



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**OPTIMASI PENEMPATAN LOKASI MENARA BARU  
BERSAMA PADA SISTEM TELEKOMUNIKASI SELULER  
DI KABUPATEN BANGKALAN MENGGUNAKAN  
ALGORITMA FUZZY EVOLUSI**

**Raka Kusuma Landyanto  
NRP 2212106015**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015**



**FINAL PROJECT - TE 141599**

**PLACEMENT OPTIMIZATION OF NEW JOINT TOWER  
LOCATION ON CELLULAR TELECOMMUNICATION  
SYSTEM IN BANGKALAN DISTRICT USING  
FUZZY EVOLUTIONARY ALGORITHMS**

Raka Kusuma Landyanto  
NRP 2212106015

Supervisor  
Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015

**OPTIMASI PENEMPATAN LOKASI MENARA BARU  
BERSAMA PADA SISTEM TELEKOMUNIKASI SELULER  
DI KABUPATEN BANGKALAN MENGGUNAKAN  
ALGORITMA FUZZY EVOLUSI**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing**



**Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.**  
**NIP. 1961 09 03 1989 03 1001**



# OPTIMASI PENEMPATAN LOKASI MENARA BARU BERSAMA PADA SISTEM TELEKOMUNIKASI SELULER DI KABUPATEN BANGKALAN MENGGUNAKAN ALGORITMA FUZZY EVOLUSI

Nama : Raka Kusuma Landyanto  
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

## ABSTRAK

Teknologi sistem telekomunikasi seluler yang terus berkembang membutuhkan suatu perencanaan sel dengan menempatkan lokasi BTS (*Base Transceiver Station*) dengan baik dan tepat untuk mengurangi *blank spot area*, memaksimalkan *coverage area* dan memenuhi kapasitas trafik. Penambahan jumlah menara telekomunikasi seluler baru bersama yang menampung BTS merupakan suatu tuntutan yang wajib terpenuhi, karena bertumbuhnya jumlah pengguna layanan seluler di suatu wilayah. Penempatan lokasi menara harus mempertimbangkan rencana tata ruang wilayah dan jumlah menara eksisting.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini dilakukan optimasi penempatan lokasi menara baru bersama di Kabupaten Bangkalan. Optimasi tersebut merupakan perencanaan dengan penambahan jumlah kebutuhan BTS dan menara bersama. Proses optimasi tersebut berdasarkan titik-titik potensial dengan skala prioritas rencana tata ruang wilayah. Optimasi dengan data perencanaan tersebut diimplementasikan dengan metode Algoritma *Fuzzy* Evolusi. Pemetaan hasil optimasi tersebut dipetakan pada peta geografis wilayah yang ditampilkan dalam bentuk digital menggunakan *Map Info*.

Dalam perhitungan perencanaan kebutuhan BTS untuk tahun 2019, Kabupaten Bangkalan membutuhkan 546 BTS dengan 309 menara bersama, maka diperlukan penambahan 74 menara untuk mencukupi kebutuhan trafik tahun 2019. Dari hasil optimasi terpilih 74 titik paling optimal berdasarkan skala prioritas rencana tata ruang wilayah sesuai dengan penambahan jumlah kebutuhan menara. Titik-titik tersebut dijadikan zona pembangunan menara baru bersama dengan radius 500 meter agar bisa disesuaikan dengan kondisi wilayah.

**Kata Kunci :** perencanaan sel, BTS, menara telekomunikasi seluler bersama, Algoritma *Fuzzy* Evolusi, *Map Info*



*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

# PLACEMENT OPTIMIZATION OF NEW JOINT TOWER LOCATION ON CELLULAR TELECOMMUNICATION SYSTEM IN BANGKALAN REGENCY USING FUZZY EVOLUTIONARY ALGORITHMS

Name : Raka Kusuma Landyanto  
Supervisor : Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.

