

# Optimasi Perencanaan Jumlah *Base Transceiver Station* (BTS) dan Kapasitas Trafik BTS Menggunakan Pendekatan *Goal Programming* pada Sistem Telekomunikasi Seluler Berbasis GSM

M. Fajrul Hakim, Wiwik Anggraeni dan Apol Pribadi

Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

*E-mail:* wiwik@its-sby.edu

**Abstrak**—Jumlah pengguna telepon seluler GSM telah mencapai 229.4 juta pada tahun 2011. Hal ini menyebabkan operator seluler GSM harus bisa memenuhi kebutuhan trafik pengguna. Pemenuhan kebutuhan jaringan dilakukan dengan membangun infrastruktur jaringan, salah satunya adalah BTS. BTS biasanya dibangun untuk dapat menampung trafik pengguna selama beberapa tahun ke depan. Perencanaan pembangunan BTS diusahakan membutuhkan seminimal mungkin perangkat keras jaringan tetapi dapat memenuhi semaksimal mungkin kapasitas trafik yang ada. Untuk melaksanakan perencanaan tersebut dibutuhkan optimasi jumlah dan trafik BTS dalam satu wilayah. Optimasi tersebut mencakup dua fungsi tujuan. Salah satu metode optimasi yang mampu menangani kasus multi tujuan adalah metode *goal programming*. Tugas akhir ini bertujuan untuk menentukan kapasitas trafik yang bisa menampung semua permintaan trafik dari pengguna telepon seluler dan menentukan kapasitas total trafik BTS yang tidak melebihi total kapasitas yang dimiliki masing-masing BTS. Dalam pengerjaan tugas akhir ini, permintaan trafik diramalkan selama 10 tahun mendatang. Hasil peramalan digunakan sebagai batasan dari fungsi tujuan. Kemudian model optimasi dibuat dalam bentuk program linear, lalu diubah sesuai metode *goal programming*. Model yang terbentuk diselesaikan menggunakan program komputer. Dari hasil penelitian dan perhitungan diperoleh bahwa metode *goal programming* dapat dijadikan sebagai metode untuk menyelesaikan multi tujuan. Dari hasil optimasi model *goal programming* didapatkan jumlah trafik atau jumlah sektor BTS yang harus disediakan setiap area kecamatan. Trafik yang didapatkan pada solusi optimal lebih kecil dari jumlah trafik pada data kapasitas trafik yang tersedia, sehingga jumlah sektor BTS dapat diminimasi. Sehingga sisa dari sektor BTS yang tidak digunakan dapat disewakan ke operator lain.

**Kata Kunci**—BTS, trafik, peramalan, optimasi, *goal programming*.

## I. PENDAHULUAN

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*).

Menurut *SM Research & Development of Service & Product* Perkembangan telepon seluler GSM saat ini sudah mencapai 229.4 juta pengguna hingga tahun 2011. Hal ini tentu saja memerlukan tersedianya infrastruktur jaringan yang mampu melayani pelanggan dengan kualitas yang baik dan memuaskan.

Telepon seluler akan terhubung dengan BTS (*Base Transfer Station*) dalam satu wilayah sel. Dalam satu wilayah sel terdapat beberapa BTS yang melayani jumlah trafik yang ada. 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 jumlah perangkat keras jaringan (BTS) dalam satu wilayah sel.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Pramsistya, didapatkan jumlah BTS dapat diminimasi dari jumlah yang sebenarnya, sehingga dapat mengoptimalkan jumlah BTS yang ada dengan menggunakan algoritma genetika [1]. Namun penelitian ini hanya mencakup satu tujuan saja yakni optimasi jumlah BTS. 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 [2]. 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 [3].

Dalam tugas akhir ini, menentukan kapasitas trafik yang bisa menampung semua permintaan trafik dari pengguna telepon seluler dan menentukan kapasitas total trafik BTS yang tidak melebihi total kapasitas yang dimiliki masing-masing BTS. Proses optimasi dilakukan menggunakan metode *goal programming* yang telah banyak diterapkan dalam penelitian-penelitian terdahulu sebagai solusi pemecahan masalah *multi objective*.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Konsep GSM

Pada tahun 1982 sebuah grup komunitas telekomunikasi di Eropa (CEPT) membuat standardisasi telepon seluler yang disebut *Global system for mobile communication* (GSM) [4]. 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.

Tiap sel memiliki 1 BTS dengan sejumlah *transceiver* (TRx). Sekelompok BTS dikontrol oleh 1 BSC. 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 [5]. 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 SDCC (*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.

