sejumlah nilai tertentu.

Sehingga perubahan nilai MAPE dan ketiga nilai parameter α , β dan γ untuk uji coba cluster Surabaya 3 ditunjukkan pada Tabel 4.20

Tabel 4.20 Perubahan Nilai MAPE, Alpha, Beta dan Gamma Cluster Surabaya 3 Setelah Uji Coba

	MAPE	Alpha	Beta	Gamma
Sebelum Penentuan Nilai Optimal	7.125 %	0.2	0.2	0.2
Setelah Penentuan Nilai Optimal	4.283 %	1	0	0
Uji Coba 1	4.283 %	0.99999	0.00001	0.00001
Uji Coba 2	4.484 %	1	0.1	0.1
Uji Coba 3	4.869 %	1	0.3	0.3
Uji Coba 4	5.444 %	1	0.6	0.6
Uji Coba 5	4.305 %	0.9	0	0
Uji Coba 6	4.481 %	0.6	0	0
Uji Coba 7	5.121 %	0.3	0	0

Sehingga dapat disimpulkan bahwasanya nilai optimal parameter peramalan yang didapatkan dengan bantuan *solver*, sesungguhnya tidak tepat bernilai 0 dan 1. Karena perubahan nilai 1 menjadi 0.99999 dan perubahan nilai 0 menjadi 0.00001 pada nilai parameter tidak memberikan perubahan nilai MAPE yang signifikan.

Pengujian nilai parameter peramalan dengan sejumlah nilai juga menunjukkan bahwa apabila nilai parameter peramalan semakin jauh dari nilai optimal maka nilai MAPE menjadi semakin besar. Semakin besar nilai MAPE menunjukkan tingkat kesalahan yang besar pula.

4.12. Uji Coba Model Optimasi dan Verifikasi

Untuk memastikan apakah program yang telah dibuat sudah bebas dari *error* maka perlu dilakukan uji coba dan verifikasi.

Langkah pertama dalam melakukan uji coba dan verifikasi adalah dengan melihat pada program yang telah dibuat, apakah ada kesalahan yang ditandai dengan adanya tanda *error*. Apabila program sudah tidak ada tanda *error* maka langkah

selanjutnya adalah melakukan proses *running* untuk mengetahui hasil yang dikeluarkan program.

Berikut adalah hasil yang dikeluarkan oleh program. Dengan adanya hasil ini maka dapat dikatakan bahwa program sudah terbukti bebas dari *error*. Tabel 4.21 adalah hasil *running* untuk cluster Surabaya 1, Tabel 4.22 adalah hasil *running* untuk cluster Surabaya 2 dan Tabel 4.23 adalah hasil *running* untuk cluster Surabaya 3.

Pada kolom Var. Kep. Terdapat DB, DA dan variabel keputusan yang mewakili area kecamatan. nilai DB dan DA merupakan nilai variabel deviasi sebagai fungsi tujuan *goal programming* yang telah dijelaskan pada subbab 4.7.4. DB adalah deviasi bawah yang merupakan *goal* pertama (d_1^-), sedangkan DA adalah deviasi atas yang merupakan *goal* kedua (d_2^+).

Sesuai dengan batasan variabel deviasi dimana $d_1^-, d_2^+ \geq 0$ maka hasil *running* untuk ketiga cluster menunjukkan tujuan pada tahun tersebut tercapai.

DB bernilai 0 memiliki arti kapasitas trafik yang tersedia tepat memenuhi permintaan trafik pelanggan. Sedangkan jika DA memiliki nilai di atas 0, artinya selain sasaran terpenuhi, masih terdapat kapasitas trafik yang tidak digunakan (sisanya) dalam cluster tersebut.

Tabel 4.21 Hasil *Running* untuk Cluster Surabaya 1

CLUSTER SURABAYA 1					
Var. Kep.	2014	2015	2016	2017	2018
DB	0	0	0	0	0
DA	246.59	0	0	0	0
y1	1143.66	1310.01	1479.41	1648.82	1818.22
y2	1152.05	1322.19	1491.59	1661.00	1830.40
y3	1867.51	2036.74	2206.14	2375.55	2544.95
y4	904.40	1070.71	1240.11	1409.52	1578.92
y5	1361.88	1530.46	1699.86	1869.27	2038.67
y6	1185.40	1363.52	1532.92	1702.33	1871.73
y7	1745.18	1914.33	2083.73	2253.14	2422.54
y8	2155.31	2324.04	2493.44	2662.85	2832.25

CLUSTER SURABAYA 1					
Var. Kep.	2014	2015	2016	2017	2018
y9	1151.40	1319.48	1488.88	1658.29	1827.69
y10	663.50	834.90	1004.30	1173.71	1343.11
y11	651.16	819.40	988.80	1158.21	1327.61
y12	2374.84	2544.52	2713.92	2883.33	3052.73
y13	1363.02	1532.26	1701.66	1871.07	2040.47
y14	1138.59	1306.08	1475.48	1644.89	1814.29
y15	861.45	1031.87	1201.27	1370.68	1540.08

Tabel 4.22 Hasil *Running* untuk Cluster Surabaya 2

CLUSTER SURABAYA 2					
Var. Kep.	2014	2015	2016	2017	2018
DB	0	0	0	0	0
DA	0	0	0	0	0
y1	1199.33	1308.45	1417.57	1526.68	1635.80
y2	1605.97	1715.09	1824.21	1933.32	2042.44
y3	572.71	681.83	790.95	900.06	1009.18
y4	893.16	1002.28	1111.40	1220.51	1329.63
y5	1122.45	1231.57	1340.69	1449.80	1558.92
y6	1312.04	1421.16	1530.28	1639.39	1748.51

Tabel 4.23 Hasil *Running* untuk Cluster Surabaya 3

CLUSTER SURABAYA 3					
Var. Kep.	2014	2015	2016	2017	2018
DB	0	0	0	0	0
DA	925.10	0	0	0	0
y1	371.64	512.57	678.42	844.27	1010.12
y2	556.34	746.76	912.61	1078.46	1244.31
y3	1733.39	1945.35	2111.20	2277.05	2442.90
y4	1527.82	1676.36	1842.21	2008.06	2173.91
y5	998.55	1171.91	1337.76	1503.61	1669.46
y6	729.19	865.50	1031.35	1197.20	1363.05
y7	878.02	1037.50	1203.35	1369.20	1535.05

4.13. Validasi Model Optimasi

Validasi merupakan proses untuk memastikan apakah model dan program sudah sesuai dengan tujuan yang diharapkan. Salah satu cara untuk melakukan validasi adalah dengan membandingkan antara hasil yang dikeluarkan program yang telah dibuat dengan hasil yang dikeluarkan perangkat lunak yang sudah ada, misalnya QM. Apabila hasil yang dikeluarkan sama atau berada di tingkat kesalahan (*error*) yang diperbolehkan maka dapat dikatakan model dan program sudah valid.

Pada tugas akhir ini validasi akan dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak QM. Model *goal programming* dimasukkan ke dalam QM. Validasi dengan QM ini hanya dapat dilakukan untuk 1 periode saja. Sehingga bila ingin memvalidasi hasil untuk tahun kedua misalnya, maka perlu dibuat model yang berbeda pada QM. Hal ini disebabkan karena batasan di masing-masing periode tidak sama.

Model yang dimasukkan ke dalam QM dapat dilihat pada Gambar 4.43.

Model yang akan dilakukan validasi adalah model untuk cluster Surabaya 1 pada periode pertama (tahun 2014). Variabel keputusan yang mewakili 15 area kecamatan di cluster Surabaya 1 dilambangkan dengan y_1 hingga y_{15} . Sedangkan terkait batasan dan tujuan, Batasan y_1 hingga Batasan y_{15} adalah batasan kapasitas trafik per area kecamatan. Permintaan $Thn1$ adalah batasan trafik pelanggan yang harus dipenuhi di tahun pertama (2014). Kapasitas Cluster adalah kapasitas yang dimiliki tiap cluster dimana untuk kali ini yang dimaksud adalah cluster Surabaya 1. Trafik Minim y_1 hingga Trafik Minim y_{15} adalah kapasitas trafik minimal area kecamatan.

Setelah semua batasan dimasukkan maka langkah selanjutnya adalah melakukan proses *running* dengan cara menekan tombol "Solve". Gambar 4.44 berikut adalah keluaran dari perangkat lunak QM.

	Wt(d+)	Prtv(d+)	Wt(d-)	Prtv(d-)	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8	y9	y10	y11	y12	y13	y14	y15	RHS	
Batasan y1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	≤	1,157.04
Batasan y2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	≤	1,169.22
Batasan y3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	≤	1,883.77
Batasan y4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	≤	917.74
Batasan y5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	≤	1,377.49
Batasan y6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	≤	1,210.55
Batasan y7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	≤	1,761.36
Batasan y8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	≤	2,171.07
Batasan y9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	≤	1,166.51
Batasan y10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	≤	681.93
Batasan y11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	≤	666.43
Batasan y12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	≤	2,391.55
Batasan y13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	≤	1,379.29
Batasan y14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	≤	1,153.11
Batasan y15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	≤	878.9
Permintaan Thn1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	=	19,719.37
Kapasitas Cluster	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	=	19,965.96
Trafik Minim y1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	≥	0.225
Trafik Minim y2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	≥	0.225
Trafik Minim y3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	≥	0.225
Trafik Minim y4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	≥	0.225
Trafik Minim y5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	≥	0.225
Trafik Minim y6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	≥	0.225
Trafik Minim y7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	≥	0.225
Trafik Minim y8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	≥	0.225
Trafik Minim y9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	≥	0.225
Trafik Minim y10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	≥	0.225
Trafik Minim y11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	≥	0.225
Trafik Minim y12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	≥	0.225
Trafik Minim y13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	≥	0.225
Trafik Minim y14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	≥	0.225
Trafik Minim y15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	≥	0.225

Gambar 4.43 Validasi Model dengan QM

Decision variable analysis	Value
y1	1,157.04
y2	1,169.22
y3	1,883.77
y4	917.74
y5	1,377.49
y6	1,210.55
y7	1,761.36
y8	2,171.07
y9	1,166.51
y10	681.93
y11	666.43
y12	2,391.55
y13	1,379.29
y14	1,153.11
y15	632.309

Gambar 4.44 Hasil Keluaran QM

Selanjutnya adalah membandingkan hasil optimasi antara program komputer dengan QM yang ditunjukkan pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24 Perbandingan Hasil Optimasi Program Komputer dengan QM

Var. Keputusan	Program Komputer	QM
y1	1143.66	1157.04

Var. Keputusan	Program Komputer	QM
y2	1152.05	1169.22
y3	1867.51	1883.77
y4	904.40	917.74
y5	1361.88	1377.49
y6	1185.40	1210.55
y7	1745.18	1761.36
y8	2155.31	2171.07
y9	1151.40	1166.51
y10	663.50	681.93
y11	651.16	666.43
y12	2374.84	2391.55
y13	1363.02	1379.29
y14	1138.59	1153.11
y15	861.45	632.31

Selanjutnya menghitung nilai E2 atau *Error Variance*. Model dikatakan valid apabila nilai E2 (*Error Variance*) $\leq 30\%$. Berikut adalah rumus menghitung nilai E2.

$$E2 = \frac{|Standart Deviasi Simulasi - Standart Deviasi Data|}{Standart Deviasi Data} \quad (4.2)$$

Yang dimaksud dengan simulasi adalah hasil program komputer dan untuk data adalah hasil QM. Dengan bantuan formula *stdev* pada excel maka memudahkan dalam pencarian nilai standart deviasi. Setelah diketahui nilai standart deviasi masing-masing, maka selanjutnya menghitung nilai E2 dengan menggunakan rumus di atas. Maka ditemukan bahwa nilai E2 (*Error Variance*) sebesar 3.58 %. Artinya model dan program

yang dibuat telah valid karena nilai E2 kurang dari 30%. Hasil perhitungan nilai E2 ditunjukkan pada Tabel 4.25.

Tabel 4.25 Hasil Perhitungan Nilai E2

	Program Komputer	QM
Standart Deviasi	513.69	532.73
E2	3.58%	

4.14. Pembuatan Solusi Alternatif Penambahan Kapasitas Trafik

Pembuatan solusi alternatif penambahan kapasitas trafik berdasar pada hasil optimasi dengan model *goal programming*. Hasil optimasi berupa nilai kapasitas trafik optimal tiap variabel yang mencerminkan area kecamatan di masing-masing cluster.

4.14.1. Cluster Surabaya 1

Berikut adalah Tabel 4.26 yang membandingkan antara kapasitas trafik yang tersedia pada saat ini (hingga akhir tahun 2013) dengan trafik optimal yang didapat dari hasil optimasi untuk tahun 2014 hingga 2018 untuk cluster Surabaya 1.

Pada kolom selisih menunjukkan perbedaan antara ketersediaan trafik dan nilai optimalnya.

Tabel 4.26 Perbandingan Trafik yang Tersedia dan Trafik Optimal Cluster Surabaya 1

Tahun	Trafik Tersedia	Trafik Optimal	Selisih
2014	19965.96	19719.37	246.59
2015	19965.96	22260.45	-2294.49
2016	19965.96	24801.53	-4835.57
2017	19965.96	27342.62	-7376.66
2018	19965.96	29883.70	-9917.74

Melalui kolom selisih dapat diketahui bahwa pada tahun 2014 kapasitas trafik yang tersedia masih mampu memenuhi

kebutuhan trafik pelanggan. Hal ini karena selisih memiliki nilai positif yang artinya masih terdapat sisa kapasitas trafik yang tidak digunakan.

Namun tidak untuk tahun 2015, kapasitas trafik yang tersedia sudah tidak dapat memenuhi kebutuhan trafik yang ada. Terlihat dengan nilai negatif pada kolom selisih. Sehingga dibutuhkan kapasitas trafik tambahan agar dapat memenuhi permintaan trafik oleh pelanggan. Hal ini juga terjadi pada tahun 2016, 2017 dan 2018 yang memiliki nilai negatif pada kolom selisih.

Berikut adalah hasil optimasi untuk cluster Surabaya 1 yang dibandingkan dengan kapasitas trafik yang tersedia pada saat ini (hingga akhir tahun 2013) yang ditunjukkan oleh Tabel 4.27.

Tabel 4.27 Solusi Optimal Trafik yang Dibutuhkan Tiap Variabel di Cluster Surabaya 1

Variabel	Trafik Tersedia	Trafik Optimal				
		2014	2015	2016	2017	2018
y1	1157.04	1143.66	1310.01	1479.41	1648.82	1818.22
y2	1169.22	1152.05	1322.19	1491.59	1661.00	1830.40
y3	1883.77	1867.51	2036.74	2206.14	2375.55	2544.95
y4	917.74	904.40	1070.71	1240.11	1409.52	1578.92
y5	1377.49	1361.88	1530.46	1699.86	1869.27	2038.67
y6	1210.55	1185.40	1363.52	1532.92	1702.33	1871.73
y7	1761.36	1745.18	1914.33	2083.73	2253.14	2422.54
y8	2171.07	2155.31	2324.04	2493.44	2662.85	2832.25
y9	1166.51	1151.40	1319.48	1488.88	1658.29	1827.69
y10	681.93	663.50	834.90	1004.30	1173.71	1343.11
y11	666.43	651.16	819.40	988.80	1158.21	1327.61
y12	2391.55	2374.84	2544.52	2713.92	2883.33	3052.73
y13	1379.29	1363.02	1532.26	1701.66	1871.07	2040.47

Variabel	Trafik Tersedia	Trafik Optimal				
		2014	2015	2016	2017	2018
y14	1153.11	1138.59	1306.08	1475.48	1644.89	1814.29
y15	878.90	861.45	1031.87	1201.27	1370.68	1540.08
JUMLAH		19719.37	22260.45	24801.53	27342.62	29883.70

Berdasar hasil optimasi yang ditunjukkan Tabel 4.27, terlihat masing-masing variabel pada tahun 2014 memiliki trafik optimal yang lebih kecil dari kapasitas trafik tersedia. Namun untuk tahun 2015, 2016, 2017 dan 2018 nilai trafik optimal masing-masing variabel sudah melebihi kapasitas trafik yang tersedia. Dengan kata lain, kapasitas trafik yang tersedia kini tidak dapat memenuhi permintaan trafik pelanggan. Hal ini sesuai dengan penjelasan Tabel 4.26.

Akan tetapi secara keseluruhan hasil optimasi yang dilakukan sepenuhnya dapat memenuhi tujuan optimasi, yakni menghasilkan nilai trafik optimal yang harus disediakan di tiap masing-masing area kecamatan yang diwakili oleh variabel agar dapat memenuhi kebutuhan trafik pelanggan.

Pada Tabel 4.27, variabel y1 pada cluster Surabaya 1 adalah area kecamatan Bubutan. Di kecamatan Bubutan tersedia kapasitas trafik sebesar 1157.04 Erlang. Sedangkan berdasarkan hasil optimasi, perusahaan harus menyediakan kapasitas trafik sebesar 1143.66 erlang pada tahun 2014. Artinya permintaan trafik pelanggan di tahun 2014 masih dapat terpenuhi oleh kapasitas trafik yang tersedia saat ini bahkan masih terdapat sisa trafik sebesar 13.38 erlang.

Namun berbeda dengan tahun 2015 hingga 2018 dimana kapasitas trafik yang tersedia sudah tidak dapat memenuhi permintaan trafik pelanggan. Sehingga hasil optimal trafik yang diperoleh masing-masing variabel pasti melebihi kapasitas trafik yang tersedia. Pada tahun 2015 dibutuhkan kapasitas trafik sebesar 1310.01 erlang, tahun 2016 dibutuhkan kapasitas trafik sebesar 1479.41 erlang, tahun 2017 dibutuhkan kapasitas trafik

1648.82 erlang dan tahun 2018 dibutuhkan kapasitas trafik 1818.22 erlang.

Untuk area kecamatan Bubutan, selisih kapasitas trafik ditunjukkan pada Tabel 4.28.

Tabel 4.28 Selisih Kapasitas Trafik Kecamatan Bubutan Tahun 2014-2018

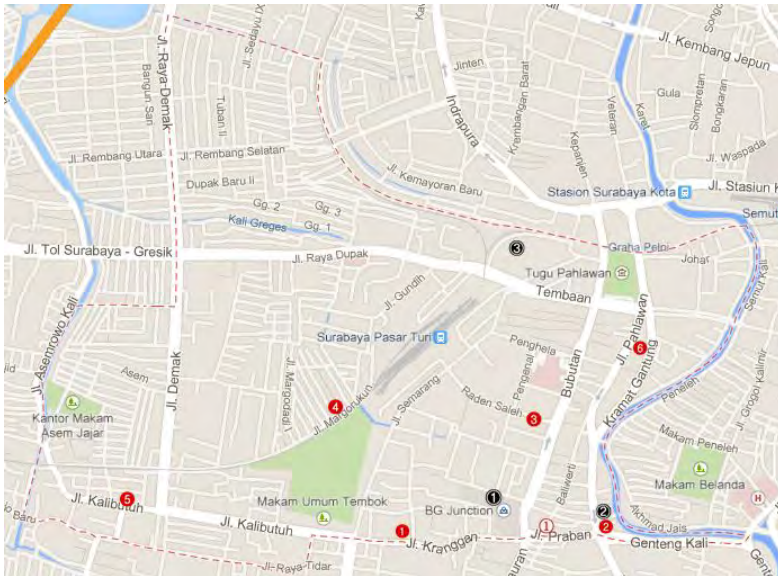
2014	2015	2016	2017	2018
13.38	-152.97	-322.37	-491.78	-661.18

Pada tahun 2014, selisih kapasitas trafik bernilai positif yang artinya kebutuhan trafik pelanggan terpenuhi, dan menyisakan trafik sebesar 13.38 Erlang. Sedangkan tahun 2015 selisih kapasitas trafik bernilai negatif yang artinya kebutuhan trafik pelanggan tidak terpenuhi, dan membutuhkan kapasitas trafik tambahan sebesar 152.97 erlang. Begitu pula untuk tahun 2016, 2017 dan 2018 yang mana masing-masing membutuhkan kapasitas trafik tambahan sebesar 322.37 erlang, 491.78 erlang dan 661.18 erlang.

Untuk mengatasi kekurangan kapasitas trafik, perusahaan dapat melakukan *TRx Upgrading*. *TRx Upgrading* adalah suatu metode yang dilakukan dengan cara menambahkan perangkat TRx baru. Penambahan TRx artinya menambahkan jumlah kanal, sehingga semakin banyak jumlah kanal maka semakin teratasi kemacetan trafik (*traffic congestion*) yang merupakan akibat dari kurangnya kapasitas trafik yang tersedia.

Dalam tugas akhir ini akan diberikan 5 solusi alternatif terkait *TRx Upgrading* di setiap tahunnya yang mengalami kekurangan kapasitas trafik. Visualisasi dari pemetaan BTS yang ada di kecamatan Bubutan ditunjukkan pada Gambar 4.45.

Garis putus-putus berwarna merah menunjukkan area kecamatan Bubutan. Masing-masing simbol angka yang terdapat pada Gambar 4.45 mencerminkan BTS yang berada pada titik tersebut. Tabel 4.29 merupakan keterangan dari visualisasi pemetaan BTS di kecamatan Bubutan.



Gambar 4.45 Visualisasi Pemetaan BTS di Kecamatan Bubutan

Keterangan terdiri dari nama BTS, jenis BTS, konfigurasi TRx BTS dan keterangan. Kolom konfigurasi TRx BTS merupakan jumlah TRx dimasing-masing sektor BTS tersebut. Kolom keterangan (Ket.) menjelaskan mampu atau tidaknya BTS tersebut dilakukan *TRx Upgrading*. Dalam tugas akhir ini, *TRx Upgrading* hanya dilakukan pada jenis BTS macro DCS dan macro GSM. Untuk jenis BTS micro dan indoor, *TRx Upgrading* tidak direkomendasikan karena perkembangan pelanggan tidak terlalu signifikan.

Masing-masing jenis BTS memiliki batas maksimal jumlah TRx dalam satu sektor. Untuk BTS jenis macro GSM maksimal memiliki 4 TRx, sedangkan macro DCS maksimal memiliki 12 TRx. Sehingga *TRx Upgrading* hanya dapat dilakukan pada BTS yang memiliki nilai keterangan berupa tanda centang berwarna hijau (V).

Tabel 4.29 Keterangan Visualisasi Pemetaan BTS di Kecamatan Bubutan

Simbol	Nama BTS	Jenis	Konfigurasi	Ket.
①	MTBRELOKMD	Macro DCS	6 / 6 / 4	V
	MTBRELOKMG	Macro GSM	4 / 4 / 4	X
②	TECMD	Macro DCS	6 / 6 / 4	V
	TECMG	Macro GSM	4 / 4 / 4	X
③	BUBUTANMD	Macro DCS	6 / 4 / 4	V
	BUBUTANMG	Macro GSM	4 / 4 / 4	X
④	DEMAK2MD	Macro DCS	6 / 8 / 6	V
	DEMAK2MG	Macro GSM	4 / 4 / 4	X
⑤	KALIBUTUHMD	Macro DCS	4 / 6 / 6	V
	KALIBUTUHMG	Macro GSM	4 / 4 / 4	X
⑥	KRAMATGANTUN GMD	Macro DCS	8 / 8 / 8	V
①	BGJUNCTIONID	Indoor DCS	3 / 4	X
②	TECID	Indoor DCS	3 / 3	X
③	PUSATGROSIRSUR ABAY Aid	Indoor DCS	6 / 6	X
①	PEREMPATANBLA URANOD	Micro DCS	4 / 4	X

Dari Tabel 4.29 diketahui bahwa *TRx Upgrading* hanya dapat dilakukan pada 6 BTS jenis macro DCS. Karena banyak

kemungkinan untuk dilakukannya *TRx Upgrading*, maka dibuat 5 solusi alternatif yang dapat dilakukan untuk mengatasi kekurangan kapasitas trafik di setiap tahunnya.

