

# OPTIMASI JANGKAUAN JARINGAN 4G MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA

SKRIPSI

Untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Komputer

Disusun oleh:  
Garsinia Ely Riani  
NIM: 145150209111018



PROGRAM STUDI INFORMATIKA  
PROGRAM TEKNOLOGI INFORMASI DAN ILMU KOMPUTER  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
MALANG  
2016

## PENGESAHAN

OPTIMASI JANGKAUAN JARINGAN 4G MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Komputer

Disusun Oleh :  
Garsinia Ely Riani  
NIM: 145150209111018

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
12 Januari 2016

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Wayan Firdaus Mahmudy, S.Si, M.T, Ph.D  
NIK: 19720919 199702 1 001

Mengetahui  
Ketua Program Studi NamaProgramStudi

Drs.Marji.MT.  
NIP. 19670801 199203 1 001

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah skripsi ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiasi, saya bersedia skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (sarjana) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 12 Januari 2016



Garsinia Ely Riani

NIM: 145150209111018

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena dengan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian dengan judul “Optimasi Jangkauan Jaringan 4G Menggunakan Algoritma Genetika” dengan baik meskipun penulis sadari masih banyak kekurangan yang harus diperbaiki.

Terimakasih kepada Bapak Sutrisno, Ir., M.T selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer dan Bapak Drs. Marji, M.T, selaku Ketua Program Studi Informatika Universitas Brawijaya Malang. Ucapan terimakasih khususnya penulis sampaikan kepada Bapak Wayan Firdaus Mahmudy, S.Si, M.T, Ph.D sebagai pembimbing I yang bersedia membimbing dan mengarahkan dalam penyusunan penelitian ini.

Terimakasih untuk kedua orang tua penulis, yang tiada hentinya memberikan semangat, doa dan dukungan hingga penelitian ini dapat selesai dengan baik, juga untuk Whenty Ariyanti, Rima Dwi Hardianti, Badi’atul Munawaroh, Gilvy Langgawan dan Sutrisno untuk doa juga semangatnya. dan terimakasih juga kepada seluruh pihak yang turut membantu.

Demikian laporan penelitian ini dibuat semoga dapat memberikan pengetahuan bagi pembaca.

Malang, 12 Januari 2016

Penulis

garsiniaeriani@gmail.com



## ABSTRAK

Teknologi data rate telah berkembang lebih baik dari sebelumnya yang saat ini dikenal sebagai 4G LTE , teknologi yang disebut-sebut sebagai generasi keempat (4G) yang merupakan teknologi standard 3rd *Generation Partnership Project* (3GPP), dan kehadirannya mendapat sambutan baik di Indonesia, sehingga para provider segera meluncurkan produk dan fasilitas baru mengenai teknologi ini. Dengan kemampuan dan jangkauan 4G yang lebih luas daripada teknologi sebelumnya, maka optimasi jangkauannya perlu dilakukan, mengingat akan antusias pengguna layanan selular menyambut kehadiran internet cepat ini. Optimasi yang dilakukan memperhatikan luas area, kerapatan pengguna internet dan posisi BTS pemasangannya. Algoritma optimasi yang sering digunakan dan mampu beradaptasi dengan berbagai macam permasalahan adalah algoritma genetika. Sudah banyak permasalahan optimasi dipecahkan melalui algoritma ini. Untuk itu dengan adanya penelitian ini diharapkan jangkauan 4G dapat dirasakan secara merata, lebih efektif dan efisien dari sisi penyedia provider.

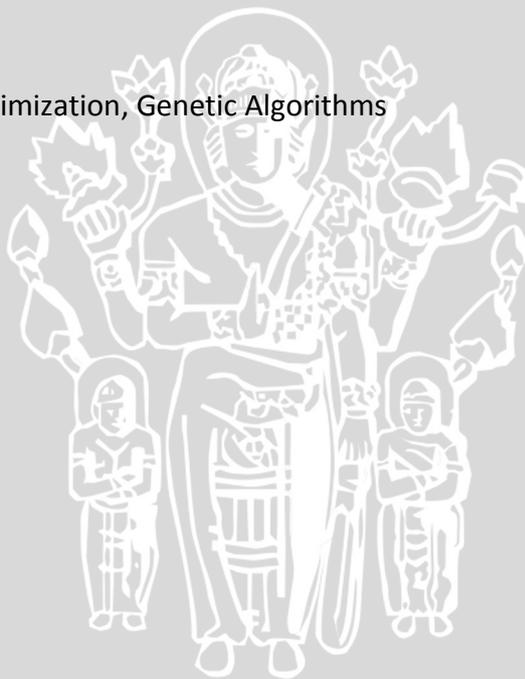
Kata kunci: 4G LTE, Optimasi, Algoritma genetika



## ABSTRACT

Technology data rate has progressed better than previously known today as 4G LTE, a technology referred to as the fourth generation (4G) which is a technology standard 3rd Generation Partnership Project (3GPP), and its presence was well received in Indonesia, so that the provider soon launch new products and facilities regarding this technology. With 4G capabilities and reach wider than previous technology, the optimization needs to be done, given the enthusiastic user of cellular services to welcome this technology. Optimization is done by observing the area, the density of Internet users and the position of BTS installation. Optimization algorithms are often used and are able to adapt to different kinds of problems are genetic algorithms. There have been many optimization problems solved by this algorithm. Therefore with this study are expected jangkauan 4G can be felt evenly, more effective and efficient supply-side provider.

Keywords: 4G LTE, Optimization, Genetic Algorithms



## DAFTAR ISI

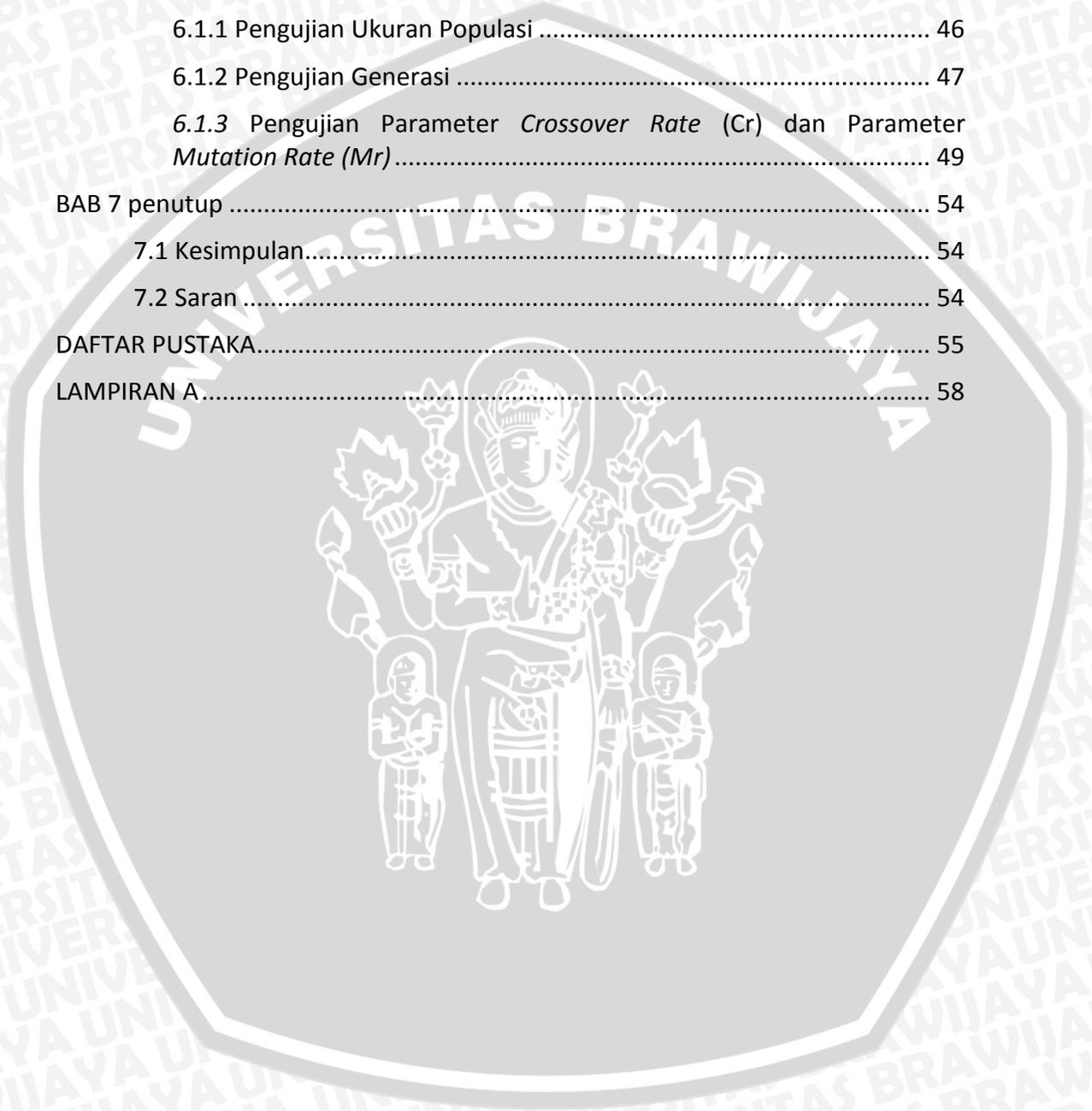
PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT .....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan masalah.....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan masalah .....	3
1.6 Sistematika pembahasan.....	4
<b>BAB 2 LANDASAN KEPUSTAKAAN .....</b>	<b>5</b>
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2 Teknologi <i>Long Term Evolution</i> (LTE).....	8
2.3 Arsitektur LTE dalam Sistem Komunikasi Seluler.....	9
2.3.1 <i>Base Station Subsystem</i> (BSS).....	10
2.4 <i>Offered Bit Quantity</i> (OBQ).....	11
2.5 Perhitungan Luas cakupan sel .....	12
2.6 Radius sel .....	12
2.7 Jumlah Sel Setiap Wilayah .....	13
2.8 Optimasi.....	13
2.9 Algoritma Genetika .....	14
2.9.1 Struktur Algoritma Genetika .....	15
2.9.2 Parameter Algoritma Genetika .....	15
2.10 Penerapan Algoritma Genetika .....	16



2.10.1 Generate Populasi Awal .....	16
2.10.2 Representasi Kromosom .....	17
2.10.3 Crossover.....	17
2.10.4 Mutasi .....	17
2.10.5 Fitness .....	17
2.10.6 Seleksi.....	17
<b>BAB 3 METODOLOGI .....</b>	<b>22</b>
3.1 Tahap Penelitian .....	22
3.1.1 Studi Literatur .....	23
3.1.2 Formulasi Permasalahan.....	23
3.1.3 Siklus Penyelesaian Masalah Menggunakan Algoritma Genetika .....	23
3.1.4 Pengujian.....	25
3.2 Data yang Digunakan .....	25
3.3 Algoritma yang digunakan .....	25
3.4 Kebutuhan sistem .....	25
3.4.1 Kebutuhan Perangkat Keras.....	26
3.4.2 Kebutuhan Perangkat Lunak.....	26
3.5 Pengujian Algoritma.....	26
3.5.1 Perancangan Pengujian Ukuran Populasi .....	26
3.5.2 Perancangan Pengujian Jumlah Generasi.....	27
3.5.3 Perancangan Pengujian Kombinasi Parameter <i>Crossover Rate</i> (Cr) dan Parameter <i>Mutation Rate</i> (Mr).....	28
<b>BAB 4 Perancangan .....</b>	<b>30</b>
4.1 Formulasi Permasalahan.....	30
4.2 Siklus Algoritma Jangkauan Jaringan .....	33
4.3 Siklus Penyelesaian Masalah Menggunakan Algoritma Genetika .....	34
4.3.1 Representasi Kromosom dan Perhitungan Fitness .....	34
4.3.2 Inisialisasi Populasi Awal .....	34
4.3.3 Reproduksi .....	35
4.4 Perancangan User Interface .....	40
<b>BAB 5 IMPLEMENTASI .....</b>	<b>41</b>



5.1 Struktur Database .....	41
5.2 Struktur Class .....	41
5.3 Potongan Source Code Utama .....	42
BAB 6 pengujian dan pembahasan .....	46
6.1.1 Pengujian Ukuran Populasi .....	46
6.1.2 Pengujian Generasi .....	47
6.1.3 Pengujian Parameter <i>Crossover Rate</i> (Cr) dan Parameter <i>Mutation Rate</i> (Mr) .....	49
BAB 7 penutup .....	54
7.1 Kesimpulan.....	54
7.2 Saran .....	54
DAFTAR PUSTAKA.....	55
LAMPIRAN A.....	58



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 : Kajian Pustaka .....	6
Tabel 2.2 : Tabel kapasitas Bandwidth.....	12
Tabel 3.1 Perancangan uji coba jumlah populasi.....	27
Tabel 3.2 : Perancangan uji coba parameter generasi .....	28
Tabel 3.3 Perancangan Pengujian Kombinasi Parameter <i>Crossover Rate</i> (Cr) dan <i>Parameter Mutation Rate</i> (Mr).....	29
Tabel 4.1 : Tabel Kepadatan Pengguna.....	30
Tabel 4.2 : penetrasi Layanan .....	30
Tabel 4.3 : Tabel Penetrasi layanan .....	31
Tabel 4.4 : Tabel Penetrasi User .....	31
Tabel 4.5 : Tabel BTS yang beririsan .....	39
Tabel 6.1 : Tabel Pengujian Populasi.....	46
Tabel 6.2 : Pengujian Jumlah Generasi .....	48
Tabel 6.3 : Pengujian Cr dan Mr.....	49
Tabel 6.4 : Tabel id BTS individu terbaik.....	51
Tabel 7.1: Populasi penduduk Kota Malang 2014 .....	58
Tabel 7.2 : Perhitungan OBQ <i>Building</i> suburban .....	59
Tabel 7.3 : Perhitungan OBQ <i>Pedestrian</i> suburban .....	59
Tabel 7.4 : Perhitungan OBQ <i>Vehicular</i> Suburban.....	59
Tabel 7.5 : Perhitungan OBQ <i>Building</i> Urban.....	60
Tabel 7.6 : Perhitungan OBQ <i>Pedestrian</i> Urban .....	60
Tabel 7.7 : Perhitunga OBQ <i>Vehicular</i> Urban.....	60
Tabel 7.8 : Daftar BTS di Kota Malang.....	61
Tabel 7.9 : jumlah pelanggan yang dapat dilayani oleh satu BTS.....	64
Tabel 7.10 Tabel Jumlah pelanggan Irisan 3 BTS .....	66
Tabel 7.11 : Tabel Jumlah pelanggan irisan 2 BTS .....	66

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 : Evolusi UMTS FDD dan TDD berdasarkan Data Rate dan Latency....	9
Gambar 2.2 : Arsitektur Logical Structure pada BSS.....	10
Gambar 2.3 : Diagram Dari Arsitektur Sistem.....	11
Gambar 2.4 : Gambaran model cakupan sel.....	13
Gambar 2.5 : Mencari solusi dengan algoritma genetika .....	15
Gambar 2.6 : Pseudocode Selection Replacement .....	19
Gambar 2.7 : Pseudocode Selection Binary Tournament.....	20
Gambar 2.8 : Pseudo-code Elitism .....	21
Gambar 3.1 : Metodologi Penelitian.....	22
Gambar 3.2 Penyelesaian masalah menggunakan algoritma genetika .....	24
Gambar 4.1 : simulasi posisi BTS.....	32
Gambar 4.2 : Diagram proses optimasi.....	33
Gambar 4.3 : Tidak ada irisan antar BTS .....	36
Gambar 4.4 Irisan 2 BTS .....	36
Gambar 4.5 : irisan 3 BTS .....	37
Gambar 4.6 : 3 BTS 4 Irisan .....	38
Gambar 4.7 : Rancangan user interface.....	40
Gambar 5.1 : Struktur Database .....	41
Gambar 5.2 : Potongan source code pembangkitan individu .....	42
Gambar 5.3 : Potongan Code Mutasi Insertion .....	43
Gambar 5.4 : Potongan Code Seleksi Elitism .....	44
Gambar 5.5 : Source Code Perhitungan Fitness .....	45
Gambar 6.1 : Grafik pengujian Ukuran Populasi.....	47
Gambar 6.2 : Grafik pengujian jumlah generasi .....	48
Gambar 6.3 : Grafik pengujian kombinasi Cr dan Mr .....	50
Gambar 6.4 : Simulasi solusi individu terbaik .....	52

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A ..... 58



## BAB 1 PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Teknologi komunikasi di era ini sangat terasa dampaknya dalam kegiatan sehari-hari. Hampir seluruh aspek kehidupan manusia telah memanfaatkan teknologi, terutama untuk berkomunikasi. Pada awalnya alat komunikasi yang dikenal menggunakan kabel untuk saling terhubung dengan lainnya hingga hadir teknologi selular yang mendukung mobilitas tinggi, sehingga penyampaian informasi dapat lebih cepat dan fleksibel. Dalam perjalanannya teknologi komunikasi tumbuh sangat cepat, para provider penyedia jasa komunikasi ikut berpacu untuk terus memunculkan inovasi dan ide baru untuk tetap mengikuti perkembangan teknologi komunikasi. Trend yang sedang terjadi di Indonesia saat ini adalah kebutuhan akan komunikasi paket data. Menurut suyuti dkk,(2011), perkembangan dimulai dari generasi kedua, yakni era GPRS, konsumen mulai dikenalkan dengan komunikasi paket data. mulai dari EDGE, UMTS, HSDPA, HSUPA, HSPA+, dimana akan terjadi perubahan kebutuhan konsumen dari komunikasi suara menjadi komunikasi data dengan kecepatan transfer yang semakin tinggi.

Perkembangan Teknologi telekomunikasi telah menuju ke arah teknologi Broadband Wireless Access (BWA) dan dituntut untuk memenuhi komunikasi dengan transfer data yang tinggi, mobilitas yang tinggi, kapasitas yang besar, area akses yang semakin luas, dilihat dari sisi kebutuhan pelanggan. Sedangkan bagi penyedia jaringan diperlukan desain jaringan yang lebih sederhana namun dapat bekerja dengan seoptimal mungkin. Long Term Evolution (LTE) menjawab permasalahan tersebut. LTE dianggap sebagai kandidat solusi terbaik untuk menjawab permasalahan bagi layanan broadband juga mobilitas tinggi. Menurut Aryanti (2014), Teknologi LTE diklaim dirancang untuk menyediakan efisiensi spektrum yang lebih baik, peningkatan kapasitas radio, latency, dan biaya operasional yang rendah bagi operator serta layanan mobile broadband kualitas tinggi untuk para pengguna.

Teknologi LTE merupakan hasil evolusi teknologi GSM memiliki data rate lebih tinggi dibanding teknologi 3G, mencapai 100 Mbps untuk downlink dan 50 Mbps untuk uplink. Menerapkan teknologi LTE hanya perlu melakukan upgrade jaringan di sisi radio frekuensi (RF), sehingga lebih memberikan efisiensi dibanding dengan membangun infrastruktur jaringan dari awal. Operator selular yaitu Telkomsel, Indosat dan XL Axiata sudah melakukan trial teknologi LTE pada frekuensi 1800 MHz. Dengan memanfaatkan antena yang telah ada, akan lebih hemat dan tidak membutuhkan investasi besar. (Aryanti, 2014).

Dari uraian di atas dapat di temukan beberapa permasalahan yang perlu di pecahkan dalam pengimplementasian jaringan 4G LTE. Sehingga penulis berinisiatif untuk membuat sistem yang dapat merekomendasikan jumlah pengguna selular yang akan di *cover* oleh jaringan 4G LTE. Menyesuaikan dengan

target pengguna 4G LTE dan titik-titik Base Transceiver Station(BTS) yang telah ada dan nantinya akan dipasang jaringan 4G LTE tersebut. Agar dapat mengoptimalkan pemerataan jaringan 4G LTE, luas area target dan meminimalisasi jumlah titik BTS yang akan dijadikan sasaran pemasangan jaringan. Sistem ini akan dibuat dengan mengimplementasikan algoritma genetika untuk mendapatkan jumlah trafik atau pengguna selular yang optimal dari jumlah BTS yang akan dipasang di BTS yang telah ada.

Menurut Mahmudy(2013) Algoritma Evolusi menyatakan bahwa pemilihan algoritma genetika untuk menyelesaikan masalah optimasi jaringan 4G ini didasari oleh penelitian sebelumnya yang memberikan hasil yang baik pada permasalahan *optimasi kompleks*. Algoritma genetika (*Genetic Algorithms*, GAs) merupakan tipe EA yang paling populer. Algoritma genetika berkembang seiring dengan perkembangan teknologi informasi yang sangat pesat. Karena kemampuannya untuk menyelesaikan berbagai masalah kompleks, algoritma ini banyak digunakan dalam bidang fisika, biologi, ekonomi, sosiologi dan lain-lain.

Referensi penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Gao, Chen, Ming, Yunfeim, dan Shinong (2015). Menggunakan algoritma genetika untuk memaksimalkan jangkauan radius dari *Wireless Sensor Network* (WSN) yang biasanya dimanfaatkan untuk melakukan pemantauan pada area peperangan, atau untuk mendeteksi gempa bumi. Algoritma genetika terbukti memberikan solusi optimal untuk masalah jangkauan *wireless sensor network* lebih efisien. Penelitian lain mengenai *wireless network* oleh Pries, Staehle, Staehle, Tran-GiaSaputro (2010). Penelitian ini mengoptimasi perancangan jaringan wireless, dan dapat disimpulkan bahwa algoritma genetika sangat cocok untuk optimasi rancangan node jaringan, menghasilkan solusi di waktu komputasi yang relatif kecil namun perlu memperhatikan parameter algoritma gentika dengan hati-hati menyesuaikan topologi yang diterapkan. Penelitian selanjutnya adalah penelitian tentang optimasi penyebaran LTE menggunakan algoritma genetika oleh Jaloun,M., Guennoun, z., Elasri, A. (2011). Jurnal Penelitian ini membandingkan dua algoritma heuristik yaitu algoritma genetika dan *simulated annealing*, sekalipun keduanya memberikan hasil yang hampir sama namun algoritma genetika dapat meningkatkan nilai fitnessnya lima kali lebih baik dari pada *simulated annealing*. Penelitian lain melakukan review mengenai jurnal Internasional mengenai coverage area jaringan radio adalah Alenoghena, Emagbetere dan Edeko (2013), Menyimpulkan bahwa tournament selection memberikan hasil terbaik untuk proses seleksi dan coverage area menggunakan algoritma genetika terbukti efektif dan efisien.

Dengan adanya sistem ini diharapkan dapat membantu provider untuk menentukan titik pemasangan BTS 4G LTE di yang tepat. Demi memberikan layanan internet kecepatan tinggi dengan luasan area sesuai target dan mengoptimalkan jangkauannya.

## 1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana menerapkan metode algoritma genetika untuk menyelesaikan masalah optimasi jangkauan jaringan 4G LTE di *target area*?
2. Bagaimana menentukan representasi kromosom yang paling efisien untuk permasalahan optimasi jangkauan area 4G LTE?
3. Bagaimana parameter algoritma genetika yang paling baik untuk mendapatkan jangkauan jaringan sesuai trafik pengguna yang ditargetkan?

## 1.3 Tujuan

1. Mengimplementasikan algoritma genetika untuk merekomendasikan titik BTS yang sesuai untuk memasang jaringan 4G LTE.
2. Mengetahui representasi kromosom yang efisien untuk kasus optimasi jangkauan jaringan 4G LTE.
3. Menganalisa dan menguji parameter algoritma genetika yang menghasilkan rekomendasi solusi terbaik untuk permasalahan jangkauan *traffic pengguna* jaringan 4G LTE.