B. Trafik GSM

Trafik adalah perpindahan suatu benda dari suatu tempat ke tempat yang lain [6]. Trafik dalam seluler didefinisikan sebagai kumpulan panggilan telepon bergerak melalui suatu grup kanal dengan memandang durasi dan jumlah panggilan. Secara matematis dirumuskan seperti persamaan 1.

$$E = \lambda \times t_h \text{ Erlang} \tag{1}$$

Dimana :

- $E$  : Intensitas trafik (*erlang*)
- $\lambda$  : *call arrival rate* (*call/hour*)
- $t_h$  : *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).

Operator tidak hanya memastikan berapa kapasitas TRx yang dibutuhkan pada keadaan trafik normal tetapi juga cukup fleksibel untuk mengakomodasi lonjakan trafik pada jam sibuk. Untuk melakukan itu ada konsep yang dikenal sebagai *Grade of Service* (GOS) atau kelas layanan [7]. GOS menentukan berapa banyak potensial trafik pelanggan yang tidak bisa diakomodasi per seratus pelanggan.

Ukuran sel yang dirancang harus mampu melayani sejumlah user yang diprediksikan pada suatu daerah (*traffic demand*) [6]. *Traffic demand* selalu dihitung sampai beberapa tahun kedepan (5 - 10 tahun) untuk mengamankan investasi

dan tergantung juga dari prospek bisnis, efisiensi berkaitan dengan laju perkembangan teknologi. Persamaan 2 merupakan rumus untuk menghitung *traffic demand* ( $A_{TOT}$ ):

$$A_{TOT} = \text{Jumlah estimasi user} \times \text{trafik rata - rata per user} \tag{2}$$

C. Peramalan Menggunakan Double Exponential Smoothing

Metode *double exponential smoothing* digunakan ketika data menunjukkan adanya *trend*. Metode *double exponential smoothing* ini biasanya lebih tepat untuk meramalkan data yang mengalami *trend* kenaikan. Faktor *trend* menggunakan perubahan nilai aktual untuk memodifikasi *trend* peramalan dari periode sebelumnya. Untuk menghilangkan pengaruh *level* dan *trend* data peramalan maka dibutuhkan data pada periode sebelumnya. *Level* adalah estimasi yang dimuluskan dari nilai data pada akhir masing-masing periode. *Trend* adalah estimasi yang dihaluskan dari pertumbuhan rata-rata pada akhir masing-masing periode [8]. Rumus untuk *double exponential smoothing* seperti pada persamaan 3, 4 dan 5.

$$S_t = \gamma * Y_t + (1-\gamma) * (S_{t-1} + b_{t-1}) \tag{3}$$

$$b_t = \delta * (S_t - S_{t-1}) + (1-\delta) * b_{t-1} \tag{4}$$

$$F_{t+m} = S_t + b_{tm} \tag{5}$$

Dimana :

- $S_t$  : Peramalan untuk periode t.
- $Y_t + (1-\gamma)$  : Nilai actual *time series*.
- $b_t$  : *trend* pada periode ke-t
- $\gamma$  : parameter pertama perataan antara nol dan satu
- $\delta$  : parameter kedua, untuk pemulusan *trend*
- $F_{t+m}$  : hasil peramalan ke-m
- $m$  : jumlah periode ke depan yang diramalkan

Pengukuran *error* hasil peramalan digunakan untuk mengetahui tingkat keakuratan dari hasil peramalan. MAPE merupakan ukuran ketepatan relatif yang digunakan untuk mengetahui persentase *error* hasil ramalan. Semakin kecil nilai MAPE, maka peramalan tersebut semakin akurat. Suatu model mempunyai kinerja yang sangat bagus jika mempunyai nilai MAPE di bawah 10% dan mempunyai kinerja bagus jika nilai MAPE diantara 10% dan 20% [9]. Persamaan 6 digunakan untuk menghitung nilai MAPE.

$$MAPE = \sum_{i=1}^n \frac{|PE_i|}{n} \tag{6}$$

Dimana

- $X_t$  = data histori/data aktual pada periode ke-t
- $F_t$  = data hasil ramalan pada periode ke-t
- $n$  = jumlah data yang digunakan
- $t$  = periode ke-1

D. Program Linier

Pemrograman Linier disingkat PL merupakan metode matematik dalam mengalokasikan sumber daya yang terbatas untuk mencapai suatu tujuan seperti memaksimalkan keuntungan dan meminimumkan biaya [3].