TAHUN KE-1

Tidak perlu dilakukan *TRx Upgrading*.

TAHUN KE-2

Tahun ke-2, yakni tahun 2015, kecamatan Bubutan mengalami kekurangan kapasitas trafik. Sehingga perlu dilakukan *TRx Upgrading*. Pada tahun 2015, kecamatan Bubutan membutuhkan kapasitas trafik tambahan minimal 152.97 erlang. Berikut adalah 5 solusi alternatif *TRx Upgrading* untuk tahun 2015 kecamatan Bubutan yang ditunjukkan oleh Tabel 4.32 hingga Tabel 4.36.

Tabel 4.32 menjelaskan solusi alternatif 1 *TRx Upgrading* pada tahun 2015 untuk kecamatan Bubutan. Terdapat kolom nama sektor dari masing-masing BTS beserta jumlah TRx yang dimiliki. Pada kolom alternatif, terdapat jumlah TRx terbaru beserta kapasitas trafik yang mampu ditambahkan.

Beberapa hal yang menjadi alasan pemilihan BTS yang akan dilakukan TRx Upgrading antara lain:

- Jumlah TRx saat ini pada sektor tertentu. Jumlah TRx yang banyak menunjukkan daerah di sekitar BTS merupakan daerah padat penduduk. Hal tersebut memungkinkan permintaan trafik akan naik dalam kurun waktu tertentu.
- Kedekatan bangunan BTS dengan BTS lainnya. BTS yang terlalu dekat dapat menimbulkan interferensi satu sama lain. Sehingga hal tersebut dihindari untuk terjadi.
- Penyeimbangan antara jumlah TRx pada sektor BTS satu dengan sektor BTS lainnya.

Untuk mendapatkan kapasitas trafik yang mampu ditambahkan maka terlebih dahulu menghitung kapasitas trafik yang tersedia saat ini.

- Diketahui jumlah TRx
- Kanal = TRx * 8
- Kanal – 2 Signal = Kanal – 2
- Trafik dg Gos didapat melalui tabel erlang dengan $N = \text{Kanal} - 2 \text{ Signal}$ dan $\text{GoS} = 2\%$.
- Jumlah = Total dari Trafik dg GoS

Tabel 4.30 Perhitungan Kapasitas Trafik yang Tersedia Saat Ini

Nama Sektor BTS	TRx	Kanal	Kanal – 2 Signal	Trafik dg GoS	Jumlah
BUBUTANMD1	6	48	46	36.53	80.39
BUBUTANMD2	4	32	30	21.93	
BUBUTANMD3	4	32	30	21.93	

Selanjutnya menghitung kapasitas trafik terbaru setelah dilakukan *TRx Upgrading*.

Tabel 4.31 Perhitungan Kapasitas Trafik Setelah *Trx Upgrading*

Nama Sektor BTS	TRx	Kanal	Kanal – 2 Signal	Trafik dg GoS	Jumlah
BUBUTANMD1	12	96	94	82.17	238.79
BUBUTANMD2	12	96	94	82.17	
BUBUTANMD3	11	88	86	74.45	

Maka besar kapasitas trafik yang mampu ditambahkan setelah dilakukan TRx Upgrading adalah:
 $238.79 - 80.39 = 158.4$ erlang

Tabel 4.32 Solusi Alternatif 1 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Bubutan

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
①	MTBRELOKMD	MTBRELOKMD1	6		
		MTBRELOKMD2	6		
		MTBRELOKMD3	4		
②	TECMD	TECMD1	6		
		TECMD2	6		

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
		TECMD3	4		
3	BUBUT ANMD	BUBUTANMD1	6	12	158.4
		BUBUTANMD2	4	12	
		BUBUTANMD3	4	11	
4	DEMAK 2MD	DEMAK2MD1	6		
		DEMAK2MD2	8		
		DEMAK2MD3	6		
5	KALIBU TUHMD	KALIBUTUHMD1	4		
		KALIBUTUHMD2	6		
		KALIBUTUHMD3	6		
6	KRAMA TGANT UNGMD	KRAMATGANTUNGMD1	8		
		KRAMATGANTUNGMD2	8		
		KRAMATGANTUNGMD3	8		
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					158.4

Tabel 4.33 Solusi Alternatif 2 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Bubutan

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	MTBRE LOKMD	MTBRELOKMD1	6	10	90.08
		MTBRELOKMD2	6	10	
		MTBRELOKMD3	4	8	
2	TECMD	TECMD1	6	9	67.27
		TECMD2	6	9	
		TECMD3	4	7	
3	BUBUT ANMD	BUBUTANMD1	6		
		BUBUTANMD2	4		
		BUBUTANMD3	4		
4	DEMAK 2MD	DEMAK2MD1	6		
		DEMAK2MD2	8		
		DEMAK2MD3	6		
5	KALIBU TUHMD	KALIBUTUHMD1	4		
		KALIBUTUHMD2	6		
		KALIBUTUHMD3	6		

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
6	KRAMA TGANT UNGMD	KRAMATGANTUNGMD1	8		
		KRAMATGANTUNGMD2	8		
		KRAMATGANTUNGMD3	8		
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					157.35

Tabel 4.34 Solusi Alternatif 3 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Bubutan

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	MTBRE LOKMD	MTBRELOKMD1	6		
		MTBRELOKMD2	6		
		MTBRELOKMD3	4		
2	TECMD	TECMD1	6		
		TECMD2	6		
		TECMD3	4		
3	BUBUT ANMD	BUBUTANMD1	6		
		BUBUTANMD2	4		
		BUBUTANMD3	4		
4	DEMAK 2MD	DEMAK2MD1	6	11	91.08
		DEMAK2MD2	8	11	
		DEMAK2MD3	6	10	
5	KALIBU TUHMD	KALIBUTUHMD1	4		
		KALIBUTUHMD2	6		
		KALIBUTUHMD3	6		
6	KRAMA TGANT UNGMD	KRAMATGANTUNGMD1	8	11	68.76
		KRAMATGANTUNGMD2	8	11	
		KRAMATGANTUNGMD3	8	11	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					159.84

Tabel 4.35 Solusi Alternatif 4 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Bubutan

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	MTBRE LOKMD	MTBRELOKMD1	6		
		MTBRELOKMD2	6		
		MTBRELOKMD3	4		
2	TECMD	TECMD1	6		
		TECMD2	6		
		TECMD3	4		
3	BUBUT ANMD	BUBUTANMD1	6	9	66.74
		BUBUTANMD2	4	7	
		BUBUTANMD3	4	7	
4	DEMAK 2MD	DEMAK2MD1	6		
		DEMAK2MD2	8		
		DEMAK2MD3	6		
5	KALIBU TUHMD	KALIBUTUHMD1	4	8	90.08
		KALIBUTUHMD2	6	10	
		KALIBUTUHMD3	6	10	
6	KRAMA TGANT UNGMD	KRAMATGANTUNGMD1	8		
		KRAMATGANTUNGMD2	8		
		KRAMATGANTUNGMD3	8		
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					156.82

Tabel 4.36 Solusi Alternatif 5 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Bubutan

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	MTBRE LOKMD	MTBRELOKMD1	6		
		MTBRELOKMD2	6		
		MTBRELOKMD3	4		
2	TECMD	TECMD1	6		
		TECMD2	6		
		TECMD3	4		
3	BUBUT ANMD	BUBUTANMD1	6		
		BUBUTANMD2	4		
		BUBUTANMD3	4		

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
4	DEMAK 2MD	DEMAK2MD1	6	9	52.8
		DEMAK2MD2	8	9	
		DEMAK2MD3	6	9	
5	KALIBU TUHMD	KALIBUTUHMD1	4	9	82.4
		KALIBUTUHMD2	6	9	
		KALIBUTUHMD3	6	9	
6	KRAMA TGANT UNGMD	KRAMATGANTUNGMD1	8	9	22.8
		KRAMATGANTUNGMD2	8	9	
		KRAMATGANTUNGMD3	8	9	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					158

Dari kelima solusi alternatif yang ada, berikut adalah Tabel 4.37 yang menjelaskan jumlah penambahan TRx dan sisa kapasitas trafik setelah dilakukan *TRx Upgrading* pada masing-masing solusi alternatif.

Tabel 4.37 Jumlah Penambahan TRx dan Sisa Kapasitas Trafik Tahun 2015 Kecamatan Bubutan

	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	21	5.43
Alternatif 2	21	4.38
Alternatif 3	21	6.87
Alternatif 4	21	3.85
Alternatif 5	21	5.03

TAHUN KE-3

Tahun ke-3, yakni tahun 2016, kecamatan Bubutan mengalami kekurangan kapasitas trafik. Sehingga perlu dilakukan *TRx Upgrading*. Pada tahun 2016, kecamatan Bubutan membutuhkan kapasitas trafik tambahan minimal 322.37 erlang. Berikut adalah 5 solusi alternatif *TRx Upgrading* untuk tahun

2016 kecamatan Bubutan yang ditunjukkan oleh Tabel 4.38 hingga Tabel 4.42.

Tabel 4.38 Solusi Alternatif 1 TRx Upgrading Tahun 2016 Kecamatan Bubutan

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	MTBRE LOKMD	MTBRELOKMD1	6		
		MTBRELOKMD2	6		
		MTBRELOKMD3	4		
2	TECMD	TECMD1	6		
		TECMD2	6		
		TECMD3	4		
3	BUBUT ANMD	BUBUTANMD1	6		
		BUBUTANMD2	4		
		BUBUTANMD3	4		
4	DEMAK 2MD	DEMAK2MD1	6	10	98.8
		DEMAK2MD2	8	12	
		DEMAK2MD3	6	11	
5	KALIBU TUHMD	KALIBUTUHMD1	4	10	136.12
		KALIBUTUHMD2	6	12	
		KALIBUTUHMD3	6	12	
6	KRAMA TGANT UNGMD	KRAMATGANTUNGMD1	8	12	91.92
		KRAMATGANTUNGMD2	8	12	
		KRAMATGANTUNGMD3	8	12	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					326.84

Tabel 4.39 Solusi Alternatif 2 TRx Upgrading Tahun 2016 Kecamatan Bubutan

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	MTBRE LOKMD	MTBRELOKMD1	6	12	136.12
		MTBRELOKMD2	6	12	
		MTBRELOKMD3	4	10	
2	TECMD	TECMD1	6	10	97.68
		TECMD2	6	10	
		TECMD3	4	9	

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
3	BUBUT ANMD	BUBUTANMD1	6	10	89.44
		BUBUTANMD2	4	8	
		BUBUTANMD3	4	8	
4	DEMAK 2MD	DEMAK2MD1	6		
		DEMAK2MD2	8		
		DEMAK2MD3	6		
5	KALIBU TUHMD	KALIBUTUHMD1	4		
		KALIBUTUHMD2	6		
		KALIBUTUHMD3	6		
6	KRAMA TGANT UNGMD	KRAMATGANTUNGMD1	8		
		KRAMATGANTUNGMD2	8		
		KRAMATGANTUNGMD3	8		
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					323.24

Tabel 4.40 Solusi Alternatif 3 TRx Upgrading Tahun 2016 Kecamatan Bubutan

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	MTBRE LOKMD	MTBRELOKMD1	6		
		MTBRELOKMD2	6		
		MTBRELOKMD3	4		
2	TECMD	TECMD1	6		
		TECMD2	6		
		TECMD3	4		
3	BUBUT ANMD	BUBUTANMD1	6	10	89.44
		BUBUTANMD2	4	8	
		BUBUTANMD3	4	8	
4	DEMAK 2MD	DEMAK2MD1	6	10	98.8
		DEMAK2MD2	8	12	
		DEMAK2MD3	6	11	
5	KALIBU TUHMD	KALIBUTUHMD1	4	10	136.12
		KALIBUTUHMD2	6	12	
		KALIBUTUHMD3	6	12	
6	KRAMA TGANT	KRAMATGANTUNGMD1	8		
		KRAMATGANTUNGMD2	8		

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
	UNGMD	KRAMATGANTUNGMD3	8		
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					324.36

Tabel 4.41 Solusi Alternatif 4 TRx Upgrading Tahun 2016 Kecamatan Bubutan

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	MTBRE LOKMD	MTBRELOKMD1	6		
		MTBRELOKMD2	6		
		MTBRELOKMD3	4		
2	TECMD	TECMD1	6	10	90.08
		TECMD2	6	10	
		TECMD3	4	8	
3	BUBUT ANMD	BUBUTANMD1	6		
		BUBUTANMD2	4		
		BUBUTANMD3	4		
4	DEMAK 2MD	DEMAK2MD1	6	9	75.76
		DEMAK2MD2	8	11	
		DEMAK2MD3	6	10	
5	KALIBU TUHMD	KALIBUTUHMD1	4	8	90.08
		KALIBUTUHMD2	6	10	
		KALIBUTUHMD3	6	10	
6	KRAMA TGANT UGMD	KRAMATGANTUNGMD1	8	11	68.76
		KRAMATGANTUNGMD2	8	11	
		KRAMATGANTUNGMD3	8	11	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					324.68

Tabel 4.42 Solusi Alternatif 5 TRx Upgrading Tahun 2016 Kecamatan Bubutan

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	MTBRE LOKMD	MTBRELOKMD1	6	8	44.6
		MTBRELOKMD2	6	8	

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
		MTBRELOKMD3	4	6	
2	TECMD	TECMD1	6	8	44.6
		TECMD2	6	8	
		TECMD3	4	6	
3	BUBUTANMD	BUBUTANMD1	6	8	44.2
		BUBUTANMD2	4	6	
		BUBUTANMD3	4	6	
4	DEMAK2MD	DEMAK2MD1	6	8	45.24
		DEMAK2MD2	8	10	
		DEMAK2MD3	6	8	
5	KALIBU TUHMD	KALIBUTUHMD1	4	6	75.08
		KALIBUTUHMD2	6	10	
		KALIBUTUHMD3	6	10	
6	KRAMATGANTUNGMD	KRAMATGANTUNGMD1	8	11	68.76
		KRAMATGANTUNGMD2	8	11	
		KRAMATGANTUNGMD3	8	11	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					322.48

Dari kelima solusi alternatif yang ada, berikut adalah Tabel 4.43 yang menjelaskan jumlah penambahan TRx dan sisa kapasitas trafik setelah dilakukan *TRx Upgrading* pada masing-masing solusi alternatif.

Tabel 4.43 Jumlah Penambahan TRx dan Sisa Kapasitas Trafik Tahun 2016 Kecamatan Bubutan

	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	43	4.47
Alternatif 2	43	0.87
Alternatif 3	43	1.99
Alternatif 4	43	2.31
Alternatif 5	43	0.11

TAHUN KE-4

Tahun ke-4, yakni tahun 2017, kecamatan Bubutan mengalami kekurangan kapasitas trafik. Sehingga perlu dilakukan *TRx Upgrading*. Pada tahun 2017, kecamatan Bubutan membutuhkan kapasitas trafik tambahan minimal 491.78 erlang. Berikut adalah 5 solusi alternatif *TRx Upgrading* untuk tahun 2017 kecamatan Bubutan yang ditunjukkan oleh Tabel 4.44 hingga Tabel 4.48.

Tabel 4.44 Solusi Alternatif 1 TRx Upgrading Tahun 2017 Kecamatan Bubutan

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	MTBRE LOKMD	MTBRELOKMD1	6		
		MTBRELOKMD2	6		
		MTBRELOKMD3	4		
2	TECMD	TECMD1	6	12	151.52
		TECMD2	6	12	
		TECMD3	4	12	
3	BUBUT ANMD	BUBUTANMD1	6		
		BUBUTANMD2	4		
		BUBUTANMD3	4		
4	DEMAK 2MD	DEMAK2MD1	6	11	106.48
		DEMAK2MD2	8	12	
		DEMAK2MD3	6	11	
5	KALIBU TUHMD	KALIBUTUHMD1	4	11	143.8
		KALIBUTUHMD2	6	12	
		KALIBUTUHMD3	6	12	
6	KRAMA TGANT UNGMD	KRAMATGANTUNGMD1	8	12	91.92
		KRAMATGANTUNGMD2	8	12	
		KRAMATGANTUNGMD3	8	12	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					493.72

Tabel 4.45 Solusi Alternatif 2 TRx Upgrading Tahun 2017 Kecamatan Bubutan

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	MTBRE LOKMD	MTBRELOKMD1	6	12	151.52
		MTBRELOKMD2	6	12	
		MTBRELOKMD3	4	12	
2	TECMD	TECMD1	6		
		TECMD2	6		
		TECMD3	4		
3	BUBUT ANMD	BUBUTANMD1	6		
		BUBUTANMD2	4		
		BUBUTANMD3	4		
4	DEMAK 2MD	DEMAK2MD1	6	11	106.48
		DEMAK2MD2	8	12	
		DEMAK2MD3	6	11	
5	KALIBU TUHMD	KALIBUTUHMD1	4	11	143.8
		KALIBUTUHMD2	6	12	
		KALIBUTUHMD3	6	12	
6	KRAMA TGANT UNGMD	KRAMATGANTUNGMD1	8	12	91.92
		KRAMATGANTUNGMD2	8	12	
		KRAMATGANTUNGMD3	8	12	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					493.72

Tabel 4.46 Solusi Alternatif 3 TRx Upgrading Tahun 2017 Kecamatan Bubutan

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	MTBRE LOKMD	MTBRELOKMD1	6	12	143.8
		MTBRELOKMD2	6	12	
		MTBRELOKMD3	4	11	
2	TECMD	TECMD1	6		
		TECMD2	6		
		TECMD3	4		
3	BUBUT ANMD	BUBUTANMD1	6	11	127.6
		BUBUTANMD2	4	10	
		BUBUTANMD3	4	10	

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
4	DEMAK 2MD	DEMAK2MD1	6	11	98.76
		DEMAK2MD2	8	11	
		DEMAK2MD3	6	11	
5	KALIBU TUHMD	KALIBUTUHMD1	4	11	128.36
		KALIBUTUHMD2	6	11	
		KALIBUTUHMD3	6	11	
6	KRAMA TGANT UNGMD	KRAMATGANTUNGMD1	8		
		KRAMATGANTUNGMD2	8		
		KRAMATGANTUNGMD3	8		
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					498.52

Tabel 4.47 Solusi Alternatif 4 TRx Upgrading Tahun 2017 Kecamatan Bubutan

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	MTBRE LOKMD	MTBRELOKMD1	6	11	113.04
		MTBRELOKMD2	6	11	
		MTBRELOKMD3	4	9	
2	TECMD	TECMD1	6	11	113.04
		TECMD2	6	11	
		TECMD3	4	9	
3	BUBUT ANMD	BUBUTANMD1	6		
		BUBUTANMD2	4		
		BUBUTANMD3	4		
4	DEMAK 2MD	DEMAK2MD1	6	10	83.4
		DEMAK2MD2	8	11	
		DEMAK2MD3	6	10	
5	KALIBU TUHMD	KALIBUTUHMD1	4	10	120.68
		KALIBUTUHMD2	6	11	
		KALIBUTUHMD3	6	11	
6	KRAMA TGANT UNGMD	KRAMATGANTUNGMD1	8	11	68.76
		KRAMATGANTUNGMD2	8	11	
		KRAMATGANTUNGMD3	8	11	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					498.92

Tabel 4.48 Solusi Alternatif 5 TRx Upgrading Tahun 2017 Kecamatan Bubutan

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	MTBRE LOKMD	MTBRELOKMD1	6	10	90.8
		MTBRELOKMD2	6	10	
		MTBRELOKMD3	4	8	
2	TECMD	TECMD1	6	9	74.8
		TECMD2	6	9	
		TECMD3	4	8	
3	BUBUT ANMD	BUBUTANMD1	6	10	89.44
		BUBUTANMD2	4	8	
		BUBUTANMD3	4	8	
4	DEMAK 2MD	DEMAK2MD1	6	10	83.4
		DEMAK2MD2	8	11	
		DEMAK2MD3	6	10	
5	KALIBU TUHMD	KALIBUTUHMD1	4	8	90.08
		KALIBUTUHMD2	6	10	
		KALIBUTUHMD3	6	10	
6	KRAMA TGANT UNGMD	KRAMATGANTUNGMD1	8	11	68.76
		KRAMATGANTUNGMD2	8	11	
		KRAMATGANTUNGMD3	8	11	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					496.56

Dari kelima solusi alternatif yang ada, berikut adalah Tabel 4.49 yang menjelaskan jumlah penambahan TRx dan sisa kapasitas trafik setelah dilakukan *TRx Upgrading* pada masing-masing solusi alternatif.

Tabel 4.49 Jumlah Penambahan TRx dan Sisa Kapasitas Trafik Tahun 2017 Kecamatan Bubutan

	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	65	1.94
Alternatif 2	65	1.94
Alternatif 3	66	6.74
Alternatif 4	66	7.14
Alternatif 5	66	4.78

TAHUN KE-5

Tahun ke-5, yakni tahun 2018, kecamatan Bubutan mengalami kekurangan kapasitas trafik. Sehingga perlu dilakukan *TRx Upgrading*. Pada tahun 2018, kecamatan Bubutan membutuhkan kapasitas trafik tambahan minimal 661.18 erlang. Berikut adalah 5 solusi alternatif *TRx Upgrading* untuk tahun 2018 kecamatan Bubutan yang ditunjukkan oleh Tabel 4.50 hingga 4.54.