## 1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dengan adanya penelitian ini adalah :

1. Bagi penyedia *provider*, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai rekomendasi mengoptimalkan jangkauan 4G LTE di titik BTS yang telah ada, untuk misi pemerataan penyediaan jaringan cepat 4G LTE, yang kini sedang gencar di kembangkan.
2. Bagi konsumen *provider*, dengan pemerataan jaringan 4G yang optimal, layanan internet cepat dapat dimanfaatkan secara maksimal untuk berbagai aspek kebutuhan informasi misalnya pendidikan atau promosi untuk UKM.

## 1.5 Batasan masalah

Batasan masalah yang akan dijadikan pedoman dalam pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Jenis jaringan yang akan di implementasikan hanya jaringan 4G LTE.
2. Parameter inputan berupa jumlah pengguna dan titik BTS yang telah ada di area tersebut.
3. Data bahan perhitungan dalam optimasi adalah data kuantitatif meliputi luas taget area, jumlah BTS dan jumlah pengguna selular.
4. Daerah yang dituju untuk penelitian adalah Malang kota.
5. Tidak memperhitungkan keadaan geografis pendirian menara.

## 1.6 Sistematika pembahasan

Sistematika penulisan penelitian ditunjukkan untuk memberikan gambaran dan uraian dari penyusun tugas akhir secara garis besar yang meliputi beberapa bab sebagai berikut :

### **BAB I PENDAHULUAN**

Berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

### **BAB II LANDASAN KEPUSTAKAAN**

Bab ini membahas mengenai kajian pustaka jika ada penelitian sebelumnya yang digunakan sebagai acuan dalam mengerjakan penelitian Optimasi Jaringan 4G Menggunakan Algoritma Genetika.

### **BAB III METODOLOGI**

Menguraikan tentang metode dan langkah kerja yang dilakukan dalam penelitian yang terdiri dari literatur, metode pengambilan data, analisis kebutuhan. Juga di jelaskan proses algoritma genetika beserta contoh perhitungan manualnya.

### **BAB IV PERANCANGAN**

Membahas perancangan meliputi perancangan database, *user interface* dan perancangan pengujian.

### **BAB V IMPLEMENTASI**

Membahas implementasi dari Sistem Optimasi Jaringan 4G LTE Menggunakan Algoritma Genetika yang sesuai dengan perancangan sistem yang telah dibuat.

### **BAB VI PENGUJIAN DAN ANALISA**

Memuat hasil pengujian dan analisa terhadap sistem setelah dilakukan implementasi.

### **BAB VII PENUTUP**

Bab ini merupakan bab terakhir yang membahas mengenai kesimpulan dari penelitian ini yang dilakukan serta saran-saran dari hasil lebih lanjut.

## BAB 2 LANDASAN KEPUSTAKAAN

Bab ini akan memuat tentang tinjauan pustakan dan dasar teori yang mendukung penelitian ini, sumbernya dari beberapa referensi diantaranya kajian pustaka, teori tentang 4G LTE, optimasi dan algoritma genetika.

### 2.1 Tinjauan Pustaka

Algoritma genetika (Genetic Algorithms, GAs) mampu menyelesaikan berbagai masalah kompleks dan dapat berkembang seiring perkembangan teknologi informasi (Mahmudy, 2013). GAs telah banyak penelitian memanfaatkan algoritma genetika untuk berbagai kasus terutama untuk optimasi, termasuk untuk memaksimalkan jangkauan luasan area dan jumlah pengguna selular. Pada penelitian ini akan diuraikan beberapa referensi yang relevan sebagai rujukan dalam proses penelitian nantinya.

Referensi mengenai penelitian penempatan BTS untuk memaksimalkan jangkauan jaringan. Al-Samawi, Aida, dkk. (2013) penelitian penempatan BTS yang menggunakan perhitungan propagasi dan tinggi antena untuk memaksimalkan penggunaan energi. Dalam rangka mendukung adanya Green world pengoptimasian energi diharapkan dapat mendukung program tersebut, mengingat penggunaan energi untuk keperluan komunikasi selular sangat besar. Penelitian ini menggunakan algoritma genetika untuk mendapatkan posisi terbaik BTS LTE. Pembangkitan individu dilakukan dengan realcode dimana inputannya adalah tinggi antena dan power level. Dan hasil pemanfaatan algoritma genetika memberikan hasil posisi BTS yang sesuai dengan tinggi antena dan transmisi power minimum sesuai dengan topologinya.

Gao, Chen, Ming, Yunfeim, dan Shinong (2015). *The Optimization of Genetic Algorithm in Wireless Sensor Network Coverage*. Menggunakan algoritma genetika untuk memaksimalkan jangkauan radius dari *Wireless Sensor Network* (WSN) yang biasanya dimanfaatkan untuk melakukan pemantauan pada area peperangan, atau untuk mendeteksi gempa bumi. pembangkitan individu diawali dengan menentukan jenis sensor posisi (x,y) dari setiap jenis sensor dan jari-jari dari jangkauan sensor. Metode pembangkitan individu baru menggunakan cross over dan mutasi, seleksi menggunakan metode monte carlo (MGA). Penelitian yang telah dilakukan dengan skenario pengujian random, maksimum dan minimum, memberikan hasil bahwa pengujian maksimum dan minimum memiliki nilai yang hampir sama ketika hasil iterasi mulai menuju ke nilai stabil. Hal ini menunjukkan bahwa pemilihan parent dengan cara random menghasilkan nilai kurang memuaskan karena tidak semua parent yang diambil belum tentu individu yang memiliki kromosom hasil pewarisan dari parent lain. Sedangkan untuk minimum dan maksimum memberikan hasil analisa stabil. Algoritma genetika terbukti memberikan solusi optimal untuk masalah jangkauan *wireless sensor network* lebih efisien.

Penelitian yang mengangkat wireless network sebagai permasalahan yang menerapkan algoritma genetika dilakukan oleh Pries, Staehle, Tran-GiaSaputro (2010). Penelitian ini mengoptimasi perancangan jaringan *wireless*, yang bertujuan untuk membandingkan nilai fitness hasil dari 3 metode *cross over* dan metode mutasi *routing mutation*, adapun metode *crossover* yang di ujikan yaitu *2-point corssover* yaitu menukar potongan subset *nextthop* dan *channel*, *Cell Crossover* menukar sebuah cabang secara keseluruhan dengan *parent* lainnya. *subtree crossover* yang melakukan pemutusan cabang dan menyambungkannya dengan cabang lain dari *parent* lain. Mutasi menggunakan *routing mutation* yaitu memindah cabang dari node ke cabang di posisi lain dari suatu parent. Dari hasil implementasi reproduksi *crossover* dan mutas menunjukan bahwa nilai *fitness* dengan mutasi lebih baik daripada tiga metode *crossover*, untuk membandingkan nilai *fitness* ketiga metode *crossover*, *subtree crossover* memberikan nilai *fitness* lebih baik. dan dapat disimpulkan bahwa algoritma genetika sangat cocok untuk optimasi rancangan *node* jaringan, menghasilkan solusi di waktu komputasi yang relatif kecil namun perlu memperhatikan parameter algoritma gentika dengan hati-hati menyesuaikan topologi yang diterapkan.

Penelitian selanjutnya adalah penelitian tentang optimasi penyebaran LTE menggunakan algoritma genetika oleh Jaloun,M., Guennoun, z., Elasri, A. (2011). Penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi penyebaran LTE dan mengoptimalkan parameter Radio Frekuensi (RF). Pemilihan algoritma yang digunakan untuk menyelesaikan masalah adalah membandingkan dua algoritma heuristik yaitu algoritma genetika dan *simulated annealing*, sekalipun keduanya memberikan hasil yang hampir sama namun algoritma genetika dapat meningkatkan nilai *fitness*-nya lima kali lebih baik dari pada *simulated annealing*. Setelah algoritma genetika terpilih dilakukan implementasi untuk mengoptimasi beberapa komponen LTE dan hasil akhir dari implementasi algoritma genetika mampu menaikan kemampuan jangkauan LTE sebesar 45%.

Secara garis besar rangkuman dari penelitian di atas ditampilkan pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1 : Kajian Pustaka**

No.	Judul	Obyek	Metode	Hasil
1	Base Station Location Optimisation in LTE using Genetic Algorithm.	Penempatan BTS dengan memperhatikan tinggi antena dan power level.	Algoritma genetika	Algoritma genetika mampu memberikan solusi tinggi anten yang sesuai dengan perhitungan propagasi di



				daerah target.
2	<i>Maximizing Coverage Problem Using Genetic Algorithm in Wireless Sensor Network</i>	Memaksimalkan jangkauan WSN(Wireless Sensor Network), dengan menghitung luasan jari-jari yang dijangkau disekitar sensor.	Algoritma genetika, <i>real coded</i> dengan proses produksi <i>cross over</i> dan <i>random mutation</i> . <i>Monte Carlo method (MGA)</i>	Algoritma genetika terbukti memberikan solusi optimal untuk masalah jangkauan <i>wireless sensor network</i> lebih efisien.
3	<i>On Optimization of Wireless Mesh Networks using Genetic Algorithms.</i>	membandingkan nilai <i>fitness</i> hasil dari 3 metode <i>cross over</i> , dan metode mutasi <i>routing mutation</i>	Algoritma genetika, <i>2-point crossover</i> , <i>cell crossover</i> , <i>subtree crossover</i> dan metode mutasi <i>routing mutation</i>	nilai <i>fitness</i> dengan mutasi lebih baik daripada tiga metode <i>crossover</i> , untuk membandingkan nilai <i>fitness</i> ketiga metode <i>crossover</i> , <i>subtree crossover</i> memberikan nilai lebih baik.
4	<i>Use of Genetic Algorithm in the Optimisation of The LTE Deployment.</i>	evaluasi penyebaran LTE dan mengoptimalkan parameter Radio Frekuensi (RF).  Membandingkan algoritma genetika dan <i>simulated annealing</i> .	Algoritma genetika.	algoritma genetika dapat meningkatkan nilai <i>fitness</i> -nya lima kali lebih baik dari pada <i>simulated annealing</i> . Algoritma genetika mampu melakukan optimasi sebesar 45%

Sumber : Al-Samawi, Aida, dkk. (2013), Gao, Chen, Ming, Yunfeim, dan Shinong (2015), Pries, Staehle, Tran-GiaSaputro (2010), Jaloun,M., Guennoun, z., Elasri, A. (2011).

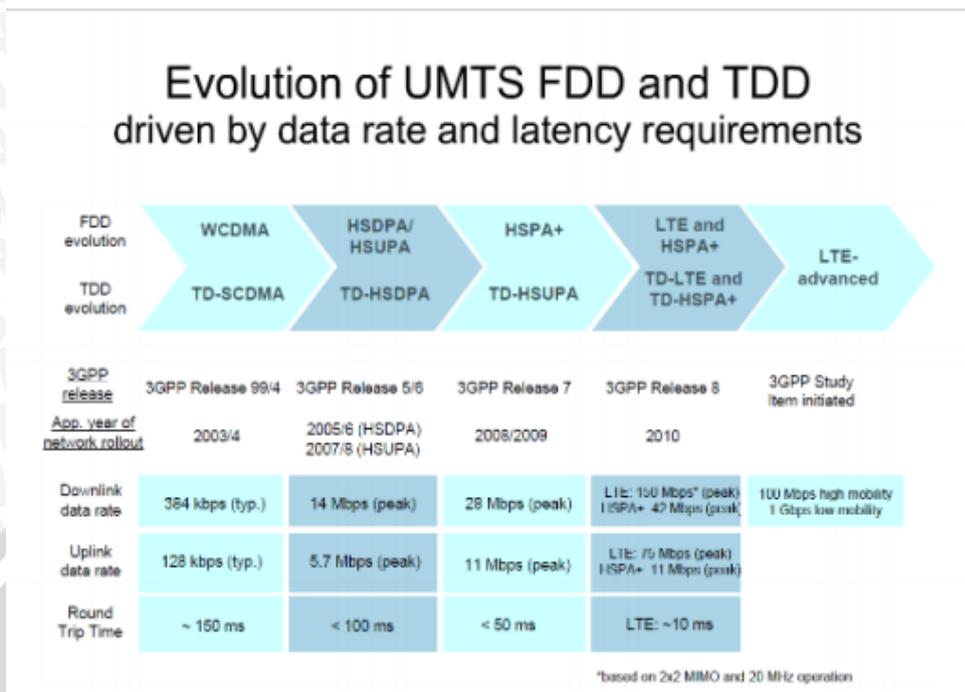
## 2.2 Teknologi Long Term Evolution(LTE)

*Long Term Evolution* (LTE) merupakan teknologi standard 3rd *Generation Partnership Project* (3GPP), evolusi dari teknologi GSM dan UMTS. Data rate LTE lebih besar dibanding teknologi yang pernah dikembangkan sebelumnya. LTE disebut sebagai teknologi 4th generation atau biasa disebut 4G setelah sebelumnya dikembangkan teknologi 3G, sebenarnya LTE belum sepenuhnya memenuhi kriteria sebagai teknologi 4G lebih tepatnya masih 3,9G. LTE memiliki kelebihan diantaranya (Ariyanti, 2013) :

- a. Latency/delay lebih rendah
- b. Data rate lebih tinggi
- c. Meningkatkan kapasitas dan coverage
- d. Cost-reduction

Teknologi yang telah dikembangkan sebelum adanya LTE adalah WCDMA yang dibangun mulai tahun 2003/2004 memiliki *data rate* mencapai 384 kbps downlink, 128 kbps *uplink* dan *round trip time* 150ms. Selanjutnya tahun 2005/2006 hadir teknologi baru yang menawarkan *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA) *data rate downlink* mencapai 14 Mbps, *uplink* hingga 5.7 Mbps. Kemudian tahun 2008/2009 3GPP merelease teknologi HSPA+ dengan *data rate* mencapai 28 Mbps untuk donlink dan 11 Mbps untuk *uplink*. Hingga tahun 2010 muncul teknologi yang terbaru yaitu *Long Term Evolution* (LTE) dengan *data rate* mencapai 150 Mbps. Perkembangan teknologi *data rate* dapat di lihat di gambar 2.1. Koneksi supercepat merupakan kelebihan dari LTE. Keunggulan LTE dengan transmisi berkecepatan 100 Mbps (setara WLAN), bukan hanya menguntungkan bagi pengguna perangkat mobile namun juga *home user*. Bisa saja pengguna *home user* sudah tidak membutuhkan koneksi telpon karena Jangkauan LTE lebih jauh sehingga koneksi telepon akan menjadi alternatif kedua setelahnya (Ariyanti, 2013).

LTE memiliki beberapa keunggulan yaitu jika koneksi LTE terlalu lambat sinyal dapat dialihkan ke jaringan teknologi lain, seperti GSM,UMTS, dan teknologi mobile lainnya.Rentang *channel* yang besar digunakan agar LTE menjangkau seluruh wilayah yang cukup lebar, mulai dari 1,4MHz sampai 20MHz. Sehingga LTE telah mampu memenuhi regulasi yang ditentukan oleh Negara. (Ariyanti, 2013).



**Gambar 2.1 : Evolusi UMTS FDD dan TDD berdasarkan Data Rate dan Latency**  
(sumber : Ariyanti, 2013)

Kecepatan download teknologi LTE di rencanakan mencapai 300Mbps, hingga saat *bandwidth* mulai dari 80 samapi 150Mbps sudah cukup untuk pengguna internet, namun ini hanya sebagai permulaan. Pengembangan untuk mencapai bandwidth 300Mbps diperlukan trasmisi yag bebas interferensi. Untuk itu pengembang mengkombinasikannya dengan beberapa teknologi, seperti MIMO, QAM, dan OFDM yang menggunakan beberapa antena sekaligus untuk memancarkan dan menerima sinyal.

Kecepatan ini dapat dicapai dengan menggunakan *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) pada *downlink* dan *Single Carrier Frequency Division Multiplex* (SC-FDMA) pada *uplink*, yang digabungkan dengan penggunaan MIMO. Pengembangan selanjutnya seluruh jaringan teknologi LTE akan berbasis *Internet Protocol* (IP) atau disebut juga *All IP Networks* (AIPN). Itu kenapa teknologi LTE disebut mirip dengan WLAN (Ariyanti, 2013).

### 2.3 Arsitektur LTE dalam Sistem Komunikasi Seluler

Arsitektur dasar jaringan sistem komunikasi seluler terdiri dari tiga bagian utama, yaitu (Suyuti, Rusli, Syarif, 2011.):

1. *Base Station Subsystem* (BSS) atau disebut juga *Radio SubSystem* (RSS), yang terdiri dan MS, BTS, BSC, dan TRAU.
2. *Network Switching Subsystem* (NSS), yang terdiri dan MSC, HLR, VLR, AuC, dan EIR.

### 3. Operation and Maintenance System (OMS)

#### 2.3.1 Base Station Subsystem (BSS)

Dalam terminologi GSM, suatu BSS adalah gabungan sebuah BSC dan semua BTS yang dikontrolnya serta sebuah TCE atau TRAU (Suyuti, Rusli, Syarif, 2011).

##### a. Base Station Controller (BSC)

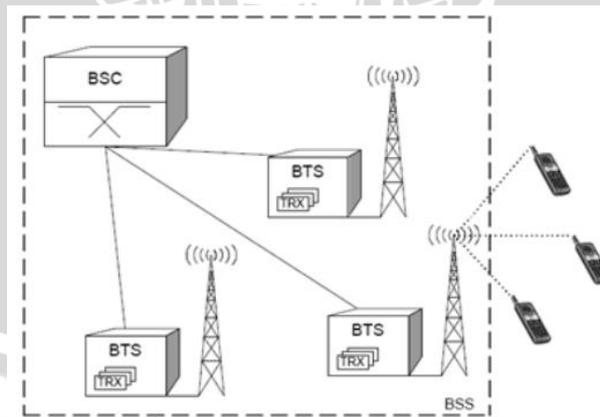
BSC berfungsi untuk memonitor dan mengontrol sejumlah BTS. BSC juga mengatur sumber radio untuk sebuah BTS atau lebih. BSC menangani *radio-channel* setup (pengalokasian/pelepasan kanal), *frequency hopping*, dan *handover intern* BSC. Fungsi utama BSC adalah sebagai *konsentrator* dari berbagai koneksi berkecepatan rendah yang terhubung ke BTS akan berkurang hingga tersisa sejumlah kecil menuju MSC. BSC memberikan informasi untuk *Network Management Subsystem*(NMS). Database untuk semua tempat, termasuk informasi seperti frekuensi pembawa daftar frekuensi *hopping*, level pengurangan daya, penerimaan sinyal untuk perhitungan batas sel, semuanya disimpan di BSC (Pransistya, Irawan, Ari, 2010).

##### b. Base Transceiver Station (BTS)

Pada BTS terdiri atas perangkat penerima dan pengirim seperti antena dan pemroses sinyal, yang menangani hubungan link radio dengan *mobil station* (MS) (Suyuti, Rusli, Syarif, 2011).

##### c. Transcoder and Rate Adaptation Unit (TRAU)

TRAU biasa disebut *Transcoding Equipment* (TCE ). Bertugas untuk mengadaptasi bit rate antara BSC dan MSC. Hubungan informasi kontrol (SS7) dan adaptasi bit rate untuk transmisi data melalui telepon mobile (Suyuti, Rusli, Syarif, 2011).



**Gambar 2.2 : Arsitektur Logical Structure pada BSS.**

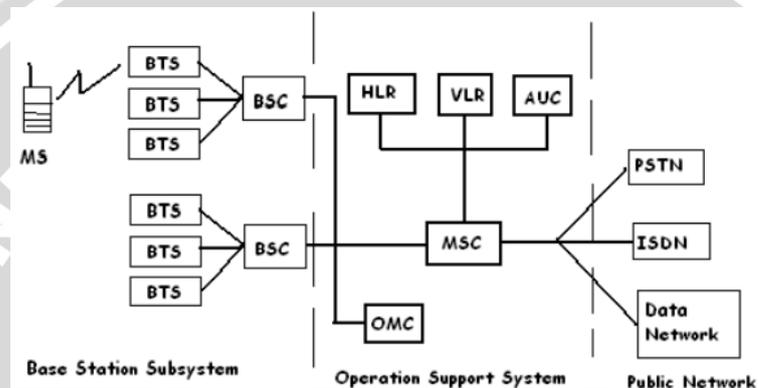
( Sumber : Pransistya, Irawan, Ari, 2010).

Arsitektur GSM terdiri dari 2 subsistem yang saling berhubungan dan berinteraksi antara sistem dengan user melalui jaringan.

interface, subsistem tersebut adalah :

- *Base Station Subsystem* (BSS)
- *Network and Switching System* (NSS)

Setiap BSS subsistem terdiri dari beberapa *Base Station Controller* (BSC) yang berfungsi mengkoneksikan MS ke NSS via MSCs. dimana NSS bertugas mengatur fungsi *switching* dari sistem dan memastikan MSC dapat berkomunikasi dengan jaringan lain seperti PSTN dan ISDN. Fungsi operasi, dan *maintenance* dari keseluruhan sistem GSM dikontrol oleh subsistem OSS, dibagian subsistem ini dapat dilakukan *monitoring*, analisa dan *troubleshooting* yang terjadi pada sistem GSM (Pransistya, Irawan, Ari, 2010).



**Gambar 2.3 : Diagram Dari Arsitektur Sistem GSM**

( Sumber : Pransistya, Irawan, Ari, 2010).

Dari diagram arsitektur di atas, terlihat bahwa *Mobile Station* melakukan berkomunikasi dengan BSS melalui *interface* radio, BSS terdiri dari beberapa *Base Station Controller* dan terhubung kedalam satu MSC. karena BSC dapat mengontrol sampai beberapa ratus BTS, dan lokasi BTS tersebar dimana-mana menyesuaikan target *coverage area* yang di rencanakan oleh suatu *provider*. *Mcrowave links* adalah koneksi yang digunakan oleh BTS untuk melakukan interaksi atau koneksi ke BSC (Pransistya, Irawan, Ari, 2010).

## 2.4 Offered Bit Quantity (OBQ)

OBQ adalah perkiraan kepadatan trafik didaerah tertentu dengan beberapa parameter yang perlu diperhatikan diantaranya kepadatan pelanggan potensial, penetrasi pengguna tiap layanan, durasi panggilan efektif yang dilakukan pelanggan, *busy Hour Call Attempt* (BHCA) dan *bandwidth* dari type layanan yang disediakan yaitu IP, video, dan *Voice Over Internet Protocol* (VoIP) merupakan layanan yang melewati suara melalui paket data. Persamaan untuk mendapatkan nilai OBQ adalah (Aryanti dkk, 2013) :

$$\sum \sigma x p x d x BHCA x BW \dots\dots\dots(2.1)$$

$\sigma$  = kepadatan pelanggan potensial dalam suatu daerah pengguna/km<sup>2</sup>)

$p$  = Penetrasi Pengguna tiap layanan

$d$  = durasi panggilan efektif (s)

$BHCA$  = *Busy Hour Cal Attempt (call/s)*

$BW$  = *Bandwidth* tiap layanan (Kbps)

## 2.5 Perhitungan Luas cakupan sel

Perhitungan luas cakupan area sel adalah untuk mengetahui kemampuan minimal yang harus dimiliki setiap sel untuk dijadikan acuan jumlah sel yang harus di pasang di daerah tersebut. Persamaan yang dapat digunakan untuk mendapatkan hasil cakupan sel adalah (Asmungi dkk, 2015) :

$$L = \frac{K}{OBQ} \text{ (Km}^2\text{/sel)} \dots\dots\dots(2.2)$$

L = Luas cakupan sel

K = kapasitas tiap sel

OBQ = perkiraan kepadatan traffic

**Tabel 2.2 : Tabel kapasitas Bandwidth**

Bandwidth (MHZ)	Modulation		
	QPSK	16QAM	64QAM
1.4	2.016 Mbps	4.032 Mbps	6.048 Mbps
3	5.04 Mbps	10.08 Mbps	15.12 Mbps
5	8.4 Mbps	16.8 Mbps	25.2 Mbps
10	16.8 Mbps	33.6 Mbps	50.4 Mbps
15	25.2 Mbps	50.4 Mbps	75.6 Mbps
20	33.6 Mbps	67.2 Mbps	100.8 Mbps

Sumber : Usman (2015)

## 2.6 Radius sel

Dalam penggambarannya Arif dan Mauludiyanto (2015), radius cakupan sel digambarkan dalam bentuk lingkaran yang mana bentuk sel ini dianggap ideal, atau digambarkan dalam bentuk *hexagonal* sehingga cakupan area sepenuhnya tertutup tanpa ada celah. Namun pada kenyataannya cakupan sel secara nyata tidak sepenuhnya berbentuk lingkaran.