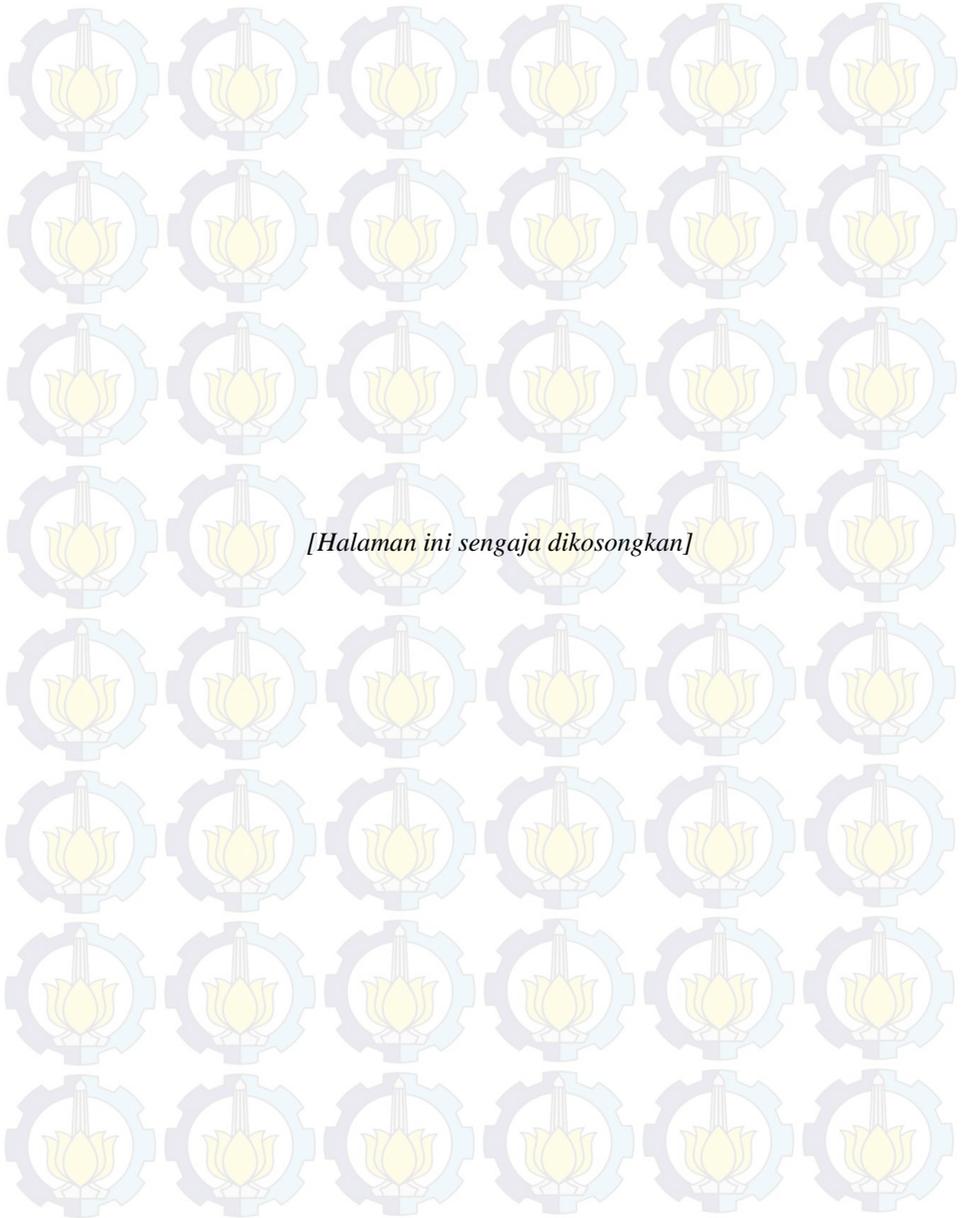
## ABSTRACT

*The mobile telecommunications system technology evolving needs a cell planning to put the location of BTS (Base Transceiver Station) with a good location to reduce the blank spot areas, maximizing the coverage area and fulfill the traffic capacity. Increasing the number of new joint cellular telecommunication towers that holds the BTS is a demand that must be met due to the growing number of mobile users in the region. The placement of the tower site must consider the spatial plans and the number of existing towers.*