Tabel 4.50 Solusi Alternatif 1 TRx Upgrading Tahun 2018 Kecamatan Bubutan

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	MTBRELOKMD	MTBRELOKMD1	6	12	136.12
		MTBRELOKMD2	6	12	
		MTBRELOKMD3	4	10	
2	TECMD	TECMD1	6	12	136.12
		TECMD2	6	12	
		TECMD3	4	10	
3	BUBUTANMD	BUBUTANMD1	6	11	142.96
		BUBUTANMD2	4	11	
		BUBUTANMD3	4	11	
4	DEMAK2MD	DEMAK2MD1	6	11	106.48
		DEMAK2MD2	8	12	
		DEMAK2MD3	6	11	
5	KALIBUTUHMD	KALIBUTUHMD1	4	11	143.8
		KALIBUTUHMD2	6	12	
		KALIBUTUHMD3	6	12	
6	KRAMATGANTUNGMD	KRAMATGANTUNGMD1	8		
		KRAMATGANTUNGMD2	8		
		KRAMATGANTUNGMD3	8		
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					665.48

Tabel 4.51 Solusi Alternatif 2 TRx Upgrading Tahun 2018 Kecamatan Bubutan

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	MTBRE LOKMD	MTBRELOKMD1	6	12	136.12
		MTBRELOKMD2	6	12	
		MTBRELOKMD3	4	10	
2	TECMD	TECMD1	6	12	143.8
		TECMD2	6	12	
		TECMD3	4	11	
3	BUBUT ANMD	BUBUTANMD1	6	12	150.68
		BUBUTANMD2	4	11	
		BUBUTANMD3	4	11	
4	DEMAK 2MD	DEMAK2MD1	6		
		DEMAK2MD2	8		
		DEMAK2MD3	6		
5	KALIBU TUHMD	KALIBUTUHMD1	4	11	143.8
		KALIBUTUHMD2	6	12	
		KALIBUTUHMD3	6	12	
6	KRAMA TGANT UNGMD	KRAMATGANTUNGMD1	8	12	91.92
		KRAMATGANTUNGMD2	8	12	
		KRAMATGANTUNGMD3	8	12	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					666.32

Tabel 4.52 Solusi Alternatif 3 TRx Upgrading Tahun 2018 Kecamatan Bubutan

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	MTBRE LOKMD	MTBRELOKMD1	6		
		MTBRELOKMD2	6		
		MTBRELOKMD3	4		
2	TECMD	TECMD1	6	12	143.8
		TECMD2	6	12	
		TECMD3	4	11	
3	BUBUT ANMD	BUBUTANMD1	6	12	166.12
		BUBUTANMD2	4	12	
		BUBUTANMD3	4	12	

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
4	DEMAK 2MD	DEMAK2MD1	6	12	121.92
		DEMAK2MD2	8	12	
		DEMAK2MD3	6	12	
5	KALIBU TUHMD	KALIBUTUHMD1	4	11	143.8
		KALIBUTUHMD2	6	12	
		KALIBUTUHMD3	6	12	
6	KRAMA TGANT UNGMD	KRAMATGANTUNGMD1	8	12	91.92
		KRAMATGANTUNGMD2	8	12	
		KRAMATGANTUNGMD3	8	12	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					667.6

Tabel 4.53 Solusi Alternatif 4 TRx Upgrading Tahun 2018 Kecamatan Bubutan

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	MTBRE LOKMD	MTBRELOKMD1	6	12	143.8
		MTBRELOKMD2	6	12	
		MTBRELOKMD3	4	11	
2	TECMD	TECMD1	6		
		TECMD2	6		
		TECMD3	4		
3	BUBUT ANMD	BUBUTANMD1	6	12	166.12
		BUBUTANMD2	4	12	
		BUBUTANMD3	4	12	
4	DEMAK 2MD	DEMAK2MD1	6	12	121.92
		DEMAK2MD2	8	12	
		DEMAK2MD3	6	12	
5	KALIBU TUHMD	KALIBUTUHMD1	4	11	143.8
		KALIBUTUHMD2	6	12	
		KALIBUTUHMD3	6	12	
6	KRAMA TGANT UNGMD	KRAMATGANTUNGMD1	8	12	91.92
		KRAMATGANTUNGMD2	8	12	
		KRAMATGANTUNGMD3	8	12	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					667.56

Tabel 4.54 Solusi Alternatif 5 TRx Upgrading Tahun 2018 Kecamatan Bubutan

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	MTBRE LOKMD	MTBRELOKMD1	6	11	120.68
		MTBRELOKMD2	6	11	
		MTBRELOKMD3	4	10	
2	TECMD	TECMD1	6	11	113.04
		TECMD2	6	11	
		TECMD3	4	9	
3	BUBUT ANMD	BUBUTANMD1	6	11	127.6
		BUBUTANMD2	4	10	
		BUBUTANMD3	4	10	
4	DEMAK 2MD	DEMAK2MD1	6	10	91.12
		DEMAK2MD2	8	12	
		DEMAK2MD3	6	10	
5	KALIBU TUHMD	KALIBUTUHMD1	4	10	120.68
		KALIBUTUHMD2	6	11	
		KALIBUTUHMD3	6	11	
6	KRAMA TGANT UNGMD	KRAMATGANTUNGMD1	8	12	91.92
		KRAMATGANTUNGMD2	8	12	
		KRAMATGANTUNGMD3	8	12	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					665.04

Dari kelima solusi alternatif yang ada, berikut adalah Tabel 4.55 yang menjelaskan jumlah penambahan TRx dan sisa kapasitas trafik setelah dilakukan *TRx Upgrading* pada masing-masing solusi alternatif.

Tabel 4.55 Jumlah Penambahan TRx dan Sisa Kapasitas Trafik Tahun 2018 Kecamatan Bubutan

	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	88	4.3
Alternatif 2	88	5.14
Alternatif 3	88	6.42
Alternatif 4	88	6.38
Alternatif 5	88	3.86

4.14.2. Cluster Surabaya 2

Berikut adalah Tabel 4.56 yang membandingkan antara kapasitas trafik yang tersedia pada saat ini (hingga akhir tahun 2013) dengan trafik optimal yang didapat dari hasil optimasi untuk tahun 2014 hingga 2018 untuk cluster Surabaya 2.

Pada kolom selisih menunjukkan perbedaan antara ketersediaan trafik dan nilai optimalnya.

Tabel 4.56 Perbandingan Trafik yang Tersedia dan Trafik Optimal Cluster Surabaya 2

Tahun	Trafik Tersedia	Trafik Optimal	Selisih
2014	6565.38	6705.65	-140.27
2015	6565.38	7360.36	-794.98
2016	6565.38	8015.07	-1449.69
2017	6565.38	8669.78	-2104.4
2018	6565.38	9324.49	-2759.11

Sama halnya dengan cluster Surabaya 1, melalui kolom selisih pada Tabel 4.56 dapat diketahui bahwa pada tahun 2014 hingga 2018, kapasitas trafik yang tersedia sudah tidak dapat memenuhi kebutuhan trafik yang ada. Hal ini dikarenakan kolom selisih bernilai negatif. Sehingga dibutuhkan kapasitas trafik tambahan agar dapat memenuhi permintaan trafik pelanggan.

Berikut adalah hasil dari optimasi untuk cluster Surabaya 2 yang dibandingkan dengan kapasitas trafik yang tersedia hingga akhir tahun 2013 yang ditunjukkan oleh Tabel 4.57.

Tabel 4.57 Solusi Optimal Trafik yang Dibutuhkan Tiap Variabel di Cluster Surabaya 2

Variabel	Trafik Tersedia	Trafik Optimal				
		2014	2015	2016	2017	2018
y1	1175.95	1199.33	1308.45	1417.57	1526.68	1635.80
y2	1582.59	1605.97	1715.09	1824.21	1933.32	2042.44
y3	549.33	572.71	681.83	790.95	900.06	1009.18
y4	869.78	893.16	1002.28	1111.40	1220.51	1329.63

Variabel	Trafik Tersedia	Trafik Optimal				
		2014	2015	2016	2017	2018
y5	1099.07	1122.45	1231.57	1340.69	1449.80	1558.92
y6	1288.66	1312.04	1421.16	1530.28	1639.39	1748.51
JUMLAH		6705.65	7360.36	8015.07	8669.78	9324.49

Berdasar hasil optimasi yang ditunjukkan Tabel 4.57, terlihat nilai trafik optimal masing-masing variabel pada tahun 2014 hingga 2018 sudah melebihi kapasitas trafik yang tersedia. Dengan kata lain, kapasitas trafik yang tersedia kini tidak dapat memenuhi kebutuhan trafik pelanggan. Hal ini sesuai dengan penjelasan Tabel 4.56.

Terlihat juga bahwa hasil optimasi yang dilakukan sepenuhnya dapat memenuhi tujuan optimasi yakni menghasilkan nilai trafik optimal yang harus disediakan di tiap masing-masing area kecamatan yang diwakili oleh variabel agar dapat memenuhi kebutuhan trafik pelanggan.

Pada Tabel 4.57, variabel y1 pada cluster Surabaya 2 adalah area kecamatan Dukuh Pakis. Di kecamatan Dukuh Pakis tersedia kapasitas trafik sebesar 1175.95 erlang. Sedangkan berdasarkan hasil optimasi perusahaan harus menyediakan kapasitas trafik sebesar 1199.33 erlang pada tahun 2014. Artinya permintaan trafik pelanggan di tahun 2014 sudah melebihi kapasitas trafik yang tersedia saat ini. Sehingga dibutuhkan kapasitas trafik tambahan.

Sama halnya dengan tahun 2015 hingga 2018 dimana kapasitas trafik yang tersedia sudah tidak dapat memenuhi permintaan trafik pelanggan. Sehingga hasil optimal trafik yang diperoleh masing-masing variabel pasti melebihi kapasitas trafik yang tersedia. Pada tahun 2015 dibutuhkan kapasitas trafik sebesar 1308.45 erlang, tahun 2016 dibutuhkan kapasitas trafik sebesar 1417.57 erlang, tahun 2017 dibutuhkan kapasitas trafik 1526.68 erlang dan tahun 2018 dibutuhkan kapasitas trafik 1635.80 erlang.

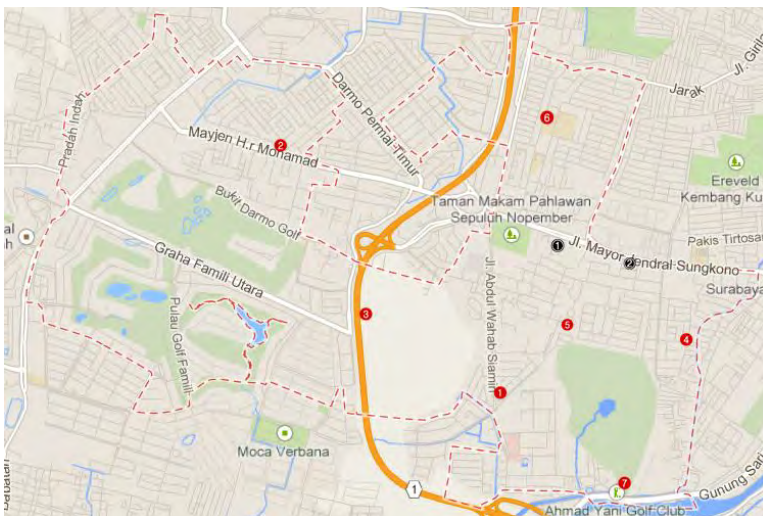
Untuk area kecamatan Dukuh Pakis, selisih kapasitas trafik ditunjukkan pada Tabel 4.58.

Tabel 4.58 Selisih Kapasitas Trafik Kecamatan Dukuh Pakis Tahun 2014-2018

2014	2015	2016	2017	2018
-23.38	-132.50	-241.62	-350.73	-459.85

Pada tahun 2014, selisih kapasitas trafik bernilai negatif yang artinya permintaan trafik pelanggan tidak terpenuhi, dan membutuhkan kapasitas trafik tambahan sebesar 23.38 erlang. Begitu pula untuk tahun 2015, 2016, 2017 dan 2018 yang mana masing-masing membutuhkan kapasitas trafik tambahan sebesar 132.50 erlang, 241.62 erlang, 350.73 erlang dan 459.85 erlang.

Sama halnya dengan cluster Surabaya 1, untuk mengatasi kekurangan kapasitas trafik maka dilakukan *TRx Upgrading*. Berikut adalah visualisasi dari pemetaan BTS yang ada di kecamatan Dukuh Pakis ditunjukkan pada Gambar 4.46.



Gambar 4.46 Visualisasi Pemetaan BTS di Kecamatan Dukuh Pakis

Garis putus-putus berwarna merah menunjukkan area kecamatan Dukuh Pakis. Masing-masing simbol angka yang terdapat pada Gambar 4.46 mencerminkan BTS yang berada pada titik tersebut. Tabel 4.59 merupakan keterangan dari visualisasi pemetaan BTS di kecamatan Dukuh Pakis. Sama halnya dengan cluster Surabaya 1, *TRx Upgrading* hanya dilakukan pada jenis BTS macro DCS dan macro GSM dimana masing-masing memiliki batas maksimal jumlah TRx yang dimiliki. Sehingga *TRx Upgrading* hanya dapat dilakukan pada BTS yang memiliki nilai keterangan berupa tanda centang berwarna hijau (V).

Tabel 4.59 Keterangan Visualisasi Pemetaan BTS Kecamatan Dukuh Pakis

Simbol	Nama BTS	Jenis	Konfigurasi	Ket.
1	BUKITMASMD	Macro DCS	4 / 4 / 4	V
	BUKITMASMG	Macro GSM	4 / 4 / 4	X
2	HRMUHAMMADM	Macro DCS	10 / 8 / 10	V
	HRMUHAMMADMG	Macro GSM	4 / 4 / 4	X
3	KADINRELOCGRAH AFAMILITBGMD	Macro DCS	4 / 4 / 4	V
	KADINRELOCGRAH AFAMILITBGMG	Macro GSM	4 / 4 / 4	X
4	PASARWONOKITRI MD	Macro DCS	8 / 8 / 8	V
5	PERUMDARMOHILL MD	Macro DCS	4 / 4 / 6	V
	DARMOHILLMG	Macro GSM	4 / 4 / 4	X
6	UWKSURABAYAMD	Macro DCS	8 / 4 / 6	V
	UWKSURABAYAMG	Macro GSM	4 / 4 / 4	X

Simbol	Nama BTS	Jenis	Konfigurasi	Ket.
7	YANIGOLFMD	Macro DCS	6 / 6 / 4	V
	YANIGOLFMG	Macro GSM	4 / 4 / 4	X
1	HOTELSATELITEID	Indoor DCS	2	X
2	SHANGRILAIID	Indoor DCS	2 / 2	X

Dari Tabel 4.59 diketahui bahwa *TRx Upgrading* hanya dapat dilakukan pada 7 BTS jenis macro DCS. Karena banyak kemungkinan untuk dilakukannya *TRx Upgrading*, maka dibuat 5 solusi alternatif yang dapat dilakukan untuk mengatasi kekurangan kapasitas trafik di setiap tahunnya.

TAHUN KE-1

Tahun ke-1, yakni tahun 2014, kecamatan Dukuh Pakis mengalami kekurangan kapasitas trafik. Sehingga perlu dilakukan *TRx Upgrading*. Pada tahun 2014, kecamatan Dukuh Pakis membutuhkan kapasitas trafik tambahan minimal 23.38 erlang. Berikut adalah 5 solusi alternatif *TRx Upgrading* untuk tahun 2014 kecamatan Dukuh Pakis yang ditunjukkan oleh Gambar 4.60 hingga 4.64.

Tabel 4.60 Solusi Alternatif 1 TRx Upgrading Tahun 2014 Kecamatan Dukuh Pakis

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	BUKITMASMD	BUKITMASMD1	4		
		BUKITMASMD2	4		
		BUKITMASMD3	4		
2	HRMUHAMMADMD	HRMUHAMMADMD1	10	11	30.6
		HRMUHAMMADMD2	8	10	
		HRMUHAMMADMD3	10	11	

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
3	KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD	KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD1	4		
		KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD2	4		
		KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD3	4		
4	PASARWONOKITRIMD	PASARWONOKITRIMD1	8		
		PASARWONOKITRIMD2	8		
		PASARWONOKITRIMD3	8		
5	PERUMDARMOHILLMD	PERUMDARMOHILLMD1	4		
		PERUMDARMOHILLMD2	4		
		PERUMDARMOHILLMD3	6		
6	UWKSURABAYAMD	UWKSURABAYAMD1	8		
		UWKSURABAYAMD2	4		
		UWKSURABAYAMD3	6		
7	YANIGOLFMD	YANIGOLFMD1	6		
		YANIGOLFMD2	6		
		YANIGOLFMD3	4		
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					30.6

Tabel 4.61 Solusi Alternatif 2 TRx Upgrading Tahun 2014 Kecamatan Dukuh Pakis

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	BUKITMASMD	BUKITMASMD1	4		
		BUKITMASMD2	4		
		BUKITMASMD3	4		
2	HRMUHAMMADMD	HRMUHAMMADMD1	10		
		HRMUHAMMADMD2	8		
		HRMUHAMMADMD3	10		
3	KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD	KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD1	4		
		KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD2	4		
		KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD3	4		

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
4	PASARWONOKITRIMD	PASARWONOKITRIMD1	8	10	30.44
		PASARWONOKITRIMD2	8	9	
		PASARWONOKITRIMD3	8	9	
5	PERUMDARMOHILLMD	PERUMDARMOHILLMD1	4		
		PERUMDARMOHILLMD2	4		
		PERUMDARMOHILLMD3	6		
6	UWKSURABAYAMD	UWKSURABAYAMD1	8		
		UWKSURABAYAMD2	4		
		UWKSURABAYAMD3	6		
7	YANIGOLFMD	YANIGOLFMD1	6		
		YANIGOLFMD2	6		
		YANIGOLFMD3	4		
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					30.44

Tabel 4.62 Solusi Alternatif 3 TRx Upgrading Tahun 2014 Kecamatan Dukuh Pakis

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	BUKITMASMD	BUKITMASMD1	4		
		BUKITMASMD2	4		
		BUKITMASMD3	4		
2	HRMUHAMMADMD	HRMUHAMMADMD1	10		
		HRMUHAMMADMD2	8		
		HRMUHAMMADMD3	10		
3	KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD	KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD1	4		
		KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD2	4		
		KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD3	4		
4	PASARWONOKITRIMD	PASARWONOKITRIMD1	8		
		PASARWONOKITRIMD2	8		
		PASARWONOKITRIMD3	8		
5	PERUMDARMOHILLMD	PERUMDARMOHILLMD1	4		
		PERUMDARMOHILLMD2	4		

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
	LLMD	PERUMDARMOHILLMD3	6		
6	UWKSURABAYAMD RABAYAMD	UWKSURABAYAMD1	8	9	29.67
		UWKSURABAYAMD2	4	6	
		UWKSURABAYAMD3	6	7	
7	YANIGOLFMD LFMD	YANIGOLFMD1	6		
		YANIGOLFMD2	6		
		YANIGOLFMD3	4		
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					29.67

Tabel 4.63 Solusi Alternatif 4 TRx Upgrading Tahun 2014 Kecamatan Dukuh Pakis

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	BUKITMASMD ASMD	BUKITMASMD1	4		
		BUKITMASMD2	4		
		BUKITMASMD3	4		
2	HRMUHAMMADMD AMMADMD	HRMUHAMMADMD1	10		
		HRMUHAMMADMD2	8		
		HRMUHAMMADMD3	10		
3	KADINRELOCRAHAFA MILITBGMD AHAFAMILITBGMD	KADINRELOCRAHAFA MILITBGMD1	4		
		KADINRELOCRAHAFA MILITBGMD2	4		
		KADINRELOCRAHAFA MILITBGMD3	4		
4	PASARWONOKITRIMD RIMD	PASARWONOKITRIMD1	8		
		PASARWONOKITRIMD2	8		
		PASARWONOKITRIMD3	8		
5	PERUMDARMOHILLMD ARMOHILLMD	PERUMDARMOHILLMD1	4		
		PERUMDARMOHILLMD2	4		
		PERUMDARMOHILLMD3	6		
6	UWKSURABAYAMD RABAYAMD	UWKSURABAYAMD1	8		
		UWKSURABAYAMD2	4		
		UWKSURABAYAMD3	6		

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
7	YANIGO LFMD	YANIGOLFMD1	6	7	29.54
		YANIGOLFMD2	6	7	
		YANIGOLFMD3	4	6	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					29.54

Tabel 4.64 Solusi Alternatif 5 TRx Upgrading Tahun 2014 Kecamatan Dukuh Pakis

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	BUKITM ASMD	BUKITMASMD1	4		
		BUKITMASMD2	4		
		BUKITMASMD3	4		
2	HRMUH AMMAD MD	HRMUHAMMADMD1	10	10	7.6
		HRMUHAMMADMD2	8	9	
		HRMUHAMMADMD3	10	10	
3	KADINR ELOCGR AHAF A MILITBG MD	KADINRELOCGRAHAF A MILITBGMD1	4		
		KADINRELOCGRAHAF A MILITBGMD2	4		
		KADINRELOCGRAHAF A MILITBGMD3	4		
4	PASARW ONOKIT RIMD	PASARWONOKITRIMD1	8		
		PASARWONOKITRIMD2	8		
		PASARWONOKITRIMD3	8		
5	PERUMD ARMOHI LLMD	PERUMDARMOHILLMD1	4		
		PERUMDARMOHILLMD2	4		
		PERUMDARMOHILLMD3	6		
6	UWKSU RABAYA MD	UWKSURABAYAMD1	8	8	22.07
		UWKSURABAYAMD2	4	6	
		UWKSURABAYAMD3	6	7	
7	YANIGO LFMD	YANIGOLFMD1	6		
		YANIGOLFMD2	6		
		YANIGOLFMD3	4		
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					29.67

Dari kelima solusi alternatif yang ada, berikut adalah Tabel 4.65 yang menjelaskan jumlah penambahan TRx dan sisa kapasitas trafik setelah dilakukan *TRx Upgrading* pada masing-masing solusi alternatif.

Tabel 4.65 Jumlah Penambahan TRx dan Sisa Kapasitas Trafik Tahun 2014 Kecamatan Dukuh Pakis

	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	4	7.22
Alternatif 2	4	7.06
Alternatif 3	4	6.29
Alternatif 4	4	6.16
Alternatif 5	4	6.29

TAHUN KE-2

Tahun ke-2, yakni tahun 2015, kecamatan Dukuh Pakis mengalami kekurangan kapasitas trafik. Sehingga perlu dilakukan *TRx Upgrading*. Pada tahun 2015, kecamatan Dukuh Pakis membutuhkan kapasitas trafik tambahan minimal 132.50 erlang. Berikut adalah 5 solusi alternatif *TRx Upgrading* untuk tahun 2015 kecamatan Dukuh Pakis yang ditunjukkan oleh Tabel 4.66 hingga Tabel 4.70.