Langkah pertama pada penerapan teknik riset operasi adalah perumusan model, yaitu membuat peralihan dari realita ke model kuantitatif. Model program linier mempunyai tiga unsur utama, yaitu variabel keputusan yang mempengaruhi

nilai tujuan yang hendak dicapai, fungsi tujuan yang dimaksimumkan atau diminimumkan terhadap kendala yang ada [10], fungsi kendala berupa pembatas, syarat, atau keharusan.

Bentuk umum model matematis dari program linier seperti pada persamaan 7 berikut [11]:

$$\text{Optimumkan } Z = \sum_{j=1}^m C_j X_j, \forall j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

Fungsi Kendala :

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \forall j = 1, 2, \dots, m \text{ dan } x \geq 0$$

Atau

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i, \forall j = 1, 2, \dots, m \text{ dan } x \leq 0$$

Dengan:

$c_j$  : koefisien dari fungsi tujuan

$a_{ij}$  : koefisien variabel desain

$x_j$  : variabel desain

$b_i$  : target atau tujuan

### E. Goal Programming

*Goal programming* adalah sebuah perluasan teknik program linier yang mempertimbangkan lebih dari satu tujuan dalam model yang dibentuk [12]. *Goal programming* sangat cocok digunakan untuk masalah-masalah multi tujuan karena melalui variabel deviasinya, *goal programming* secara otomatis menangkap informasi tentang pencapaian relatif dari tujuan-tujuan yang ada [13]. Pada formulasi model yang akan dibentuk dengan *goal programming* akan ditemui variabel deviasi pada fungsi kendala dan fungsi tujuan [11]. Variabel deviasional berfungsi untuk menampung deviasi hasil terhadap sasaran yang dikehendaki terbagi menjadi dua yaitu:

1. Variabel deviasional untuk menampung deviasi di bawah sasaran yang dikehendaki. Sasaran itu tercermin pada nilai pada ruas kanan suatu kendala sasaran. Dalam hal ini akan dinotasikan sebagai  $DB_i$  sehingga menjadi seperti pada persamaan 8 dan 9:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_{ij} = b_i - DB_i \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_{ij} + DB_i = b_i \quad (9)$$

Di mana,

$i = 1, 2, \dots, m$

$j = 1, 2, \dots, n$

$a, b = \text{Konstanta}$

$X = \text{Variabel keputusan}$

$DB_i = \text{Variabel Deviasi Bawah}$

Sehingga  $DB_i$  akan selalu mempunyai koefisien  $+1$  pada setiap kendala sasaran.

2. Variabel deviasional untuk menampung deviasi di atas sasaran. Dengan kata lain, variabel deviasional ini berfungsi untuk menampung deviasi positif. Dalam hal ini akan dinotasikan sebagai  $DA_i$  sehingga menjadi seperti pada persamaan 10 dan 11:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_{ij} = b_i + DA_i \quad (10)$$

Atau

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_{ij} - DA_i = b_i \quad (11)$$

Dimana

$DA_i = \text{Variabel Deviasional Atas}$

Sehingga  $DA_i$  akan selalu mempunyai koefisien  $-1$  pada setiap kendala sasaran. Secara matematis, bentuk umum kendala sasaran itu seperti pada persamaan 12 dan 13 :

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_{ij} = b_i + DA_i - DB_i \quad (11)$$

atau

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_{ij} - DA_i + DB_i = b_i \quad (12)$$

Dari persamaan di atas kita mengetahui bahwa sasaran yang telah ditetapkan akan tercapai jika variabel deviasional  $DA_i$  dan  $DB_i$  bernilai nol. Oleh karena itu,  $DA_i$  dan  $DB_i$  harus diminimumkan di dalam fungsi tujuan; sehingga fungsi tujuan model goal programming menjadi persamaan 13:

$$\text{Minimumkan } \sum_{i=1}^n DB_i + DA_i \quad (13)$$

## III. IMPLEMENTASI DAN UJI COBA

### A. Menghitung Trafik BTS yang Disediakan

Untuk mengetahui trafik yang dimiliki tiap BTS di wilayah kecamatan di Surabaya maka harus diketahui jumlah kanal atau saluran yang terdapat di BTS tersebut. BTS tersebut menggunakan pengaturan 4/4/4 yang artinya 1 sektor BTS tersebut memiliki 4 TRx (*Tranceiver* atau *Receiver*). Sedangkan 1 TRx setara dengan 8 kanal atau saluran. Dalam 1 sektor BTS 2 kanal akan digunakan sebagai *signalling* yakni 1 kanal SDCC, 1 kanal BCCH dan sisanya digunakan untuk saluran pembicaraan. Jadi dalam 1 sektor BTS terdapat  $4 \times 8 - 2 = 30$  kanal