**Gambar 2.4 : Gambaran model cakupan sel**

Untuk mengetahui radius dari setiap sel suatu daerah maka digunakan persamaan (Asmugi dkk, 2015):

$$L = 2.59 R^2 \dots\dots\dots(2.3)$$

L = radius sel lingkaran

R = jari-jari

**2.7 Jumlah Sel Setiap Wilayah**

Perhitungan jumlah sel dilakukan untuk menentukan optimasi sel yang perlu diterapkan pada daerah target. Jumlah sel didapat menggunakan persamaan berikut (Asmungi dkk, 2015) :

$$\sum sel = \frac{L(wilayah)}{L} \dots\dots\dots(2.4)$$

$\sum sel$  = jumlah sel

$L(wilayah)$  = Luas wilayah

L = luas cakupan sel

**2.8 Optimasi**

Optimasi merupakan permasalahan komputasi yang bertujuan untuk mendapatkan solusi terbaik dari beberapa solusi yang ada. Berdasarkan teori, optimasi adalah proses mendapatkan solusi berbeda pada suatu daerah yang mungkin (*feasible reogion*) memiliki nilai minimum atau maksimum dari fungsi objektif (Mahmudy, 2013).

Optimasi dapat diartikan sebagai proses pemilihan solusi dari sejumlah alternatif yang memenuhi batasan (*constrains*) yang telah ditentukan (Mahmudy,2013). Salah satu permasalahan optimasi adalah pencarian rute terpendek dari banyak *node*, maka akan ada banyak alternatif solusi untuk setiap jalur, dan satu node dikunjungi paling tidak satu kali.

Permasalahan di atas dapat diselesaikan dengan metode *heuristik*, yaitu metode pencarian berdasarkan pada intuisi atau aturan-aturan empiris untuk menghasilkan solusi lebih baik daripada solusi sebelumnya (Mahmudy, 2013).

## 2.9 Algoritma Genetika

Menurut Mahmudy (2013), algoritma genetika (*Genetic Algorithms*, Gas) merupakan tipe EA yang paling populer. Algoritma genetika berkembang seiring dengan perkembangan teknologi informasi yang sangat pesat. Kemampuan algoritma genetika menyelesaikan permasalahan kompleks. Algoritma genetika diilhami oleh ilmu genetika, oleh karena itu istilah dalam algoritma genetika banyak diadopsi dari ilmu tersebut. Apabila dibandingkan dengan prosedur pencarian dan optimasi biasa, algoritma genetika berbeda dalam beberapa hal sebagai berikut :

- Manipulasi dilakukan terhadap kode dari himpunan parameter (biasa disebut *chromosome*), tidak secara langsung terhadap parameternya sendiri.
- Proses pencarian dilakukan dari beberapa titik dalam satu populasi, tidak dari satu titik saja.
- Proses pencarian menggunakan informasi dari fungsi tujuan.
- Pencariannya menggunakan stochastic operators yang bersifat probabilistik, tidak menggunakan aturan deterministik.

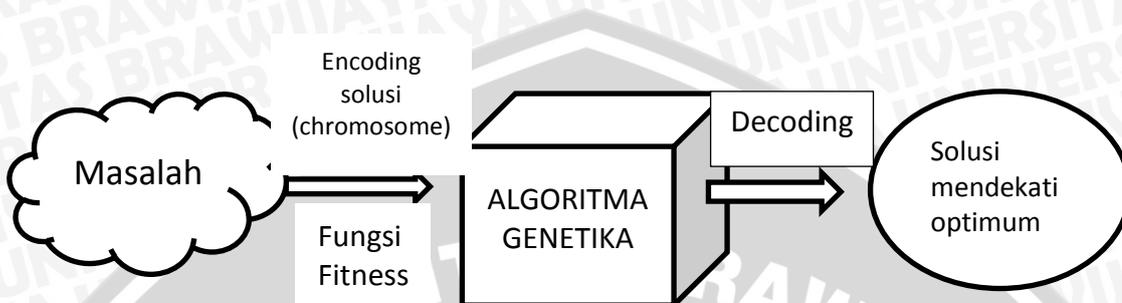
Kelebihan Gas sebagai metode optimasi adalah : (Mahmudy,2013) :

1. Gas merupakan algoritma yang berbasis populasi yang memungkinkan digunakan pada optimasi masalah dengan ruang pencarian (*search space*) yang sangat luas dan kompleks. Properti ini juga memungkinkan Gas untuk melompat keluar dari daerah optimum lokal.
2. Individu yang ada pada populasi bisa diletakan pada beberapa sub-populasi yang diproses pada sejumlah komputer secara paralel. Hal ini bisa mengurangi waktu komputasi pada masalah yang sangat kompleks.
3. Gas menghasilkan himpunan solusi optimal yang sangat berguna pada penyelesaian masalah dengan banyak obyektif.
4. Gas dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah yang kompleks dengan banyak variabel. Variabel tersebut bisa kontinyu, diskrit atau campuran keduanya.
5. Gas menggunakan chromosome untuk mengkodekan solusi sehingga bisa melakukan pencarian tanpa memperhatikan informasi derivatif yang spesifik dari masalah yang diselesaikan.
6. Gas bisa diimplementasikan pada berbagai macam data seperti data yang dibangkitkan secara numerik atau menggunakan fungsi analitis.
7. Gas cukup fleksibel untuk dihibridisasikan dengan algoritma lainnya (Gen & Cheng 1997). Beberapa penelitian membuktikan bahwa hybrid Gas (HGAs) sangat efektif untuk menghasilkan solusi yang lebih baik.
8. Gas bersifat *ergodic*, sembarang solusi bisa diperoleh dari solusi yang lain dengan hanya beberapa langkah. Hal ini memungkinkan eksplorasi

pada daerah pencarian yang sangat luas dilakukan dengan lebih cepat dan mudah.

### 2.9.1 Struktur Algoritma Genetika

Pemecahan suatu masalah oleh Algoritma Genetika dapat direpresentasikan pada Gambar 2.5.1.



**Gambar 2.5 : Mencari solusi dengan algoritma genetika**

(sumber : Mahmudy,2013)

Penyelesaian suatu masalah menggunakan algoritma genetika diawali dengan inisialisasi, yaitu menciptakan individu secara acak yang memiliki susunan gen (*chromosome*) tertentu. *Chromosome* yang terbentuk mewakili solusi alternatif dari permasalahan yang akan dipecahkan. Selanjutnya reproduksi dilakukan untuk mendapatkan individu baru (*offspring*) dari individu-individu yang ada di populasi. Evaluasi digunakan untuk menghitung kebugaran (*fitness*) setiap *chromosome*. Semakin besar *fitness* maka semakin baik *chromosome* tersebut untuk dijadikan calon solusi. Seleksi digunakan untuk memilih individu dari populasi dan *offspring* yang dapat bertahan hidup pada generasi berikutnya. Fungsi probabilistik digunakan untuk memilih individu yang dipertahankan hidup. Individu yang lebih baik (mempunyai nilai kebugaran/*fitness* lebih besar) mempunyai peluang lebih besar untuk terpilih (Mahmudy,2013).

Selanjutnya dilakukan iterasi hingga iterasi ke sekian (generasi), sehingga didapatkan individu terbaik. Individu terbaik ini mempunyai susunan *chromosome* yang bisa dikonversi menjadi solusi yang terbaik (paling tidak mendekati optimum). Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa algoritma genetika mampu menghasilkan solusi optimum dengan mencari diantara sejumlah alternatif titik optimum berdasarkan fungsi probabilistic (Mahmudy, 2013).

### 2.9.2 Parameter Algoritma Genetika

Mahmudy (2013), menerangkan bahwa parameter-parameter yang ada pada Algoritma genetika dapat mempengaruhi kinerja dan perilaku dari algoritma ini, sehingga dalam mencapai solusi optima dari permasalahan yang akan diselesaikan. Parameter tersebut ialah :

1. Ukuran Populasi

Jumlah kromosom yang ada pada populasi dalam satu generasi disebut kromosom. Kromosom mempresentasikan alternatif solusi pada algoritma genetika, banyaknya suatu ukuran populasi berbanding lurus dengan nilai optimal hasil pencarian solusi oleh algoritma genetika, sehingga semakin banyak ukuran populasi, proses pencarian solusi akan semakin optimal. Namun, proses penyelesaian menggunakan algoritma genetika akan berjalan lambat jika terlalu banyak jumlah kromosom yang menjadi kandidat.

## 2. Jumlah Generasi

Generasi merupakan jumlah iterasi terhadap proses evaluasi setiap populasi, proses generasi dilakukan untuk mempertahankan individu (kromosom) baik yang mampu bertahan hidup ke generasi berikutnya untuk menjadi kandidat alternatif solusi. Jumlah generasi perlu ditentukan secara tepat untuk mencapai optimasi yang diinginkan menggunakan algoritma genetika, untuk mendapatkan jumlah generasi yang tepat perlu dilakukan proses pengujian terhadap ukuran generasi.

## 3. Crossover Rate

*Crossover rate* ( $cr$ ) merupakan persentase dari total kromosom yang akan melakukan proses kawin silang (*crossover*). Proses *crossover* perlu dilakukan untuk mendapatkan keturunan baru, jika tidak dilakukan *crossover* maka *offspring* (kromosom anak hasil persilangan) akan memiliki kromosom serupa dengan induknya (*parent*). *Crossover* dilakukan dengan harapan kromosom hasil kawin silang mewarisi bagian-bagian baik dari induknya, sehingga tercipta generasi baru yang lebih baik untuk bertahan hidup ke generasi berikutnya. Untuk itu perlu mengetahui nilai parameter *crossover rate* yang sesuai yaitu dengan melakukan proses pengujian terhadap nilai *crossover rate* yang optimal.

## 4. Mutation Rate

*Mutation rate* ( $mr$ ) merupakan nilai untuk menentukan frekuensi atau berapa kali kromosom akan bermutasi. Nilai dari *mutation rate* menjadi penentu berapa jumlah anak yang akan di hasilkan setelah proses mutasi. Untuk mengetahui parameter nilai optimal dari *mutation rate* pada algoritma genetika perlu dilakukan pengujian terhadap nilai *mutation rate*. Nilai *mutation rate* akan menjadi penentu jumlah anak hasil mutasi.

## 2.10 Penerapan Algoritma Genetika

Menurut Mahmudy (2013) Penerapan algoritma genetika dapat dilakukan melalui beberapa langkah berikut :

### 2.10.1 Generate Populasi Awal

Untuk menerapkan algoritma genetika diawali dengan pembangkitan populasi awal yang akan menjadi kandidat dalam iterasi generasi pertama agar dapat terjadi seleksi alam. Pembangkitan dilakukan dengan menentukan individu

secara acak atau ditentukan oleh prosedur tertentu untuk mendapatkan penyelesaian dengan nilai optimal.

### 2.10.2 Representasi Kromosom

Pada Modul Kuliah Algoritma Evolusi Mahmudy (2013), representasi kromosom adalah suatu proses pengkodean dari penyelesaian permasalahan. Solusi permasalahan harus dipetakan (*encoding*) sebagai string kromosom yang tersusun dari sejumlah gen yang menjadi *variable*-variabel keputusan untuk mendapatkan suatu solusi. Penentuan solusi menjadi kromosom sangat menentukan kualitas dari solusi yang akan dihasilkan. Terdapat beberapa metode representasi kromosom diantaranya representasi biner, representasi *real coded*, representasi integer, representasi matriks, dan representasi permutasi.

### 2.10.3 Crossover

*Crossover* diawali dengan memilih dua induk (*parent*) secara acak dari populasi. *Crossover* perlu menentukan *crossover rate* (*cr*) sebagai pernyataan rasio *offspring* yang akan menjadi individu baru dalam populasi. *Offspring* dihasilkan dari  $cr \times \text{popsize}$  (jumlah populasi). Secara garis besar langkah *crossover* adalah sebagai berikut (Mahmudy, 2013):

1. Memilih dua buah kromosom sebagai *parent*.
2. Secara acak memilih posisi populasi dalam kromosom, agar kromosom *parent* terpisah menjadi dua segment.
3. Saling menukar segment diantara dua induk untuk menghasilkan kromosom baru yaitu kromosom anak.

### 2.10.4 Mutasi

Mutasi menghasilkan individu baru dengan melakukan modifikasi satu atau lebih gen yang ada pada satu individu. Mutasi dilakukan untuk menggantikan gen yang hilang dari populasi selama terjadinya seleksi serta menciptakan gen yang tidak ada dalam populasi awal. Hasil mutasi akan meningkatkan keragaman populasi. Mutasi dilakukan setelah *crossover*.

### 2.10.5 Fitness

Mahmudy (2013), menjelaskan bahwa *Fungsi fitness* ditentukan untuk mengukur seberapa baik suatu individu. Individu dengan nilai *fitness* terbaik diakhir iterasi (generasi) akan tetap bertahan hidup dan dapat dikodekan sebagai solusi terbaik hasil dari persilangan dan mutasi. maka semakin besar nilai *fitness* semakin baik individu tersebut untuk menjadi calon solusi.

### 2.10.6 Seleksi

Seleksi adalah tahap pemilihan individu dari himpunan populasi dan *offspring* yang dipertahankan pada generasi berikutnya (Mahmudy, 2013). Peluang suatu individu untuk hidup dengan melakukan proses seleksi, kriteria

individu yang berpeluang untuk terpilih dalam proses seleksi adalah yang memiliki *fitness* lebih besar. Metode seleksi yang sering digunakan adalah *roulette wheel*, *replacement*, *elitism* dan *binary tournament*.

### 2.10.6.1 Roulette wheel

Pendekatan ini dilakukan dengan menghitung nilai probabilitas seleksi (prob) tiap individu berdasarkan nilai fitnessnya. Dari nilai probabilitas ini bisa dihitung probabilitas kumulatif (probCum) yang digunakan pada proses seleksi tiap individu (Mahmudy, 2013).

Langkah-langkah membentuk *roulette wheel* berdasarkan probabilitas kumulatif adalah (Mahmudy, 2013):

- Misalkan  $fitness(P_k)$  adalah nilai fitness individu ke-k. Maka bisa dihitung total *fitness* dengan persamaan 2.1 berikut:

$$totalFitness = \sum_{k=1}^{popSize} fitness(P_k) \quad (2.1)$$

- Hitung nilai probabilitas seleksi (prob) tiap individu:

$$prob_k = \frac{fitness(P_k)}{totalFitness}, \quad 1,2,\dots,popSize \quad (2.2)$$

- Hitung nilai probabilitas kumulatif (probCum) tiap individu:

$$probCum_k = \sum_{j=1}^k prob_j, \quad 1,2,\dots,popSize \quad (2.3)$$

### 2.10.6.2 Replacement

Metode seleksi *replacement* mempunyai dua aturan sebagai berikut (Mahmudy, 2013) :

- Offspring yang diproduksi melalui proses mutasi menggantikan induknya jika mempunyai nilai *fitness* yang lebih baik.
- Offspring yang diproudksi melalui proses *crossover* (menggunakan dua induk) akan menggantikan induk yang terlemah jika mempunyai nilai *fitness* yang lebih baik daripada induk yang terlemah tersebut.

Metode ini memastikan bahwa individu terbaik akan selalu bertahan hidup. Namun ada kemungkinan individu dengan nilai *fitness* rendah untuk lolos ke generasi berikutnya. Inilah keunggulan dari *replacement selection* karena seperti telah diuraikan pada modul sebelumnya, solusi optimum mungkin didapatkan dari hasil reproduksi individu-individu dengan nilai *fitness* rendah. representasi dari metode seleksi *replacement* melalui psudocode berikut (Mahmudy, 2013):

```
PROCEDURE ReplacementSelection
```

```
Input:
```

```
POP: himpunan individu pada pembangkitan populasi
```

```
OFS: himpunan anak (offspring) hasil dari proses crossover dan mutasi
```

```
fsn: banyaknya offspring yang dihasilkan
```

```
P: index parent dari offspring
```

```
FOR i=1 TO fsn DO
```

```
  /* get index of parent */
```

```
  p = Pi
```

```
  IF Fitness(OFSi) > Fitness(POPp) THEN
```

```
    POPp ← OSi
```

```
  END IF
```

```
END PROCEDURE
```

```
Output:
```

```
POP: himpunan individu pada populasi setelah proses seleksi
```

### Gambar 2.6 : Pseudocode Selection Replacement

Gambar 2.6 merupakan *procedure replacement selection* yang melakukan seleksi dengan membandingkan *fitness parent* dan *offspring* dan mengambil individu dengan *fitness* terbaik. Jika *fitness offspring* lebih baik maka individu tersebut menggantikan induknya untuk tetap bertahan di generasi berikutnya.

#### 2.10.6.3 Binary tournament

Pendekatan ini dilakukan dengan mengambil secara acak sejumlah kecil individu (biasanya 2, disebut *binary tournament selection*) dari penampungan populasi dan *offspring*. Satu individu dengan nilai *fitness* lebih besar akan terpilih untuk masuk populasi berikutnya. *Binary tournament* dapat direpresentasikan dalam bentuk pseudo-code sebagai berikut (Mahmudy, 2013):

```
PROCEDURE BinaryTournamentSelection
```

```
Input:
```

```
POP:          populasi
```

```
popsiz:      ukuran populasi
```

```
OS:          himpunan offspring hasil crossover dan mutasi
```

```
fsn:         banyaknya offspring
```

Output:

```
FOR i=1 TO fsn DO
```

```
    /* memilih satu individu secara random */
```

```
    x = Random (1, popsize)
```

```
    /* melakukan pembadingan nilai fitness antara offspring dan parent
    pada himpunan populasi */
```

```
    IF Fitness(OSi) > Fitness(POPx) THEN
```

```
        POPx  OSi
```

```
    END IF
```

**Gambar 2.7 : Pseudocode Selection Binary Tournament.**

Gambar 2.7 merupakan procedure dari *binary tournament* yang menggabungkan parent dan *offspring* hasil proses reproduksi dalam satu himpunan populasi, selanjutnya memilih dua individu untuk dibandingkan fitnessnya. individu dengan fitness terbaik akan lolos ke generasi berikutnya.

#### 2.10.6.4 Elitism

Metode ini mengumpulkan semua individu (parent) dan offspring dalam satu penampungan yang selanjutnya akan diseleksi, individu terbaik akan lolos ke generasi berikutnya. Metode ini memastikan individu terbaik yang akan lolos. Pseudo-code elitism adalah (Mahmudy, 2013):

```
PROCEDURE Elitism Selection
```

**Input :**

```
POP : individu dalam populasi
```

```
popsize : ukuran populasi
```

```
OFS : himpunan offspring hasil crossover dan mutasi
```

```
/*mengumpulkan offspring dan parent dalam satu penampung
yaitu temp*/
```

```
temp ← Merge ( POP,OFS)/*
```

```
urut secara ascending individu dalam penampung temp */
Asc( Temp )
```

```
/*copy individu dengan nilai fitness terbaik dalam temp
ke POP*/
```

```
POP ← CopyBest ( Temp,popsize)
```

**END PROCEDURE**

**Output :**

```
POP :himpunan individu setelah proses seleksi
```

### Gambar 2.8 : Pseudo-code Elitism

Gambar 2.8 merupakan procedure dari seleksi elitism, seleksi ini mampu menyeleksi individu dengan fitness terbaik untuk masuk ke generasi berikutnya. Yang pada awalnya mengumpulkan parent dan *offspring* dalam satu penampung populasi keseluruhan, kemudian dilakukan perhitungan fitness dan diurutkan berdasarkan fitness dengan nilai terbesar.

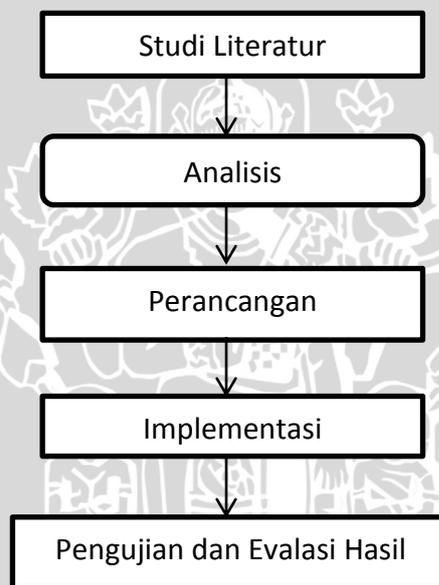


## BAB 3 METODOLOGI

Penelitian yang berjudul “Optimasi Jangkauan Jaringan 4G LTE Menggunakan Algoritma Genetika” dapat dijadikan sebagai penelitian implementatif yang memberikan solusi berupa rancangan untuk mengoptimalkan jangkauan jaringan 4G sesuai dengan kebutuhan kepadatan pengguna disuatu area. Hasil akhir penelitian ini adalah sebuah perangkat lunak yang dapat di manfaatkan untuk mengoptimalkan pemasangan BTS 4G LTE, baik dalam perancangan atau evaluasi optimasi untuk BTS yang telah terpasang.

### 3.1 Tahap Penelitian

Langkah-langkah dalam perancangan penelitian implementatif menggunakan algoritma genetika ini meliputi proses-proses dapat dilihat pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1 : Metodologi Penelitian**

Berdasarkan Gambar 3.1 yang menunjukkan tentang alur pengerjaan penelitian ini akan diuraikan setiap tahapnya sebagai berikut :

1. Melakukan studi literatur mengenai optimasi menggunakan algoritma genetika terutama penelitian yang relevan dengan penelitian ini yaitu tentang *coverage area*.
2. Tahap analisis membahas tentang permasalahan yang sedang diangkat, yaitu mengenai jangkauan jaringan 4G, pengumpulan data beserta hasil yang diharapkan dengan menerapkan algoritma genetika.
3. Perancangan merupakan alur penyelesaian yang dilakukan oleh algoritma genetika , meliputi langkah-langkah yang dilakukan.

4. Implementasi adalah tahap membuat sistem sesuai dengan analisis dan perancangan yang telah dilakukan sebelumnya.
5. Pengujian dan evaluasi dilakukan terhadap hasil uji coba yang dilakukan sesuai skenario pengujian.