Tabel 4.66 Solusi Alternatif 1 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Dukuh Pakis

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
①	BUKITM ASMD	BUKITMASMD1	4		
		BUKITMASMD2	4		
		BUKITMASMD3	4		
②	HRMUH AMMAD MD	HRMUHAMMADMD1	10	12	46.04
		HRMUHAMMADMD2	8	10	
		HRMUHAMMADMD3	10	12	
③	KADINR ELOCGR	KADINRELOCGRAHAF MILITBGMD1	4		

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
	AHAFA MILITBG MD	KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD2	4		
		KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD3	4		
4	PASARWONOKITRIMD	PASARWONOKITRIMD1	8	12	91.92
		PASARWONOKITRIMD2	8	12	
		PASARWONOKITRIMD3	8	12	
5	PERUMDARMOHILLMD	PERUMDARMOHILLMD1	4		
		PERUMDARMOHILLMD2	4		
		PERUMDARMOHILLMD3	6		
6	UWKSURABAYAMD	UWKSURABAYAMD1	8		
		UWKSURABAYAMD2	4		
		UWKSURABAYAMD3	6		
7	YANIGOLFMD	YANIGOLFMD1	6		
		YANIGOLFMD2	6		
		YANIGOLFMD3	4		
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					138

Tabel 4.67 Solusi Alternatif 2 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Dukuh Pakis

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	BUKITMASMD	BUKITMASMD1	4		
		BUKITMASMD2	4		
		BUKITMASMD3	4		
2	HRMUHAMMADMD	HRMUHAMMADMD1	10	11	30.6
		HRMUHAMMADMD2	8	10	
		HRMUHAMMADMD3	10	11	
3	KADINRELOCGRAHAFA MILITBG MD	KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD1	4		
		KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD2	4		
		KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD3	4		
4	PASARWONOKITRIMD	PASARWONOKITRIMD1	8	10	45.72
		PASARWONOKITRIMD2	8	10	

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
	RIMD	PASARWONOKITRIMD3	8	10	
5	PERUMD ARMOHI LLMD	PERUMDARMOHILLMD1	4		
		PERUMDARMOHILLMD2	4		
		PERUMDARMOHILLMD3	6		
6	UWKSU RABAYA MD	UWKSURABAYAMD1	8	10	59.84
		UWKSURABAYAMD2	4	8	
		UWKSURABAYAMD3	6	8	
7	YANIGO LFMD	YANIGOLFMD1	6		
		YANIGOLFMD2	6		
		YANIGOLFMD3	4		
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					136

Tabel 4.68 Solusi Alternatif 3 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Dukuh Pakis

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	BUKITM ASMD	BUKITMASMD1	4		
		BUKITMASMD2	4		
		BUKITMASMD3	4		
2	HRMUH AMMAD MD	HRMUHAMMADMD1	10	11	30.6
		HRMUHAMMADMD2	8	10	
		HRMUHAMMADMD3	10	11	
3	KADINRELOC GRAHAFA MILITBG MD	KADINRELOC GRAHAFA MILITBGMD1	4		
		KADINRELOC GRAHAFA MILITBGMD2	4		
		KADINRELOC GRAHAFA MILITBGMD3	4		
4	PASARW ONOKIT RIMD	PASARWONOKITRIMD1	8	10	45.72
		PASARWONOKITRIMD2	8	10	
		PASARWONOKITRIMD3	8	10	
5	PERUMD ARMOHI LLMD	PERUMDARMOHILLMD1	4		
		PERUMDARMOHILLMD2	4		
		PERUMDARMOHILLMD3	6		

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
6	UWKSURABAYAMD RABAYAMD	UWKSURABAYAMD1	8	9	37.2
		UWKSURABAYAMD2	4	6	
		UWKSURABAYAMD3	6	8	
7	YANIGOLFMD	YANIGOLFMD1	6	7	22.18
		YANIGOLFMD2	6	7	
		YANIGOLFMD3	4	5	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					136

Tabel 4.69 Solusi Alternatif 4 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Dukuh Pakis

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	BUKITMASMD	BUKITMASMD1	4		
		BUKITMASMD2	4		
		BUKITMASMD3	4		
2	HRMUHAMMADMD	HRMUHAMMADMD1	10	11	22.96
		HRMUHAMMADMD2	8	9	
		HRMUHAMMADMD3	10	11	
3	KADINRELOCRAHAFA MILITBGMD	KADINRELOCRAHAFA MILITBGMD1	4		
		KADINRELOCRAHAFA MILITBGMD2	4		
		KADINRELOCRAHAFA MILITBGMD3	4		
4	PASARWONOKITRIMD	PASARWONOKITRIMD1	8	9	22.8
		PASARWONOKITRIMD2	8	9	
		PASARWONOKITRIMD3	8	9	
5	PERUMDARMOHILLMD	PERUMDARMOHILLMD1	4	6	36.67
		PERUMDARMOHILLMD2	4	6	
		PERUMDARMOHILLMD3	6	7	
6	UWKSURABAYAMD RABAYAMD	UWKSURABAYAMD1	8	9	29.67
		UWKSURABAYAMD2	4	6	
		UWKSURABAYAMD3	6	7	

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
7	YANIGO LFMD	YANIGOLFMD1	6	7	22.18
		YANIGOLFMD2	6	7	
		YANIGOLFMD3	4	5	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					134.28

Tabel 4.70 Solusi Alternatif 5 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Dukuh Pakis

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	BUKITMASMD	BUKITMASMD1	4		
		BUKITMASMD2	4		
		BUKITMASMD3	4		
2	HRMUHAMMADMD	HRMUHAMMADMD1	10	11	30.6
		HRMUHAMMADMD2	8	10	
		HRMUHAMMADMD3	10	11	
3	KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD	KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD1	4		
		KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD2	4		
		KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD3	4		
4	PASARWONOKITRIMD	PASARWONOKITRIMD1	8		
		PASARWONOKITRIMD2	8		
		PASARWONOKITRIMD3	8		
5	PERUMDARMOHILLMD	PERUMDARMOHILLMD1	4	7	59.14
		PERUMDARMOHILLMD2	4	7	
		PERUMDARMOHILLMD3	6	8	
6	UWKSURABAYAMD	UWKSURABAYAMD1	8	10	44.84
		UWKSURABAYAMD2	4	6	
		UWKSURABAYAMD3	6	8	
7	YANIGO LFMD	YANIGOLFMD1	6		
		YANIGOLFMD2	6		
		YANIGOLFMD3	4		
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					134.58

Dari kelima solusi alternatif yang ada, berikut adalah Tabel 4.71 yang menjelaskan jumlah penambahan TRx dan sisa kapasitas trafik setelah dilakukan *TRx Upgrading* pada masing-masing solusi alternatif.

Tabel 4.71 Jumlah Penambahan TRx dan Sisa Kapasitas Trafik Tahun 2015 Kecamatan Dukuh Pakis

	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	18	5.5
Alternatif 2	18	3.5
Alternatif 3	18	3.5
Alternatif 4	18	1.78
Alternatif 5	18	2.08

TAHUN KE-3

Tahun ke-3, yakni tahun 2016, kecamatan Dukuh Pakis mengalami kekurangan kapasitas trafik. Sehingga perlu dilakukan *TRx Upgrading*. Pada tahun 2016, kecamatan Dukuh Pakis membutuhkan kapasitas trafik tambahan minimal 241.62 erlang. Berikut adalah 5 solusi alternatif *TRx Upgrading* untuk tahun 2016 kecamatan Dukuh Pakis yang ditunjukkan oleh Tabel 4.72 hingga Tabel 4.76.

Tabel 4.72 Solusi Alternatif 1 TRx Upgrading Tahun 2016 Kecamatan Dukuh Pakis

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
①	BUKITM ASMD	BUKITMASMD1	4		
		BUKITMASMD2	4		
		BUKITMASMD3	4		
②	HRMUH AMMAD MD	HRMUHAMMADMD1	10	12	46.04
		HRMUHAMMADMD2	8	10	
		HRMUHAMMADMD3	10	12	
③	KADINR ELOCGR	KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD1	4		

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
	AHAFA MILITBG MD	KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD2	4		
		KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD3	4		
4	PASARWONOKITRIMD	PASARWONOKITRIMD1	8	12	91.92
		PASARWONOKITRIMD2	8	12	
		PASARWONOKITRIMD3	8	12	
5	PERUMDARMOHILLMD	PERUMDARMOHILLMD1	4		
		PERUMDARMOHILLMD2	4		
		PERUMDARMOHILLMD3	6		
6	UWKSURABAYAMD	UWKSURABAYAMD1	8	12	105.76
		UWKSURABAYAMD2	4	9	
		UWKSURABAYAMD3	6	11	
7	YANIGOLFMD	YANIGOLFMD1	6		
		YANIGOLFMD2	6		
		YANIGOLFMD3	4		
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					243.72

Tabel 4.73 Solusi Alternatif 2 TRx Upgrading Tahun 2016 Kecamatan Dukuh Pakis

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	BUKITMASMD	BUKITMASMD1	4		
		BUKITMASMD2	4		
		BUKITMASMD3	4		
2	HRMUHAMMADMD	HRMUHAMMADMD1	10	11	30.6
		HRMUHAMMADMD2	8	10	
		HRMUHAMMADMD3	10	11	
3	KADINRELOCGRAHAFA MILITBG MD	KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD1	4		
		KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD2	4		
		KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD3	4		
4	PASARWONOKITRIMD	PASARWONOKITRIMD1	8	11	68.76
		PASARWONOKITRIMD2	8	11	

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
	RIMD	PASARWONOKITRIMD3	8	11	
5	PERUMD ARMOHILLMD	PERUMDARMOHILLMD1	4		
		PERUMDARMOHILLMD2	4		
		PERUMDARMOHILLMD3	6		
6	UWKSURABAYAMD	UWKSURABAYAMD1	8	11	98
		UWKSURABAYAMD2	4	10	
		UWKSURABAYAMD3	6	10	
7	YANIGOLFMD	YANIGOLFMD1	6	8	44.6
		YANIGOLFMD2	6	8	
		YANIGOLFMD3	4	6	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					241.96

Tabel 4.74 Solusi Alternatif 3 TRx Upgrading Tahun 2016 Kecamatan Dukuh Pakis

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	BUKITMASMD	BUKITMASMD1	4		
		BUKITMASMD2	4		
		BUKITMASMD3	4		
2	HRMUHAMMADMD	HRMUHAMMADMD1	10	11	22.96
		HRMUHAMMADMD2	8	9	
		HRMUHAMMADMD3	10	11	
3	KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD	KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD1	4		
		KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD2	4		
		KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD3	4		
4	PASARWONOKITRIMD	PASARWONOKITRIMD1	8		
		PASARWONOKITRIMD2	8		
		PASARWONOKITRIMD3	8		
5	PERUMD ARMOHILLMD	PERUMDARMOHILLMD1	4	8	89.44
		PERUMDARMOHILLMD2	4	8	
		PERUMDARMOHILLMD3	6	10	

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
6	UWKSURABAYAMD RABAYAMD	UWKSURABAYAMD1	8	11	90.36
		UWKSURABAYAMD2	4	9	
		UWKSURABAYAMD3	6	10	
7	YANIGOLFMD LFMD	YANIGOLFMD1	6	8	44.6
		YANIGOLFMD2	6	8	
		YANIGOLFMD3	4	6	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					247.36

Tabel 4.75 Solusi Alternatif 4 TRx Upgrading Tahun 2016 Kecamatan Dukuh Pakis

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	BUKITMASMD ASMD	BUKITMASMD1	4		
		BUKITMASMD2	4		
		BUKITMASMD3	4		
2	HRMUHAMMADMD MD	HRMUHAMMADMD1	10	11	22.96
		HRMUHAMMADMD2	8	9	
		HRMUHAMMADMD3	10	11	
3	KADINRELOCRAHAFA MILITBGMD MD	KADINRELOCRAHAFA MILITBGMD1	4		
		KADINRELOCRAHAFA MILITBGMD2	4		
		KADINRELOCRAHAFA MILITBGMD3	4		
4	PASARWONOKITRIMD RIMD	PASARWONOKITRIMD1	8	10	45.72
		PASARWONOKITRIMD2	8	10	
		PASARWONOKITRIMD3	8	10	
5	PERUMDARMOHILLMD LLMD	PERUMDARMOHILLMD1	4	7	59.14
		PERUMDARMOHILLMD2	4	7	
		PERUMDARMOHILLMD3	6	8	
6	UWKSURABAYAMD RABAYAMD MD	UWKSURABAYAMD1	8	10	67.44
		UWKSURABAYAMD2	4	8	
		UWKSURABAYAMD3	6	9	
7	YANIGOLFMD LFMD	YANIGOLFMD1	6	8	52.07
		YANIGOLFMD2	6	8	

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
		YANIGOLFMD3	4	7	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					247.33

Tabel 4.76 Solusi Alternatif 5 TRx Upgrading Tahun 2016 Kecamatan Dukuh Pakis

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	BUKITM ASMD	BUKITMASMD1	4	5	21.72
		BUKITMASMD2	4	5	
		BUKITMASMD3	4	5	
2	HRMUH AMMAD MD	HRMUHAMMADMD1	10	11	22.96
		HRMUHAMMADMD2	8	9	
		HRMUHAMMADMD3	10	11	
3	KADINR ELOCGR AHAF MILITBG MD	KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD1	4	5	21.72
		KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD2	4	5	
		KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD3	4	5	
4	PASARW ONOKIT RIMD	PASARWONOKITRIMD1	8	10	45.72
		PASARWONOKITRIMD2	8	10	
		PASARWONOKITRIMD3	8	10	
5	PERUMD ARMOHILLMD	PERUMDARMOHILLMD1	4	6	44.2
		PERUMDARMOHILLMD2	4	6	
		PERUMDARMOHILLMD3	6	8	
6	UWKSU RABAYAMD	UWKSURABAYAMD1	8	10	44.84
		UWKSURABAYAMD2	4	6	
		UWKSURABAYAMD3	6	8	
7	YANIGO LFMD	YANIGOLFMD1	6	8	44.6
		YANIGOLFMD2	6	8	
		YANIGOLFMD3	4	6	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					245.76

Dari kelima solusi alternatif yang ada, berikut adalah Tabel 4.77 yang menjelaskan jumlah penambahan TRx dan sisa

kapasitas trafik setelah dilakukan *TRx Upgrading* pada masing-masing solusi alternatif.

Tabel 4.77 Jumlah Penambahan TRx dan Sisa Kapasitas Trafik Tahun 2016 Kecamatan Dukuh Pakis

	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	32	2.1
Alternatif 2	32	0.34
Alternatif 3	33	5.74
Alternatif 4	33	5.71
Alternatif 5	33	4.14

TAHUN KE-4

Tahun ke-4, yakni tahun 2017, kecamatan Dukuh Pakis mengalami kekurangan kapasitas trafik. Sehingga perlu dilakukan *TRx Upgrading*. Pada tahun 2017, kecamatan Dukuh Pakis membutuhkan kapasitas trafik tambahan minimal 350.73 erlang. Berikut adalah 5 solusi alternatif *TRx Upgrading* untuk tahun 2017 kecamatan Dukuh Pakis yang ditunjukkan oleh Tabel 4.78 hingga Tabel 4.82.

Tabel 4.78 Solusi Alternatif 1 TRx Upgrading Tahun 2017 Kecamatan Dukuh Pakis

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	BUKITM ASMD	BUKITMASMD1	4		
		BUKITMASMD2	4		
		BUKITMASMD3	4		
2	HRMUH AMMAD MD	HRMUHAMMADMD1	10	12	53.72
		HRMUHAMMADMD2	8	11	
		HRMUHAMMADMD3	10	12	
3	KADINR ELOCGR AHAFA MILITBG	KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD1	4		
		KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD2	4		

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
	MD	KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD3	4		
4	PASARWONOKITRIMD	PASARWONOKITRIMD1	8	12	91.92
		PASARWONOKITRIMD2	8	12	
		PASARWONOKITRIMD3	8	12	
5	PERUMDARMOHILLMD	PERUMDARMOHILLMD1	4		
		PERUMDARMOHILLMD2	4		
		PERUMDARMOHILLMD3	6		
6	UWKSURABAYAMD	UWKSURABAYAMD1	8	11	90.36
		UWKSURABAYAMD2	4	9	
		UWKSURABAYAMD3	6	10	
7	YANIGOLFMD	YANIGOLFMD1	6	11	120.68
		YANIGOLFMD2	6	11	
		YANIGOLFMD3	4	10	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					356.68

Tabel 4.79 Solusi Alternatif 2 TRx Upgrading Tahun 2017 Kecamatan Dukuh Pakis

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	BUKITMASMD	BUKITMASMD1	4		
		BUKITMASMD2	4		
		BUKITMASMD3	4		
2	HRMUHAMMADMD	HRMUHAMMADMD1	10	12	53.72
		HRMUHAMMADMD2	8	11	
		HRMUHAMMADMD3	10	12	
3	KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD	KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD1	4		
		KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD2	4		
		KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD3	4		
4	PASARWONOKITRIMD	PASARWONOKITRIMD1	8	12	91.92
		PASARWONOKITRIMD2	8	12	
		PASARWONOKITRIMD3	8	12	

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
5	PERUMD ARMOHI LLMD	PERUMDARMOHILLMD1	4	9	104.64
		PERUMDARMOHILLMD2	4	9	
		PERUMDARMOHILLMD3	6	10	
6	UWKSU RABAYA MD	UWKSURABAYAMD1	8	11	105.68
		UWKSURABAYAMD2	4	10	
		UWKSURABAYAMD3	6	11	
7	YANIGO LFMD	YANIGOLFMD1	6		
		YANIGOLFMD2	6		
		YANIGOLFMD3	4		
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					355.96

Tabel 4.80 Solusi Alternatif 3 TRx Upgrading Tahun 2017 Kecamatan Dukuh Pakis

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	BUKITM ASMD	BUKITMASMD1	4	8	88.8
		BUKITMASMD2	4	8	
		BUKITMASMD3	4	8	
2	HRMUH AMMAD MD	HRMUHAMMADMD1	10	12	46.04
		HRMUHAMMADMD2	8	10	
		HRMUHAMMADMD3	10	12	
3	KADINR ELOCGR AHAF MILITBG MD	KADINRELOCGRAHAF MILITBGMD1	4	8	88.8
		KADINRELOCGRAHAF MILITBGMD2	4	8	
		KADINRELOCGRAHAF MILITBGMD3	4	8	
4	PASARW ONOKIT RIMD	PASARWONOKITRIMD1	8	10	45.72
		PASARWONOKITRIMD2	8	10	
		PASARWONOKITRIMD3	8	10	
5	PERUMD ARMOHI LLMD	PERUMDARMOHILLMD1	4		
		PERUMDARMOHILLMD2	4		
		PERUMDARMOHILLMD3	6		
6	UWKSU RABAYA	UWKSURABAYAMD1	8	10	82.68
		UWKSURABAYAMD2	4	9	

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
	MD	UWKSURABAYAMD3	6	10	
7	YANIGO LFMD	YANIGOLFMD1	6		
		YANIGOLFMD2	6		
		YANIGOLFMD3	4		
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					352.04

Tabel 4.81 Solusi Alternatif 4 TRx Upgrading Tahun 2017 Kecamatan Dukuh Pakis

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	BUKITM ASMD	BUKITMASMD1	4		
		BUKITMASMD2	4		
		BUKITMASMD3	4		
2	HRMUHAMMAD MD	HRMUHAMMADMD1	10	11	30.6
		HRMUHAMMADMD2	8	10	
		HRMUHAMMADMD3	10	11	
3	KADINRELOC GRAHAFA MILITBG MD	KADINRELOC GRAHAFA MILITBGMD1	4		
		KADINRELOC GRAHAFA MILITBGMD2	4		
		KADINRELOC GRAHAFA MILITBGMD3	4		
4	PASARWONOKITRIMD	PASARWONOKITRIMD1	8	10	45.72
		PASARWONOKITRIMD2	8	10	
		PASARWONOKITRIMD3	8	10	
5	PERUMDARMOHILLMD	PERUMDARMOHILLMD1	4	9	104.64
		PERUMDARMOHILLMD2	4	9	
		PERUMDARMOHILLMD3	6	10	
6	UWKSURABAYAMD	UWKSURABAYAMD1	8	10	75.04
		UWKSURABAYAMD2	4	9	
		UWKSURABAYAMD3	6	9	
7	YANIGO LFMD	YANIGOLFMD1	6	10	97.68
		YANIGOLFMD2	6	10	
		YANIGOLFMD3	4	9	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					353.68

Tabel 4.82 Solusi Alternatif 5 TRx Upgrading Tahun 2017 Kecamatan Dukuh Pakis

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	BUKITM ASMD	BUKITMASMD1	4	7	66.21
		BUKITMASMD2	4	7	
		BUKITMASMD3	4	7	
2	HRMUH AMMAD MD	HRMUHAMMADMD1	10	11	22.96
		HRMUHAMMADMD2	8	9	
		HRMUHAMMADMD3	10	11	
3	KADINR ELOCGR AHAF A MILITBG MD	KADINRELOCGRAHAF A MILITBGMD1	4	7	66.21
		KADINRELOCGRAHAF A MILITBGMD2	4	7	
		KADINRELOCGRAHAF A MILITBGMD3	4	7	
4	PASARW ONOKIT RIMD	PASARWONOKITRIMD1	8	10	45.72
		PASARWONOKITRIMD2	8	10	
		PASARWONOKITRIMD3	8	10	
5	PERUMD ARMOHI LLMD	PERUMDARMOHILLMD1	4	7	66.74
		PERUMDARMOHILLMD2	4	7	
		PERUMDARMOHILLMD3	6	9	
6	UWKSU RABAYA MD	UWKSURABAYAMD1	8	10	44.84
		UWKSURABAYAMD2	4	6	
		UWKSURABAYAMD3	6	8	
7	YANIGO LFMD	YANIGOLFMD1	6	8	44.6
		YANIGOLFMD2	6	8	
		YANIGOLFMD3	4	6	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					357.28

Dari kelima solusi alternatif yang ada, berikut adalah Tabel 4.83 yang menjelaskan jumlah penambahan TRx dan sisa kapasitas trafik setelah dilakukan *TRx Upgrading* pada masing-masing solusi alternatif.

Tabel 4.83 Jumlah Penambahan TRx dan Sisa Kapasitas Trafik Tahun 2017 Kecamatan Dukuh Pakis

	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	47	5.95
Alternatif 2	47	5.23
Alternatif 3	47	1.31
Alternatif 4	47	2.95
Alternatif 5	48	6.55

TAHUN KE-5

Tahun ke-5, yakni tahun 2018, kecamatan Dukuh Pakis mengalami kekurangan kapasitas trafik. Sehingga perlu dilakukan *TRx Upgrading*. Pada tahun 2018, kecamatan Dukuh Pakis membutuhkan kapasitas trafik tambahan minimal 459.85 erlang. Berikut adalah 5 solusi alternatif *TRx Upgrading* untuk tahun 2018 kecamatan Dukuh Pakis ditunjukkan oleh Tabel 4.84 hingga Tabel 4.88.