Secara normal 30 kanal BTS tersebut dapat menampung 30 *erlang* trafik yang akan masuk 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 kasus ini nilai GOS adalah sebesar 2%. Untuk menentukan trafik yang dimiliki tiap sektor di BTS, bisa digunakan 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. Untuk nilai GOS sebesar 2% dan jumlah kanal sebanyak 30, jumlah trafik yang disediakan adalah 21.93 *Erlang*. Jadi dapat dihitung kapasitas trafik yang dimiliki BTS per area kecamatan di Surabaya.

Hasil perhitungan mengenai data BTS dan kapasitas trafiknya yang ada di 31 area kecamatan di Surabaya dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1.  
Data BTS per-Area Kecamatan Beserta Trafiknya

Kecamatan	Jumlah Sektor	Kapasitas Trafik (E)	Trafik dg GOS 2% (E)
Asemrowo	6	180	131.58
Benowo	12	360	263.16
Bubutan	36	1080	789.48
Bulak	21	630	460.53
Dukuh Pakis	44	1320	964.92
Gayungan	46	1380	1008.78
Genteng	55	1650	1206.15
Gubeng	65	1950	1425.45
Gunung Anyar	25	750	548.25
Karang Pilang	23	690	504.39
Kenjeran	16	480	350.88
Krembangan	32	960	701.76
Lakarsantri	46	1380	1008.78
Mulyorejo	42	1260	921.06
Ngagel	3	90	65.79
Pabean	51	1530	1118.43
Pakal	9	270	197.37
Rungkut	33	990	723.69
Sambikerep	3	90	65.79
Sawahan	64	1920	1403.52
Semampir	12	360	263.16
Simokerto	26	780	570.18
Sukohilo	58	1740	1271.94
Sukomanunggal	38	1140	833.34
Tambaksari	43	1290	942.99
Tandes	20	600	438.6
Tegal Sari	37	1110	811.41
Tenggilis Mejoyo	29	870	635.97
Wiyung	28	840	614.04
Wonocolo	24	720	526.32
Wonokromo	35	1050	767.55

B. Peramalan Menggunakan Double Exponential Smoothing

Dalam tahap penentuan trafik BTS selama 10 tahun mendatang, didapat data histori penjualan kartu telkomsel selama 4 tahun ke belakang, yakni mulai dari tahun 2007 - 2010. Kemudian dari data itu akan diramalkan menggunakan metode *double exponential smoothing*. Penghitungan peramalan menggunakan rumus pada persamaan 3, 4, dan 5. Langkah pertama dalam menghitung peramalan dengan metode ini adalah dengan menentukan nilai awal dari *level* ( $L_0$ ) dan *trend* ( $T_0$ ). Nilai ini didapatkan dari hasil regresi linear jumlah pelanggan dengan periode waktunya. Langkah selanjutnya adalah dengan menentukan nilai  $L_t$  dan  $T_t$ . Nilai  $L_t$  didapat dengan menggunakan persamaan 3, sedangkan  $T_t$  dengan menggunakan persamaan 4. Sebelumnya harus ditentukan nilai koefisien *alpha* dan *beta*. Untuk mendapatkan nilai hasil ramalan, nilai dari *level* dan *trend* dijumlahkan atau didapatkan dengan menggunakan persamaan 5.

Setelah peramalan dilakukan, selanjutnya akan dilakukan penghitungan nilai *error*. Hasil peramalan yang diambil adalah yang mempunyai nilai terkecil. Pada Tabel 2 merupakan hasil peramalan yang akan menjadi batasan pada model *goal programming*.

Tabel 2.  
Hasil Peramalan Jumlah Permintaan Trafik

Tahun	Hasil Peramalan Pengguna	Trafik Demand
2012	338398	17597
2013	354768	18448
2014	371139	19299
2015	387509	20150
2016	403879	21002
2017	420249	21853
2018	436619	22704
2019	452990	23555
2020	469360	24407
2021	485730	25258

C. Pemodelan Sesuai Goal Programming

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

- *Goal 1*: Kapasitas trafik bisa menampung semua permintaan trafik dari pengguna telepon seluler.
- *Goal 2*: Kapasitas total trafik BTS tidak melebihi total kapasitas yang dimiliki masing-masing BTS.