### 3.1.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan referensi berupa jurnal yang melakukan penelitian serupa atau berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan pada skripsi ini. Permasalahan yang merujuk pada penelitian terkait skripsi ini diantaranya :

1. Optimasi
2. Algoritma Genetika
3. *Coverage area*
4. Teknologi 4G LTE

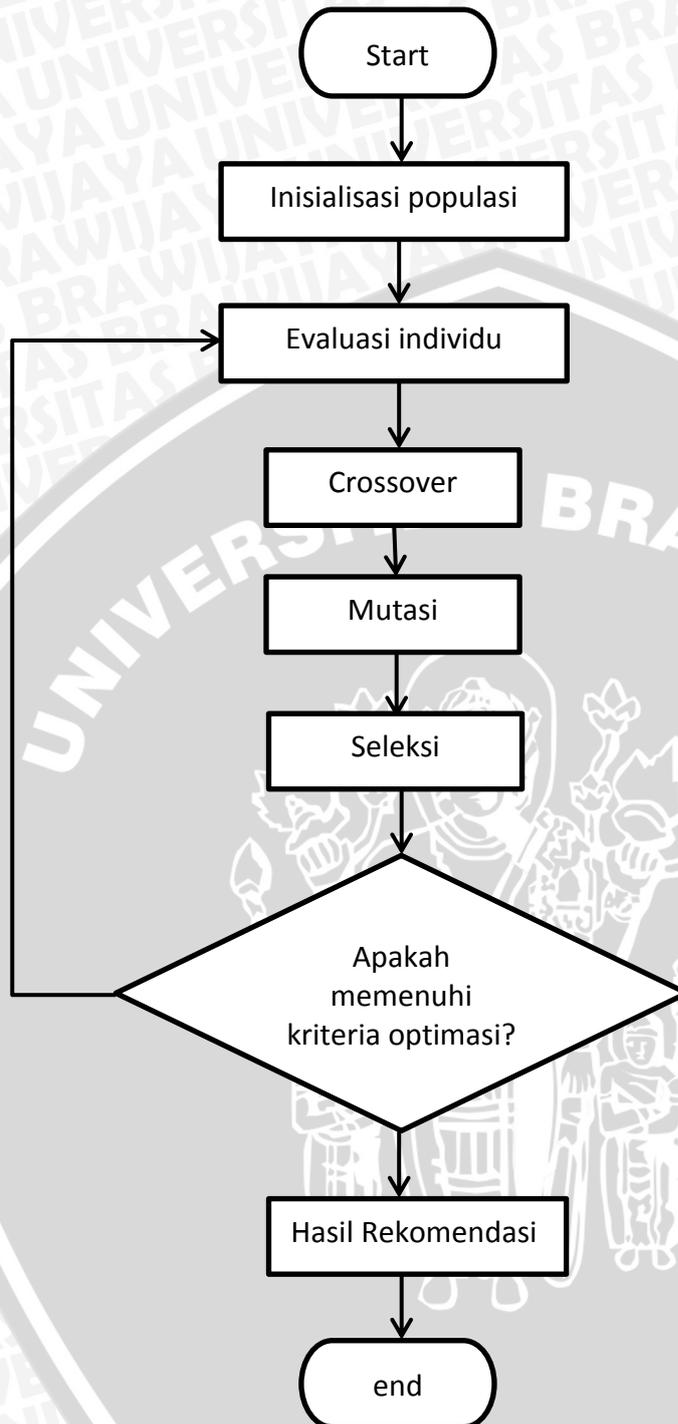
Referensi pada penelitian ini bersumber pada jurnal internasional maupun nasional, buku, skripsi dan artikel di media internet. Untuk menunjang penelitian dilakukan wawancara secara langsung kepada pihak yang berhubungan langsung dengan pemasangan BTS yaitu provider penyedia layanan komunikasi.

### 3.1.2 Formulasi Permasalahan

Formulasi permasalahan pada skripsi ini mengangkat masalah optimasi jangkauan jaringan 4G LTE yang saat ini sedang dilakukan pemerataannya oleh para provider. Pemerataan yang diharapkan dapat menjangkau daerah yang lebih luas lagi agar banyak pengguna internet dapat merasakan teknologi internet cepat ini. Perlu ditentukan kemampuan *coverage area* dari BTS dengan menentukan posisi pemasangannya.

### 3.1.3 Siklus Penyelesaian Masalah Menggunakan Algoritma Genetika

Representasi penyelesaian permasalahan dibuat untuk memudahkan dalam melakukan tahapan penyelesaian masalah. Yang mana tahapannya akan menunjukkan alur dari proses penyelesaian oleh algoritma genetika, untuk optimasi jumlah pelanggan yang dapat dijangkau oleh BTS yang telah ada di Malang. Langkah-langkah algoritma genetika yang digunakan sebagai acuan pada penelitian ini di tampilkan dalam bentuk alur atau flowchart untuk mempermudah dalam memahami alur pengoptimasian. Gambar alur penyelesaian masalah jangkauan pelanggan selular di Malang ada pada Gambar 3.2 sebagai berikut.



**Gambar 3.2** Penyelesaian masalah menggunakan algoritma genetika

Penyelesaian menggunakan algoritma genetika diawali dengan membangkitkan individu yang akan ditampung dalam suatu populasi dan disebut dengan *population size*, selanjutnya menentukan nilai *crossover rate* ( $Cr$ ) yang merupakan rasio jumlah *offspring* (individu baru) yang dihasilkan setelah proses *crossover*, *offspring* yang dihasilkan sebanyak  $crossover\ rate \times popSize$ , dan *mutation rate* ( $mr$ ) merupakan nilai yang menyatakan rasio jumlah *offspring* yang

dihasilkan setelah proses mutasi terhadap populasi, *offspring* yang dihasilkan melalui proses mutasi sebanyak  $mutation\ rate \times popSize$ . Setelah reproduksi selesai proses seleksi perlu dilakukan untuk menentukan individu yang lolos pada satu iterasi ini. Selanjutnya dilakukan seleksi dengan metode yang telah dijelaskan pada sub bab 2.6.6, yaitu proses pemilihan individu pada populasi baru dapat bertahan hidup untuk menjadi generasi berikutnya sebagai kandidat solusi.

### 3.1.4 Pengujian

Pengujian dilakukan pada sistem yang telah dibuat melewati perancangan dan pengumpulan data hingga proses implementasi. Pengujian dilakukan dengan menguji parameter-parameter yang ada pada algoritma genetika meliputi :

1. Pengujian generasi
2. Pengujian populasi
3. Pengujian *crossover rate* dan *mutation rate*
4. Pengujian seleksi

Dari hasil proses pengujian akan didapatkan parameter optimal yang dapat dijadikan rekomendasi penyelesaian masalah dalam penelitian ini.

### 3.2 Data yang Digunakan

Untuk menyelesaikan permasalahan dalam penelitian ini, Data merupakan hal penting sebagai objek penelitian. Pada penelitian ini pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan data literatur dari berbagai sumber yaitu jurnal, modul kuliah, artikel dan internet. Data literatur yang dikumpulkan meliputi data *existing* BTS di kota malang untuk menentukan penempatan sel yang tepat, jumlah penduduk dan luas wilayah malang untuk memperkirakan kepadatan pelanggan dan menentukan jenis wilayah berdasarkan kepadatan penduduk, parameter OBQ untuk memperkirakan kebutuhan trafik sesuai dengan jumlah pelanggan per-satuan luas.

### 3.3 Algoritma yang digunakan

Penelitian optimasi *coverage area* ini menggunakan algoritma genetika yang mana telah dijelaskan pada sub bab 2.5 bahwa algoritma ini mampu memberikan hasil optimal, salah satunya untuk permasalahan optimasi dan dapat menyelesaikan permasalahan yang kompleks sekalipun. Diharapkan algoritma genetika mampu memberikan solusi permasalahan mengenai jumlah BTS yang perlu dipasang sesuai dengan kemampuan *coverage Area* setiap BTS dan dan traffic yang dibutuhkan pada area target.

### 3.4 Kebutuhan sistem

Analisa kebutuhan sistem merupakan tahapan untuk menganalisis kebutuhan yang diperlukan dari segi sistem untuk mendukung sistem yang akan

dibuat dapat berjalan dengan baik. Analisa kebutuhan terbagi menjadi dua yaitu kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak.

#### 3.4.1 Kebutuhan Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan untuk pengembangan perangkat lunak dalam penelitian ini memiliki spesifikasi sebagai berikut :

1. Prosesor Intel(R) Core i3 CPU @210 GHz.
2. Memori 2GB
3. *Harddisk* dengan kapasitas 520 GB.

#### 3.4.2 Kebutuhan Perangkat Lunak

Kebutuhan perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Sistem Operasi Microsoft Windows 8 Ultimate edition 32 bit.
2. Bahasa pemrograman Java dengan editor Netbean.
3. Mysql sebagai *Databas Management System (DBMS)*.
4. Microsoft Office Visio 2010 untuk membuat diagram alir.

#### 3.5 Pengujian Algoritma

Skenario pengujian yang akan dilakukan pada sistem optimasi meliputi beberapa percobaan. Dimana setiap percobaan memiliki tujuan masing-masing algoritma berdasarkan parameter yang telah ditentukan. Perancangan pengujian yang akan dilakukan adalah pengujian jumlah populasi, pengujian generasi, perancangan kombinasi Crossover rate (Cr) dan Mutation rate (Mr).

##### 3.5.1 Perancangan Pengujian Ukuran Populasi

Skenario pertama melakukan ujicoba ukuran populasi yang optimal untuk memecahkan permasalahan ini. Ukuran populasi yang digunakan 100, 200, 300 hingga 1000. Jumlah generasi yang digunakan pada awal pengujian adalah 100 karena jika lebih dari ukuran populasi 100 akan terjadi konvergensi dini dan proses perhitungan memakan banyak waktu. Nilai Mr 0.5 dan Cr 0.5. perancangan pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.2 .

Populasi : 100-1000

Generasi : 100

Cr : 0.5

Mr : 0.5

Tabel 3.1 Perancangan uji coba ukuran populasi

Ukuran Populasi	Nilai Fitness										Fitness rata-rata	Waktu
	Populasi ke-											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
100												
200												
300												
400												
500												
600												
700												
800												
900												
1000												

Perancangan ujicoba ukuran populasi dilakukan untuk mengetahui ukuran populasi yang menghasilkan ukuran populasi optimum untuk mendapatkan individu dengan fitness terbaik. Perancangan ukuran populasi ini dapat dilanjutkan hingga lebih dari 1000 jika belum didapatkan rata-rata fitness yang menghasilkan grafik stabil yaitu grafik dengan nilai fitness yang memiliki perbedaan nilai yang tidak terlalu jauh.

### 3.5.2 Perancangan Pengujian Jumlah Generasi

Ujicoba berikutnya yaitu pengujian jumlah generasi, ini dilakukan untuk mengetahui jumlah generasi optimal yang menghasilkan solusi terbaik. Banyaknya generasi yang digunakan adalah kelipatan 100. Dengan ukuran populasi 100 dan kombinasi parameter Cr dan Mr sebesar 0.5, pengujian ini hanya mengubah parameter jumlah generasi. Tabel perancangan pengujian ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Populasi : 50

Generasi : 10-100

Cr : 0.5

Mr : 0.5

Tabel 3.2 : Perancangan uji coba jumlah generasi

Banyak Generasi	Nilai Fitness										Fitness rata-rata	Waktu
	Generasi ke-											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
100												
200												
300												
400												
500												
600												
700												
800												
900												
1000												

Tabel 3.2 merupakan rancangan pengujian jumlah generasi dengan parameter pengujian generasi hingga 1000. Jika hasil rata-rata pengujian belum memberikan hasil fitness terbaik maka dapat dilanjutkan sampai melebihi jumlah generasi 1000. Namun jika sudah mendapatkan rata-rata fitness yang tidak jauh berbeda dengan pengujian jumlah generasi yang lain maka pengujian dapat berhenti pada generasi 1000 atau sebelumnya.

### 3.5.3 Perancangan Pengujian Kombinasi Parameter *Crossover Rate* (Cr) dan Parameter *Mutation Rate* (Mr)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kombinasi *Crossover rate* (Cr) *Mutation rate* (Mr) yang menghasilkan solusi permasalahan terbaik untuk penelitian ini. Ujicoba nilai *Crossover rate* (Cr) dan *Mutation rate* (Mr) yang digunakan antara nilai 0 hingga 1. Setiap parameter akan dilakukan pengujian sebanyak 10 kali untuk mendapatkan nilai rata-rata fitness. Sedangkan untuk jumlah generasi dan ukuran populasi digunakan ukuran populasi terbaik pada pengujian ukuran populasi, dan jumlah generasi yang digunakan adalah jumlah generasi dengan nilai fitness terbaik pada pengujian jumlah generasi. Tabel perancangan pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.4. parameter pengujiannya adalah :

Ukuran populasi : hasil terbaik pada pengujian populasi

Jumlah generasi : hasil terbaik pada pengujian generasi

**Tabel 3.3 Perancangan Pengujian Kombinasi Parameter *Crossover Rate* (Cr) dan *Mutation Rate* (Mr)**

Kombinasi		Nilai Fitness										Fitness rata-rata	Waktu
		Percobaan $P_c$ dan $P_m$ ke-											
Cr	Mr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
0	1												
0.1	0.9												
0.2	0.8												
0.3	0.7												
0.4	0.6												
0.5	0.5												
0.6	0.4												
0.7	0.3												
0.8	0.2												
0.9	0.1												
1	0												

Gambar 3.3 sama dengan tabel perancangan pengujian sebelumnya, yaitu melakukan pengujian setiap kombinasi parameter sebanyak 10 kali untuk mendapatkan rata-rata nilai fitness. Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan kombinasi nilai Cr dan Mr yang menghasilkan individu dengan nilai fitness terbaik.

## BAB 4 PERANCANGAN

### 4.1 Formulasi Permasalahan

Pemerataan jaringan 4G LTE diharapkan segera masuk ke kota Malang. Untuk itu dilakukan penelitian mengenai optimasi pemerataan dan luas jangkauan yang sesuai dengan target pengguna 4G LTE di Malang. Untuk mendapatkan jumlah trafik pengguna yang sesuai perlu dilakukan perhitungan mengenai persentase pelanggan selular di 5 kecamatan kota Malang. Menurut Tim Study Group 4G Spectrum (2010), persentase pengguna selular sebesar 85%. Dan penetrasi provider X sebesar 21.7%. Selanjutnya berdasarkan data kepadatan penduduk di bagi menjadi dua wilayah yaitu urban dan suburban. Yang termasuk dalam suburban adalah Kedungkandang yang memiliki kepadatan penduduk paling sedikit. Selanjutnya kecamatan Sukun, Klojen, Blimbing dan Lowokwaru termasuk wilayah urban. maka dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut :

**Tabel 4.1 : Tabel Kepadatan Pengguna**

	Urban	Suburban
Jumlah pelanggan potensial (85%)	562.739	156.337
Jumlah pelanggan provider X (21.7%)	122.144	33.925
Kepadatan (user/km <sup>2</sup> )	1.740	850

Selanjutnya dilakukan perkiraan Offered Bit Quantity (OBQ), untuk memperkirakan kebutuhan trafik di daerah kota Malang dengan parameter berikut :

**Tabel 4.2 : penetrasi Layanan**

netbit rate per service	
services type	netbitrate kbps
VoIP	64
FTP	2000
Video	1800

Sumber : Ezra, Fahmi, Meylani (2014)

Penetrasi layanan merupakan besarnya bitrate yang dibutuhkan untuk setiap service atau layanan yang disediakan diantaranya VoIP yaitu layanan yang melewatkan suara atau gambar dalam bentuk data trafik, FTP adalah layanan untuk melakukan transfer file, dan video.

**Tabel 4.3 : Tabel Penetrasi layanan**

Penetrasi layanan			
Type pelayanan	<i>building</i>	<i>pedestrian</i>	<i>vehicular</i>
VoIP	0.5	0.5	0.2
FTP	0.3	0.3	0.2
Video	0.4	0.4	0.3

Sumber : Usman (2015)

Tabel penetrasi layanan wilayah, memberikan informasi mengenai persentase dari wilayah yang *building*, *pedestrian* dan *vehicular* untuk setiap layanan yang ada.

**Tabel 4.4 : Tabel Penetrasi User**

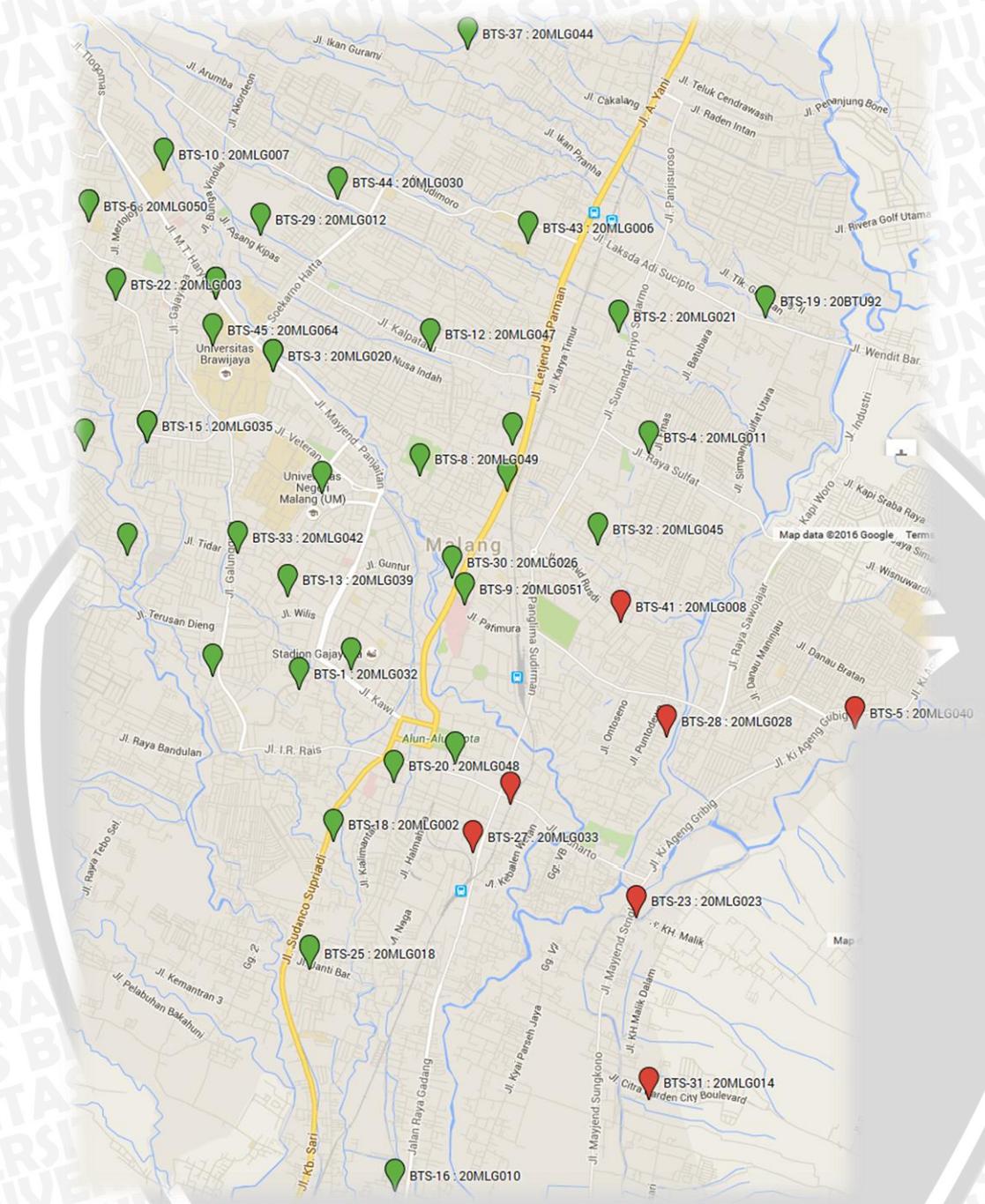
Penetrasi User		
No.	Wilayah	penetrasi
1	<i>Building</i>	0.30
2	<i>Pedestrian</i>	0.40
3	<i>Vehicular</i>	0.30

Sumber : Usman (2015)

Penetrasi user atau persentase dari jumlah pengguna pada wilayah *building*, *pedestrian* dan *vehicular*.

Dari data yang ada, didapatkan hasil perhitungan kebutuhan kapasitas wilayah urban dan suburban, Dengan Menghitung OBQ menggunakan persamaan (2.1), sehingga OBQ suburban sebesar 6.785,956 kbps/km<sup>2</sup> dan nilai OBQ urban sebesar 13.886,1294 kbps/km<sup>2</sup>. Untuk mengetahui jangkauan luas digunakan persamaan (2.2), jangkauan luas suatu sel kota malang wilayah suburban sebesar 7,427km<sup>2</sup>/sel dan wilayah urban sebesar 3,629km<sup>2</sup>/sel. Maka perkiraan kebutuhan sel sub urban di dapatkan dengan (2.4) sebanyak 5 sel wilayah suburban dan 19 sel untuk wilayah urban.

Dari data posisi BTS yang telah ada dilakukan simulasi menggunakan google maps untuk memetakan perpotongan antar BTS sehingga dapat diperkirakan berapa jumlah pengguna selular yang ada dalam perpotongan antar BTS yang nantinya akan menjadi bahan pertimbangan dalam menentukan jumlah perkiraan pelanggan yang tercover diantara dua atau lebih BTS yang berdekatan.



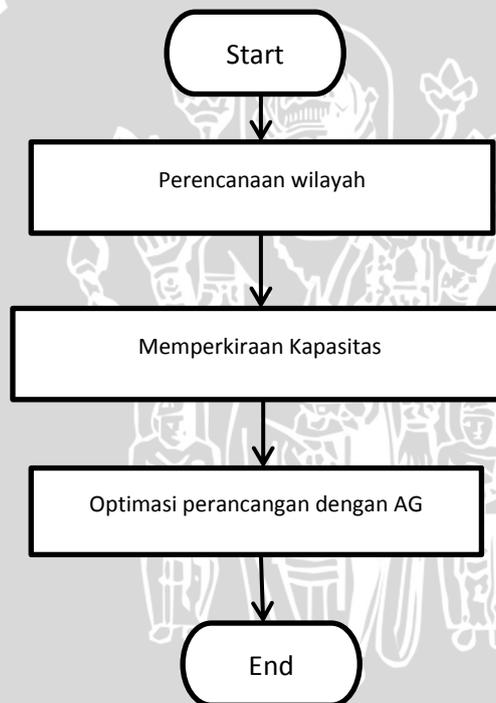
**Gambar 4.1 : simulasi posisi BTS**

Gambar 4.1 mempresentasikan posisi BTS dari data yang telah di dapatkan, Simbol berwarna hijau menunjukan BTS urban dan BTS suburban berwarna merah. dari representasi ini terlihat adanya BTS yang saling berdekatan, perancangan memanfaatkan posisi BTS dengan memperhatikan beberapa parameter yaitu jumlah pengguna termasuk pengguna yang berada dalam perpotongan antar BTS. Pada perpotongan tersebut memiliki beberapa kemungkinan misalnya kepadatan pengguna tinggi sehingga perlu adanya lebih

dari satu BTS untuk mengcover. Namun melihat perbedaan kemampuan setiap BTS dalam melayani pelanggan, pada bagian perpotongan perlu dilakukan perhitungan fitness yang melibatkan perhitungan irisan untuk mendapatkan hasil fitness yang lebih detail.

#### 4.2 Siklus Algoritma Jangkauan Jaringan

Optimasi yang telah dirancang akan dipasang pada BTS yang telah ada, data yang ada menunjukkan jumlah BTS yang telah ada di Malang sebanyak 45 terdiri dari 7 BTS suburban dan 38 BTS urban, sedangkan perhitungan yang telah dilakukan memberikan hasil 5 BTS pada suburban dan 19 BTS urban. Dari hasil yang telah dipaparkan tidak semua BTS perlu dipasang sel untuk memaksimalkan pemasangan jaringan 4G LTE ini. Maka dibutuhkan suatu perhitungan yang dapat mengoptimasi posisi pemasangan BTS secara tepat untuk memaksimalkan jumlah pelanggan yang dilayani.