Tabel 4.84 Solusi Alternatif 1 TRx Upgrading Tahun 2018 Kecamatan Dukuh Pakis

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
①	BUKITM ASMD	BUKITMASMD1	4		
		BUKITMASMD2	4		
		BUKITMASMD3	4		
②	HRMUH AMMAD MD	HRMUHAMMADMD1	10	12	53.72
		HRMUHAMMADMD2	8	11	
		HRMUHAMMADMD3	10	12	
③	KADINR ELOCGR AHAF A MILITBG MD	KADINRELOCGRAHAF A MILITBGMD1	4		
		KADINRELOCGRAHAF A MILITBGMD2	4		
		KADINRELOCGRAHAF A MILITBGMD3	4		
④	PASARW ONOKIT	PASARWONOKITRIMD1	8	11	68.76
		PASARWONOKITRIMD2	8	11	

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
	RIMD	PASARWONOKITRIMD3	8	11	
5	PERUMD ARMOHILLMD	PERUMDARMOHILLMD1	4	10	127.6
		PERUMDARMOHILLMD2	4	10	
		PERUMDARMOHILLMD3	6	11	
6	UWKSURABAYAMD	UWKSURABAYAMD1	8	11	90.36
		UWKSURABAYAMD2	4	9	
		UWKSURABAYAMD3	6	10	
7	YANIGOLFMD	YANIGOLFMD1	6	11	120.68
		YANIGOLFMD2	6	11	
		YANIGOLFMD3	4	10	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					461.12

Tabel 4.85 Solusi Alternatif 2 TRx Upgrading Tahun 2018 Kecamatan Dukuh Pakis

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	BUKITMASMD	BUKITMASMD1	4	8	88.8
		BUKITMASMD2	4	8	
		BUKITMASMD3	4	8	
2	HRMUHAMMADMD	HRMUHAMMADMD1	10	11	30.6
		HRMUHAMMADMD2	8	10	
		HRMUHAMMADMD3	10	11	
3	KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD	KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD1	4	8	88.8
		KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD2	4	8	
		KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD3	4	8	
4	PASARWONOKITRIMD	PASARWONOKITRIMD1	8	11	68.76
		PASARWONOKITRIMD2	8	11	
		PASARWONOKITRIMD3	8	11	
5	PERUMD ARMOHILLMD	PERUMDARMOHILLMD1	4		
		PERUMDARMOHILLMD2	4		
		PERUMDARMOHILLMD3	6		

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
6	UWKSURABAYAMD RABAYAMD	UWKSURABAYAMD1	8	11	90.36
		UWKSURABAYAMD2	4	9	
		UWKSURABAYAMD3	6	10	
7	YANIGOLFMD LFMD	YANIGOLFMD1	6	10	97.68
		YANIGOLFMD2	6	10	
		YANIGOLFMD3	4	9	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					465

Tabel 4.86 Solusi Alternatif 3 TRx Upgrading Tahun 2018 Kecamatan Dukuh Pakis

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	BUKITMASMD ASMD	BUKITMASMD1	4	8	88.8
		BUKITMASMD2	4	8	
		BUKITMASMD3	4	8	
2	HRMUHAMMADMD AMMADMD	HRMUHAMMADMD1	10	12	46.04
		HRMUHAMMADMD2	8	10	
		HRMUHAMMADMD3	10	12	
3	KADINRELOCRAHAFA MILITBGMD AHAFAMILITBGMD	KADINRELOCRAHAFA MILITBGMD1	4	8	88.8
		KADINRELOCRAHAFA MILITBGMD2	4	8	
		KADINRELOCRAHAFA MILITBGMD3	4	8	
4	PASARWONOKITRIMD RIMD	PASARWONOKITRIMD1	8	11	68.76
		PASARWONOKITRIMD2	8	11	
		PASARWONOKITRIMD3	8	11	
5	PERUMDARMOHILLMD ARMOHILLMD	PERUMDARMOHILLMD1	4	9	104.64
		PERUMDARMOHILLMD2	4	9	
		PERUMDARMOHILLMD3	6	10	
6	UWKSURABAYAMD RABAYAMD	UWKSURABAYAMD1	8	10	67.44
		UWKSURABAYAMD2	4	8	
		UWKSURABAYAMD3	6	9	
7	YANIGOLFMD LFMD	YANIGOLFMD1	6		
		YANIGOLFMD2	6		

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
		YANIGOLFMD3	4		
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					464.48

Tabel 4.87 Solusi Alternatif 4 TRx Upgrading Tahun 2018 Kecamatan Dukuh Pakis

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	BUKITM ASMD	BUKITMASMD1	4		
		BUKITMASMD2	4		
		BUKITMASMD3	4		
2	HRMUH AMMAD MD	HRMUHAMMADMD1	10	12	53.72
		HRMUHAMMADMD2	8	11	
		HRMUHAMMADMD3	10	12	
3	KADINRELOC GRAHAFA MILITBGMD	KADINRELOC GRAHAFA MILITBGMD1	4	8	88.8
		KADINRELOC GRAHAFA MILITBGMD2	4	8	
		KADINRELOC GRAHAFA MILITBGMD3	4	8	
4	PASARWONOKIT RIMD	PASARWONOKITRIMD1	8	11	68.76
		PASARWONOKITRIMD2	8	11	
		PASARWONOKITRIMD3	8	11	
5	PERUMD ARMOHILLMD	PERUMDARMOHILLMD1	4	9	104.64
		PERUMDARMOHILLMD2	4	9	
		PERUMDARMOHILLMD3	6	10	
6	UWKSURABAYAMD	UWKSURABAYAMD1	8	10	75.04
		UWKSURABAYAMD2	4	9	
		UWKSURABAYAMD3	6	9	
7	YANIGOLFMD	YANIGOLFMD1	6	9	74.8
		YANIGOLFMD2	6	9	
		YANIGOLFMD3	4	8	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					465.76

Tabel 4.88 Solusi Alternatif 5 TRx Upgrading Tahun 2018 Kecamatan Dukuh Pakis

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	BUKITM ASMD	BUKITMASMD1	4	8	88.8
		BUKITMASMD2	4	8	
		BUKITMASMD3	4	8	
2	HRMUH AMMAD MD	HRMUHAMMADMD1	10	12	46.04
		HRMUHAMMADMD2	8	10	
		HRMUHAMMADMD3	10	12	
3	KADINR ELOCGR AHAF A MILITBG MD	KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD1	4	8	88.8
		KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD2	4	8	
		KADINRELOCGRAHAFA MILITBGMD3	4	8	
4	PASARW ONOKIT RIMD	PASARWONOKITRIMD1	8	10	45.72
		PASARWONOKITRIMD2	8	10	
		PASARWONOKITRIMD3	8	10	
5	PERUMD ARMOHI LLMD	PERUMDARMOHILLMD1	4	8	81.8
		PERUMDARMOHILLMD2	4	8	
		PERUMDARMOHILLMD3	6	9	
6	UWKSU RABAYA MD	UWKSURABAYAMD1	8	10	59.84
		UWKSURABAYAMD2	4	8	
		UWKSURABAYAMD3	6	8	
7	YANIGO LFMD	YANIGOLFMD1	6	8	52.07
		YANIGOLFMD2	6	8	
		YANIGOLFMD3	4	7	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					463.07

Dari kelima solusi alternatif yang ada, berikut adalah Tabel 4.89 yang menjelaskan jumlah penambahan TRx dan sisa kapasitas trafik setelah dilakukan *TRx Upgrading* pada masing-masing solusi alternatif.

Tabel 4.89 Jumlah Penambahan TRx dan Sisa Kapasitas Trafik Tahun 2018 Kecamatan Dukuh Pakis

	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	61	1.27
Alternatif 2	62	5.15
Alternatif 3	62	4.63
Alternatif 4	62	5.91
Alternatif 5	62	3.22

4.14.3. Cluster Surabaya 3

Berikut adalah Tabel 4.90 yang membandingkan antara kapasitas trafik yang tersedia pada saat ini (hingga akhir tahun 2013) dengan trafik optimal yang didapat dari hasil optimasi untuk tahun 2014 hingga 2018 untuk cluster Surabaya 3.

Pada kolom selisih menunjukkan perbedaan antara ketersediaan trafik dan nilai optimalnya.

Tabel 4.90 Perbandingan Trafik yang Tersedia dan Kebutuhan Trafik Cluster Surabaya 3

Tahun	Trafik Tersedia	Trafik Optimal	Selisih
2014	7720.05	6794.95	925.1
2015	7720.05	7955.92	-235.87
2016	7720.05	9116.89	-1396.84
2017	7720.05	10277.86	-2557.81
2018	7720.05	11438.83	-3718.78

Seperti 2 cluster sebelumnya, melalui kolom selisih Tabel 4.90 dapat diketahui bahwa pada tahun 2014 kapasitas trafik yang tersedia masih mampu memenuhi kebutuhan trafik pelanggan. Hal ini karena selisih memiliki nilai positif yang artinya masih terdapat sisa kapasitas trafik yang tidak digunakan.

Namun tidak untuk tahun 2015, kapasitas trafik yang tersedia sudah tidak dapat memenuhi kebutuhan trafik yang ada.

Sehingga dibutuhkan kapasitas trafik tambahan agar dapat memenuhi kebutuhan trafik pelanggan. Hal ini juga terjadi pada tahun 2016, 2017 dan 2018.

Berikut adalah hasil dari optimasi untuk cluster Surabaya 3 yang dibandingkan dengan kapasitas trafik yang tersedia hingga akhir tahun 2013 yang ditunjukkan oleh Tabel 4.91.

Tabel 4.91 Solusi Optimal Trafik yang Dibutuhkan Tiap Variabel di Cluster Surabaya 3

Variabel	Trafik Tersedia	Trafik Optimal				
		2014	2015	2016	2017	2018
y1	478.87	371.64	512.57	678.42	844.27	1010.12
y2	713.06	556.34	746.76	912.61	1078.46	1244.31
y3	1911.65	1733.39	1945.35	2111.20	2277.05	2442.90
y4	1642.66	1527.82	1676.36	1842.21	2008.06	2173.91
y5	1138.21	998.55	1171.91	1337.76	1503.61	1669.46
y6	831.80	729.19	865.50	1031.35	1197.20	1363.05
y7	1003.80	878.02	1037.50	1203.35	1369.20	1535.05
JUMLAH		6794.95	7955.92	9116.89	10277.86	11438.83

Berdasar hasil optimasi yang ditunjukkan Tabel 4.91, terlihat masing-masing variabel pada tahun 2014 memiliki trafik optimal yang lebih kecil dari kapasitas trafik tersedia. Namun untuk tahun 2015, 2016, 2017 dan 2018 nilai trafik optimal masing-masing variabel sudah melebihi kapasitas trafik yang tersedia. Dengan kata lain, kapasitas trafik yang tersedia kini tidak dapat memenuhi kebutuhan trafik pelanggan. Hal ini sesuai dengan penjelasan Tabel 4.90.

Akan tetapi secara keseluruhan hasil optimasi yang dilakukan sepenuhnya dapat memenuhi tujuan optimasi yakni menghasilkan nilai trafik optimal yang harus disediakan di tiap masing-masing area kecamatan yang diwakili oleh variabel agar dapat memenuhi kebutuhan trafik pelanggan.

Pada Tabel 4.91, variabel y_1 pada cluster Surabaya 3 adalah area kecamatan Asemrowo. Di kecamatan Asemrowo tersedia kapasitas trafik sebesar 478.87 erlang. Sedangkan berdasarkan hasil optimasi perusahaan harus menyediakan kapasitas trafik sebesar 371.64 erlang pada tahun 2014. Artinya kebutuhan trafik pelanggan di tahun 2014 masih dapat terpenuhi oleh kapasitas trafik yang tersedia saat ini bahkan masih terdapat sisa trafik sebesar 107.23 erlang.

Namun berbeda dengan tahun 2015 hingga 2018 dimana kapasitas trafik yang tersedia sudah tidak dapat memenuhi kebutuhan trafik pelanggan. Sehingga hasil optimal trafik yang diperoleh masing-masing variabel pasti melebihi kapasitas trafik yang tersedia. Pada tahun 2015 dibutuhkan kapasitas trafik sebesar 512.57 erlang, tahun 2016 dibutuhkan kapasitas trafik sebesar 678.42 erlang, tahun 2017 dibutuhkan kapasitas trafik 844.27 erlang dan tahun 2018 dibutuhkan kapasitas trafik 1010.12 erlang.

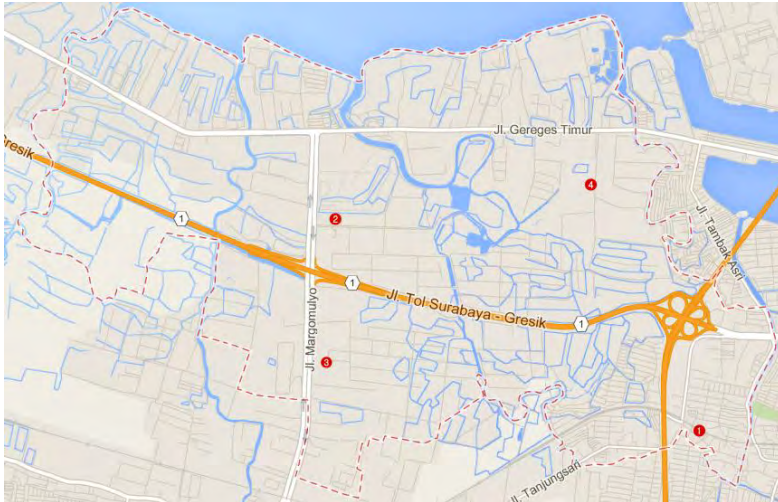
Untuk area kecamatan Asemrowo, selisih kapasitas trafik ditunjukkan pada Tabel 4.92.

Tabel 4.92 Selisih Kapasitas Trafik Kecamatan Asemrowo Tahun 2014-2018

2014	2015	2016	2017	2018
107.23	-33.70	-199.55	-365.40	-531.25

Pada tahun 2014, selisih kapasitas trafik bernilai positif yang artinya kebutuhan trafik pelanggan terpenuhi, dan menyisakan trafik sebesar 107.23 erlang. Sedangkan tahun 2015 selisih kapasitas trafik bernilai negatif yang artinya kebutuhan trafik pelanggan tidak terpenuhi, dan membutuhkan kapasitas trafik tambahan sebesar 33.70 erlang. Begitu pula untuk tahun 2016, 2017 dan 2018 yang mana masing-masing membutuhkan kapasitas trafik tambahan sebesar 199.55 erlang, 365.40 erlang dan 531.25 erlang.

Sama halnya dengan cluster Surabaya 1 dan Surabaya 2, untuk mengatasi kekurangan kapasitas trafik maka dilakukan *TRx Upgrading*. Berikut adalah visualisasi dari pemetaan BTS yang ada di kecamatan Asemrowo ditunjukkan pada Gambar 4.47.



Gambar 4.47 Visualisasi Pemetaan BTS di Kecamatan Asemrowo

Garis putus-putus berwarna merah menunjukkan area kecamatan Asemrowo. Masing-masing simbol angka yang terdapat pada Gambar 4.47 mencerminkan BTS yang berada pada titik tersebut. Tabel 4.93 merupakan keterangan dari visualisasi pemetaan BTS di kecamatan Asemrowo. *TRx Upgrading* hanya dilakukan pada jenis BTS macro DCS dan macro GSM dimana masing-masing memiliki batas maksimal jumlah TRx yang dimiliki. Sehingga *TRx Upgrading* hanya dapat dilakukan pada BTS yang memiliki nilai keterangan berupa tanda centang berwarna hijau (✓).

Tabel 4.93 Keterangan Visualisasi Pemetaan BTS Kecamatan Asemrowo

Simbol	Nama BTS	Jenis	Konfigurasi	Ket.
1	ASEMMULYAMD	Macro DCS	4 / 4 / 4	V
2	STOKALIANAKMD	Macro DCS	10 / 12 / 10	V
	STOKALIANAKMG	Macro GSM	4 / 4 / 4	X
3	TAMBAKMANUKAN MG	Macro GSM	4 / 4 / 4	X
4	KALIANAK2MG	Macro GSM	4 / 4 / 4	X

Dari Tabel 4.93 diketahui bahwa *TRx Upgrading* hanya dapat dilakukan pada 2 BTS jenis macro DCS. Karena banyak kemungkinan untuk dilakukannya *TRx Upgrading*, maka dibuat 5 solusi alternatif yang dapat dilakukan untuk mengatasi kekurangan kapasitas trafik di setiap tahunnya.

TAHUN KE-1

Tidak perlu dilakukan *TRx Upgrading*.

TAHUN KE-2

Tahun ke-2, yakni tahun 2015, kecamatan Asemrowo mengalami kekurangan kapasitas trafik. Sehingga perlu dilakukan *TRx Upgrading*. Pada tahun 2015, kecamatan Asemrowo membutuhkan kapasitas trafik tambahan minimal 33.7 erlang.

Dikarenakan hasil *TRx Upgrading* yang hanya dapat dilakukan pada 2 BTS masih tidak dapat mengatasi kekurangan kapasitas trafik, maka dibutuhkan BTS baru. Melihat tingkat kepadatan di kecamatan Asemrowo yang tidak begitu tinggi, sehingga hal ini masih memungkinkan untuk dibangunnya BTS baru.

Untuk dapat menyediakan kapasitas yang lebih besar, maka dibangun BTS jenis macro DCS pada BTS yang hanya

memiliki BTS macro GSM. Sehingga ada 2 BTS baru jenis macro DCS pada nomor 3 dengan nama TAMBAKMANUKANMD dan nomor 4 KALIANAK2MD.

Berikut adalah 5 solusi alternatif *TRx Upgrading* untuk tahun 2015 kecamatan Asemrowo yang ditunjukkan oleh Tabel 4.94 hingga Tabel 4.98.

Tabel 4.94 Solusi Alternatif 1 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Asemrowo

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	ASEMM ULYAM D	ASEMMULYAMD1	4	5	36.44
		ASEMMULYAMD2	4	6	
		ASEMMULYAMD3	4	6	
2	STOKALIANA KMD	STOKALIANAKMD1	10		
		STOKALIANAKMD2	12		
		STOKALIANAKMD3	10		
3	TAMBAKMANUKANMD	TAMBAKMANUKANMD1	0		
		TAMBAKMANUKANMD2	0		
		TAMBAKMANUKANMD3	0		
4	KALIANAK2MD	KALIANAK2MD1	0		
		KALIANAK2MD2	0		
		KALIANAK2MD3	0		
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					36.44

Tabel 4.95 Solusi Alternatif 2 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Asemrowo

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	ASEMM ULYAM D	ASEMMULYAMD1	4	5	21.72
		ASEMMULYAMD2	4	5	
		ASEMMULYAMD3	4	5	
2	STOKALIANA KMD	STOKALIANAKMD1	10	11	15.36
		STOKALIANAKMD2	12	12	
		STOKALIANAKMD3	10	11	

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
3	TAMBAKMANUKANMD	TAMBAKMANUKANMD1	0		
		TAMBAKMANUKANMD2	0		
		TAMBAKMANUKANMD3	0		
4	KALIANAK2MD	KALIANAK2MD1	0		
		KALIANAK2MD2	0		
		KALIANAK2MD3	0		
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					37.08

Tabel 4.96 Solusi Alternatif 3 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Asemrowo

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	ASEMMULYAMD	ASEMMULYAMD1	4		
		ASEMMULYAMD2	4		
		ASEMMULYAMD3	4		
2	STOKALIANAKMD	STOKALIANAKMD1	10		
		STOKALIANAKMD2	12		
		STOKALIANAKMD3	10		
3	TAMBAKMANUKANMD	TAMBAKMANUKANMD1	0	3	38
		TAMBAKMANUKANMD2	0	3	
		TAMBAKMANUKANMD3	0	2	
4	KALIANAK2MD	KALIANAK2MD1	0		
		KALIANAK2MD2	0		
		KALIANAK2MD3	0		
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					38

Tabel 4.97 Solusi Alternatif 4 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Asemrowo

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	ASEMMULYAMD	ASEMMULYAMD1	4		
		ASEMMULYAMD2	4		

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
	D	ASEMMULYAMD3	4		
2	STOKALIANAKMD	STOKALIANAKMD1	10		
		STOKALIANAKMD2	12		
		STOKALIANAKMD3	10		
3	TAMBAKMANUKANMD	TAMBAKMANUKANMD1	0		
		TAMBAKMANUKANMD2	0		
		TAMBAKMANUKANMD3	0		
4	KALIANAK2MD	KALIANAK2MD1	0	3	38
		KALIANAK2MD2	0	3	
		KALIANAK2MD3	0	2	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					38

Tabel 4.98 Solusi Alternatif 5 TRx Upgrading Tahun 2015 Kecamatan Asemrowo

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	ASEMMULYAMD	ASEMMULYAMD1	4		
		ASEMMULYAMD2	4		
		ASEMMULYAMD3	4		
2	STOKALIANAKMD	STOKALIANAKMD1	10		
		STOKALIANAKMD2	12		
		STOKALIANAKMD3	10		
3	TAMBAKMANUKANMD	TAMBAKMANUKANMD1	0	2	18.68
		TAMBAKMANUKANMD2	0	1	
		TAMBAKMANUKANMD3	0	2	
4	KALIANAK2MD	KALIANAK2MD1	0	2	18.68
		KALIANAK2MD2	0	1	
		KALIANAK2MD3	0	2	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					37.35

Dari kelima solusi alternatif yang ada, berikut adalah Tabel 4.99 yang menjelaskan jumlah penambahan TRx dan sisa kapasitas trafik setelah dilakukan *TRx Upgrading* pada masing-masing solusi alternatif.

Tabel 4.99 Jumlah Penambahan TRx dan Sisa Kapasitas Trafik Tahun 2015 Kecamatan Asemrowo

	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	5	2.74
Alternatif 2	5	3.38
Alternatif 3	8	4.3
Alternatif 4	8	4.3
Alternatif 5	10	3.65

TAHUN KE-3

Tahun ke-3, yakni tahun 2016, kecamatan Asemrowo mengalami kekurangan kapasitas trafik. Sehingga perlu dilakukan *TRx Upgrading*. Pada tahun 2016, kecamatan Asemrowo membutuhkan kapasitas trafik tambahan minimal 199.55 erlang. Berikut adalah 5 solusi alternatif *TRx Upgrading* untuk tahun 2016 kecamatan Asemrowo yang ditunjukkan oleh Tabel 4.100 hingga Tabel 4.104.

Tabel 4.100 Solusi Alternatif 1 TRx Upgrading Tahun 2016 Kecamatan Asemrowo

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	ASEMM ULYAMD	ASEMMULYAMD1	4	12	173
		ASEMMULYAMD2	4	11	
		ASEMMULYAMD3	4	12	
2	STOKALIANAKMD	STOKALIANAKMD1	10	12	30.80
		STOKALIANAKMD2	12	12	
		STOKALIANAKMD3	10	12	
3	TAMBAKMANUKANMD	TAMBAKMANUKANMD1	0		
		TAMBAKMANUKANMD2	0		
		TAMBAKMANUKANMD3	0		
4	KALIANAK2MD	KALIANAK2MD1	0		
		KALIANAK2MD2	0		
		KALIANAK2MD3	0		

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					203.8

Tabel 4.101 Solusi Alternatif 2 TRx Upgrading Tahun 2016 Kecamatan Asemrowo

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	ASEMM ULYAM D	ASEMMULYAMD1	4		
		ASEMMULYAMD2	4		
		ASEMMULYAMD3	4		
2	STOKALIANA KMD	STOKALIANAKMD1	10		
		STOKALIANAKMD2	12		
		STOKALIANAKMD3	10		
3	TAMBAKMANUKANMD	TAMBAKMANUKANMD1	0	10	200.31
		TAMBAKMANUKANMD2	0	10	
		TAMBAKMANUKANMD3	0	10	
4	KALIANAK2MD	KALIANAK2MD1	0		
		KALIANAK2MD2	0		
		KALIANAK2MD3	0		
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					200.31

Tabel 4.102 Solusi Alternatif 3 TRx Upgrading Tahun 2016 Kecamatan Asemrowo

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	ASEMM ULYAM D	ASEMMULYAMD1	4		
		ASEMMULYAMD2	4		
		ASEMMULYAMD3	4		
2	STOKALIANA KMD	STOKALIANAKMD1	10		
		STOKALIANAKMD2	12		
		STOKALIANAKMD3	10		
3	TAMBAKMANUKANMD	TAMBAKMANUKANMD1	0		
		TAMBAKMANUKANMD2	0		
		TAMBAKMANUKANMD3	0		

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
4	KALIA NAK2M D	KALIANAK2MD1	0	10	200.31
		KALIANAK2MD2	0	10	
		KALIANAK2MD3	0	10	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					200.31

Tabel 4.103 Solusi Alternatif 4 TRx Upgrading Tahun 2016 Kecamatan Asemrowo

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	ASEMM ULYAM D	ASEMMULYAMD1	4		
		ASEMMULYAMD2	4		
		ASEMMULYAMD3	4		
2	STOKALIANA KMD	STOKALIANAKMD1	10		
		STOKALIANAKMD2	12		
		STOKALIANAKMD3	10		
3	TAMBAKMANUKANMD	TAMBAKMANUKANMD1	0	6	102.23
		TAMBAKMANUKANMD2	0	5	
		TAMBAKMANUKANMD3	0	6	
4	KALIA NAK2M D	KALIANAK2MD1	0	6	102.23
		KALIANAK2MD2	0	5	
		KALIANAK2MD3	0	6	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					204.46

Tabel 4.104 Solusi Alternatif 5 TRx Upgrading Tahun 2016 Kecamatan Asemrowo

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	ASEMM ULYAM D	ASEMMULYAMD1	4	7	58.74
		ASEMMULYAMD2	4	6	
		ASEMMULYAMD3	4	7	
2	STOKALIANA KMD	STOKALIANAKMD1	10	11	15.36
		STOKALIANAKMD2	12	12	
		STOKALIANAKMD3	10	11	

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
3	TAMBAKMANUKANMD	TAMBAKMANUKANMD1	0	4	65.79
		TAMBAKMANUKANMD2	0	4	
		TAMBAKMANUKANMD3	0	4	
4	KALIANAK2MD	KALIANAK2MD1	0	4	65.79
		KALIANAK2MD2	0	4	
		KALIANAK2MD3	0	4	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					205.68

Dari kelima solusi alternatif yang ada, berikut adalah Tabel 4.105 yang menjelaskan jumlah penambahan TRx dan sisa kapasitas trafik setelah dilakukan *TRx Upgrading* pada masing-masing solusi alternatif.