Variabel keputusan yang akan digunakan adalah jumlah trafik yang tersedia pada masing-masing wilayah kecamatan. Terdapat 31 kecamatan di Surabaya, jadi terdapat 31 variabel keputusan. Variabel keputusan tersebut dinotasikan sebagai  $y_1$  sampai dengan  $y_{31}$ .

Batasan-batasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Batasan Kapasitas trafik yang harus disediakan
- Batasan kapasitas trafik maksimal yang dimiliki
- Batasan Kapasitas Trafik per Area Kecamatan
- Batasan kapasitas minimal penggunaan BTS per pengguna
- Batasan Variabel Deviasi

Dengan kendala, masing-masing BTS mempunyai trafik maksimal. Berikut merupakan persamaan model yang sudah diubah ke dalam bentuk *goal programming*.

Fungsi Tujuan menjadi :

Goal 1 :

$$\text{Minimasi } DB_1$$

Goal 2 :

$$\text{Minimasi } DA_1$$

Sehingga fungsi tujuan menjadi:

$$\text{Minimasi } DB_1 + DA_1$$

Dengan Batasan ;

Batasan Kapasitas trafik yang harus disediakan, dimodelkan

pada persamaan:

$$\begin{aligned}
 & \text{Batasan Kapasitas} : y_5 + y_6 + y_7 + y_8 + y_9 + y_{10} + y_{11} + y_{12} + y_{13} + y_{14} + y_{15} + y_{16} + y_{17} + y_{18} + y_{19} + y_{20} + y_{21} + y_{22} + y_{23} + y_{24} + y_{25} + y_{26} + y_{27} + y_{28} + y_{29} + y_{30} + y_{31} + DB_1 \geq 175 \quad (97)
 \end{aligned}$$

Batasan kapasitas trafik maksimal yang dimiliki, dimodelkan pada persamaan:

$$\begin{aligned}
 &+ y_5^1 + y_6^1 + y_7^1 + y_8^1 + y_9^1 + y_{10}^1 + y_{11}^1 + y_{12}^1 \\
 &+ y_{13}^1 + y_{14}^1 + y_{15}^1 + y_{16}^1 + y_{17}^1 + y_{18}^1 + y_{19}^1 \\
 &+ y_{20}^1 + y_{21}^1 + y_{22}^1 + y_{23}^1 + y_{24}^1 + y_{25}^1 + y_{26}^1 \\
 &+ y_{27}^1 + y_{28}^1 + y_{29}^1 + y_{30}^1 + y_{31}^1 - DA_1 \\
 &\leq 21535.26
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

**Batasan Kapasitas Trafik per Area Kecamatan**

Kecamatan	Aktual	Optimal
Asemrowo	131.58	701.76
Benowo	263.16	1008.78
Bubutan	789.48	921.06
Bulak	460.53	65.79
Dukuh Pakis	964.92	1118.43
Gayungan	1008.78	197.37
Genteng	1206.15	723.69
Gubeng	1425.45	65.79
Gunung Anyar	548.25	1403.52
Karang Pilang	504.39	263.16
Kenjeran	350.88	570.18
Krembangan		
Lakarsantri		1271.94
Mulyorejo		833.34
Ngagel		942.99
Pabelan		438.6
Pakal		811.41
Rungkut		635.97
Sambikerep		614.04
Sawahan		526.32
Semampir		767.55
Simokerto		
Sukolilo		
Sukomanunggal		
Tambaksari		
Tandes		
Tegal Sari		
Tenggiling Mejoyo		
Wiyung		
Wonocolo		
Wonokromo		

**Batasan kapasitas minimal penggunaan BTS per pengguna**

$y_1$	0.052	0.052
$y_2$	0.052	0.052
$y_3$	0.052	0.052
$y_4$	0.052	0.052
$y_5$	0.052	0.052
$y_6$	0.052	0.052
$y_7$	0.052	0.052
$y_8$	0.052	0.052
$y_9$	0.052	0.052
$y_{10}$	0.052	0.052
$y_{11}$	0.052	0.052
$y_{12}$	0.052	0.052
$y_{13}$	0.052	0.052
$y_{14}$	0.052	0.052
$y_{15}$	0.052	0.052
$y_{16}$	0.052	0.052
$y_{17}$	0.052	0.052
$y_{18}$	0.052	0.052
$y_{19}$	0.052	0.052
$y_{20}$	0.052	0.052
$y_{21}$	0.052	0.052
$y_{22}$	0.052	0.052
$y_{23}$	0.052	0.052
$y_{24}$	0.052	0.052
$y_{25}$	0.052	0.052
$y_{26}$	0.052	0.052
$y_{27}$	0.052	0.052
$y_{28}$	0.052	0.052
$y_{29}$	0.052	0.052
$y_{30}$	0.052	0.052
$y_{31}$	0.052	0.052