**Gambar 4.2 : Diagram proses optimasi**

1. Perencanaan wilayah diawali dengan menentukan luasan kota Malang, dan target jumlah pelanggan. perhitungan cakupan wilayah, pertama dilakukan penentuan wilayah meliputi luas dan pembagian wilayah urban dan suburban. Perhitungan jumlah pelanggan yang menggunakan provider A.
2. Memperkirakan kapasitas, ialah menghitung kapasitas pelanggan berdasarkan kepadatan pengguna. Merencanakan kemampuan kapasitas perlu dihitung terlebih dahulu estimasi kepadatan trafik total pada jam sibuk dengan OBQ (*Offered Bit Quantity*) dan jangkauan luas tiap sel.

3. Mengoptimasi jaringan Menggunakan Algoritma Genetika. Tahap ini menentukan penempatan sel pada BTS yang tepat pada BTS yang telah ada. Dan perhitungan fitness yang memperkirakan adanya irisan antar BTS.

### 4.3 Siklus Penyelesaian Masalah Menggunakan Algoritma Genetika

Optimasi jaringan 4G LTE ini terdiri perhitungan trafik yang dibutuhkan dan rata-rata radius luas jangkauan. Setelah mendapatkan nilai jangkauan luas dan jumlah trafik yang dibutuhkan, pengoptimasian di lakukan dengan membangkitkan secara acak jumlah pengguna yang berada di jangkauan setiap BTS.

#### 4.3.1 Representasi Kromosom dan Perhitungan Fitness

Representasi kromosom memberikan deretan angka biner yang mempresentasikan setiap BTS yang ada, angka 1 menunjukan BTS terpasang dan 0 menunjukan BTS tidak dipasang . kromosom yang mungkin terbentuk dari 45 BTS adalah sebagai berikut :

Individu : 110100001000111111010000011111100011001101101

Baris biner di atas merepresentasikan jumlah BTS sebanyak 45 yang artinya BTS pada urutan pertama bernilai satu maka BTS yang terpasang adalah BTS yang ada pada data index pertama di database. Berikutnya pada urutan ketiga bernilai 0 maka pada index tersebut BTS tidak terpasang. Pembangkitan individu dengan gen bernilai satu sejumlah perancangan BTS yaitu 24.

#### 4.3.2 Inisialisasi Populasi Awal

Pembangkitan individu secara random dibutuhkan untuk mendapatkan keragaman individu. Yang kemudian dilakukan proses reproduksi yang meliputi *crossover onecutpont* dan permutasi yang menggunakan metode *insertionmutation*. Pembangkitan populasi awal :

NO	Individu	Fitness	Jumlah BTS
1	110100001000111111010000011111100011001101101	49,27	24
2	010010110111111110100100110110100110100110000	60,42	24
3	010100001111100100000001111010001111111100111	58,56	24
4	110010011111100110110100010001100100111101001	54,84	24
5	000110011001101111110010100111000100111110100	48,79	24
6	011100100110101011011000010101001000111111011	52,04	24
7	010010111011001111100001011111110100001001001	54,97	24
8	100111010110111111101100111010001000100001010	60,24	24

9	100010010110000111100101110011010010011111110	49,66	24
10	111100011011011001010110110011100100010011001	59,37	24

Pembangkitan individu secara random memiliki batasan yaitu gen bernilai 1 sebanyak 24 yang merupakan hasil perhitungan perencanaan BTS yang terpasang. Untuk nilai fitness didapatkan dengan menghitung keseluruhan pengguna yang tercover oleh BTS dan mengevaluasi perhitungan irisan. Selanjutnya hasil perhitungan akhir dibagi dengan jumlah keseluruhan pelanggan dikalikan seratus untuk mendapatkan persentasenya.

### 4.3.3 Reproduksi

Proses reproduksi merupakan proses yang dilakukan untuk melakukan persilangan sehingga mendapatkan individu baru yang diharapkan memiliki nilai fitness lebih baik daripada induknya. Proses reproduksi dilakukan dengan metode *crossover* dan mutasi.

- **Crossover**

Pada penelitian ini reproduksi yang dilakukan menggunakan *onecut point* yang ditentukan secara random oleh sistem untuk posisi *cutpoint*.

posisi cutpoint =19

Individu terpilih :

individu ke-1= 0100111111011000110 001000011011010011101111001

individu ke-4= 0111100010110001101 001101110110111100011101001

hasil *crossover* :

C3 = 0100111111011000110 001101110110111100011101001

C4 = 0111100010110001101 001000011011010011101111001

- **Mutasi**

Untuk proses reproduksi selanjutnya adalah permutasi yang melibatkan satu induk saja, Permutasi yang digunakan adalah *insertionmutation* yaitu menentukan posisi pergeseran gen secara random.

posisi random 1 :14

posisi random 2 :43



P1



P2

individu ke-9 = 0111101011110001110100010001011000100010

offspring C = 0111101011110001110100010001011000100010

Metode *Insertion* menentukan 2 posisi yaitu P1 dan P2, dimana P2 akan di pindah ke posisi P1 dan P1 akan bergeser ke posisi berikutnya diikuti gen setelah P1 hingga gen pada posisi P2. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan keragaman individu.



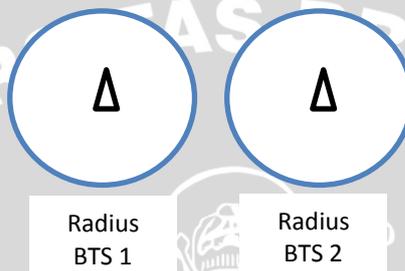
#### 4.3.3.1 Evaluasi dan Seleksi

##### (a) Evaluasi

Evaluasi dilakukan dengan menentukan perhitungan fitness yang digunakan. BTS dibedakan menjadi tiga yaitu :

##### 1. BTS tanpa irisan

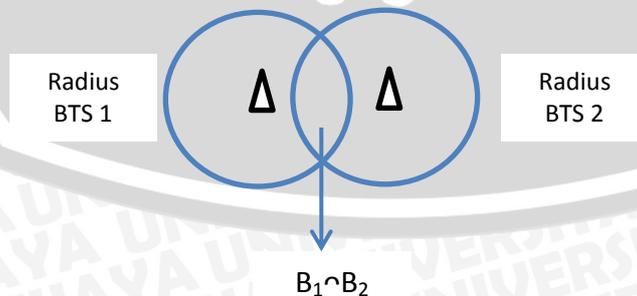
BTS tidak beririsan adalah BTS yang memiliki jarak cukup jauh dengan BTS lain sehingga tidak terjadi singgungan, maka jumlah pelanggan yang dicover sesuai dengan data yang ada.



Gambar 4.3 : Tidak ada irisan antar BTS

##### 2. 2 BTS saling beririsan

2 BTS yang saling beririsan menghasilkan satu luasan yang dijangkau oleh keduanya. Hal ini terjadi karena posisi menara terlalu dekat atau banyaknya pelanggan yang harus dilayani. Adanya irisan ini memungkinkan adanya pelanggan yang sama dilayani oleh 2 BTS sehingga perlu adanya perhitungan lebih detail saat perhitungan fitness jumlah pelanggan.



Gambar 4.4 Irisan 2 BTS

Maka untuk menghitung jumlah keseluruhan karena adanya irisan adalah :

$$P = (B_1 + B_2) - (B_1 \cap B_2) \dots\dots\dots(4.1)$$

P = jumlah pelanggan yang dapat dilayani

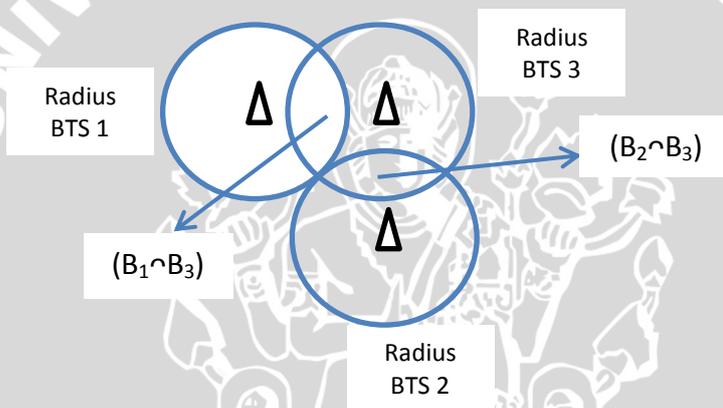
B<sub>1</sub> = jumlah pelanggan yang dilayani oleh BTS 1

B<sub>2</sub> = jumlah pelanggan yang dilayani oleh BTS 2

(B<sub>1</sub>∩B<sub>2</sub>) = jumlah pelanggan yang ada dalam irisan jangkauan dua BTS

**3. 3 BTS 2 irisan**

3 BTS yang berdekatan dengan radius jangkauan memungkinkan terbentuk 2 irisan yang menghasilkan luasan dan melayani pelanggan yang sama.



**Gambar 4.5 : irisan 3 BTS**

Maka perhitungan fitness untuk 2 irisan adalah :

$$P = (B_1 + B_2 + B_3) - [(B_1 \cap B_3) + (B_2 \cap B_3)] \dots\dots\dots(4.2)$$

P = jumlah pelanggan yang dapat dilayani

B<sub>1</sub> = jumlah pelanggan yang dilayani oleh BTS 1

B<sub>2</sub> = jumlah pelanggan yang dilayani oleh BTS 2

B<sub>3</sub> = jumlah pelanggan yang dilayani oleh BTS 3

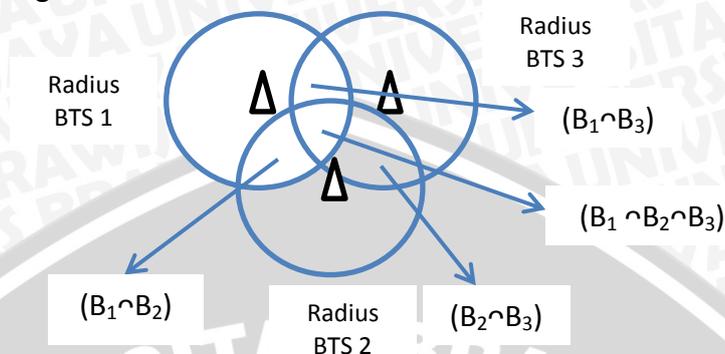
(B<sub>1</sub>∩B<sub>3</sub>) = jumlah pelanggan yang ada dalam irisan BTS 1 dan BTS 3

(B<sub>2</sub>∩B<sub>3</sub>) = jumlah pelanggan yang ada dalam irisan BTS 2 dan BTS 3



#### 4. 3 BTS 4 irisan

3 BTS yang berdekatan dapat membentuk 4 irisan yang melayani pelanggan yang sama.



Gambar 4.6 : 3 BTS 4 Irisan

Maka untuk menghitung jumlah keseluruhan karena adanya irisan adalah :

$$P = (B_1 + B_2 + B_3) - [(B_1 \cap B_2) + (B_2 \cap B_3) + (B_3 \cap B_1)] + (B_1 \cap B_2 \cap B_3) \dots \dots \dots (4.3)$$

P = jumlah pelanggan yang dapat dilayani

$B_1$  = jumlah pelanggan yang dilayani oleh BTS 1

$B_2$  = jumlah pelanggan yang dilayani oleh BTS 2

$B_3$  = jumlah pelanggan yang dilayani oleh BTS 3

$(B_1 \cap B_2)$  = jumlah pelanggan yang ada dalam irisan dua BTS

$(B_3 \cap B_2)$  = jumlah pelanggan yang ada dalam irisan dua BTS

$(B_1 \cap B_3)$  = jumlah pelanggan yang ada dalam irisan dua BTS

$(B_1 \cap B_2 \cap B_3)$  = jumlah pelanggan yang ada dalam irisan 3 BTS

#### (b) Fitness

Perhitungan fitness menjumlahkan gen bernilai 1 pada Tabel 7.9, dengan memperhatikan nilai BTS yang beririsan sesuai dengan Tabel 7.10 dan Tabel 7.11.

Biner	110010111011001100110001101100010011010110110	60.83
Index	1 2 5 7 8 9 11 12 15 16 19 20 24 25 27 28 32 35 36 38 40	
	41 43 44	

Untuk menghitung jumlah user yang dapat dilayani oleh BTS pada individu di atas biner bernilai 1 menunjukkan urutan index BTS, jika dijabarkan pada baris index menunjukkan urutan index BTS yang terpasang sejumlah 24, index berwarna biru menunjukkan index BTS suburban sebanyak 5 BTS yang harus terpasang dari



7. BTS suburban yang ada, selanjutnya dilakukan perhitungan sesuai dengan model luasan BTS yang telah dijabarkan di subbab evaluasi, langkah perhitungan fitness adalah :

1. jumlah pelanggan yang dilayani oleh BTS yang terpasang, pada biner bernilai 1 sesuai dengan Tabel 5.9, dari contoh individu jumlah pelanggan yang dapat dilayani adalah 10765.
2. Menentukan jumlah pelanggan yang berada dalam irisan, individu BTS yang beririsan sesuai dengan data Tabel 5.10 dan Tabel 5.11 adalah :

**Tabel 4.5 : Tabel BTS yang beririsan**

No.	Index BTS irisan			Model evaluasi	Nilai
	1	2	3		
1	1	7	-	2 BTS beririsan	43
2	5	41	-	2 BTS beririsan	54
3	7	9	-	2 BTS beririsan	55
4	8	32	12	3 BTS 4 irisan	110
5	15	38	-	2 BTS beririsan	21
6	25	27	-	2 BTS beririsan	41
7	20	24	27	3 BTS 2 irisan	59
8	24	9	-	2 BTS beririsan	22
Total :					405

3. Total keseluruhan pelanggan =  $10765 - 405 = 10360$  pelanggan
4. Persentasi pelanggan yang dapat dilayani =  $(10360/17030) * 100 = 60,83\%$

Perhitungan fitness diatas menunjukkan kualitas dari individu, semakin besar persentase maka akan semakin besar peluang untuk lolos ke generasi berikutnya. Setiap individu dalam populasi akan di hitung nilai fitnessnya yang kemudian akan diseleksi dengan membandingkan nilai fitness setiap individu yang akhirnya akan terpilih satu individu sebagai rekomendasi solusi pemerataan jangkauan jaringan pelanggan 4G LTE.

#### 4.4 Perancangan User Interface

Perancangan *user interface* untuk sistem ini adalah sebagai berikut :



**Gambar 4.7 : Rancangan user interface**

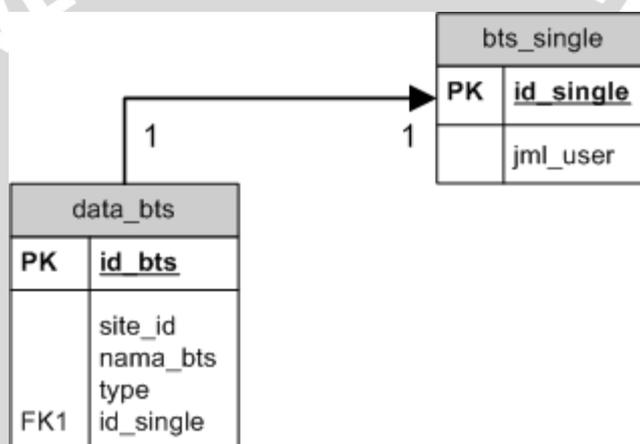
Rancangan user interface menampilkan posisi dari elemen-elemen yang dibutuhkan untuk menampilkan hasil atau data yang berkaitan dengan penyelesaian masalah optimasi oleh algoritma genetika. Elemen yang perlu untuk ditampilkan adalah bagian parameter pengujian dimana berisi tentang parameter pengujian untuk generasi, ukuran populasi ataupun kombinasi Cr dan Mr. Selanjutnya tabel pembangkitan populasi untuk menampilkan populasi awal yang akan di proses dengan algoritma genetika. Berikutnya adalah tabel hasil terbaik dari setiap generasi, tabel ini dapat digunakan untuk mengetahui nilai fitness terbaik didapatkan dari jumlah generasi yang mungkin sudah optimal. Pada bagian paling atas, ditampilkan hasil akhir dari jumlah generasi yang ditentukan, memberkan informasi generasi terbaik, nilai biner dan fitnessnya.

## BAB 5 IMPLEMENTASI

Pada bagian ini merupakan tahap implementasi yang melibatkan beberapa bagian sebagai perwujudan dari perancangan yang telah dibuat di bab sebelumnya. Implementasi yang dilakukan meliputi struktur database, struktur class dan potongan source code mengenai algoritma.

### 5.1 Struktur Database

Struktur database terdiri dari 2 tabel yaitu tabel data dari keseluruhan database, table data\_bts yang memuat semua keterangan mengenai BTS, tabel bts\_single adalah tabel yang memuat data mengenai jumlah pelanggan yang dapat dilayani oleh setiap BTS. Struktur database ada pada Gambar 5.1.



**Gambar 5.1 : Struktur Database**

Pada tabel data\_bts memiliki atribut id\_bts yang merupakan primary key, site\_id adalah nama id dari BTS, nama\_bts merupakan nama dari BTS dan type menunjukkan posisi dari BTS yaitu urban atau suburban. Tabel bts\_single memiliki atribut id\_single yang merupakan foreignkey dari tabel data\_bts, jml\_user adalah atribut yang menyimpan data jumlah pelanggan yang dapat dilayani oleh BTS .

### 5.2 Struktur Class

Struktur kelas merupakan gambaran mengenai data atribut dan operasi yang ada dalam proses implementasi. Yang menunjukkan struktur data input dan proses yang dilakukan. Karena implementasi struktur kelas tergolong sederhana maka hanya terdapat satu kelas diagram yang mempresentasikan keseluruhan fungsi dalam program. Meliputi proses reproduksi onecutpoint dan insertion mutasi. proses evaluasi perpotongan jangkauan jaringan dan fungsi evaluasi jumlah BTS yang terpasang dengan mengurangi jumlah biner bernilai satu jika lebih dari 24 dan menambah jumlah biner bernilai satu jika kurang dari 24. Yang akhirnya dilakukan seleksi untuk menentukan individu rekomendasi solusi.



### 5.3 Potongan Source Code Utama

Source code utama dalam membangun sistem ini diantaranya adalah pembangkitan individu, proses reproduksi meliputi cutpoint dan insertion mutasi. seleksi menggunakan metode seleksi elitism. Berikut Proses pembangkitan individu:

```
// Sourcecode pembangkitan individu
for (int i = 0; i < jpopulasi; i++) {
    System.out.print("Individu ke-" + (i +1) + "
: ");
    do{
        count=0;
        for(int j=0;j<GA.jindividu;j++){
            individu[i][j]=Integer.toString(random.nextInt(1-
0+1));
            if("1".equals(individu[i][j]))
                count=count+1;
        }while(count!=24);
    }
```

**Gambar 5.2 : Potongan source code pembangkitan individu**

Source code pada Gambar 5.2 merupakan potongan pembangkitan cromosom dengan panjang 45 cromosom. random nilai biner dengan *constrain* jumlah biner bernilai satu harus sebanyak 24 yang merupakan hasil perhitungan traffik pelanggan. Jika hasil random nilai biner tidak sesuai dengan *constrain* maka proses random biner akan diulang hingga didapatkan jumlah cromosom 45 dengan nilai biner satu berjumlah 24.

```
Source code insertion mutation
boolean cek = true;
while(cek){
    pos_random1 =
(int) (jindividu*Math.random()-0+1) ;
    pos_random2 = (int) (jindividu*Math.random()-0+1) ;
    if(pos_random1<pos_random2&&
pos_random1!=pos_random2){
        cek= false;
    }
}
```

```

int temp_index = pos_random2-pos_random1;
    int temp2=pos_random2-1;
    int tmp=pos_random2-1;
    int t= pos_random1-1;
for (int j = 0; j < individu_size; j++) {
    Cm[0][j] = individu[Parent_mr-1][j];
if(tmp==j){
    nilainya=Cm[0][tmp];
    for(int k= tmp;k>t;k--){
Cm[0][tmp]=Cm[0][tmp-1];
    tmp=tmp-1;
    }
if(tmp<j){
    Cm[0][t]=nilainya;
    }
}

```

**Gambar 5.3 : Potongan Code Mutasi Insertion**

Gambar 5.3 source code mutasi insertion. metode mutasi ini dapat mengubah banyak gen dalam satu individu karena pada individu yang terpilih untuk dilakukan mutasi. Proses mutasi diawali dengan menentukan dua posisi gen dan gen kedua akan berpindah di posisi gen pertama sehingga gen pertama akan bergeser diikuti dengan gen lainnya hingga pada batas posisi gen kedua sebelum berpindah.

```

// source code seleksi elitism
//sorting
for(int i =0; i< pop_size;i++){
    fitnes_temp=value[i];
    int temp_index = pop_index[i];
}

```

```
for(int j=0; j< pop_size;j++)
{
    if (value[j] < fitnes_temp) {
        fitnes_temp = value[j];
        value[j] = value[i];
        value[i] = fitnes_temp;
        temp_index = pop_index[j];
        pop_index[j] = pop_index[i];
        pop_index[i] = temp_index;
        for (int k = 0; k < individu_size; k++) {
            pop_temp[0][k] = pop_mix[j][k];
        }
        for (int k = 0; k < individu_size; k++) {
            pop_mix[j][k] = pop_mix[i][k];
        }
        for (int k = 0; k < individu_size; k++) {
            pop_mix[i][k] = pop_temp[0][k];
        }
    }
}

//SELEKSI
for (int i = 0; i < jpopulasi; i++) {
    for (int j = 0; j < individu_size; j++) {
        pop_final[i][j] = pop_mix[i][j];
    }
}
return pop_final;
```

**Gambar 5.4 : Potongan Code Seleksi Elitism**

Gambar 5.4 merupakan potongan code seleksi elitism yang menggabungkan *offspring* dan *parent* dalam satu penampung dan selanjutnya menemukan individu terbaik dengan sorting berdasarkan nilai fitnessnya. Membandingkan setiap nilai fitness, individu dengan fitness yang memenuhi nilai evaluasi akan lolos ke generasi berikutnya.

```

//sourcecode evaluasi nilai fitness
for(int x=0; x< bts_1.length;x++){
    id1=0;
    id2=0;
    id3=0;
    for(int j = 0; j <jindividu ; j++){
        if("1".equals(objek[i][j])){
            if(j==(bts_1[x]-1)){
                id1=1;
            }
            if(j==(bts_2[x]-1)){
                id2=1;
            }
            if(j==(bts_3[x]-1)&& j!=0){
                id3=1;
            }
        }

        if(id1==1&&id2==1){
            kurang=bts_4[x];
        }
        if(id2==1&&id3==1){
            kurang=bts_6[x];
        }
        if(id1==1&&id3==1){
            kurang=bts_5[x];
        }
        if(id1==1&&id2==1&&id3==1){
            kurang=(bts_4[x]+bts_5[x]+bts_6[x])+bts_7[x];
        }

        tampungan=tampungan+kurang;
    }
    fitness[i]= total-tampungan;
}

```

**Gambar 5.5 : Source Code Perhitungan Fitness**

Gambar 5.5 menghitung fitness sesuai dengan data yang tersimpan dalam database. Tahap pertama dilakukan penjumlahan keseluruhan BTS yang terpasang, selanjutnya menghitung jumlah pelanggan yang ada dalam irisan. Nilai keseluruhan dikurangi dengan jumlah pelanggan dalam irisan.