Tabel 4.105 Jumlah Penambahan TRx dan Sisa Kapasitas Trafik Tahun 2016 Kecamatan Asemrowo

	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	27	4.25
Alternatif 2	30	0.76
Alternatif 3	30	0.76
Alternatif 4	34	4.91
Alternatif 5	34	6.13

TAHUN KE-4

Tahun ke-4, yakni tahun 2017, kecamatan Asemrowo mengalami kekurangan kapasitas trafik. Sehingga perlu dilakukan *TRx Upgrading*. Pada tahun 2017, kecamatan Asemrowo membutuhkan kapasitas trafik tambahan minimal 365.40 erlang. Berikut adalah 5 solusi alternatif *TRx Upgrading* untuk tahun 2017 kecamatan Asemrowo yang ditunjukkan oleh Tabel 4.106 hingga Tabel 4.110.

Tabel 4.106 Solusi Alternatif 1 TRx Upgrading Tahun 2017 Kecamatan Asemrowo

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	ASEMM ULYAM D	ASEMMULYAMD1	4	10	134.52
		ASEMMULYAMD2	4	10	
		ASEMMULYAMD3	4	10	
2	STOKALIANA KMD	STOKALIANAKMD1	10	12	30.8
		STOKALIANAKMD2	12	12	
		STOKALIANAKMD3	10	12	
3	TAMBAKMANUKANMD	TAMBAKMANUKANMD1	0	10	200.31
		TAMBAKMANUKANMD2	0	10	
		TAMBAKMANUKANMD3	0	10	
4	KALIANAK2MD	KALIANAK2MD1	0		
		KALIANAK2MD2	0		
		KALIANAK2MD3	0		
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					365.63

Tabel 4.107 Solusi Alternatif 2 TRx Upgrading Tahun 2017 Kecamatan Asemrowo

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	ASEMM ULYAM D	ASEMMULYAMD1	4	10	134.52
		ASEMMULYAMD2	4	10	
		ASEMMULYAMD3	4	10	
2	STOKALIANA KMD	STOKALIANAKMD1	10	12	30.8
		STOKALIANAKMD2	12	12	
		STOKALIANAKMD3	10	12	
3	TAMBAKMANUKANMD	TAMBAKMANUKANMD1	0		
		TAMBAKMANUKANMD2	0		
		TAMBAKMANUKANMD3	0		
4	KALIANAK2MD	KALIANAK2MD1	0	10	200.31
		KALIANAK2MD2	0	10	
		KALIANAK2MD3	0	10	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					365.63

Tabel 4.108 Solusi Alternatif 3 TRx Upgrading Tahun 2017 Kecamatan Asemrowo

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	ASEMM ULYAM D	ASEMM ULYAM D1	4		
		ASEMM ULYAM D2	4		
		ASEMM ULYAM D3	4		
2	STOKALIANA KMD	STOKALIANA KMD1	10		
		STOKALIANA KMD2	12		
		STOKALIANA KMD3	10		
3	TAMBAKMANUKANMD	TAMBAKMANUKANMD1	0	9	185.03
		TAMBAKMANUKANMD2	0	10	
		TAMBAKMANUKANMD3	0	9	
4	KALIANAK2MD	KALIANAK2MD1	0	9	185.03
		KALIANAK2MD2	0	10	
		KALIANAK2MD3	0	9	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					370.06

Tabel 4.109 Solusi Alternatif 4 TRx Upgrading Tahun 2017 Kecamatan Asemrowo

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	ASEMM ULYAM D	ASEMM ULYAM D1	4	9	104
		ASEMM ULYAM D2	4	8	
		ASEMM ULYAM D3	4	9	
2	STOKALIANA KMD	STOKALIANA KMD1	10		
		STOKALIANA KMD2	12		
		STOKALIANA KMD3	10		
3	TAMBAKMANUKANMD	TAMBAKMANUKANMD1	0	7	132
		TAMBAKMANUKANMD2	0	7	
		TAMBAKMANUKANMD3	0	7	
4	KALIANAK2MD	KALIANAK2MD1	0	7	132
		KALIANAK2MD2	0	7	
		KALIANAK2MD3	0	7	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					368

Tabel 4.110 Solusi Alternatif 5 TRx Upgrading Tahun 2017 Kecamatan Asemrowo

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	ASEMM ULYAMD	ASEMMULYAMD1	4	8	88.8
		ASEMMULYAMD2	4	8	
		ASEMMULYAMD3	4	8	
2	STOKALIANAKMD	STOKALIANAKMD1	10	11	15.36
		STOKALIANAKMD2	12	12	
		STOKALIANAKMD3	10	11	
3	TAMBAKMANUKANMD	TAMBAKMANUKANMD1	0	7	132
		TAMBAKMANUKANMD2	0	7	
		TAMBAKMANUKANMD3	0	7	
4	KALIANAK2MD	KALIANAK2MD1	0	7	132
		KALIANAK2MD2	0	7	
		KALIANAK2MD3	0	7	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					368.16

Dari kelima solusi alternatif yang ada, berikut adalah Tabel 4.111 yang menjelaskan jumlah penambahan TRx dan sisa kapasitas trafik setelah dilakukan *TRx Upgrading* pada masing-masing solusi alternatif.

Tabel 4.111 Jumlah Penambahan TRx dan Sisa Kapasitas Trafik Tahun 2017 Kecamatan Asemrowo

	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	52	0.23
Alternatif 2	52	0.23
Alternatif 3	56	4.66
Alternatif 4	56	2.6
Alternatif 5	56	2.76

TAHUN KE-5

Tahun ke-5, yakni tahun 2018, kecamatan Asemrowo mengalami kekurangan kapasitas trafik. Sehingga perlu dilakukan

TRx Upgrading. Pada tahun 2018, kecamatan Asemrowo membutuhkan kapasitas trafik tambahan minimal 531.25 erlang.

Untuk tahun ke-5 ini, hasil *TRx Upgrading* dari 4 BTS ternyata masih tidak dapat mengatasi kekurangan kapasitas trafik. Sehingga dibutuhkan BTS baru lagi. Pembangunan BTS yang memungkinkan adalah BTS jenis macro GSM pada nomor 1 di ASEMMULYA. Di ASEMMULYA masih terdapat BTS jenis macro DCS, sehingga dapat ditambahkan BTS jenis macro GSM dengan nama ASEMMULYAMG.

Berikut adalah 5 solusi alternatif *TRx Upgrading* untuk tahun 2018 kecamatan Asemrowo yang ditunjukkan oleh Tabel 4.112 hingga 4.116.

Tabel 4.112 Solusi Alternatif 1 TRx Upgrading Tahun 2018 Kecamatan Asemrowo

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	ASEMMULYAMD	ASEMMULYAMD1	8	10	134.52
		ASEMMULYAMD2	8	10	
		ASEMMULYAMD3	8	10	
	ASEMMULYAMG	ASEMMULYAMG1	0		
		ASEMMULYAMG2	0		
		ASEMMULYAMG3	0		
2	STOKALIANAKMD	STOKALIANAKMD1	11		
		STOKALIANAKMD2	12		
		STOKALIANAKMD3	11		
3	TAMBAKMANUKANMD	TAMBAKMANUKANMD1	0	10	200.31
		TAMBAKMANUKANMD2	0	10	
		TAMBAKMANUKANMD3	0	10	
4	KALIANAK2MD	KALIANAK2MD1	0	10	200.31
		KALIANAK2MD2	0	10	
		KALIANAK2MD3	0	10	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					535.14

Tabel 4.113 Solusi Alternatif 2 TRx Upgrading Tahun 2018 Kecamatan Asemrowo

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	ASEMM ULYAM D	ASEMMULYAMD1	8	10	134.52
		ASEMMULYAMD2	8	10	
		ASEMMULYAMD3	8	10	
	ASEMM ULYAM G	ASEMMULYAMG1	0		
		ASEMMULYAMG2	0		
		ASEMMULYAMG3	0		
2	STOKALIANA KMD	STOKALIANAKMD1	11	12	30.8
		STOKALIANAKMD2	12	12	
		STOKALIANAKMD3	11	12	
3	TAMBAKMANUKANMD	TAMBAKMANUKANMD1	0	9	185.03
		TAMBAKMANUKANMD2	0	10	
		TAMBAKMANUKANMD3	0	9	
4	KALIANAK2MD	KALIANAK2MD1	0	9	185.03
		KALIANAK2MD2	0	10	
		KALIANAK2MD3	0	9	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					535.38

Tabel 4.114 Solusi Alternatif 3 TRx Upgrading Tahun 2018 Kecamatan Asemrowo

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	ASEMM ULYAM D	ASEMMULYAMD1	8	12	180.72
		ASEMMULYAMD2	8	12	
		ASEMMULYAMD3	8	12	
	ASEMM ULYAM G	ASEMMULYAMG1	0	4	65.79
		ASEMMULYAMG2	0	4	
		ASEMMULYAMG3	0	4	
2	STOKALIANA KMD	STOKALIANAKMD1	11	12	30.8
		STOKALIANAKMD2	12	12	
		STOKALIANAKMD3	11	12	
3	TAMBAKMANUKANMD	TAMBAKMANUKANMD1	0	7	124.53
		TAMBAKMANUKANMD2	0	6	
		TAMBAKMANUKANMD3	0	7	

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
4	KALIA NAK2M D	KALIANAK2MD1	0	7	132
		KALIANAK2MD2	0	7	
		KALIANAK2MD3	0	7	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					533.84

Tabel 4.115 Solusi Alternatif 4 TRx Upgrading Tahun 2018 Kecamatan Asemrowo

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	ASEMM ULYAM D	ASEMMULYAMD1	8	10	134.52
		ASEMMULYAMD2	8	10	
		ASEMMULYAMD3	8	10	
	ASEMM ULYAM G	ASEMMULYAMG1	0	4	65.79
		ASEMMULYAMG2	0	4	
		ASEMMULYAMG3	0	4	
2	STOKALIANA KMD	STOKALIANAKMD1	11	12	30.8
		STOKALIANAKMD2	12	12	
		STOKALIANAKMD3	11	12	
3	TAMBAKMANUKANMD	TAMBAKMANUKANMD1	0	8	147.06
		TAMBAKMANUKANMD2	0	7	
		TAMBAKMANUKANMD3	0	8	
4	KALIA NAK2M D	KALIANAK2MD1	0	8	154.59
		KALIANAK2MD2	0	8	
		KALIANAK2MD3	0	8	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					532.76

Tabel 4.116 Solusi Alternatif 5 TRx Upgrading Tahun 2018 Kecamatan Asemrowo

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
1	ASEMM ULYAM D	ASEMMULYAMD1	8	12	180.72
		ASEMMULYAMD2	8	12	
		ASEMMULYAMD3	8	12	

Simbol	Nama BTS	Nama Sektor BTS	TRx Saat Ini	TRx Upgrading	
				TRx	Penambahan Kapasitas
	ASEMM ULYAM G	ASEMMULYAMG1	0	2	24.6
		ASEMMULYAMG2	0	2	
		ASEMMULYAMG3	0	2	
2	STOKA LIANA KMD	STOKALIANAKMD1	11	12	30.8
		STOKALIANAKMD2	12	12	
		STOKALIANAKMD3	11	12	
3	TAMBA KMANU KANMD	TAMBAKMANUKANMD1	0	8	147.06
		TAMBAKMANUKANMD2	0	7	
		TAMBAKMANUKANMD3	0	8	
4	KALIA NAK2M D	KALIANAK2MD1	0	8	154.59
		KALIANAK2MD2	0	8	
		KALIANAK2MD3	0	8	
Jumlah Penambahan Kapasitas Trafik					537.77

Dari kelima solusi alternatif yang ada, berikut adalah Tabel 4.117 yang menjelaskan jumlah penambahan TRx dan sisa kapasitas trafik setelah dilakukan *TRx Upgrading* pada masing-masing solusi alternatif.

Tabel 4.117 Jumlah Penambahan TRx dan Sisa Kapasitas Trafik Tahun 2018 Kecamatan Asemrowo

	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	66	3.89
Alternatif 2	64	4.13
Alternatif 3	67	2.59
Alternatif 4	67	1.51
Alternatif 5	67	6.52

BAB V

FASE PEMILIHAN

Pada bab ini dijelaskan analisis terhadap hasil yang diperoleh dari proses implementasi yang telah dibahas pada bab 4. Pada bagian ini terdapat tahap pemilihan solusi alternatif penambahan kapasitas trafik. Pemilihan solusi alternatif ini menggunakan AHP (*Analytic Hierarchy Process*) untuk mendapatkan satu solusi alternatif terpilih.

5.1. Pemilihan Solusi Alternatif Menggunakan AHP

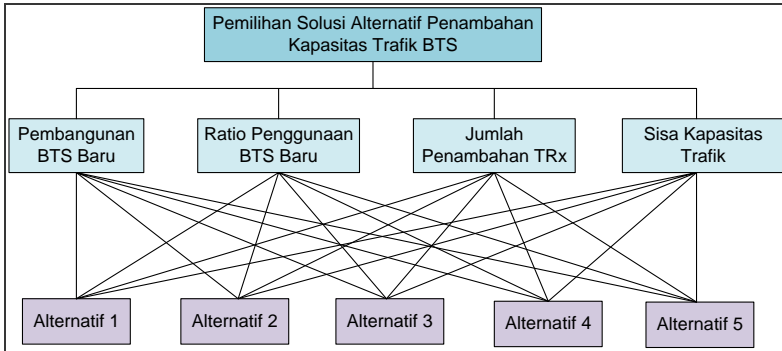
Pemilihan solusi alternatif bertujuan untuk mendapatkan satu solusi alternatif terpilih. Pemilihan menggunakan AHP (*Analytic Hierarchy Process*) sebagai salah satu algoritma pengambilan keputusan untuk permasalahan multikriteria. Permasalahan multikriteria dalam AHP disederhanakan ke dalam bentuk hierarki yang terdiri dari 3 komponen utama, antara lain tujuan atau goal dari pengambilan keputusan, kriteria penilaian dan alternatif pilihan.

Berikut pembahasan pemilihan solusi alternatif untuk masing-masing cluster di setiap tahunnya.

5.1.1. Cluster Surabaya 1

Pada cluster Surabaya 1, area kecamatan Bubutan menjadi salah satu area yang membutuhkan TRx *Upgrading*. Berdasarkan sub-subbab 4.14.1, kecamatan Bubutan mengalami kekurangan kapasitas trafik pada tahun 2015 hingga 2018. Sehingga dibutuhkan penambahan kapasitas trafik dengan cara TRx *Upgrading*. Di masing-masing tahun terdapat 5 solusi alternatif yang dapat dipilih oleh pihak operator. Dengan menggunakan AHP, diharapkan mampu memberikan solusi alternatif terpilih sesuai dengan kebijakan dan pertimbangan pihak operator.

Langkah pertama adalah membuat struktur hierarki. Pada Gambar 5.1 menunjukkan struktur hierarki untuk pemilihan solusi alternatif penambahan kapasitas trafik BTS.



Gambar 5.1 Struktur Hierarki AHP Pemilihan Solusi Alternatif Penambahan Kapasitas Trafik BTS

Terdapat empat jenis kriteria pilihan yaitu pembangunan BTS baru, ratio penggunaan BTS baru, jumlah penambahan TRx dan sisa kapasitas trafik.

Selanjutnya adalah tahap perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) untuk menentukan bobot kriteria. Tahap ini dilakukan berdasarkan preferensi subyektif dari pihak operator (perusahaan). Untuk penilaiannya menggunakan skala perbandingan Saaty seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Skala Perbandingan Saaty

Skala	Definisi
1	<i>Equally preferred</i>
2	<i>Equally to moderately preferred</i>
3	<i>Moderately preferred</i>
4	<i>Moderately to strongly preferred</i>
5	<i>Strongly preferred</i>
6	<i>Strongly to very strongly preferred</i>

7	<i>Very strongly preferred</i>
8	<i>Very to extremely strongly preferred</i>
9	<i>Extremely preferred</i>

Dengan berdasarkan kebijakan dan pertimbangan pihak operator (perusahaan), berikut Tabel 5.2 yang merupakan perbandingan berpasangan dengan skala Saaty untuk mendapatkan bobot kriteria.

Tabel 5.2 Perbandingan Berpasangan dengan Skala Saaty

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Pembangunan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Pembangunan BTS Baru	1	9	9	9
Ratio Pembangunan BTS Baru	0.11	1	3	3
Jumlah Penambahan TRx	0.11	0.33	1	2
Sisa Kapasitas Trafik	0.11	0.33	0.50	1

Kriteria pembangunan BTS baru lebih diutamakan jika tingkat kepadatan wilayah masih rendah. Tingkat kepadatan wilayah sudah dipertimbangkan ketika pembuatan solusi alternatif. Kemudian diikuti oleh ratio pembangunan BTS baru yang mendapatkan skala 3 bila dibandingkan dengan jumlah penambahan TRx dan sisa kapasitas trafik. Untuk jumlah penambahan TRx memang memiliki skala lebih tinggi daripada sisa kapasitas trafik, namun tidak terlalu jauh. Jumlah penambahan TRx mendapat skala 2 bila dibandingkan dengan sisa kapasitas trafik.

Selanjutnya adalah menghitung bobot kriteria. Langkah pertama adalah menjadikan nilai pada perbandingan berpasangan sebagai sebuah matrik, yang disebut dengan matriks A, dan

kemudian menjumlahkan nilai di tiap kolom. Baris kelima adalah hasil penjumlahan nilai kolom seperti yang ditunjukkan Tabel 5.3

Tabel 5.3 Penjumlahan Kolom Matriks

1	9	9	9
0.11	1	3	3
0.11	0.33	1	2
0.11	0.33	0.50	1
1.33	10.67	13.50	15.00

Lakukan normalisasi nilai setiap kolom matrik perbandingan berpasangan dengan membagi setiap nilai pada kolom matrik dengan hasil penjumlahan kolom yang bersesuaian.

Tabel 5.4 Normalisasi Kolom Penjumlahan

0.75	0.84	0.67	0.60
0.08	0.09	0.22	0.20
0.08	0.03	0.07	0.13
0.08	0.03	0.04	0.07
1.00	1.00	1.00	1.00

Selanjutnya hitung nilai rata-rata dari penjumlahan setiap baris matrik. Hasil rata-rata baris nantinya menjadi bobot kriteria. Bobot kriteria ini juga disebut sebagai *eigenvector* (matriks x).

Tabel 5.5 Bobot Kriteria

0.72
0.15
0.08
0.05

Setelah bobot kriteria didapatkan, selanjutnya dilakukan pengecekan Konsistensi Ratio (CR) untuk matrik perbandingan berpasangan. Jika lebih dari 0.1 maka harus dilakukan

perbandingan berpasangan kembali sampai didapat ratio kurang dari atau sama dengan 0.1 (konsisten).

Sebelum menghitung CR, terlebih dulu menghitung CI. Dalam mencari nilai CI membutuhkan nilai λ_{max} .

$$A x = \lambda_{max} x \quad (5.1)$$

Untuk mendapatkan nilai λ_{max} , hitung perkalian matriks perbandingan berpasangan (A) dengan matrik bobot kriteria (x).

Tabel 5.6 Menghitung $\lambda_{max} x$

1	9	9	9	X	0.72	=	3.28	= λ_{max}	0.72
0.11	1	3	3		0.15		0.63		0.15
0.11	0.33	1	2		0.08		0.32		0.08
0.11	0.33	0.50	1		0.05		0.22		0.05
A					x		Ax		x

$$\begin{aligned} \lambda_{max} &= \text{average} (3.28/0.72, 0.63/0.15, 0.32/0.08, 0.22/0.05) \\ &= 4.22 \end{aligned}$$

Setelah mengetahui nilai λ_{max} , selanjutnya hitung nilai nilai CI.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - \text{jumlah kriteria}}{\text{jumlah kriteria} - 1} \quad (5.2)$$

$$CI = \frac{4.22 - 4}{4 - 1}$$

$$CI = \frac{0.22}{3}$$

$$CI = 0.074$$

Selanjutnya mencari nilai CR dengan rumus berikut.

$$CR = \frac{CI}{IR} \quad (5.3)$$

IR adalah *index random consistency*. Nilai IR didapat dengan melihat Tabel 5.7 berdasarkan ukuran matriks. Dalam hal ini ukuran matriks adalah 4. Sehingga mendapatkan indeks random sebesar 0.90.

Tabel 5.7 Index Random Consistency

Ukuran Matriks	Nilai IR
1	0.00
2	0.00
3	0.58
4	0.90
5	1.12
6	1.24
7	1.32
8	1.41
9	1.45
10	1.49
11	1.51
12	1.48
13	1.56
14	1.57
15	1.59

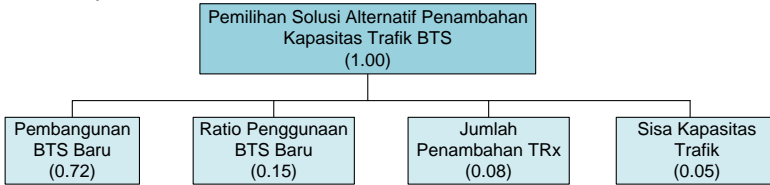
Maka perhitungan CR adalah sebagai berikut.

$$CR = \frac{CI}{IR}$$

$$CR = \frac{0.074}{0.090} = 0.083$$

$$CR = 0.083 (\leq 0.1, \text{ sehingga konsisten})$$

Sehingga struktur hierarki dengan bobot kriteria ditunjukkan pada Gambar 5.2. Bobot kriteria ini akan digunakan untuk seluruh proses pemilihan solusi alternatif di setiap tahunnya.



Gambar 5.2 Struktur Hierarki dengan Bobot Kriteria

Selanjutnya adalah melakukan pemilihan solusi alternatif pada tiap tahun yang mengalami kekurangan kapasitas trafik.

TAHUN KE-1

Tidak mengalami kekurangan kapasitas trafik.

TAHUN KE-2

Pada tahun ke-2 ini terdiri dari lima solusi alternatif dengan empat kriteria. Berikut adalah Tabel 5.8 yang menjelaskan nilai keempat kriteria pada masing-masing solusi alternatif.

Tabel 5.8 Nilai Kriteria Untuk Masing-Masing Solusi Alternatif Tahun Ke-2 Cluster Surabaya 1

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	Tidak	0	21	5.43
Alternatif 2	Tidak	0	21	4.38
Alternatif 3	Tidak	0	21	6.87
Alternatif 4	Tidak	0	21	3.85
Alternatif 5	Tidak	0	21	5.03

Pada kriteria pembangunan BTS baru, jika berisi “Tidak” maka akan bernilai 0. Jika berisi “Ya” maka bernilai 1. Ratio penggunaan BTS baru ada kaitannya dengan kriteria pertama.