Batasan Variabel Deviasi menjadi:

$$\begin{aligned}
 DA_1 &\geq 0 \\
 DB_1 &\geq 0 \\
 DA_1 + DB_1 &= 0
 \end{aligned}$$

**D. Validasi Model**

Validasi model dilakukan dengan cara membandingkan jumlah trafik optimal dengan jumlah trafik aktual. Apabila jumlah trafik yang diperoleh kurang dari jumlah trafik pada data aktual dan totalnya memenuhi jumlah permintaan trafik, maka model dapat dikatakan valid. Berikut ini adalah Tabel 3 merupakan perbandingan hasil solusi optimal dengan data aktual.

Tabel 3. Perbandingan Trafik Aktual dan Trafik Hasil Solusi Optimal

Kecamatan	Aktual		Optimal	
	Sektor	Trafik	Sektor	Trafik
Asemrowo	6	131.58	5	100.6973
Benowo	12	263.16	10	205.6941
Bubutan	36	789.48	34	724.1715
Bulak	21	460.53	19	407.7636
Dukuh Pakis	44	964.92	39	843.6813
Gayungan	46	1008.78	39	844.764
Genteng	55	1206.15	39	846.7879
Gubeng	65	1425.45	39	847.5674
Gunung Anyar	25	548.25	23	492.3542
Karang Pilang	23	504.39	21	451.5336
Kenjeran	16	350.88	14	290.872
Krembangan	32	701.76	29	634.3612

Kecamatan	Aktual		Optimal	
	Sektor	Trafik	Sektor	Trafik
Lakarsantri	46	1008.78	39	844.764
Mulyorejo	42	921.06	39	841.8335
Ngagel	3	65.79	3	47.8043
Pabelan	51	1118.43	39	846.1893
Pakal	9	197.37	7	145.7786
Rungkut	33	723.69	30	653.4016
Sambikerep	3	65.79	3	47.8043
Sawahan	64	1403.52	39	847.5141
Semampir	12	263.16	10	205.6941
Simokerto	26	570.18	24	510.036
Sukolilo	58	1271.94	39	847.095
Sukomanunggal	38	833.34	38	823.2485
Tambaksari	43	942.99	39	842.897
Tandes	20	438.6	18	384.5573
Tegal Sari	37	811.41	35	788.0011
Tenggiling Mejoyo	29	635.97	26	566.655
Wiyung	28	614.04	25	545.2429
Wonocolo	24	526.32	22	473.2119
Wonokromo	35	767.55	30	645.0235
<b>Total Trafik</b>	<b>982</b>	<b>21535.26</b>	<b>816</b>	<b>17597</b>
<b>Permintaan Trafik 2012</b>				<b>17597</b>

Berdasarkan perbandingan data jumlah trafik aktual, sektor dan jumlah permintaan dengan data jumlah trafik dan sektor hasil optimasi, solusi optimal memenuhi atau sama dengan data aktual jumlah permintaan dan tidak melebihi data aktual total trafik yang tersedia. Pada setiap variabel, solusi optimal yang dihasilkan juga lebih kecil daripada jumlah data aktual tiap variabel. Sehingga dapat dikatakan model yang dihasilkan adalah valid.

**E. Analisis Sensitivitas**

Analisis sensitivitas merupakan analisa yang berkaitan dengan perubahan parameter untuk melihat berapa besar perubahan dapat ditolerir sebelum solusi optimal mulai kehilangan optimalitasnya. Jika suatu perubahan kecil dalam parameter menyebabkan perubahan drastis dalam solusi, maka dikatakan bahwa solusi adalah sensitif terhadap nilai parameter itu. Sebaliknya jika perubahan parameter tidak mempunyai pengaruh besar terhadap solusi maka dapat dikatakan solusi relative insensitif terhadap nilai parameter tersebut.