*Based on these problems, this research to placement optimization of new joint cellular telecommunication tower location in Bangkalan Regency which is planning to increase the number of BTS and tower needs. The optimization is planning to increase the number of base stations and joint tower needs. The optimization process is based on the points of potential to scale spatial planning priorities. Optimization of the planning data is to be implemented by the method of Fuzzy Evolutionary Algorithms. Mapping the optimization result is mapped on a geographical map area displayed in digital form using Map Info.*

*In calculating the BTS requirements planning for 2019, Bangkalan District require 546 BTS to 309 of new joint cellular telecommunication towers, it would require the addition of 74 towers to provide for traffic in 2019. The results of the optimization selected 74 most optimal point based on priorities of spatial plans in accordance with the increase in the number tower needs. These points are used as a new tower construction zone with a radius of 500 meters in order to be adapted to the conditions of the region.*

**Keywords** : cell planning, base transceiver station, joint cellular telecommunication tower, Fuzzy Evolutionary Algorithms, Map Info



## KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, segala puji kepada Allah SWT karena hanya dengan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga Penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul **“Optimasi Penempatan Lokasi Menara Baru Bersama Pada Sistem Telekomunikasi Seluler di Kabupaten Bangkalan Menggunakan Algoritma Fuzzy Evolusi”** sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik dalam bidang studi Telekomunikasi Multimedia pada program studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, khususnya kepada :

1. Ibunda Siti Wuryanti, A.Md. dan Bapak Drs. Supriyanto tercinta terima kasih atas segala do'a, kasih sayang, perhatian, nasehat serta dukungannya baik moril maupun materil yang senantiasa berusaha memberikan yang terbaik bagi Penulis agar bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT. selaku dosen pembimbing Penulis di Tugas Akhir ini. Terima kasih atas segala bimbingan, arahan, saran, kritikan, keluangan waktu dan fasilitas selama Penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini. Serta seluruh Dosen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan ilmunya kepada Penulis.
3. Adik-adik Penulis, Tito Kusuma Atmaja dan Surya Kusuma Rainsele serta keluarga besar Penulis yang selalu mendo'akan dan menyemangati Penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Tim *Cell Planning*, teman-teman di kelas LJ Genap 2012 Telekomunikasi Multimedia dan seluruh teman-teman LJ Genap 2012 Teknik Elektro ITS terima kasih atas bantuan, kerjasama dan kebersamaan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Dalam Tugas Akhir ini Penulis menyadari bahwa terdapat banyaknya kekurangan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan informasi dan manfaat bagi pembaca khususnya untuk mahasiswa Teknik Elektro ITS.

Surabaya, Januari 2015  
Penulis



*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## DAFTAR ISI

BAB	HALAMAN
<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR</b>	
<b>ABSTRAK</b> .....	ix
<b>ABSTRACT</b> .....	xi
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xvii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan .....	3
1.5 Metodologi .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
1.7 Relevansi .....	5
<b>BAB II TEORI PENUNJANG</b>	
2.1 Sistem Telekomunikasi Seluler .....	7
2.1.1 Konsep Sel .....	8
2.1.2 Frequency Re-use .....	8
2.1.3 Handover .....	9
2.1.4 Interferensi .....	10
2.1.5 Dasar Trafik .....	11
2.1.6 Trunking dan Kualitas Pelayanan .....	12
2.1.7 Peningkatan Kapasitas Komunikasi Seluler .....	13
2.2 Global System for Mobile Communication (GSM) ...	16
2.3 Jenis-Jenis Menara Telekomunikasi .....	18
2.4 Prediksi Jumlah Penduduk dan Pengguna Layanan Seluler .....	22
2.5 Prediksi Jumlah Kebutuhan BTS dan Menara Bersama .....	23
2.6 Prediksi BTS Coverage Menara Telekomunikasi Eksisting .....	24