## BAB 6

### PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Sesuai dengan perancangan yang telah dibahas pada bab sebelumnya. Dilakukan 3 tahapan pengujian yaitu pengujian jumlah populasi, pengujian jumlah individu, pengujian dua parameter reproduksi yaitu  $m_r$  dan  $c_r$ .

#### 6.1.1 Pengujian Ukuran Populasi

Pengujian dilakukan untuk mendapatkan hasil rata-rata fitness terbaik pada parameter ukuran populasi, dengan mengubah ukuran populasi pada interval penambahan ukuran populasi yaitu 100. Nilai  $M_r$  0.5 dan  $C_r$  0.5. dan jumlah generasinya 100 Hasil pengujian disajikan pada tabel 6.1.

Populasi : 100-1000

Generasi : 100

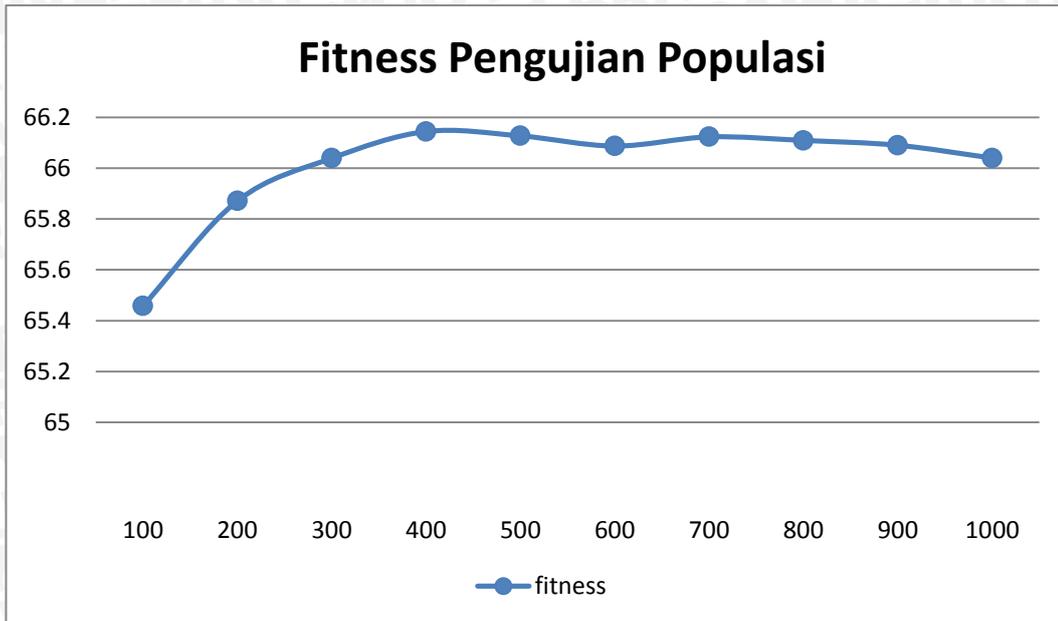
$C_r$  : 0.5

$M_r$  : 0.5

**Tabel 6.1 : Tabel Pengujian Populasi**

Ukuran Populasi	Nilai Fitness										Fitness rata-rata
	Percobaan ke-										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
100	65.42	65.68	66.02	62.52	65.75	65.77	65.9	65.71	65.96	65.85	65.458
200	65.85	65.9	65.71	65.85	65.72	65.98	65.9	65.71	65.9	66.19	65.871
300	66.19	65.9	65.85	66.14	65.84	65.9	66.19	66.14	66.1	66.14	66.039
400	66.14	66.14	66.3	66.14	65.9	66.19	66.19	66.14	66.16	66.14	66.144
500	66.19	66.14	66.19	66.19	66.1	66.1	66.05	66.19	66.09	66.03	66.127
600	66.14	65.83	66.12	66.19	65.9	66.19	66.3	66.14	66.03	66.03	66.087
700	66.14	66.14	66.19	66.17	66.19	66.09	65.84	66.14	66.14	66.19	66.123
800	66.19	66.19	66.19	66.08	65.84	65.84	66.19	66.19	66.19	66.19	66.109
900	66.03	66.14	66.3	66.14	66.17	66	66.19	66.19	65.71	66.03	66.09
1000	66.14	66.15	66.08	66.3	66.14	66.03	65.09	66.19	66.14	66.14	66.04

Hasil pengujian yang mengubah variable ukuran populasi pada Tabel 6.1 di atas rata-rata fitness terbaik ada pada ukuran populasi 400. representasi grafik dari pengujian populasi ada pada Gambar 6.1 .



**Gambar 6.1 : Grafik pengujian Ukuran Populasi**

Dari grafik di atas dapat disimpulkan bahwa pengujian populasi dapat mencapai nilai terbaik dengan fitness 66,19% ada pada ukuran populasi 400, yang selanjutnya pada ukuran populasi 500 tidak ada perbedaan nilai rata-rata fitness yang jauh hingga ukuran populasi 1000. Fakhroh, D, Mahmudy, WF & Indriati (2015), menghasilkan pengujian dengan pola yang sama dimana mulai terjadi konvergensi. Pada pengujian populasi ini konvergensi mulai terlihat pada ukuran populasi 500, sehingga dilakukan pengujian kembali hingga ukuran populasi 1000.

### 6.1.2 Pengujian Generasi

Uji coba jumlah generasi bertujuan untuk mengetahui generasi yang memberikan hasil rata-rata fitness terbaik, ukuran populasi sebanyak 100 dan jumlah generasi dari 100 hingga 1000 dengan interval penambahan jumlah generasi sebanyak 100. Kombinasi parameter 0.5 untuk Cr dan Mr 0.5. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 6.2.

Populasi : 100

Generasi : 100-1000

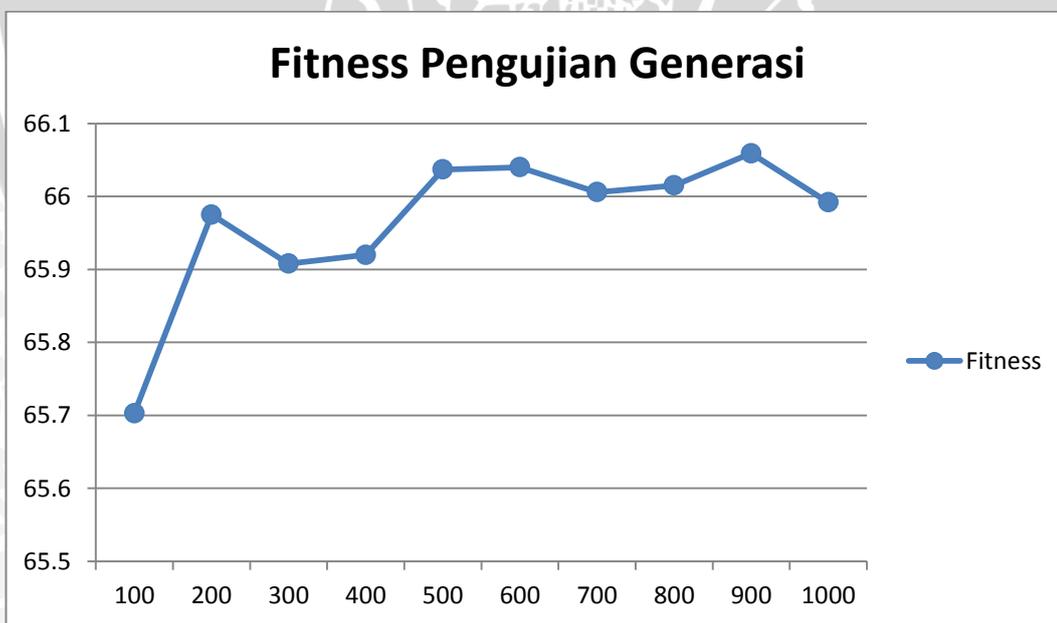
Cr : 0.5

Mr : 0.5

**Tabel 6.2 : Pengujian Jumlah Generasi**

Banyak Generasi	Nilai Fitness										Fitness rata-rata
	Pengujian ke-										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
100	66.04	65.67	65.03	65.67	65.78	65.9	65.71	65.37	65.86	66	65.703
200	66.08	66.14	65.64	65.85	65.71	66.19	65.93	66.03	66.19	65.99	65.975
300	66	65.8	65.72	66.19	65.68	66.19	66.05	65.82	65.77	65.86	65.908
400	66.19	66.19	66.14	65.98	65.99	65.1	66.04	65.77	65.9	65.9	65.92
500	66.9	66.14	66.14	65.65	65.03	66.14	65.9	66.14	66.19	66.14	66.037
600	66.14	65.81	66.19	66.14	66.04	66.04	65.82	66.19	66.19	65.84	66.04
700	66.19	66.19	66.14	65.85	66.14	65.62	66.14	65.85	65.8	66.14	66.006
800	66.19	65.95	66.14	66.14	66.03	66.14	66.14	65.72	65.85	65.85	66.015
900	66.14	65.9	66.19	66.19	65.81	66.14	65.9	66.14	66.19	65.99	66.059
1000	65.99	66.14	65.85	66.19	66.14	65.85	65.91	65.9	65.92	66.03	65.992

Tabel pengujian generasi di atas jika representasikan menjadi bentuk grafik dari nilai hasil rata-rata pengujian tiap parameter ada pada Gambar 6.2 berikut:



**Gambar 6.2 : Grafik pengujian jumlah generasi**

Hasil pengujian jumlah generasi pada Gambar 6.2. menunjukkan nilai fitness yang beragam, dimana nilai rata-rata fitness mulai stabil di jumlah generasi 500, rata-rata terbaik ada pada jumlah generasi 900 yaitu 66,19%.

Namun terjadi penurunan yang cukup jauh pada jumlah generasi 1000. Panhares, YG & Mahmudy, WF (2015) mendapatkan hasil grafik dengan pola yang sama yaitu terjadi penurunan nilai rata-rata fitness setelah mendapatkan nilai rata-rata fitness terbaik pada generasi sebelumnya. Menurut Mahmudy (2013) dibutuhkan lebih banyak waktu komputasi untuk jumlah generasi yang semakin besar dan belum tentu menghasilkan solusi yang lebih baik.

### 6.1.3 Pengujian Parameter *Crossover Rate* (Cr) dan Parameter *Mutation Rate* (Mr)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kombinasi *Crossover rate* (Cr) *Mutation rate* (Mr) yang menghasilkan solusi permasalahan yang terbaik. Ujicoba nilai *Crossover rate* (Cr) dan *Mutation rate* (Mr) adalah antara nilai 0 hingga 1. Tabel perancangan pengujian dapat dilihat pada Tabel 6.3. parameter pengujiannya adalah :

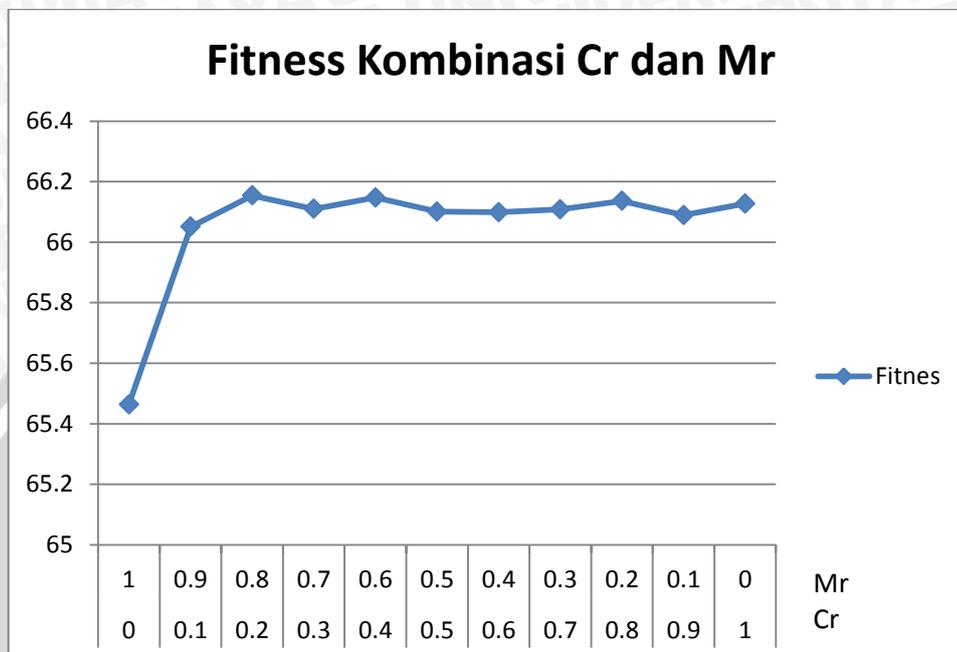
Jumlah populasi: 500 (ukuran populasi nilai fitness stabil)

Jumlah generasi : 500 (jumlah generasi nilai fitness stabil)

**Tabel 6.3 : Pengujian Cr dan Mr**

Kombinasi		Nilai Fitness										Fitness rata-rata
		Percobaan P <sub>c</sub> dan P <sub>m</sub> ke-										
Cr	Mr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	1	65.57	65.85	65.17	65.4	65.21	65.47	65.19	65.21	65.68	65.89	65.464
0.1	0.9	66.19	66.14	66.19	66.03	66.14	66.19	66.19	66.19	65.54	65.71	66.051
0.2	0.8	66.19	66.19	66.19	66.19	66.19	66.19	65.93	66.14	66.14	66.19	66.154
0.3	0.7	66.14	66.3	66.03	66.14	66.14	66.19	65.85	66.19	66.19	65.93	66.11
0.4	0.6	66.14	66.19	66.22	66.19	66.14	66.19	66.14	66.14	66.19	65.93	66.147
0.5	0.5	66.12	66.14	65.72	66.14	66.14	66.14	66.14	66.19	66.14	66.14	66.101
0.6	0.4	66.14	66.14	66.19	66.14	65.98	66.15	66.08	66.14	65.84	66.19	66.099
0.7	0.3	65.9	66.03	66.08	66.03	66.3	66.19	66.22	66	66.19	66.14	66.108
0.8	0.2	66.14	66.19	66.14	66.03	66.14	66.14	66.22	66.14	66.08	66.14	66.136
0.9	0.1	66.3	66.14	66.08	66.14	65.85	65.77	66.19	66.3	65.93	66.19	66.089
1	0	66.3	66.3	66.14	66.14	66.19	66.16	66.03	65.87	66.03	66.11	66.127

Tabel 6.3 pengujian kombinasi Cr dan Mr terbaik dari 500 ukuran populasi dan 500 generasi rata-rata terbaik adalah kombinasi Cr 0.2 dan Mr 0.8. grafik hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 6.3 berikut.



Gambar 6.3 : Grafik pengujian kombinasi Cr dan Mr

Pengujian kombinasi Cr dan Mr dengan ukuran populasi 500 dan jumlah generasi 500 memberikan hasil yang beragam. Pola serupa juga terjadi pada pengujian yang dilakukan oleh Panharesy, YG & Mahmudy, WF (2015) dimana hasil rata-rata fitness tidak menunjukkan hasil nilai keseluruhan yang stabil. Mahmudy (2013) menjelaskan bahwa menentukan kombinasi nilai parameter yang tepat bukan suatu hal yang mudah, karena kombinasi nilai yang tepat dipengaruhi oleh permasalahan yang sedang diselesaikan. Sehingga dilakukan pengujian kombinasi parameter, dari hasil pengujian kombinasi parameter nilai fitness terbaik yaitu sebesar 66,19% didapatkan dari kombinasi Cr 0.2 dan Mr 08.

Rata-rata fitness ukuran populasi terbaik pada Tabel 6.1 adalah 400, dan jumlah generasi terbaik pada Tabel 6.2 adalah 900 generasi. Parameter Cr dan Mr yang menghasilkan rata-rata fitness terbaik pada Tabel 6.3 adalah Cr 0.2 dan Mr 0.8. Fitness terbaik adalah 66.19% yang merupakan persentasi jumlah pelanggan yang dapat dilayani di kota Malang dengan jumlah BTS terpasang sebanyak 24. Representasi individu terbaik adalah sebagai berikut:

generasi ke-64 100100111110010001111011001101011011000110100 66.19  
 Index 1,4,7,8,9,10,11,14,18,19,20,21,23,24,27,28,29,32,33,35,36,40,41,43

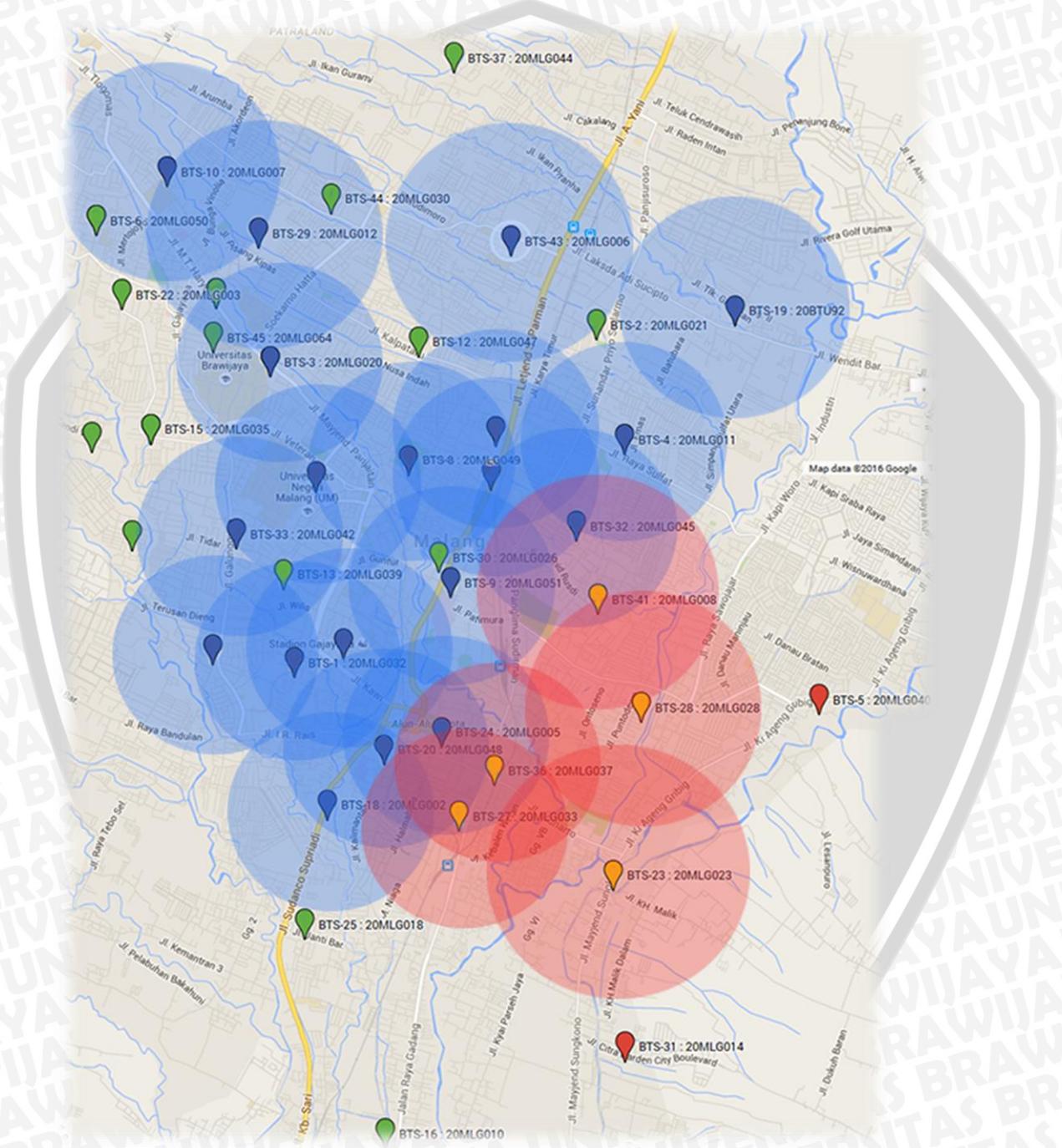


Tabel 6.4 : Tabel id BTS individu terbaik

No.	Index	site ID	Site Name	Type wilayah
1	1	20MLG032	BARENGMLG	Urban
2	4	20MLG011	CITANDUI	Urban
3	7	20MLG046	DCSMOGMALANG	Urban
4	8	20MLG049	DCSSLAMETRINR	Urban
5	9	20MLG051	DCSSYAIFULANWAR	Urban
6	10	20MLG007	DCSTLOGOMAS	Urban
7	11	20MLG009	DIENGMALANG	Urban
8	14	20MLG020	DSBRAWIJAYA	Urban
9	18	20MLG002	GITAFM	Urban
10	19	20BTU92	GRAJAKAN	Urban
11	20	20MLG048	GRANDPALACE	Urban
12	21	20MLG004	IKIPMALANG	Urban
13	23	20MLG023	JODIPAN	Suburban
14	24	20MLG005	KARANGLO	Urban
15	27	20MLG033	KOTALAMA	Suburban
16	28	20MLG028	KSATRIANMLGIM3	Suburban
17	29	20MLG012	LOWOKWARU	Urban
18	32	20MLG045	MICBUNUL	Urban
19	33	20MLG042	MICGALUNGGUNG	Urban
20	35	20MLG031	MICMITRA2	Urban
21	36	20MLG037	MICPASARBESAR	Suburban
22	40	20MLG019	SANTIKAMLG	Urban
23	41	20MLG008	SAWOJAJAR	Suburban
24	43	20MLG006	STIEMALANG	Urban

Tabel 6.4 merupakan tabel yang mempresentasikan id dan nama BTS individu terbaik. Kolom index adalah posisi urutan gen yang bernilai 1, yang kemudian menjadi index BTS pada database. Sehingga didapatkan id BTS dan nama BTS yang akan dipasang jaringan 4G LTE.

Dari hasil data pada Tabel 6.4 didapatkan simulasi untuk mengetahui apakah ada *blank area* yang mungkin terjadi pada Gambar 6.4 berikut :



Gambar 6.4 : Simulasi solusi individu terbaik

Gambar 6.4 menunjukkan hasil simulasi individu terbaik yang menentukan 24 BTS dengan nilai fitness 66.19%, tanda berwarna biru adalah BTS urban yang terpasang berjumlah 19, tanda berwarna kuning adalah BTS suburban yang terpasang berjumlah 5, sedangkan warna hijau adalah BTS urban yang tidak dipasang dan tanda berwarna merah adalah BTS suburban yang juga tidak dipasang. Dari simulasi yang ada pada Gambar 6.4, masih terlihat adanya kemungkinan blank area yang tidak dijangkau oleh BTS yang terpasang. Dan hampir semua BTS yang terpasang adalah BTS yang dekat dengan daerah urban dimana kepadatan pengguna lebih tinggi.



## BAB 7 PENUTUP

### 7.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pengujian yang telah dilakukan adalah :

1. Algoritma genetika mampu memberikan solusi yang cukup baik untuk penentuan posisi BTS dalam permasalahan jangkauan trafik pelanggan.
2. Representasi kromosom yang efisien untuk penyelesaian masalah jangkauan trafik pelanggan menggunakan pengkodean biner.
3. Fitness terbaik sebesar 66,19% didapatkan pada ukuran populasi 400 pada Tabel 6.1, jumlah generasi 900 pada Tabel 6.2 dan kombinasi parameter  $C_r$  0.2  $M_r$  0.8 pada Tabel 6.3.