Khusus untuk jumlah penambahan TRx, nilainya akan dibalik seperti 21 menjadi 1/21. Hal ini dikarenakan dalam proses pemilihan akan memilih jumlah penambahan TRx terkecil. Jika sudah, maka lakukan normalisasi seperti langkah sebelum-sebelumnya. Begitu pula dengan sisa kapasitas trafik, lakukan normalisasi. Sehingga hasil perhitungan bobot alternatif ditunjukkan oleh Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Bobot Alternatif Tahun Ke-2 Cluster Surabaya 1

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	0	0	0.2	0.212
Alternatif 2	0	0	0.2	0.171
Alternatif 3	0	0	0.2	0.269
Alternatif 4	0	0	0.2	0.151
Alternatif 5	0	0	0.2	0.197

Selanjutnya adalah perangkingan alternatif. Caranya adalah dengan melakukan perkalian matriks antara matriks bobot alternatif dengan matriks bobot kriteria (matriks x) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Perangkingan Alternatif Tahun Ke-2 Cluster Surabaya 1

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik		Bobot Kriteria		
Alternatif 1	0	0	0.2	0.212	x	0.72	0.0277	
Alternatif 2	0	0	0.2	0.171		0.15	0.0255	
Alternatif 3	0	0	0.2	0.269		0.08	0.0308	
Alternatif 4	0	0	0.2	0.151		=	0.05	0.0243
Alternatif 5	0	0	0.2	0.197			0.0268	

Sehingga alternatif 3 menjadi solusi alternatif terpilih karena memiliki nilai tertinggi bila dibandingkan dengan alternatif lainnya.

TAHUN KE-3

Pada tahun ke-3 ini terdiri dari lima solusi alternatif dengan empat kriteria. Berikut adalah Tabel 5.11 yang menjelaskan nilai keempat kriteria pada masing-masing solusi alternatif. Selanjutnya lakukan normalisasi yang hasilnya menjadi bobot alternatif seperti ditunjukkan oleh Tabel 5.12.

Tabel 5.11 Nilai Kriteria Untuk Masing-Masing Solusi Alternatif Tahun Ke-3 Cluster Surabaya 1

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	Tidak	0	43	4.47
Alternatif 2	Tidak	0	43	0.87
Alternatif 3	Tidak	0	43	1.99
Alternatif 4	Tidak	0	43	2.31
Alternatif 5	Tidak	0	43	0.11

Tabel 5.12 Bobot Alternatif Tahun Ke-3 Cluster Surabaya 1

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	0	0	0.2	0.458
Alternatif 2	0	0	0.2	0.089
Alternatif 3	0	0	0.2	0.204
Alternatif 4	0	0	0.2	0.237
Alternatif 5	0	0	0.2	0.011

Selanjutnya adalah perangkingan alternatif. Caranya adalah dengan melakukan perkalian matriks antara matriks bobot alternatif dengan matriks bobot kriteria (matriks x) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.13.

Tabel 5.13 Perangkingan Alternatif Tahun Ke-3 Cluster Surabaya 1

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik		Bobot Kriteria	
Alternatif 1	0	0	0.2	0.458	x	0.72	0.0411
Alternatif 2	0	0	0.2	0.089		0.15	0.0210
Alternatif 3	0	0	0.2	0.204		0.08	0.0272
Alternatif 4	0	0	0.2	0.237		0.05	0.0290
Alternatif 5	0	0	0.2	0.011			0.0167

Sehingga alternatif 1 menjadi solusi alternatif terpilih karena memiliki nilai tertinggi bila dibandingkan dengan alternatif lainnya.

TAHUN KE-4

Pada tahun ke-4 ini terdiri dari lima solusi alternatif dengan empat kriteria. Berikut adalah Tabel 5.14 yang menjelaskan nilai keempat kriteria pada masing-masing solusi alternatif. Selanjutnya lakukan normalisasi yang hasilnya menjadi bobot alternatif seperti ditunjukkan oleh Tabel 5.15.

Tabel 5.14 Nilai Kriteria Untuk Masing-Masing Solusi Alternatif Tahun Ke-4 Cluster Surabaya 1

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	Tidak	0	65	1.94
Alternatif 2	Tidak	0	65	1.94
Alternatif 3	Tidak	0	66	6.74
Alternatif 4	Tidak	0	66	7.14
Alternatif 5	Tidak	0	66	4.78

Tabel 5.15 Bobot Alternatif Tahun Ke-4 Cluster Surabaya 1

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	0	0	0.2	0.086
Alternatif 2	0	0	0.2	0.086
Alternatif 3	0	0	0.2	0.299
Alternatif 4	0	0	0.2	0.317
Alternatif 5	0	0	0.2	0.212

Selanjutnya adalah perangkingan alternatif. Caranya adalah dengan melakukan perkalian matriks antara matriks bobot alternatif dengan matriks bobot kriteria (matriks x) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Perangkingan Alternatif Tahun Ke-4 Cluster Surabaya 1

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik		Bobot Kriteria		
Alternatif 1	0	0	0.2	0.086	x	0.72	0.0209	
Alternatif 2	0	0	0.2	0.086		0.15	0.0209	
Alternatif 3	0	0	0.2	0.299		0.08	0.0323	
Alternatif 4	0	0	0.2	0.317		=	0.05	0.0333
Alternatif 5	0	0	0.2	0.212			0.0276	

Sehingga alternatif 4 menjadi solusi alternatif terpilih karena memiliki nilai tertinggi bila dibandingkan dengan alternatif lainnya.

TAHUN KE-5

Pada tahun ke-5 ini terdiri dari lima solusi alternatif dengan empat kriteria. Berikut adalah Tabel 5.17 yang menjelaskan nilai keempat kriteria pada masing-masing solusi

alternatif. Selanjutnya lakukan normalisasi yang hasilnya menjadi bobot alternatif seperti ditunjukkan oleh Tabel 5.18.

Tabel 5.17 Nilai Kriteria Untuk Masing-Masing Solusi Alternatif Tahun Ke-5 Cluster Surabaya 1

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	Tidak	0	88	4.30
Alternatif 2	Tidak	0	88	5.14
Alternatif 3	Tidak	0	88	6.42
Alternatif 4	Tidak	0	88	6.38
Alternatif 5	Tidak	0	88	3.86

Tabel 5.18 Bobot Alternatif Tahun Ke-5 Cluster Surabaya 1

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	0	0	0.2	0.165
Alternatif 2	0	0	0.2	0.197
Alternatif 3	0	0	0.2	0.246
Alternatif 4	0	0	0.2	0.244
Alternatif 5	0	0	0.2	0.148

Selanjutnya adalah perangkingan alternatif. Caranya adalah dengan melakukan perkalian matriks antara matriks bobot alternatif dengan matriks bobot kriteria (matriks x) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.19.

Tabel 5.19 Perangkingan Alternatif Tahun Ke-5 Cluster Surabaya 1

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik		Bobot Kriteria		
Alternatif 1	0	0	0.2	0.165	x	0.72	=	0.0251
Alternatif 2	0	0	0.2	0.197		0.15		0.0268
Alternatif 3	0	0	0.2	0.246		0.08		0.0295

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik	Bobot Kriteria	
Alternatif 4	0	0	0.2	0.244	0.05	0.0294
Alternatif 5	0	0	0.2	0.148		0.0242

Sehingga alternatif 3 menjadi solusi alternatif terpilih karena memiliki nilai tertinggi bila dibandingkan dengan alternatif lainnya.

5.1.2. Cluster Surabaya 2

Sama halnya dengan cluster Surabaya 1, untuk mengatasi kekurangan kapasitas trafik maka dilakukan *TRx Upgrading*. Terdapat lima solusi alternatif untuk setiap tahun yang mengalami kekurangan kapasitas trafik. Dengan menggunakan bobot kriteria yang sudah dihitung pada subbab 5.1.1, maka selanjutnya menghitung bobot alternatif di tiap tahunnya. Berikut adalah pemilihan solusi alternatif pada tiap tahun yang mengalami kekurangan kapasitas trafik.

TAHUN KE-1

Pada tahun ke-1 ini terdiri dari lima solusi alternatif dengan empat kriteria. Berikut adalah Tabel 5.20 yang menjelaskan nilai keempat kriteria pada masing-masing solusi alternatif. Selanjutnya lakukan normalisasi yang hasilnya menjadi bobot alternatif seperti ditunjukkan oleh Tabel 5.21.

Tabel 5.20 Nilai Kriteria Untuk Masing-Masing Solusi Alternatif Tahun Ke-1 Cluster Surabaya 2

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	Tidak	0	4	7.22
Alternatif 2	Tidak	0	4	7.06

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 3	Tidak	0	4	6.29
Alternatif 4	Tidak	0	4	6.16
Alternatif 5	Tidak	0	4	6.29

Tabel 5.21 Bobot Alternatif Tahun Ke-1 Cluster Surabaya 2

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	0	0	0.2	0.219
Alternatif 2	0	0	0.2	0.214
Alternatif 3	0	0	0.2	0.190
Alternatif 4	0	0	0.2	0.187
Alternatif 5	0	0	0.2	0.190

Selanjutnya adalah perankingan alternatif. Caranya adalah dengan melakukan perkalian matriks antara matriks bobot alternatif dengan matriks bobot kriteria (matriks x) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.22.

Tabel 5.22 Perankingan Alternatif Tahun Ke-1 Cluster Surabaya 2

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik		Bobot Kriteria		
Alternatif 1	0	0	0.2	0.219	x	0.72	0.0280	
Alternatif 2	0	0	0.2	0.214		0.15	0.0278	
Alternatif 3	0	0	0.2	0.190		0.08	0.0265	
Alternatif 4	0	0	0.2	0.187		=	0.05	0.0263
Alternatif 5	0	0	0.2	0.190			0.0265	

Sehingga alternatif 1 menjadi solusi alternatif terpilih karena memiliki nilai tertinggi bila dibandingkan dengan alternatif lainnya.

TAHUN KE-2

Pada tahun ke-2 ini terdiri dari lima solusi alternatif dengan empat kriteria. Berikut adalah Tabel 5.23 yang menjelaskan nilai keempat kriteria pada masing-masing solusi alternatif. Selanjutnya lakukan normalisasi yang hasilnya menjadi bobot alternatif seperti ditunjukkan oleh Tabel 5.24.

Tabel 5.23 Nilai Kriteria Untuk Masing-Masing Solusi Alternatif Tahun Ke-2 Cluster Surabaya 2

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	Tidak	0	18	5.50
Alternatif 2	Tidak	0	18	3.50
Alternatif 3	Tidak	0	18	3.50
Alternatif 4	Tidak	0	18	1.78
Alternatif 5	Tidak	0	18	2.08

Tabel 5.24 Bobot Alternatif Tahun Ke-2 Cluster Surabaya 2

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	0	0	0.2	0.336
Alternatif 2	0	0	0.2	0.214
Alternatif 3	0	0	0.2	0.214
Alternatif 4	0	0	0.2	0.109
Alternatif 5	0	0	0.2	0.127

Selanjutnya adalah perbandingan alternatif. Caranya adalah dengan melakukan perkalian matriks antara matriks bobot alternatif dengan matriks bobot kriteria (matriks x) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.25.

Tabel 5.25 Perangkingan Alternatif Tahun Ke-2 Cluster Surabaya 2

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik		Bobot Kriteria	
Alternatif 1	0	0	0.2	0.336	x	0.72	0.0344
Alternatif 2	0	0	0.2	0.214		0.15	0.0278
Alternatif 3	0	0	0.2	0.214		0.08	0.0278
Alternatif 4	0	0	0.2	0.109		0.05	0.0220
Alternatif 5	0	0	0.2	0.127			0.0230

Sehingga alternatif 1 menjadi solusi alternatif terpilih karena memiliki nilai tertinggi bila dibandingkan dengan alternatif lainnya.

TAHUN KE-3

Pada tahun ke-3 ini terdiri dari lima solusi alternatif dengan empat kriteria. Berikut adalah Tabel 5.26 yang menjelaskan nilai keempat kriteria pada masing-masing solusi alternatif. Selanjutnya lakukan normalisasi yang hasilnya menjadi bobot alternatif seperti ditunjukkan oleh Tabel 5.27.

Tabel 5.26 Nilai Kriteria Untuk Masing-Masing Solusi Alternatif Tahun Ke-3 Cluster Surabaya 2

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	Tidak	0	32	2.10
Alternatif 2	Tidak	0	32	0.34
Alternatif 3	Tidak	0	33	5.74
Alternatif 4	Tidak	0	33	5.71
Alternatif 5	Tidak	0	33	4.14

Tabel 5.27 Bobot Alternatif Tahun Ke-3 Cluster Surabaya 2

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	0	0	0.2	0.116
Alternatif 2	0	0	0.2	0.019
Alternatif 3	0	0	0.2	0.318
Alternatif 4	0	0	0.2	0.317
Alternatif 5	0	0	0.2	0.230

Selanjutnya adalah perangkingan alternatif. Caranya adalah dengan melakukan perkalian matriks antara matriks bobot alternatif dengan matriks bobot kriteria (matriks x) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.28.

Tabel 5.28 Perangkingan Alternatif Tahun Ke-3 Cluster Surabaya 2

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik		Bobot Kriteria		
Alternatif 1	0	0	0.2	0.116	x	0.72	0.0228	
Alternatif 2	0	0	0.2	0.019		0.15	0.0174	
Alternatif 3	0	0	0.2	0.318		0.08	0.0333	
Alternatif 4	0	0	0.2	0.317		=	0.05	0.0332
Alternatif 5	0	0	0.2	0.230			0.0284	

Sehingga alternatif 3 menjadi solusi alternatif terpilih karena memiliki nilai tertinggi bila dibandingkan dengan alternatif lainnya.

TAHUN KE-4

Pada tahun ke-4 ini terdiri dari lima solusi alternatif dengan empat kriteria. Berikut adalah Tabel 5.29 yang menjelaskan nilai keempat kriteria pada masing-masing solusi

alternatif. Selanjutnya lakukan normalisasi yang hasilnya menjadi bobot alternatif seperti ditunjukkan oleh Tabel 5.30.

Tabel 5.29 Nilai Kriteria Untuk Masing-Masing Solusi Alternatif Tahun Ke-4 Cluster Surabaya 2

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	Tidak	0	47	5.95
Alternatif 2	Tidak	0	47	5.23
Alternatif 3	Tidak	0	47	1.31
Alternatif 4	Tidak	0	47	2.95
Alternatif 5	Tidak	0	48	6.55

Tabel 5.30 Bobot Alternatif Tahun Ke-4 Cluster Surabaya 2

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	0	0	0.2	0.271
Alternatif 2	0	0	0.2	0.238
Alternatif 3	0	0	0.2	0.060
Alternatif 4	0	0	0.2	0.134
Alternatif 5	0	0	0.2	0.298

Selanjutnya adalah perangkingan alternatif. Caranya adalah dengan melakukan perkalian matriks antara matriks bobot alternatif dengan matriks bobot kriteria (matriks x) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.31.

Tabel 5.31 Perangkingan Alternatif Tahun Ke-4 Cluster Surabaya 2

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik		Bobot Kriteria		
Alternatif 1	0	0	0.2	0.271	x	0.72	=	0.0309
Alternatif 2	0	0	0.2	0.238		0.15		0.0291
Alternatif 3	0	0	0.2	0.060		0.08		0.0194

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik	Bobot Kriteria	
Alternatif 4	0	0	0.2	0.134	0.05	0.0235
Alternatif 5	0	0	0.2	0.298		0.0321

Sehingga alternatif 5 menjadi solusi alternatif terpilih karena memiliki nilai tertinggi bila dibandingkan dengan alternatif lainnya.

TAHUN KE-5

Pada tahun ke-5 ini terdiri dari lima solusi alternatif dengan empat kriteria. Berikut adalah Tabel 5.32 yang menjelaskan nilai keempat kriteria pada masing-masing solusi alternatif. Selanjutnya lakukan normalisasi yang hasilnya menjadi bobot alternatif seperti ditunjukkan oleh Tabel 5.33.

Tabel 5.32 Nilai Kriteria Untuk Masing-Masing Solusi Alternatif Tahun Ke-5 Cluster Surabaya 2

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	Tidak	0	61	1.27
Alternatif 2	Tidak	0	62	5.15
Alternatif 3	Tidak	0	62	4.63
Alternatif 4	Tidak	0	62	5.91
Alternatif 5	Tidak	0	62	3.22

Tabel 5.33 Bobot Alternatif Tahun Ke-5 Cluster Surabaya 2

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	0	0	0.2	0.063
Alternatif 2	0	0	0.2	0.255
Alternatif 3	0	0	0.2	0.229

Alternatif 4	0	0	0.2	0.293
Alternatif 5	0	0	0.2	0.160

Selanjutnya adalah perangkingan alternatif. Caranya adalah dengan melakukan perkalian matriks antara matriks bobot alternatif dengan matriks bobot kriteria (matriks x) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.34.

Tabel 5.34 Perangkingan Alternatif Tahun Ke-5 Cluster Surabaya 2

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik		Bobot Kriteria	
Alternatif 1	0	0	0.2	0.063	x	0.72	0.0197
Alternatif 2	0	0	0.2	0.255		0.15	0.0300
Alternatif 3	0	0	0.2	0.229		0.08	0.0286
Alternatif 4	0	0	0.2	0.293		0.05	0.0320
Alternatif 5	0	0	0.2	0.160			0.0248

Sehingga alternatif 4 menjadi solusi alternatif terpilih karena memiliki nilai tertinggi bila dibandingkan dengan alternatif lainnya.

5.1.3. Cluster Surabaya 3

Sama halnya dengan cluster Surabaya 1 dan Surabaya 2, akan terdapat lima solusi alternatif terkait penambahan kapasitas trafik. Namun pada cluster Surabaya 3, penambahan kapasitas trafik tidak hanya dengan TRx Upgrading namun juga dengan pembangunan BTS baru.

Kecamatan Asemrowo yang menjadi contoh area yang mengalami kekurangan kapasitas di cluster Surabaya 3, ternyata tingkat kepadatannya masih rendah. Hal ini menjadi alasan dalam pembuatan solusi alternatif terdapat pembangunan BTS baru. Alasan lainnya adalah terbatasnya BTS yang mampu dilakukan

TRx *Upgrading*. Meski sudah dilakukan TRx *Upgrading* hingga kemampuan maksimal BTS, namun masih terjadi kekurangan kapasitas trafik. Sehingga dibutuhkan BTS baru untuk mengatasi kekurangan kapasitas trafik.

Dengan menggunakan bobot kriteria yang sudah dihitung pada subbab 5.1.1, maka selanjutnya menghitung bobot alternatif di tiap tahunnya. Berikut adalah pemilihan solusi alternatif pada tiap tahun yang mengalami kekurangan kapasitas trafik.

TAHUN KE-1

Tidak mengalami kekurangan kapasitas trafik

TAHUN KE-2

Pada tahun ke-2 ini terdiri dari lima solusi alternatif dengan empat kriteria. Berikut adalah Tabel 5.35 yang menjelaskan nilai keempat kriteria pada masing-masing solusi alternatif. Kriteria pembangunan BTS baru yang berisi “Tidak” akan diberi nilai 0, jika “Ya” maka akan bernilai 1.

Sedangkan ratio penggunaan BTS baru artinya pada solusi alternatif tersebut menggunakan berapa BTS baru dari jumlah BTS baru yang mampu dibangun. Pada kasus ini, BTS baru yang mampu dibangun sejumlah dua.

Selanjutnya lakukan normalisasi yang hasilnya menjadi bobot alternatif seperti ditunjukkan oleh Tabel 5.36.

Tabel 5.35 Nilai Kriteria Untuk Masing-Masing Solusi Alternatif Tahun Ke-2 Cluster Surabaya 3

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	Tidak	0	5	2.74
Alternatif 2	Tidak	0	5	3.38
Alternatif 3	Ya	0.5	8	4.30
Alternatif 4	Ya	0.5	8	4.30
Alternatif 5	Ya	1	10	3.65

Tabel 5.36 Bobot Alternatif Tahun Ke-2 Cluster Surabaya 3

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	0	0	0.27	0.149
Alternatif 2	0	0	0.27	0.184
Alternatif 3	0.33	0.25	0.17	0.234
Alternatif 4	0.33	0.25	0.17	0.234
Alternatif 5	0.33	0.5	0.13	0.199

Selanjutnya adalah perangkingan alternatif. Caranya adalah dengan melakukan perkalian matriks antara matriks bobot alternatif dengan matriks bobot kriteria (matriks x) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.37.

Tabel 5.37 Perangkingan Alternatif Tahun Ke-2 Cluster Surabaya 3

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik		Bobot Kriteria	
Alternatif 1	0	0	0.27	0.149	x	0.72	0.0296
Alternatif 2	0	0	0.27	0.184		0.15	0.0315
Alternatif 3	0.33	0.25	0.17	0.234		0.08	0.3020
Alternatif 4	0.33	0.25	0.17	0.234		=	0.3020
Alternatif 5	0.33	0.5	0.13	0.199			0.05

Sehingga alternatif 5 menjadi solusi alternatif terpilih karena memiliki nilai tertinggi bila dibandingkan dengan alternatif lainnya.

TAHUN KE-3

Pada tahun ke-3 ini terdiri dari lima solusi alternatif dengan empat kriteria. Berikut adalah Tabel 5.38 yang menjelaskan nilai keempat kriteria pada masing-masing solusi

alternatif. Selanjutnya lakukan normalisasi yang hasilnya menjadi bobot alternatif seperti ditunjukkan oleh Tabel 5.39.

Tabel 5.38 Nilai Kriteria Untuk Masing-Masing Solusi Alternatif Tahun Ke-3 Cluster Surabaya 3

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	Tidak	0	27	4.25
Alternatif 2	Ya	0.5	30	0.76
Alternatif 3	Ya	0.5	30	0.76
Alternatif 4	Ya	1	34	4.91
Alternatif 5	Ya	1	34	6.13

Tabel 5.39 Bobot Alternatif Tahun Ke-3 Cluster Surabaya 3

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	0	0	0.2	0.253
Alternatif 2	0.25	0.17	0.2	0.045
Alternatif 3	0.25	0.17	0.2	0.045
Alternatif 4	0.25	0.33	0.2	0.292
Alternatif 5	0.25	0.33	0.2	0.365

Selanjutnya adalah perangkingan alternatif. Caranya adalah dengan melakukan perkalian matriks antara matriks bobot alternatif dengan matriks bobot kriteria (matriks x) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.40.

Tabel 5.40 Perangkingan Alternatif Tahun Ke-3 Cluster Surabaya 3

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik	x	Bobot Kriteria	=
Alternatif 1	0	0	0.2	0.253			
Alternatif 2	0.25	0.17	0.2	0.045	0.15	0.2227	

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik	Bobot Kriteria	
Alternatif 3	0.25	0.17	0.2	0.045	0.08	0.2227
Alternatif 4	0.25	0.33	0.2	0.292	0.05	0.2592
Alternatif 5	0.25	0.33	0.2	0.365		0.2632

Sehingga alternatif 5 menjadi solusi alternatif terpilih karena memiliki nilai tertinggi bila dibandingkan dengan alternatif lainnya.

TAHUN KE-4

Pada tahun ke-4 ini terdiri dari lima solusi alternatif dengan empat kriteria. Berikut adalah Tabel 5.41 yang menjelaskan nilai keempat kriteria pada masing-masing solusi alternatif. Selanjutnya lakukan normalisasi yang hasilnya menjadi bobot alternatif seperti ditunjukkan oleh Tabel 5.42.