Analisis sensitivitas dilakukan pada nilai ruas kanan pada semua kendala. Analisis ini dilakukan pada jumlah jumlah trafik yang dibutuhkan karena parameter ini mudah berubah. Jika jumlah trafik yang dibutuhkan berubah, maka jumlah trafik yang disediakan atau digunakan juga mengalami perubahan. Hal ini terlihat pada hasil optimasi yang dilakukan setiap tahun. Perubahan permintaan trafik dapat menyebabkan perubahan solusi optimal dan fungsi tujuan. Perubahan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perubahan Solusi Optimal

Variabel	Trafik				
	Tahun 1	Tahun 2	Tahun 3	Tahun 4	Tahun 5
$y_1$	100.6973	129.2578	130.6829	130.7217	130.0106
$y_2$	205.6941	234.739	259.4788	262.0368	261.0156
$y_3$	724.1715	753.252	789.2528	788.6655	788.004
$y_4$	407.7636	436.7989	456.3074	459.3462	458.2853
$y_5$	843.6813	872.8233	911.6371	963.5702	962.455
$y_6$	844.764	873.9214	912.7865	1008.379	1007.573
$y_7$	846.7879	875.9671	914.8856	1012.747	1204.626

Variabel	Trafik				
	Tahun 1	Tahun 2	Tahun 3	Tahun 4	Tahun 5
y <sub>8</sub>	847.5674	876.7531	915.6845	1013.573	1205.877
y <sub>9</sub>	492.3542	521.4041	544.9388	547.1683	546.1716
y <sub>10</sub>	451.5336	480.5702	501.1212	503.3132	502.321
y <sub>11</sub>	290.872	319.9305	348.3908	349.8827	348.9715
y <sub>12</sub>	634.3612	663.4457	701.3307	700.9383	700.2677
y <sub>13</sub>	844.764	873.9214	912.7865	1008.379	1007.573
y <sub>14</sub>	841.8335	870.9401	909.5245	919.6794	918.5609
y <sub>15</sub>	47.8043	65.1349	64.9325	64.9347	64.2411
y <sub>16</sub>	846.1893	875.3628	914.2691	1012.096	1117.99
y <sub>17</sub>	145.7786	174.792	194.9708	196.3841	195.4918
y <sub>18</sub>	653.4016	682.4922	720.7693	722.6487	721.6868
y <sub>19</sub>	47.8043	65.1349	64.9325	64.9347	64.2411
y <sub>20</sub>	847.5141	876.6993	915.6299	1013.517	1205.815
y <sub>21</sub>	205.6941	234.739	259.4788	262.0368	261.0156
y <sub>22</sub>	510.036	539.1005	567.8061	569.1944	568.2944
y <sub>23</sub>	847.095	876.2768	915.2008	1013.075	1205.284
y <sub>24</sub>	823.2485	832.5827	832.4732	832.4785	831.7513
y <sub>25</sub>	842.897	872.0256	910.7795	942.1361	941.4198
y <sub>26</sub>	384.5573	413.5976	435.4823	437.5397	436.5626
y <sub>27</sub>	788.0011	809.8502	810.5238	810.5487	809.8219
y <sub>28</sub>	566.655	595.7428	633.9338	635.0251	634.1773
y <sub>29</sub>	545.2429	574.3293	612.4617	613.1507	612.3831
y <sub>30</sub>	473.2119	502.2501	523.5687	525.2957	524.3524
y <sub>31</sub>	645.0235	674.1647	712.979	766.6061	765.759
<b>Jumlah Permintaan Trafik</b>	<b>17597</b>	<b>18448</b>	<b>19299</b>	<b>20150</b>	<b>21002</b>

Dapat dilihat pada solusi optimal variabel  $y_1 - y_{31}$ , terlihat bahwa perubahan permintaan setiap tahunnya dapat merubah solusi optimal yang dihasilkan. Pada Tabel 5 juga dijelaskan mengenai perubahan fungsi tujuan jika terjadi perubahan jumlah permintaan. Fungsi tujuan mengalami perubahan jika nilai pada ruas kanan pada batasan tersebut diubah.

Tabel 5  
Perubahan Nilai Fungsi Tujuan

Tahun	1	2	3	4	5
<b>Jumlah Permintaan Trafik</b>	17597	18448	19299	20150	21002
<b>Nilai Fungsi Tujuan</b>	3938.26	3087.26	2236.26	1385.26	533.26

IV. KESIMPULAN

Hasil peramalan menggunakan *double exponential smoothing* dengan nilai *percentage error* sebesar 4.5 % dan nilai MAPE sebesar 3.58. Metode *goal programming* dapat dijadikan sebagai metode untuk menyelesaikan multi tujuan yakni menentukan kapasitas trafik yang bisa menampung semua permintaan trafik dari pengguna telepon seluler dan menentukan kapasitas total trafik BTS yang tidak melebihi total kapasitas yang dimiliki masing-masing BTS. Trafik yang didapatkan pada solusi optimal lebih kecil dari jumlah trafik pada data kapasitas BTS yang tersedia, sehingga model dapat dikatakan valid. Dari hasil optimasi model *goal programming* didapatkan jumlah trafik atau jumlah sektor BTS yang harus disediakan setiap area kecamatan. Terdapat sisa sektor BTS yang tidak digunakan untuk melayani permintaan trafik. Pada tahun 1 terdapat 166 sektor BTS, tahun 2 terdapat 134 sektor BTS, tahun 3 terdapat 96 sektor BTS, tahun 4 terdapat 58