### 7.2 Saran

Setelah proses yang telah dilakukan dari proses perancangan hingga pengujian kesimpulan yang dapat ditarik untuk penelitian ini adalah :

1. Penelitian dengan permasalahan kompleks mengenai penentuan posisi BTS yang ada sudah cukup baik diselesaikan oleh algoritma genetika namun jika area yang di targetkan lebih luas lagi akan lebih baik jika menggunakan metode tambahan pada proses reproduksi atau metode seleksi untuk mendapatkan nilai fitness terbaik.
2. Pengembangan lebih lanjut akan lebih baik, jika dengan menambahkan nilai fitness luas area yang dapat di jangkau oleh setiap BTS.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Samawi, Aida., Sali, Aduwati., Noordin, NK., Othman, Mohamed., Hashim, Fazirulhisyam. 2013. Base Station Location Optimisation in LTE using Genetic Algorithm. ICT Convergence (ICTC). International Conference.
- Arif, Ahadi., Mauludiyanto., Achmad. 2015. Optimasi Peletakan Base Transceiver Station di Kabupaten Mojokerto Menggunakan Algoritma Differential Evolution. Jurnal Teknik ITS Vol. 4, No. 1.
- Ariyanti, Sri. 2014. Studi Perencanaan Jaringan Long Term Evolution Area Jabodetabek Studi Kasus PT. Telkomsel. Puslitbang Sumber Daya dan Perangkat Pos dan Informatika. Buletin Pos dan Telekomunikasi, Vol.12 No. 4 : 255 – 268.
- Ariyanti, Sri. 2013. Studi Pemanfaatan Digital Dividend Untuk Layanan Long Term Evolution (LTE). Puslitbang Sumber Daya dan Perangkat Pos dan Informatika. Buletin Pos dan Telekomunikasi, Vol.11 No.3 : 189-208.
- Aryanti, P. Desi., Pramono, Sholeh, Hady., Setyawati, Onny. 2013. Optiasi Penempatan Node B UMTS900 pada BTS Existing Menggunakan Algoritma Genetika. Jurnal EECCIS Vol. 7. No.2.
- Asmungi, Gaguk., Wirawan, Y Anindito., Budi, P Endah., 2015. Estimasi Luas Coverage Area dan Jumlah Sel 3G pada Teknologi WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access). Brawijaya University, Indonesia. Vol. 3 No. 1.
- Badan Pusat Statistik Kota Malang. 2015. "Kota Malang dalam Angka". Malang.
- Daftar Lokasi Tower/ Menara Provider di Kota Malang. <http://kominformalangkota.go.id/produk/daftar-lokasi-tower-menara-provider/>. Duajses pada tanggal 31 January 2016.
- Doan, A Perdana., Muayyadi, Ali., Mufti, Nachwan., Chumaidiyah, Endang., 2012. Optimasi Kapasitas Jaringan 2G, 3G, dan LTE dengan Teknik Joint Based Station. Jurnal Emitor. Vol. 12 No. 01. ISSN 1411-8890. 40.
- Ezra, Josia., Fahmi, Arfianto., Meylani, Linda. 2014. Simulasi dan Analisis Data Trafik Scheduling dan Performansi Pada Sistem Lte Arah Downlink Menggunakan Algoritma Genetika. Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom. Bandung.
- Fakhiroh, D, Mahmudy, WF & Indriati 2015, Optimasi komposisi pakan sapi perah menggunakan algoritma genetika, DORO: Repository Jurnal Mahasiswa PTIIK Universitas Brawijaya, vol. 5, no. 14.
- Frans, J.P Risky., Pudji, R Astuti., Siti, Y Rohmah. 2014. Analisis Perancangan Jaringan Long Term Evolution (LTE) di Kota Banda Aceh dengan Fractional Frequency Reuse Sebagai Manajemen Interferensi. Teknik Telekomunikasi, Fakultas Elko, Universitas Telkom, Bandung.

Gao, Wengen., Chen, Qigong., Ming, Jiang., Yunfeim, Li., Shinong, Wang. 2015. The Optimization of Genetic Algorithm in Wireless Sensor Network Coverage. International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition. Vol. 8, No. 1, pp. 255-264.

Kepala Pusat Informasi dan Humas Kementerian Koinfo. 2015. Penerbitan Surat Edaran Menteri Perihal Kebijakan Penataan Pita Frekuensi Radio 1800Mhz. <http://sdppi.kominfo.go.id/berita-penerbitan-surat-edaran-menteri-perihal-kebijakan-penataan-pita-frekuensi-r-26-2278>. Diakses pada tanggal 7 November 2015.

Jaloun, M., Guennoun, Z., Elasri, A. 2011. Use of Genetic Algorithm in the Optimisation of The LTE Deployment. International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN) Vol. 3, No. 3.

Mahmudy, Wayan Firdaus. 2013. Algoritma Evolusi. Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer. Universitas Brawijaya. Malang.

Mohamed AJM., Roselin, ME., Maximizing Coverage Problem Using Genetic Algorithm in Wireless Sensor Network. 2014. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. Vol. 4, no. 2, pp. 2250-2459.

Panhares, YG & Mahmudy, WF 2015, Optimasi distribusi barang dengan algoritma genetika, DORO: Repository Jurnal Mahasiswa PTIIK Universitas Brawijaya, vol. 5, no. 11.

Pramsistya, Yustaf., Irawan, Isa., Ari, BS., 2010. Optimasi Penempatan BTS dengan Menggunakan Algoritma Genetika. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Pratama, WH., Usman, UK., Mardiyanto, DS. 2014. Analisis Perencanaan Jaringan Long Term Evolution Menggunakan Metode Frekuensi Reuse 1, Fractional Frequency Reuse Dan Soft Frequency Reuse Studi Kasus Kota Bandung. Fakultas Teknik Elektro Universitas Telkom, Bandung.

Pries, R., Staehle, D., Staehle, B., Tran-Gia Saputro, PHA. 2010. On Optimization of Wireless Mesh Networks using Genetic Algorithms. International Journal on Advances in Internet Technology, vol 3 no 1 & 2.

Prijono Adi Wahyu. 2010. Penataan Menara BTS (Cell Planning). Jurnal EECCIS Vol. IV. No. 1.

PT Telekomunikasi Indonesia, Tbk. 2014. "Laporan Tahunan 2014".

Shams, R., Waseem, M., Hanif, FK., dan Umair, M. 2012. Deployment of Sensors to Optimize the Network Coverage Using Genetic Algorithm. SSU Res. J. of Engg. & Tech. Vol. 2. Issue 1.

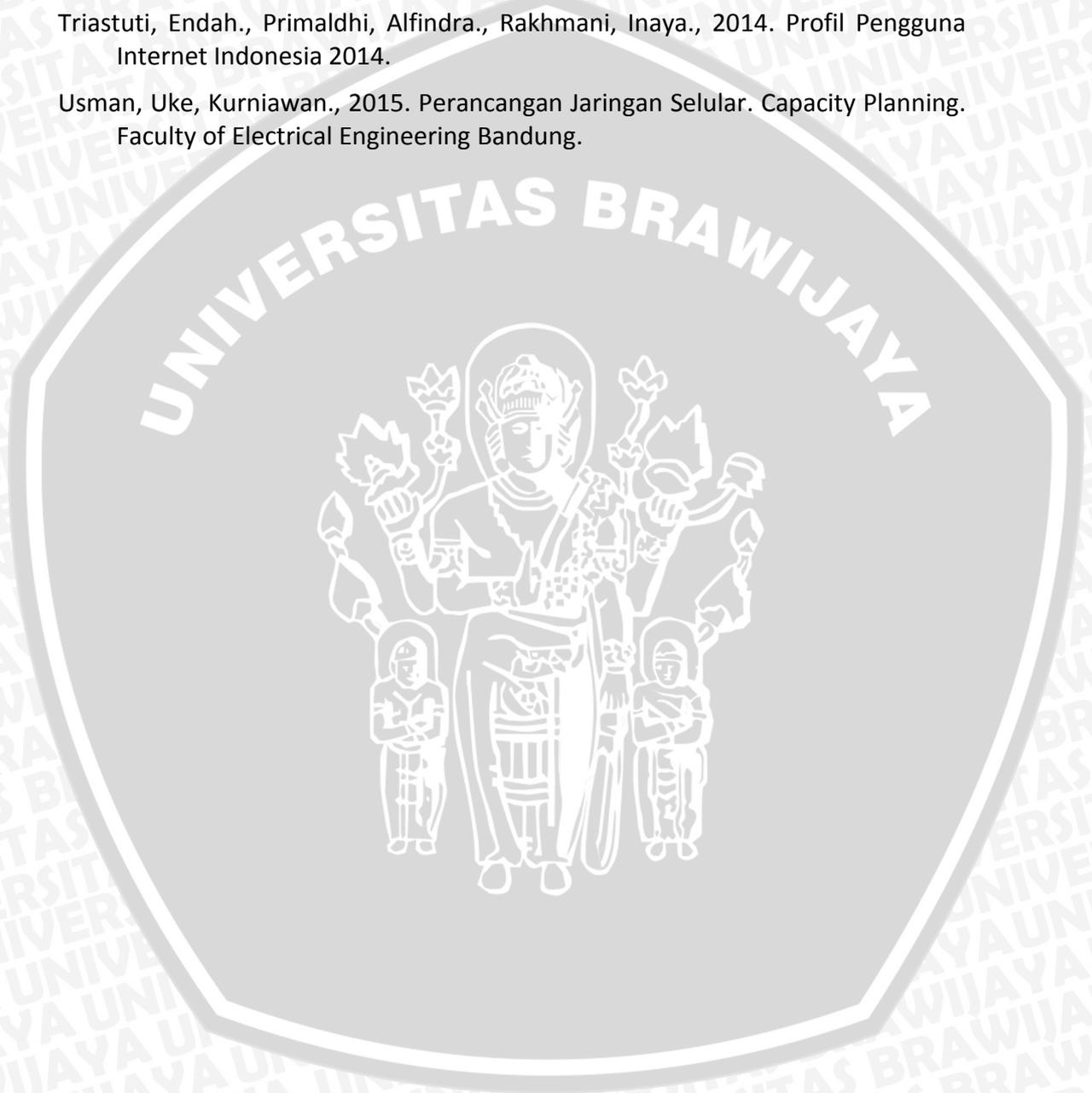
Suyuti, S., Rusli, Syarif, S. 2011. *Studi Perkembangan Teknologi 4G-LTE dan WiMAX di Indonesia*. Jurnal Ilmiah "Elektrikal Enjiniring" UNHAS, Volume 09 No.02 Mei –Agustus 2011.

Syed, A. Basit., 2009. Dimensioning of LTE Network Description of Models and Tool, Coverage and Capacity Estimation of 3GPP Long Term Evolution radio interface. Department of Electrical and Communications Engineering. Helsinki University of Technology.

Tim Study Group 4G Spectrum. 2010. White Paper Study Group Alokasi Pita Frekuensi Radio Untuk Komunikasi Radio Teknologi Keempat (4G).

Triastuti, Endah., Primaldhi, Alfindra., Rakhmani, Inaya., 2014. Profil Pengguna Internet Indonesia 2014.

Usman, Uke, Kurniawan., 2015. Perancangan Jaringan Selular. Capacity Planning. Faculty of Electrical Engineering Bandung.



## LAMPIRAN A

Tabel 7.1: Populasi penduduk Kota Malang 2014

Kecamatan	Jumlah Penduduk	Luas Wilayah (Km <sup>2</sup> )	Kepadatan Penduduk/km <sup>2</sup>
Kedungkandang	183.927	39.88	4,611
Sukun	188.545	20.95	8,991
Klojen	104.590	8.83	11,845
Blimbing	176.845	17.77	9,952
Lowokwaru	192.066	22.60	8,498
<b>Total</b>	<b>845.973</b>	<b>110.06</b>	<b>7,686</b>

Sumber : (BPS Kota Malang)

Populasi penduduk kota malang sebesar 845.973 jiwa yang memiliki luas wilayah 110.06km<sup>2</sup>. penetrasi pengguna selular aktif adalah 85%. Maka jumlah pengguna selular di kota malang sebesar :

$$85\% \times 845.973 = 562.739 \text{ jiwa}$$

Jika penetrasi provider A sebesar 27.1%, maka pelanggan provider X di kota malang adalah :

$$27.1\% \times 562.739 = 122.114 \text{ jiwa}$$

Untuk memperkirakan kepadatan trafik pada luasan wilayah yang telah di tentukan yaitu wilayah urban dan suburban dimana wilayah dengan kepadatan penduduk terendah merupakan wilayah suburban yaitu kecamatan kedung kandang. Perkiraan kepadatan trafik dihitung dengan mengetahui kepadatan pelanggan per satuan luas yaitu untuk wilayah sub urban :

$$\text{Kepadatan pelanggan suburban} = 562.739 / 39.88 = 851 \text{ user / km}^2$$

$$\text{Kepadatan pelanggan urban} = 122.114 / 70.15 = 1.740 \text{ user/km}^2$$

Perhitungan OBQ di bagi menjadi tiga tipe yaitu *building* yang merupakan perkiraan trafik di dalam *bangunan*, *pedestrian* dan *vehicular*. Yang mana pembagian wilayah di asumsikan 30% *building* 40% *pedestrian* dan 30% *vehicular*. Maka OBQ sub urban dan urban adalah :

**Tabel 7.2 : Perhitungan OBQ *Building* suburban**

OBQ <i>Building</i> sub urban						
service type	kepadatan pengguna user/km2	penetrasi	call duration (c)	BHCA (call/sec)	Bandwidth (Kbps)	OBQ(Kbps/km2)
VoIP	255.2056305	0.5	60	0.9	64	440995.3295
FTP	255.2056305	0.3	40	0.15	2000	918740.2699
Video	255.2056305	0.4	50	0.9	1800	8268662.429
Total						9628398.028

**Tabel 7.3 : Perhitungan OBQ *Pedestrian* suburban**

OBQ <i>pedestrian</i> sub urban						
Service type	kepadatan pengguna	penetrasi	call duration (c)	BHCA (call/sec)	Bandwidth	OBQ(kbps/km2)
VoIP	340.274174	0.5	60	0.08	64	52266.11313
FTP	340.274174	0.3	50	0.06	2000	612493.5132
Video	340.274174	0.4	70	0.7	1800	12004872.86
Total						12669632.49

**Tabel 7.4 : Perhitungan OBQ *Vehicular* Suburban**

OBQ <i>vehicular</i> suburban						
service type	kepadatan pengguna	penetrasi layanan	call duration (c)	BHCA (call/sec)	Bandwidth	OBQ (kbps/km2)
VoIP	255.2056305	0.2	60	0.008	64	1567.983394
FTP	255.2056305	0.2	40	0.5	2000	2041645.044
Video	255.2056305	0.3	80	0.008	1800	88199.06591
Total						2131412.093

$$\begin{aligned} \Sigma \text{OBQ}_{\text{suburban total}} &= \frac{\text{OBQ}_{\text{building}} + \text{OBQ}_{\text{pedestrian}} + \text{OBQ}_{\text{vehicular}}}{3600} \\ &= 6.785,96 \text{ kbps/km}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Luas jangkauan sel} = \frac{\text{Kapasitas sel}}{\text{OBQ}}$$

$$\text{Luas jangkauan sel suburban} = \frac{50400}{6.785,96} = 7.43 \text{ km}^2/\text{sel}$$



$$\text{Jumlah sel sub urban} = \frac{\text{Luas wilayah}}{\text{Luas jangkauan}} = 5.37 \text{ sel}$$

**Tabel 7.5 : Perhitungan OBQ Building Urban**

OBQ Building Urban						
Service type	kepadatan pengguna	Penetrasi Layanan	Call duration(c)	BHCA (call/sec)	Bandwidth	OBQ(kbps/km2)
VoIP	522.2283024	0.5	60	0.9	64	902410.5065
FTP	522.2283024	0.3	40	0.15	2000	1880021.888
Video	522.2283024	0.4	50	0.9	1800	16920197
Total						19702629.39

**Tabel 7.6 : Perhitungan OBQ Pedestrian Urban**

OBQ Pedestrian Urban						
Service Type	kepadatan pengguna	penetrasi layanan	call duration (c)	BHCA (call/sec)	Bandwidth	OBQ (kbps/km2)
VoIP	696.3044031	0.5	60	0.08	64	106952.3563
FTP	696.3044031	0.3	50	0.06	2000	1253347.926
Video	696.3044031	0.4	70	0.7	1800	24565619.34
Total						25925919.62

**Tabel 7.7 : Perhitunga OBQ Vehicular Urban**

OBQ Vehicular Urban						
Service Type	kepadatan pengguna	penetrasi layanan	call duration (c)	BHCA (call/sec)	Bandwidth	OBQ (kbps/km2)
VoIP	522.2283024	0.2	60	0.008	64	3208.57069
FTP	522.2283024	0.2	40	0.5	2000	4177826.419
Video	522.2283024	0.3	80	0.008	1800	180482.1013
Total						4361517.091

$$\Sigma \text{OBQurban}_{\text{total}} = \frac{\text{OBQbuilding} + \text{OBQpedestrian} + \text{OBQvehicular}}{3600}$$

$$= 13.886,13 \text{ kbps/km}^2$$

$$\text{Luas jangkauan sel} = \frac{\text{Kapabilitas sel}}{\text{OBQ}}$$

$$\text{Luas jangkauan sel suburban} = \frac{50400}{13.886,13} = 3.62 \text{ km}^2/\text{sel}$$

$$\text{Jumlah sel sub urban} = \frac{\text{Luas wilayah}}{\text{Luas jangkauan}} = 19.33 \text{ sel}$$



Tabel 7.8 : Daftar BTS di Kota Malang

No	site ID	Site Name	Longitude	Latitude	Alamat
1	20MLG032	BARENGMLG	112.61916	-7.97849	JL. TERUSAN IJEN 859-D KEL. BARENG KEC KLOJEN KOTA MALANG
2	20MLG021	BLIMBINGIM3	112.6455	-7.9491	JL. GLINTUNG IV NO. 22 RT 5 RW 4 MALANG
3	20MLG020	BRAWIJAYA	112.617	-7.95233	JL MAYJEN PANJAITAN XIXI/2-31, RT.04/06, KEL. PENANGGUNAN, KEC. KLOJEN KAB. MALNG
4	20MLG011	CITANDUI	112.648	-7.95905	JL. SULFAT RT/RW 04/11, BUNULREJO, BLIMBING,KODYA MALAN
5	20MLG040	CDANAUSENTANI	112.665	-7.98176	SMPN 1 SUKOREJO, JL RAYA SUKOREJO, PASURUAN
6	20MLG050	DCSGJAYANAMLG	112.601792	-7.940019	GEDUNG UNIVERSITAS GAJAJAYA JL.MERTO JOYO. MALANG
7	20MLG046	DCSMOGMALANG	112.62344	-7.97689	MALL OLYMPIC GARDEN JL. KAWI NO.24 MALANG
8	20MLG049	DCSSLAMETRINR	112.62907	-7.96089	JL. RAYA KALI URANG BARAT NO. 96 KEL. SAMAAN KEC. KLOJEN, MALANG
9	20MLG051	DCSSYAIFULANWAR	112.63282	-7.97152	JL. JAKSA AGUNG SUPRAPTO RSUD DR. SYAIFUL ANWAR MALANG
10	20MLG007	DCSTLOGOMAS	112.608	-7.93577	JL. TATASURYA 1, RT 07 RW 06, KEL. DINOYO KEC. LOWOKWARU, KOTA MALANG
11	20MLG009	DIENGMALANG	112.612004	-7.9773608	JL . SIMPANG RAYA LANGSEP NO. 20A, MALANG
12	20MLG047	DKALPATARUMLG	112.629911	-7.95058	JL. KALPATARU NO 37. KEC. BLIMBING MALANG (SAMPING HOTEL KALPATARU)
13	20MLG039	DMATOS	112.618167	-7.97083	JL. VETERAN 5, MALANG
14	20MLG020	DSBRAWIJAYA	112.617	-7.952333	JL. MAYJEN PANJAITAN XIXI/2-31, RT. 04/06, KEL. PENANGGUNAN, KEC. KLOJEN KAB. MALANG
15	20MLG035	DSSIGURAGURA	112.606623	-7.9581401	JL. BENDUNGAN SIGURA GURA 26, RT. 04, RW. 07 KEL SUMBERSARI KEC.

					LOWOKWARU KAB. MALANG
16	20MLG010	GADANG	112.627	-8.01965	JL. RAYA GADANG (DEPAN STO TELKOM GADANG), MALANG
17	20MLG050	GAJAYAAMLG	112.601792	-7.940019	GEDUNG UNIVERSITAS GAJAJYA JL MERTO JOYO MALANG
18	20MLG002	GITAFM	112.622	-7.99096	JL. SUPRIYADI 45, MALANG
19	20BTU92	GRAJAKAN	112.657618	-7.9478759	JL. ADI SUCIPTO 333-A KEL. PANDAN WANGI KEC. BLIMBING-MALAG
20	20MLG048	GRANDPALACE	112.626944	-7.986111	JL ADE IRMA SURYANI 23 MALANG
21	20MLG004	IKIPMALANG	112.620997	-7.962334	UNM (IKIPMALANG) JL. BOGOR, KODYAMALANG
22	20MLG003	ITN	112.604	-7.94645	KL. JOYOKUSUMO, DESA MERJOSARI/ JL. MERTOJOYO SELATAN, MALANG
23	20MLG023	JODIPAN	112.646968	-7.9970793	JL KI AGENG GRIBIK NO. 225. KEDUNGKANDANG RT. VI RW. 1 KEC KEDUNGKANDANG
24	20MLG005	KARANGLO	112.632	-7.98458	JL. HAGUSSALIM GAJAHMADA MALL, MALANG
2	20MLG018	KELAYATAN	112.619999	-8.0013815	JL TUMBAL NEGARANO. 68, KEL, MADYOPURO, KEC. KEDUNGKANDANG, MALANG
26	20MLG041	KETWANGGD	112.61225	-7.94632	GEDUNG WARUNG INTERNET CAFE, JL. MT HARYONO NO. 73 MALANG
27	20MLG033	KOTALAMA	112.633468	-7.9919429	JL. LAKSAMANA MARTADINATA GGG. 1 NO. 117 RT 11 RW 03 KEL. KOTA LAMA KEC. KOTA LAMA- MALANG
28	20MLG028	KSATRIANMLGIM3	112.649467	-7.9824305	JL. KALIMOSODO GG, 8 NO. 24 RT06/06 POLEHAN MALANG
29	20MLG012	LOWOKWARU	112.616	-7.94109	JL. KEMBANGKERTAS RT/RW. 08/04 JATIMULYO, KODYA MALANG
30	20MLG026	MALANGMSC	112.63174	-7.969319	JL. JAKSA AGUNG SUPRAPTO NO. 47 MALANG - JATIM