Tabel 5.41 Nilai Kriteria Untuk Masing-Masing Solusi Alternatif Tahun Ke-4 Cluster Surabaya 3

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	Ya	0.5	52	0.23
Alternatif 2	Ya	0.5	52	0.23
Alternatif 3	Ya	1	56	4.66
Alternatif 4	Ya	1	56	2.60
Alternatif 5	Ya	1	56	2.76

Tabel 5.42 Bobot Alternatif Tahun Ke-4 Cluster Surabaya 3

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	0.2	0.13	0.2	0.022
Alternatif 2	0.2	0.13	0.2	0.022

Alternatif 3	0.2	0.25	0.2	0.445
Alternatif 4	0.2	0.25	0.2	0.248
Alternatif 5	0.2	0.25	0.2	0.263

Selanjutnya adalah perbandingan alternatif. Caranya adalah dengan melakukan perkalian matriks antara matriks bobot alternatif dengan matriks bobot kriteria (matriks x) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.43.

Tabel 5.43 Perbandingan Alternatif Tahun Ke-4 Cluster Surabaya 3

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik		Bobot Kriteria		
Alternatif 1	0.2	0.13	0.2	0.022	x	0.72	0.1798	
Alternatif 2	0.2	0.13	0.2	0.022		0.15	0.1798	
Alternatif 3	0.2	0.25	0.2	0.445		0.08	0.2204	
Alternatif 4	0.2	0.25	0.2	0.248		=	0.05	0.2096
Alternatif 5	0.2	0.25	0.2	0.263			0.2105	

Sehingga alternatif 5 menjadi solusi alternatif terpilih karena memiliki nilai tertinggi bila dibandingkan dengan alternatif lainnya.

TAHUN KE-5

Pada tahun ke-5 ini terdiri dari lima solusi alternatif dengan empat kriteria. Berikut adalah Tabel 5.44 yang menjelaskan nilai keempat kriteria pada masing-masing solusi alternatif. Selanjutnya lakukan normalisasi yang hasilnya menjadi bobot alternatif seperti ditunjukkan oleh Tabel 5.45.

Tabel 5.44 Nilai Kriteria Untuk Masing-Masing Solusi Alternatif Tahun Ke-5 Cluster Surabaya 3

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	Ya	0.67	66	3.89
Alternatif 2	Ya	0.67	64	4.13
Alternatif 3	Ya	1	67	2.59
Alternatif 4	Ya	1	67	1.51
Alternatif 5	Ya	1	67	6.52

Tabel 5.45 Bobot Alternatif Tahun Ke-5 Cluster Surabaya 3

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik
Alternatif 1	0.2	0.15	0.2	0.209
Alternatif 2	0.2	0.15	0.2	0.222
Alternatif 3	0.2	0.23	0.2	0.139
Alternatif 4	0.2	0.23	0.2	0.081
Alternatif 5	0.2	0.23	0.2	0.350

Selanjutnya adalah perangkingan alternatif. Caranya adalah dengan melakukan perkalian matriks antara matriks bobot alternatif dengan matriks bobot kriteria (matriks x) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.46.

Tabel 5.46 Perangkingan Alternatif Tahun Ke-5 Cluster Surabaya 3

	Pembangunan BTS Baru	Ratio Penggunaan BTS Baru	Jumlah Penambahan TRx	Sisa Kapasitas Trafik		Bobot Kriteria	
Alternatif 1	0.2	0.15	0.2	0.209	x	0.72	0.1936
Alternatif 2	0.2	0.15	0.2	0.222		0.15	0.1948
Alternatif 3	0.2	0.23	0.2	0.139		0.08	0.2011
Alternatif 4	0.2	0.23	0.2	0.081		=	0.1979
Alternatif 5	0.2	0.23	0.2	0.350			0.05

Sehingga alternatif 5 menjadi solusi alternatif terpilih karena memiliki nilai tertinggi bila dibandingkan dengan alternatif lainnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB VI PENUTUP

Pada bab ini dibahas mengenai kesimpulan dari semua proses yang telah dilakukan dan saran yang dapat diberikan untuk pengembangan yang lebih baik.

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan proses-proses yang telah dilakukan dalam pengerjaan tugas akhir ini maka ada beberapa kesimpulan yang dapat diambil, diantaranya adalah :

1. a) Peramalan pelanggan pada tiga cluster menggunakan metode *Triple Exponential Smoothing (Winter)* mampu menjadi input data dalam mengestimasi jumlah trafik pelanggan dengan nilai *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)* untuk masing-masing cluster Surabaya 1, Surabaya 2 dan Surabaya 3 sebesar 4.335 %, 3.475 % dan 4.283 %.
- b) Ketiga model peramalan tersebut memiliki kinerja yang sangat bagus karena MAPE kurang dari 10 %.
2. a) Metode *goal programming* mampu menjadi metode penyelesaian untuk kasus multi tujuan, yang mana dalam tugas akhir ini terkait pengoptimalan kapasitas trafik di wilayah Surabaya.
- b) Proses validasi model menggunakan perangkat lunak QM menunjukkan nilai $E2$ (*Error Variance*) sebesar 3.58 %. Hal tersebut menunjukkan bahwa model sudah valid karena nilai $E2$ kurang dari 30%.
- c) Hasil optimasi dengan menggunakan model *goal programming* didapatkan nilai kapasitas trafik optimal untuk setiap area kecamatan di masing-masing cluster.
- d) Dengan adanya nilai kapasitas trafik optimal, pihak operator dapat mengetahui kekurangan kapasitas trafik di suatu area kecamatan. Untuk mengatasi kekurangan

kapasitas trafik, pihak operator dapat melakukan *TRx Upgrading* maupun pembangunan BTS baru.

- e) Terdapat 5 solusi alternatif terkait *TRx Upgrading* maupun pembangunan BTS baru di setiap tahunnya untuk mengatasi kekurangan kapasitas trafik. Hal yang dipertimbangkan dalam *TRx Upgrading* adalah jumlah TRx saat ini, kedekatan BTS dengan BTS lainnya dan penyeimbangan jumlah TRx antar sektor. Sedangkan pembangunan BTS baru hendak dilakukan jika seluruh BTS di area tertentu telah dilakukan TRx *Upgrading* hingga batas maksimal namun masih belum mampu mengatasi masalah kekurangan kapasitas trafik serta jika tingkat kepadatan di area tertentu masih rendah.
- f) Pemilihan solusi alternatif penambahan kapasitas trafik menggunakan AHP (*Analytic Hierarchy Process*) untuk menemukan solusi alternatif terpilih yang memiliki nilai tertinggi.

6.2. Saran

Dari pengerjaan tugas akhir ini terdapat hal-hal yang dapat diperbaiki lagi. Untuk pengembangan yang lebih baik lagi, pada optimasi perencanaan pembangunan BTS dapat ditambahkan faktor lainnya, seperti memperhatikan kondisi geografis dan faktor biaya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, D. R., Sweeney, D. J., & Williams, T. A. (2003). *An Introduction To Management Science Quantitive Approaches To Decision Making*. United States: South-Western.
- Chopra, S., & Meindl, P. (2007). *Supply Chain Management*. New Jersey: Pearson Education
- Dean, B. V., Yu, Y.M., & Schniederjans, M. J. (1990). *A Goal Programming Approach to Production Planning for Flexible Manufacturing System*. *Journal of Engineering and Technology Management*, vol. 6, pp 207-220.
- Deng, Y. & Zhou, J. (2011). *Architectures and Optimization Methods of Flash Memory based Storage Systems*. *Journal of Systems Architecture*, vol. 57, pp. 214-227
- Gaynor, P. E. Dan Kirkpatrick R. C. (1994). *Introduction to Time Series Modelling and Forcasting ini Business and Economic*. Singapura: Mc. Graw Hill.
- Hakim, M. F. (2012). *Optimasi Perencanaan Jumlah Base Transceiver Station (BTS) dan Kapasitas Trafik BTS Menggunakan Pendekatan Goal Programming pada Sistem Telekomunikasi Seluler Berbasis GSM*. Jurusan Sistem Informasi ITS, Surabaya.
- Hanke, J.E., Wichern, D.W., Reitsch, A.G. (2003). *Peramalan Bisnis*. Jakarta: PT. Prenhallindo.
- Hyndman, Rob J., Makridakis, S.G., Wheelwright, S.C. (1998). *Forecasting: Methods and Applications*, 3rd ed. New York: Wiley.
- Jones, D., & Tamiz, M. (2010). *Practical Goal Programming*. New York: Springer.

- Leung, S. C. H & Chan, S. S. W. (2009). *A Goal Programming Model for Aggregate Production Planning with Resource Utilization Constraint*. *Computer & Industrial Engineering*, vol. 56, pp 1053-1064.
- Leung, S. C. & Ng, W. L. (2007). *A Goal Programming Model for Production Planning of Perishable Products with Postponement*. *Computers & Industrial Engineering*, vol. 53, pp 531-541.
- Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & McGee, V. E. (1983). *Forecasting: Methods and Applications*, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons
- Mirsha, Ajay R. (2004). *Fundamentals of Cellular Network Planning & Optimisation*. John Wiley & Sons.
- Mufti, Nachwan A. (2003). *Dasar Perencanaan Sel, Modul 10 EE 4712 Sistem Komunikasi Bergerak*. Diakses 22 Oktober 2013. Dari <http://www.scribd.com/doc/49903463/Cell-Planning>
- Mulyono, S. (2000). *Peramalan Bisnis dan Ekonometrika*. Edisi ke-1, Badan Penerbit Fakultas Ekonomi Yogyakarta. Yogyakarta.
- Mustaziri. (2012). *Sistem Pakar Fuzzy untuk Optimasi Penggunaan Bandwidth Jaringan Komputer*. Magister Sistem Informasi Universitas Diponegoro, Semarang.
- Papandreou, V., & Shang, Z. (2008). *A multi-criteria optimisation approach for the design of sustainable utility systems*. *Computers & Chemical Engineering*, vol. 32, pp 1589-1602.
- Pramsistya, Yustaf. (2010). *Optimasi Penempatan BTS dengan Menggunakan Algoritma Genetika*. Jurusan Matematika ITS, Surabaya.

- Redl, Siegmund M., Weber, Mathias K., Oliphant, Malcolm W. (1998). *GSM and Personal Communications Handbook*. London: Artech House.
- Susanti, Rossy. (2012). *Optimasi Perencanaan Produksi untuk Produk Pesanan pada Perusahaan Pestisida Menggunakan Metode Goal Programming*. Jurusan Matematika ITS, Surabaya.
- Sustika, Rika. (2010). *Analisis Aspek-Aspek Perencanaan BTS pada Sistem Telekomunikasi Seluler Berbasis CDMA*, Inkom, vol 1, pp 31.
- Taufiq, Agus. (2002). *Traffic Dimensioning BSS GSM 900/1800 PT. Telkomsel untuk MSC Medan Tahun 2002* [pdf]. Diakses 20 Oktober 2013. Dari <http://eprints.undip.ac.id/25759/>
- Taylor, Bernard W, Keown, Arthur J. (1982). *An Integer Goal Programming Model for Solving The Capital Allocation Problem if Metropolitan Mass Transportation Agencies*, Transpn, vol 17A, no. 5, pp 375-383.
- Turban, E., Aronson, J.E., Liang, T. P., & Sharda, R. (2007). *Decision Support and Business Intelligence Systems*, 8th ed. New Jersey: Pearson Education.
- Walpole, R. E., & Myers, R. H. (1989). *Probability and Statistics for Engineers and Scientists*, 4th ed. New York: Macmillan Publishing Co., Inc.

Halaman ini sengaja dikosongkan

RIWAYAT PENULIS



Penulis dilahirkan di Gresik, 22 Oktober 1991, anak ke-3 dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SD Negeri Sidokumpul 6 Gresik, SMP Negeri 1 Gresik, dan SMA Negeri 1 Gresik.

Pada tahun 2010, Penulis mengikuti Program Kemitraan dan Mandiri dan diterima di jurusan Sistem Informasi FTIF - Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang merupakan pilihan pertama penulis. Di jurusan tersebut penulis terdaftar dengan NRP 5210100053.

Di Jurusan Sistem Informasi ini penulis mengambil bidang minat *Decision Support System and Business Intelligence*. Selama menempuh pendidikan S1, penulis juga menjadi asisten dosen, asisten praktikum dan grader untuk mata kuliah Matematika Diskrit, Pengantar Sistem Informasi, Kalkulus dan Aljabar Linear, Statistik, Manajemen Sains, Manajemen Sains Lanjut dan Sistem Pendukung Keputusan. Penulis juga menjadi asisten laboratorium *Decision Support System and Business Intelligence*.

Selain itu, penulis juga mengikuti organisasi mahasiswa, yaitu Himpunan Mahasiswa Sistem Informasi dan Kajian Islam Sistem Informasi. Pada tahun kedua penulis menjadi staff Departemen Riset dan Teknologi HMSI dan Koordinator Putri Divisi Kajian Departemen Syi'ar KISI.

Penulis juga menjadi penerima Djarum Beasiswa Plus 2012/2013 dan menjadi Beswan Djarum 28. Penulis juga mendapat penghargaan sebagai Mahasiswa Berprestasi Jurusan Sistem Informasi tahun 2014. Penulis dapat dihubungi melalui email miyaoctovianti@gmail.com untuk keperluan penelitian.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN A LAPORAN PENELITIAN TUGAS AKHIR

Kepada:

PT. Telekomunikasi Selular
Kantor Area III Jawa Bali Nusra
Bagian ICT Network Management Jawa Timur
TTC Gayungan - Surabaya

Dari:

Miya Octovianti

Subjek:

Hasil Optimasi Perencanaan Kapasitas Trafik *Base Transceiver Station* (BTS) dengan Pendekatan Cluster Wilayah

Saya telah melakukan penelitian terkait optimasi perencanaan kapasitas trafik *Base Transceiver Station* (BTS) untuk 5 tahun mendatang. Optimasi ini menggunakan pendekatan cluster wilayah, dimana wilayah Surabaya terbagi menjadi 3 cluster, antara lain cluster Surabaya 1, cluster Surabaya 2 dan cluster Surabaya 3.

Cluster Surabaya 1 terdiri dari 15 kecamatan yang berada di wilayah Surabaya Utara, Surabaya Timur dan Surabaya Pusat. Cluster Surabaya 2 terdiri dari 6 kecamatan yang berada di wilayah Surabaya

Selatan. Sedangkan cluster Surabaya 3 terdiri dari 7 kecamatan yang berada di wilayah Surabaya Barat. Berikut adalah Tabel A.1 yang menjelaskan cluster, wilayah dan kecamatan di Surabaya.

Tabel A.1 Daftar Cluster, Wilayah dan Kecamatan di Surabaya

Cluster	Wilayah	Kecamatan	
Surabaya 1	Surabaya Utara Surabaya Timur Surabaya Pusat	Bubutan Genteng Gubeng Gunung Anyar Kenjeran Krembangan Mulyorejo Pabean Cantian	Rungkut Semampir Simokerto Sukolilo Tambaksari Tegal Sari Tenggilis Mejoyo
Surabaya 2	Surabaya Selatan	Dukuh Pakis Gayungan Jambangan	Karang Pilang Wonocolo Wonokromo
Surabaya 3	Surabaya Barat	Asemrowo Benowo Lakar Santri Sawahan	Sukomanunggal Tandes Wiyung

Proses optimasi melibatkan beberapa data antara lain:

- Data BTS se-Surabaya hingga tahun 2013
- Data jumlah pelanggan tahun 2011-2013

Sebelum dilakukan optimasi, dibutuhkan peramalan pelanggan 5 tahun mendatang. Peramalan pelanggan menggunakan metode *Triple Exponential Smoothing (Winter)*. Hal ini dikarenakan adanya pola trend dan seasonal pada data pelanggan.

Selanjutnya proses optimasi menggunakan model *goal programming*. Hal ini dikarenakan *goal programming* mampu menyelesaikan kasus dengan multi tujuan. Proses optimasi diselesaikan menggunakan program komputer dan dilakukan untuk masing-masing cluster yang ada.

Cluster Surabaya 1

Hingga akhir tahun 2013, trafik yang tersedia di wilayah cluster Surabaya 1 adalah sebesar 19965.96 erlang. Sedangkan kebutuhan trafik untuk 5 tahun mendatang selalu mengalami peningkatan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel A.2.

Tabel A.2 Perbandingan Trafik yang Tersedia dan Kebutuhan Trafik Cluster Surabaya 1

Tahun	Trafik Tersedia	Kebutuhan Trafik
2014	19965.96	19719.37
2015	19965.96	22260.45
2016	19965.96	24801.53
2017	19965.96	27342.62
2018	19965.96	29883.70

Dari Tabel A.2 dapat diketahui bahwa pada tahun 2014 kapasitas trafik yang tersedia masih mampu memenuhi kebutuhan trafik pelanggan. Namun tidak untuk tahun 2015, kapasitas trafik yang tersedia sudah tidak dapat memenuhi kebutuhan trafik yang ada. Sehingga dibutuhkan kapasitas trafik tambahan agar dapat memenuhi kebutuhan trafik pelanggan. Hal ini juga terjadi pada tahun 2016, 2017 dan 2018.

Berikut adalah hasil dari optimasi untuk cluster Surabaya 1 yang dibandingkan dengan kapasitas trafik yang tersedia hingga akhir tahun 2013 yang ditunjukkan oleh Tabel A.3.

Tabel A.3 Hasil Optimasi Cluster Surabaya 1

Kecamatan	Trafik Tersedia	Trafik Optimal				
		2014	2015	2016	2017	2018
Bubutan	1157.04	1143.66	1310.01	1479.41	1648.82	1818.22

Kecamatan	Trafik Tersedia	Trafik Optimal				
		2014	2015	2016	2017	2018
Genteng	1169.22	1152.05	1322.19	1491.59	1661.00	1830.40
Gubeng	1883.77	1867.51	2036.74	2206.14	2375.55	2544.95
Gunung Anyar	917.74	904.40	1070.71	1240.11	1409.52	1578.92
Kenjeran	1377.49	1361.88	1530.46	1699.86	1869.27	2038.67
Krembangan	1210.55	1185.40	1363.52	1532.92	1702.33	1871.73
Mulyorejo	1761.36	1745.18	1914.33	2083.73	2253.14	2422.54
Pabean Cantian	2171.07	2155.31	2324.04	2493.44	2662.85	2832.25
Rungkut	1166.51	1151.40	1319.48	1488.88	1658.29	1827.69
Semampir	681.93	663.50	834.90	1004.30	1173.71	1343.11
Simokerto	666.43	651.16	819.40	988.80	1158.21	1327.61
Sukolilo	2391.55	2374.84	2544.52	2713.92	2883.33	3052.73
Tambaksari	1379.29	1363.02	1532.26	1701.66	1871.07	2040.47
Tegal Sari	1153.11	1138.59	1306.08	1475.48	1644.89	1814.29
Tenggilis Mejoyo	878.90	861.45	1031.87	1201.27	1370.68	1540.08
JUMLAH		19719.37	22260.45	24801.53	27342.62	29883.70

Cluster Surabaya 2

Hingga akhir tahun 2013, trafik yang tersedia di wilayah cluster Surabaya 2 adalah sebesar 6565.38 erlang. Sedangkan kebutuhan trafik untuk 5 tahun mendatang selalu mengalami peningkatan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel A.4.

Tabel A.4 Perbandingan Trafik yang Tersedia dan Kebutuhan Trafik Cluster Surabaya 2

Tahun	Trafik Tersedia	Kebutuhan Trafik
2014	6565.38	6705.65
2015	6565.38	7360.36
2016	6565.38	8015.07
2017	6565.38	8669.78
2018	6565.38	9324.49

Dari Tabel A.4 dapat diketahui bahwa pada tahun 2014 hingga 2018, kapasitas trafik yang tersedia sudah tidak dapat memenuhi kebutuhan trafik yang ada. Sehingga dibutuhkan kapasitas trafik tambahan agar dapat memenuhi kebutuhan trafik pelanggan.

Berikut adalah hasil dari optimasi untuk cluster Surabaya 2 yang dibandingkan dengan kapasitas trafik yang tersedia hingga akhir tahun 2013 yang ditunjukkan oleh Tabel A.5.

Tabel A.5 Hasil Optimasi Cluster Surabaya 2

Kecamatan	Trafik Tersedia	Trafik Optimal				
		2014	2015	2016	2017	2018
Dukuh Pakis	1175.95	1199.33	1308.45	1417.57	1526.68	1635.80
Gayungan	1582.59	1605.97	1715.09	1824.21	1933.32	2042.44
Jambangan	549.33	572.71	681.83	790.95	900.06	1009.18
Karang Pilang	869.78	893.16	1002.28	1111.40	1220.51	1329.63
Wonocolo	1099.07	1122.45	1231.57	1340.69	1449.80	1558.92
Wonokromo	1288.66	1312.04	1421.16	1530.28	1639.39	1748.51
JUMLAH		6705.65	7360.36	8015.07	8669.78	9324.49

Cluster Surabaya 3

Hingga akhir tahun 2013, trafik yang tersedia di wilayah cluster Surabaya 3 adalah sebesar 7720.05 erlang. Sedangkan kebutuhan trafik untuk 5 tahun mendatang selalu mengalami peningkatan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel A.6.

Tabel A.6 Perbandingan Trafik yang Tersedia dan Kebutuhan Trafik Cluster Surabaya 3

Tahun	Trafik Tersedia	Kebutuhan Trafik
2014	7720.05	6794.95
2015	7720.05	7955.92

Tahun	Trafik Tersedia	Kebutuhan Trafik
2016	7720.05	9116.89
2017	7720.05	10277.86
2018	7720.05	11438.83

Dari Tabel A.6 dapat diketahui bahwa pada tahun 2014 kapasitas trafik yang tersedia masih mampu memenuhi kebutuhan trafik pelanggan. Namun tidak untuk tahun 2015, kapasitas trafik yang tersedia sudah tidak dapat memenuhi kebutuhan trafik yang ada. Sehingga dibutuhkan kapasitas trafik tambahan agar dapat memenuhi kebutuhan trafik pelanggan. Hal ini juga terjadi pada tahun 2016, 2017 dan 2018.

Berikut adalah hasil dari optimasi untuk cluster Surabaya 3 yang dibandingkan dengan kapasitas trafik yang tersedia hingga akhir tahun 2013 yang ditunjukkan oleh Tabel A.7.

Tabel A.7 Hasil Optimasi Cluster Surabaya 3

Variabel	Trafik Tersedia	Trafik Optimal				
		2014	2015	2016	2017	2018
Asemrowo	478.87	371.64	512.57	678.42	844.27	1010.12
Benowo	713.06	556.34	746.76	912.61	1078.46	1244.31
Lakar Santri	1911.65	1733.39	1945.35	2111.20	2277.05	2442.90
Sawahan	1642.66	1527.82	1676.36	1842.21	2008.06	2173.91

Variabel	Trafik Tersedia	Trafik Optimal				
		2014	2015	2016	2017	2018
Sukomanunggal	1138.21	998.55	1171.91	1337.76	1503.61	1669.46
Tandes	831.80	729.19	865.50	1031.35	1197.20	1363.05
Wiyung	1003.80	878.02	1037.50	1203.35	1369.20	1535.05
JUMLAH		6794.95	7955.92	9116.89	10277.86	11438.83

Halaman ini sengaja dikosongkan