sektor BTS, dan tahun 5 terdapat 22 sektor BTS. Pada tahun ke-6 sampai tahun ke-10 kapasitas trafik yang tersedia sudah tidak mencukupi permintaan trafik. Pada tahun 6 dan 7 terdapat kekurangan 29 sektor BTS, tahun 8 terdapat kekurangan 62 sektor BTS, dan pada tahun 9 dan 10 terdapat kekurangan 93 sektor BTS. Berdasarkan hasil analisis sensitivitas, jumlah permintaan trafik tergolong parameter yang sensitif. Jika permintaan berubah, maka nilai dari fungsi tujuan dan solusi optimal akan ikut berubah.

Pada studi selanjutnya, nilai *error* pada peramalan dapat diperkecil lagi dengan menggunakan iterasi yang lebih banyak dengan menggunakan metode OLS (*Ordinary Least Square*). Pada pemodelan *goal programming*, fungsi tujuan dapat diberikan bobot dan urutan prioritas sehingga dapat mengetahui tingkat kepentingan atau urutan pencapaian dari fungsi tujuan tersebut. Pada optimasi perencanaan pembangunan BTS ditambahkan luas cakupan area tiap BTS dan kualitas pancaran tiap BTS. Menentukan titik dimana suatu BTS harus dibangun untuk perencanaan pembangunan BTS baru.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pramsistya, Yustaf, *Optimasi Penempatan BTS dengan Menggunakan Algoritma Genetika*. Jurusan Matematika ITS, Surabaya, (2010).
- [2] Susanti, Rossy, *Optimasi Perencanaan Produksi untuk Produk Pesanan pada Perusahaan Pestisida Menggunakan Metode Goal Programming*. Jurusan Matematika ITS, Surabaya, (2012).
- [3] Taylor, Bernard W, Keown, Arthur J, *An Integer Goal Programming Model for Solving The Capital Allocation Problem if Metropolitan Mass Transportation Agencies*, Transpn, vol 17A, no. 5, (1982) 375-383.
- [4] Redl, Siegmund M., Weber, Mathias K., Oliphant, Malcolm W, *GSM and Personal Communications Handbook*. Artech House, London, (1998).
- [5] Mirsha, Ajay R, *Fundamentals of Cellular Network Planning & Optimisation*. John Wiley & Sons, (2004).
- [6] Mufti, Nachwan A., 2003. Dasar Perencanaan Sel, Modul 10 EE 4712 Sistem Komunikasi Bergerak. Diakses 12 Januari 2012. Dari <http://www.scribd.com/doc/49903463/Cell-Planning>
- [7] Taufiq, Agus, 2002. *Traffic Dimensioning BSS GSM 900/1800 PT. Telkomsel untuk MSC Medan Tahun 2002* [pdf]. Diakses 2 Februari 2012. Dari <http://eprints.undip.ac.id/25759/>
- [8] Makridakis, Spyros & Wheelwright, Steven C., *Metode dan Aplikasi Peramalan*. Binarupa Aksara, Jakarta, (1999).
- [9] Zainun, N.Y., dan Majid, M. Z. A., *Low Cost House Demand Predictor*. Universitas Teknologi Malaysia, (2003).
- [10] Dimiyati, Tjutju T. & Dimiyati, Ahmad, *Operation Research: Model-Model Pengambilan Keputusan*. Sinar Baru Algesindo, Bandung, (2009).
- [11] Siswanto, 2007. *Operation Research Jilid Satu*. Erlangga, Bogor. Taufiq, Agus, 2002. *Traffic Dimensioning BSS GSM 900/1800 PT. Telkomsel untuk MSC Medan Tahun 2002* [pdf]. Diakses 2 Februari 2012. Dari <http://eprints.undip.ac.id/25759/>
- [12] Taylor, Bernard W, 2006. *Introduction to Management Science, Ninth Edition*. Prentice Hall, Virginia.
- [13] Chen, Anthony, Xu, Xiangdong, *Goal programming approach to solving network design problem with multiple objectives and demand uncertainty*, Expert Systems with Applications, vol 39, (2012) 4160-4170.