31	20MLG014	MERGOSONO	112.648	-8.01203	PUNCAK BURING INDAH, KEL. BURING, KEC. TAJINAN, KODYA MALANG
32	20MLG045	MICBUNUL	112.643789	-7.9665935	JL. LESTI NO. 30 RT/RW 2/6 KEL. BUNULREJO, KEC. BLIMBING, MALANG
33	20MLG042	MICGALUNGGUNG	112.61403	-7.96727	JL TERUSAN BONDOWOSO 46 A, MALANG
34	20MLG041	MICKETAWANGGD	112.61225	-7.94632	GEDUNG WARUNG INTERNET CAFE. JL. MT HARYONO NO. 73 MALANG
35	20MLG031	MICMITRA2	112.63633	-7.9622	
36	20MLG037	MICPASARBESAR	112.636537	-7.987946	JL. GAOT SUBROTO NO. 87 KOTA MALANG
37	20MLG044	MICPIRANHA	112.633058	-7.9258169	JL IKAN PIRANHA ATAS NO 63 RT/RW 02/03, KEL. LOWOKWARU, KEC TANJUNG SEKAR MALANG
38	20MLG036	PUNCAKTIDAR	112.601419	-7.9588113	JL. RAYA CANDI NO. 588, DS. KARANG BESUKI, KEC. SUKUN KOTA MALANG
39	20MLG016	RAYATIDAR	112.605	-7.96748	HL. CANDI III RT 06-RW03, KEL. KARANGBESUKI KEC. SUKUN, KOTA MALANG
40	20MLG019	SANTIKAMLG	112.636722	-7.958333	JL.LETJEN SUTOYO NO.79 MALANG
41	20MLG008	SAWOJAJAR	112.64519	-7.58597	JL.WIROTO NO. 11 KEL. POLEHAN, PERUMBUNUL, MALANG
42	20MLG035	SIGURAGURA	112.606623	-7.9581401	JL. TERUSAN SIMPANG SIGURA GURA 1/18 RT. 04/07, KEL SUMBERSARI- MALANG
43	20MLG006	STIEMALANG	112.638	-7.9418	KAMPUS STIE MALANG, BLIMBING MALANG
44	20MLG030	SUKRNOHATAIM3	112.622344	7.93808695	TPQ JL. CANDI PANGGUNG MALANG
45	20MLG064	UNIBRAW_TB	112.612018	-7.950184	GEDUNG FISIP UNIVERSITA BRAWIJAYA MALANG

Sumber : Aryanti(2014)

Tabel 7.9 : jumlah pelanggan yang dapat dilayani oleh satu BTS

No	site ID	Site Name	Jumlah User yang dapat dilayani	Type wilayah
1	20MLG032	BARENGMLG	442	Urban
2	20MLG021	BLIMBINGIM3	336	Urban
3	20MLG020	BRAWIJAYA	250	Urban
4	20MLG011	CITANDUI	353	Urban
5	20MLG040	CDANAUSENTANI	359	Suburban
6	20MLG050	DCSGJAYANAMLG	235	Urban
7	20MLG046	DCSMOGMALANG	514	Urban
8	20MLG049	DCSSLAMETRINR	379	Urban
9	20MLG051	DCSSYAIFULANWAR	496	Urban
10	20MLG007	DCSTLOGOMAS	257	Urban
11	20MLG009	DIENGMALANG	368	Urban
12	20MLG047	DKALPATARUMLG	247	Urban
13	20MLG039	DMATOS	276	Urban
14	20MLG020	DSBRAWIJAYA	250	Urban
15	20MLG035	DSSIGURAGURA	232	Urban
16	20MLG010	GADANG	237	Urban
17	20MLG050	GAJAYAAMLG	235	Urban
18	20MLG002	GITAFM	326	Urban
19	20BTU92	GRAJAKAN	369	Urban
20	20MLG048	GRANDPALACE	379	Urban
21	20MLG004	IKIPMALANG	368	Urban
22	20MLG003	ITN	240	Urban
23	20MLG023	JODIPAN	472	Suburban
24	20MLG005	KARANGLO	374	Urban
25	20MLG018	KELAYATAN	273	Urban

26	20MLG041	KETWANGGD	264	Urban
27	20MLG033	KOTALAMA	1137	Suburban
28	20MLG028	KSATRIANMLGIM3	852	Suburban
29	20MLG012	LOWOKWARU	258	Urban
30	20MLG026	MALANGMSC	500	Urban
31	20MLG014	MERGOSONO	330	Suburban
32	20MLG045	MICBUNUL	378	Urban
33	20MLG042	MICGALUNGGUNG	371	Urban
34	20MLG041	MICKETAWANGGD	264	Urban
35	20MLG031	MICMITRA2	381	Urban
36	20MLG037	MICPASARBESAR	1192	Suburban
37	20MLG044	MICPIRANHA	272	Urban
38	20MLG036	PUNCAKTDAR	202	Urban
39	20MLG016	RAYATIDAR	258	Urban
40	20MLG019	SANTIKAMLG	316	Urban
41	20MLG008	SAWOJAJAR	734	Suburban
42	20MLG035	SIGURAGURA	232	Urban
43	20MLG006	STIEMALANG	287	Urban
44	20MLG030	SUKRNOHATAIM3	281	Urban
45	20MLG064	UNIBRAW_TB	254	Urban
	total		17030	

Sumber : Aryanti (2014)

Jumlah pelanggan yang dilayani oleh BTS oleh sumber didapatkan dengan cara random dan diambil 10% dari keseluruhan pelanggan yang harus dilayani.

**Tabel 7.10 Tabel Jumlah pelanggan Irisan 3 BTS**

no	id BTS 1	id BTS 2	id BTS 3	jumlah user
1	20MLG032	20MLG046	20MLG039	10
2	20MLG049	20MLG045	20MLG047	21
3	20MLG002	20MLG018	20MLG033	10
4	20MLG004	20MLG042	20MLG039	12
5	20MLG020	20MLG064	20MLG020	29
6	20MLG041	20MLG007	20MLG012	22

**Tabel 7.11 : Tabel Jumlah pelanggan irisan 2 BTS**

No	id BTS 1	id BTS 2	Jumlah User
1	20MLG032	20MLG046	43
2	20MLG032	20MLG039	23
3	20MLG046	20MLG039	54
4	20MLG021	20MLG011	50
5	20MLG020	20MLG064	31
6	20MLG020	20MLG064	34
7	20MLG020	20MLG020	54
8	20MLG040	20MLG008	54
9	20MLG050	20MLG003	32
10	20MLG046	20MLG051	55
11	20MLG051	20MLG039	32
12	20MLG046	20MLG039	12
13	20MLG049	20MLG045	66
14	20MLG045	20MLG047	32
15	20MLG049	20MLG047	33
16	20MLG051	20MLG026	12
17	20MLG007	20MLG012	23
18	20MLG012	20MLG030	33
19	20MLG007	20MLG030	41
20	20MLG009	20MLG016	22
21	20MLG035	20MLG036	21
22	20MLG036	20MLG016	31
23	20MLG035	20MLG016	23
24	20MLG002	20MLG018	19

25	20MLG018	20MLG033	41
26	20MLG002	20MLG033	27
27	20MLG048	20MLG005	12
28	20MLG005	20MLG033	29
29	20MLG048	20MLG033	18
30	20MLG004	20MLG042	26
31	20MLG042	20MLG039	32
32	20MLG004	20MLG039	21
33	20MLG003	20MLG036	39
34	20MLG005	20MLG051	22
35	20MLG041	20MLG007	23
36	20MLG007	20MLG012	25
37	20MLG041	20MLG012	39
38	20MLG041	20MLG064	32
39	20MLG031	20MLG011	22
40	20MLG044	20MLG030	19

Penentuan jumlah pelanggan dalam irisan ditentukan dengan cara random, untuk jumlah pelanggan dalam irisan yang melibatkan tiga BTS jumlahnya tidak lebih besar dari jumlah irisan yang melibatkan 2 BTS.

**Tabel 7.12 Daftar Lokasi Tower/ Menara di Kota Malang**

NO.	LOKASI BANGUNAN	TINGGI	KETERANGAN
1	JL. GOMBONG	62 M	ANTENA
2	JL. POLOWIJEN RT.1 RW.4	50 M	
3	JL. TELUK PACITAN RT.03 RW.04	52 M	PRO-XL
4	JL. A.YANI UTARA GG. DELIMA 488	52 M	
5	JL. MOCH.RASYID No. 36 RT.6 RW.6	55 M	SATELINDO
6	JL. SULFAT RT.4 RW.11	40 M	SATELINDO
7	JL. KEMBANG KERTAS 50	55 M	SATELINDO
8	JL. KEDAWUNG 107	40 M	SATELINDO
9	JL. BURING INDAH J3 /1	24 M	ANTENA
10	JL. PASAR BESAR 92 / 94	20 M	ANTENA
11	JL. RAYA DIENG 27	35 M	MOBILE 8 (FREN)
12	JL JAGUNG SUPRAPTO 12-16	15 M	ANTENA REGENT, INDOSAT

13	JL. DANAU SENTANI 2	30,25 M	
14	JL. LETJEN S.PARMAN	50 M	
15	JL. BUKIT DIENG 1	50 M	PRO-XL
16	JL. TATA SURYA I RT.7 /VI	40 M	INDOSAT
17	JL. RAYA SAWOJAJAR RT.7/1	53 M	MOBILE 8 (FREN)
18	JL. TERS.BATUBARA RT1/IX	62 M	
19	JL. GUNUNG AGUNG UTARA RT.7 RW.III	50 M	INDOSAT
20	JL. SIMPANG GAJAYANA No. 61	43 M	MOBILE 8 (FREN)
21	JL. SEGAWA RT. 02 RW. 04	30 M	
22	JL. PANJI SUROSO RT.8/VIII	30 M	
23	JL. TELUK PACITAN RT.5/V	43 M	MOBILE 8 (FREN)
24	JL. S.SUPRIYADI VI/2409	62 M	TELKOMSEL, FLEXI
25	JL. LETJEN SUTOYO 59	20 M	PRO-XL
26	JL. VETERAN (KAMPUS UNIBRAW)	50 M	PRO-XL
27	JL. NATRIUM 10	30 M	PRO-XL
28	JL. BASUKI RAHMAT 100	40 M	TELKOMSEL
29	JL. ABDUL DJALIL	72 M	
30	JL. RENANG RT.1/IV	62 M	TELKOMSEL, FLEXI, FREN
31	JL. TLOGOMAS 49B	50 M	PRO-XL
32	JL. SUNAN KALIJAGA DALAM RT.10	62 M	TELKOMSEL
33	JL. M.PANJAITAN XIX	30 M	INDOSAT
34	JL. IR.RAIS XI/1	30 M	PRO-XL
35	JL. RAYA CANDI Gg. V a / 84	30 M	PRO-XL
36	JL. SULFAT INDAH RT.8/V	42 M	
37	JL. SIMPANG SULFAT UTARA 64	50 M	
38	JL. TELUK BAYUR RT.2	62 M	
39	JL. KUNTO BASWARA VI	42 M	SIEMENT
40	JL. KI AGENG GRIBIG III	40 M	INDOSAT
41	JL. JANTI BARAT 16	40 M	INDOSAT
42	JL. KI AGENG GRIBIG XXI	62 M	SIEMENT
43	JL. KALIANYAR	42 M	SIEMENT
44	JL. TOGOAGUNG 3B	35 M	SIEMENT

45	JL. SUMPIL III RT.5 RW.6	35 M	THREE 3, PRO-XL
46	JL. RONGGOLAWA RT.03 RW.04		SIEMANT
47	JL. LETJEN SUTOYO 14-16	36 M	THREE 3
48	JL. TERS. SULFAT RT.4 RW.6	32 M	SIEMANT
49	JL. SURABAYA	35 M	TELKOMSEL
50	JL. M.PANJAITAN	42 M	INDOSAT
51	JL. KI AGENG GRIBIG 20	42 M	INDOSAT
52	JL. SUROPATI 11	35 M	INDOSAT
53	JL. RAYA MADYOPURO 90	35 m	HCPT
54	JL. KOL.SUGIONO GG.X	30 M	SIEMANT
55	JL. CANDI III RT.3 RW.3	42 M	TELKOMSEL
56	JL. PUNCAK BOROBUDUR 1	42 M	
57	JL. S.SUPRIADI IV/2310 A	35 M	THREE 3
58	JL. KEBALEN WETAN 1A	30 M	SIEMANT
59	JL. LA. SUCIPTO 285	35 M	SIEMANT
60	JL. BARENG TENGAH VF RT.2 RW.8	30 M	SIEMANT
61	JL. BANDULAN 11	30 M	SIEMANT
62	JL. ANDONG DALAM RT.6 RW.2	35 M	THREE 3
63	JL. KH.ACHMAD DAHLAN 30C	22	HCPT
64	JL. PEL BAKAHUNI No. 68 RT. 03 RW. 06	45 M	TELKOMSEL, THREE 3
65	JL. BRIGJEN KATAMSO 23	18 M	THREE 3, FREN
66	JL. RAYA LANSEP 2 RT.7 RW.6	15 M	MOBILE 8 (FREN)
67	DSN.BARAN TEMPURAN RT.1 RW.6	35 M	FLEXI
68	JL. JOHAR RT.7 RW.9	35 M	THREE 3
69	JL. DR.CIPTO 16	60 M	TELKOMSEL,ESIA, FREN, 3
70	JL. CIMANUK 1	40 M	PRO XL, ESIA
71	JL. MT.HARYONO XIII RT.2 RW.3	64 M	TELKOMSEL
72	JL. CAKALANG	40 M	INDOSAT
73	JL. BANDARA ELTARI	32 M	HCPT
74	JL. BANDARA ELTARI	32 M	HCPT
75	JL. KI AGENG GRIBIG II/13	42 M	
76	JL. PAPA HIJAU RT.4 RW.15	32 M	
77	JL. SADANG 99A	42 M	

78	JL. LEMATANG No. 8	32 M	AXIS
79	JL. KOL.SUGIONO 144 A	36,50 M	
80	JL. LAPANGAN TENAGA 68	45 M	
81	JL. CENGER AYAM PESANTREN 58C	42 M	TELKOMSEL
82	JL. AGUS SALIM 10-16	29 M	THREE 3
83	JL. RAYA BANDULAN 50	51 M	PT. Bakrie Telecom (ESIA)
84	JL. TENAGA BARU IV/6	50 M	
85	JL. CAKALANG 186 A	42 M	
86	JL. M.PANJAITAN 54	20 M	
87	JL. RAYA LANGSEP NO. 2 RT. 07 RW. 06	25 M	INDOSAT
88	JL. MUHARTO BLOK H1	68 M	
89	JL. MERTOJOYO BLOK A No. 11 RT. 01 RW. 10	42 M	TELKOMSEL
90	JL. LA.SUCITO XXIB RT.10 RW.9	56 M	
91	JL. TERS. SULFAT RT.3 RW.5	56 M	
92	JL. KALIURANG BARAT No. 94 RT. 04 RW. 04	68 M	TELKOMSEL, FLEXY
93	JL. WIROTO I/23	68 M	
94	JL. SUDIMORO XVI RT.6 RW.6	68 M	FLEXY, PRO XL, SMART
95	JL. TELUK BAYUR RT.1 RW.8	56 M	
96	JL. JOYO ASRI KAV. DEPAG NO.40	22,5 M	
97	JL. DEWANDARU DALAM RT.4 RW.2	68 M	TELKOMSEL
98	JL. TUTUT ARJOWINANGUN RT.5 RW.7	60 M	
99	JL. CANDI V RT.3 RW.5	22,5 M	THREE 3
100	JL. MOCH.ROSYID RT.3 RW.3	60 M	FLEXY, ESIA
101	JL. BULUTANGKIS RT.5 RW.2	45 M	THREE 3
102	KEL. KEDUNGKANDANG	60 M	
103	JL. MERTOJOYO SELATAN Blok C No. 11 RT.03 RW.02	35 M	
104	JL. KALPATARU 37	42 M	
105	JL. CANDI PANGGUNG 58	102 M	Radio RRI
106	JL. KH. AHMAD DAHLAN No. 30 C	45 M	
107	JL. VETERAN 2 (MATOS)	6 M	
108	JL. LETJEN SUTOYO 79	15 M	

109	JL. RAYA LANGSEP 2A	15 M	INDOSAT
110	JL. MAYJEN SUNGKONO	35 M	HCPT
111	JL. MAYJEN SUNGKONO	45 M	INDOSAT
112	JL. PAHLAWAN TRIP (DIATAS RUKO NO. 8 & 9)	33 M	
113	JL. SAXOFON RT. 07 RW. 05	52 M	PRO XL
114	JL. KOL. SUGIONO 176 B	30 M	THREE 3
115	JL. RAYA CANDI BLOK 5A NO. 88	52 M	INDOSAT
116	JL. MARTADINATA 42 G	25 M	BTS PRO XL
117	JL. TERUSAN IJEN 859 B	32 M	INDOSAT
118	JL. ATLETIK RT. 01 RW. 03	45 M	INDOSAT
119	JL. IR. RAIS XI NO. 1	30 M	PRO XL
120	JL. LETJEN S. PARMAN NO. 37	51 M	
121	JL. LAKS. MARTADINATA NO. 35/41	45 M	
122	JL. CEMORO KANDANG RT. 9 RW. 4	42 M	FLEXI
123	JL. KI AGENG GRIBIG NO. 12	42 M	TELKOMSEL
124	JL. SRIGADING NO. 32	36 M	AXIS
125	JL. BENDUNGAN SUTAMI I / 462	22 M	AXIS
126	JL. ARUMBA NO. 6	42 M	FLEXY
127	JL. TELUK CENDRAWASIH	42 M	FLEXY
128	JL. RAYA TLOGOMAS NO. 14	25 M	
129	JL. BRAWIJAYA 1 A (BLKG KANTOR KWARCAB PRAMUKA)	36 M	Antena Radio, NTS
130	JL. ARIF MARGONO NO. 36	40 M	AXIS
131	JL. KENANGA INDAH NO. 36		
132	JL. KYAI TAMIN NO. 1 (PASAR BESAR)		
133	JL. CANDI 2 A NO. 44		THREE 3
134	Jl. Janti Utara No. 5	53 M	MOBILE 8 (FREN)
135	Jl. Simpang Viaben	42 M	FLEXI, SMART
136	Perumahan Taman Jati D No. 6	42 M	AXIS
137	Jl. Bingkil No. 1		FLEXI
138	Jl. Kol. Sugiono Gang II RT. 02 RW. 03	32 M	
139	Jl. Kol. Sugiono Gg. 17 A No. 24 Gadang	30 M	PT. Bakrie Telecom (ESIA)
140	Jl. Kol. Sugiono Gg. 12 C	43 M	THREE 3
141	Jl. Kol. Sugiono No. 42	40 M	PT. TELKOM, FLEXI

142	Jl. Kol. Sugiono depan STO Gadang	± 50 M	TELKOMSEL
143	Jl. Tidar Barat No. 1	30 M	PT. Bakrie Telecom (ESIA)
144	Jl. Sasuit Tubun No. 47	42 M	MOBILE 8 (FREN)
145	Jl. Mulyorejo (Depan Terminal)	52 M	FLEXI
146	Jl. M. Rasid Gg. Musholla RT. 03 RW. 03	62 M	TELKOMSEL
147	Jl. G. Agung Selatan (Kom. Pem.Umum)	42 M	THREE 3
148	Dieng Plaza Jl. Raya Langsep 2-3	35 M	TELKOMSEL, FLEXY
149	Jl. Raya Dieng No. 27	35 M	SMART
150	Jl. S. Supriadi No. 45 (menempel di Tower Radio)	62 M	INDOSAT, ESIA , SMART
151	Jl. Ir. Rais XIV/58	42 M	PT. TELKOMSEL
152	Jl. Ade Irma Suryani Kel. Kauman Malang	35 M	INDOSAT
153	Jl. Basuki Rahmat II No. 872 B	25 M	INDOSAT
154	JL. Trunojoyo 31	75 M	SIEMENS
155	JL. Gunung Batok RT.03	35 M	INDOSAT
156	JL. Jagung Suprpto No. 47 (Kantor Indosat)	30 M	PT. Excelcomindo Pratama (XL)
157	JL. Jagung Suprpto I No. 25	40 M	AXIS (2008)
158	JL. Bunga Srigading	35 M	
159	JL. Pinang Merah	32 M	TELKOMSEL
160	JL. Pisang Kipas		THREE 3
161	JL. Sukarno – Hatta No. 9	42 M	
162	JL. Melati Utara No. 65		THREE 3, XL
163	JL. Coklat No. 15		SMART
164	Jl. Letjen S. Parman No. 37-39	30,25 M	
165	JL. Letjen Sutoyo		TELKOM
166	Joyogrand No. 40	42 M	FLEXI
167	JL. Joyogrand / 1	52 M	PRO XL
168	JL. Joyo Utomo V/F	25 M	INDOSAT,FREN,ESIA
169	JL. Candi Kalasan	60 M	INDOSAT
170	JL. Candi Panggung Indah No. 4		RADIO FM
171	JL. Candi Panggung No. 2	57 M	INDOSAT

172	Jl. Simpang Terusan Bendungan Sigura-gura I	32 M	SMART PHONE
173	Jl. Terusan Sigura-gura (Kampus ITN)		
174	Jl. Gombang (Kampus UM)	35 M	
175	Jl. Salatiga (Dalam Kompleks Dosen UM)		
176	Jl. Baiduri Pandan No. 16	95 M	SMART, ESIA, TELKOMSEL
177	Jl. Kendal Sari Gang 5		THREE 3
178	Jl. Simpang Piranha Atas RT. 05 RW. 02 (Masjid Darul Karomah)	32 M	PT. Excelcomindo Pratama (XL)
179	Jl. Terusan Piranha Atas No. 63 RT. 02 RW. 03 (Dekat Masjid Jami' H. Agus Salim)	15 M	PT. INDOSAT
180	Jl. Raden Intan Kav. 55 No. 1		TELKOMSEL, ESIA, SMART
181	Jl. Pahlawan 363 RT. 06 RW. 03	45 M	THREE 3
182	Jl. Ahmad Yani No. 15 (Komplek Masjid Sabilillah)	28 M	SIEMENS
183	Jl. Lesti No. 30 RT. 04 RW. 06 (Diatas Rumah Warga Bpk. Soemardji)	15 M	INDOSAT
184	Jl. Juanda No. 18	20 M	TELKOMSEL
185	Jl. Pemandian (Dekat Kelurahan Kesatrian)	32 M	AXIS
186	Jl. Hamid Rusdi RT. 2 RW. 6	32 M	AXIS
187	Jl. Indroprasto No. 1-1 (Komp. DENZIBANG)	65 M	TELKOMSEL, AXIS
188	Jl. Indroprasto No. 1-2 (Komp. DENZIBANG)	25 M	PT. Excelcomindo Pratama (XL)
189	Jl. Untung Suropati Selatan No. 1 (Komplek ZON ANHANDURI)	35 M	PT. Bakrie Telecom (ESIA)
190	Jl. LA Sucipto 333 RT. 01 RW. 02	42 M	AXIS
191	Jl. Kresno No. 5 Kel. Polehan RT. 02 RW. 03	45 M	INDOSAT
192	Jl. Kalimosodo Gg. VIII No. 24 RT. 06 RW. 06 (Dekat Sungai)	62 M	THREE 3
193	Jl. Wiroto RT. 08 RW. 07 Kel. Polehan	± 42 M	INDOSAT
194	Jl. Wiroto RT. 07 RW. 07 No. 41 Kel. Polehan (Pinggir Sungai)	45 M	INDOSAT
195	Jl. Raya Sulfat RT. 04 RW. 02	40 M	FLEXI (2007)
196	Jl. Letjend S. Parman I RT. 00 RW. 05	30,25 M	SMART (2008)

197	Jl. Karya Timur IV	42 M	PT. Satelit Palapa Indonesia
198	Jl. Raya Puncak Buring Indah No. 35 RT. 00 RW. 04	24 M	PT. Excelcomindo Pratama (XL)
199	Jl. Mayjend Sungkono No. 80 B	27 M	INDOSAT
200	Jl. Ki Ageng Gribig No. 6	30 M	PROTELINDO
201	JL. Raya Sentani No. 3	52 M	SIEMENS
202	JL. Wisnuwardhana Kelurahan Madyopuro	72 M	PT. Excelcomindo Pratama (XL)
203	JL. Kolonel Sugiono	7 M	PT. Bakrie Telecom (ESIA)
204	JL. Mayjend Sungkono No. 31	42 M	TELKOMSEL
205	JL. Mayjend Sungkono No. 9 RT. 01 RW. 01	52 M	INDOSAT

Sumber : Kominfo Kota Malang (2015)