2.7	Regulasi dan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW)	24
2.8	Algoritma Fuzzy Evolusi .....	26
2.5.1	Algoritma Genetika .....	27
2.5.2	Sistem Fuzzy .....	31
<b>BAB III PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI</b>		
3.1	Penentuan Daerah Penelitian .....	34
3.2	Pengumpulan Data .....	35
3.3	Pengolahan Data .....	46
3.3.1	Pengolahan Data Dengan Microsoft Excel .....	47
3.3.2	Implementasi Algoritma Fuzzy Evolusi .....	55
<b>BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN</b>		
4.1	Analisa Data .....	63
4.1.1	Data dan Lokasi Menara Telekomunikasi Eksisting .....	63
4.1.2	Data dan Lokasi Coverage Menara Telekomunikasi Eksisting .....	65
4.1.3	Data dan Lokasi Titik Potensial Penempatan Menara Telekomunikasi Baru Bersama Berdasarkan RTRW .....	70
4.2	Pembahasan .....	71
4.2.1	Hasil Implementasi Algoritma Fuzzy Evolusi ..	71
4.2.2	Hasil Zona Pembangunan Menara Telekomunikasi Baru Bersama .....	75
4.2.3	Perbandingan Hasil Implementasi Algoritma Fuzzy Evolusi Dengan Metode Simulated Annealing .....	78
<b>BAB V PENUTUP</b>		
5.1	Kesimpulan .....	81
5.2	Saran .....	82
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		83
<b>LAMPIRAN A .....</b>		87
<b>LAMPIRAN B .....</b>		89
<b>LAMPIRAN C .....</b>		93
<b>LAMPIRAN D .....</b>		103
<b>LAMPIRAN E .....</b>		105
<b>LAMPIRAN F .....</b>		119
<b>LAMPIRAN G .....</b>		129
<b>BIODATA PENULIS .....</b>		133

## DAFTAR GAMBAR

GAMBAR		HALAMAN
<b>Gambar 2.1</b>	Ilustrasi Sistem Telekomunikasi Seluler .....	7
<b>Gambar 2.2</b>	Ilustrasi Beberapa Bentuk Sel .....	8
<b>Gambar 2.3</b>	Ilustrasi <i>Frequency Re-use</i> .....	9
<b>Gambar 2.4</b>	Ilustrasi <i>Handover</i> .....	10
<b>Gambar 2.5</b>	Ilustrasi <i>Co-channel Interference</i> .....	11
<b>Gambar 2.6</b>	Ilustrasi Pemecahan Sel ( <i>Cell Splitting</i> ) .....	13
<b>Gambar 2.7</b>	Ilustrasi Sektorisasi ( <i>Sectoring</i> ) dengan (a) $120^\circ$ (b) $60^\circ$ .....	14
<b>Gambar 2.8</b>	Arsitektur Jaringan GSM .....	16
<b>Gambar 2.9</b>	Menara Mandiri ( <i>Self Supporting Tower</i> ) .....	19
<b>Gambar 2.10</b>	Menara Tergang ( <i>Guyed Tower</i> ) .....	20
<b>Gambar 2.11</b>	Menara Tunggal ( <i>Monopole Tower</i> ) .....	21
<b>Gambar 2.12</b>	Interaksi Antara EAs dan FG .....	26
<b>Gambar 2.13</b>	Ilustrasi Skema Pengkodean .....	28
<b>Gambar 2.14</b>	Ilustrasi Metode <i>Roulette-Wheel</i> .....	29
<b>Gambar 2.15</b>	Ilustrasi <i>Crossover</i> .....	29
<b>Gambar 2.16</b>	Ilustrasi Mutasi .....	30
<b>Gambar 2.17</b>	Diagram Blok Sistem <i>Fuzzy</i> .....	31
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir .....	33
<b>Gambar 3.2</b>	Peta Kabupaten Bangkalan .....	35
<b>Gambar 3.3</b>	Peta Digital Kabupaten Bangkalan Berbasis <i>Map Info</i> .....	36
<b>Gambar 3.4</b>	Peta Titik-Titik Potensial Kawasan Pemukiman di Kabupaten Bangkalan .....	38
<b>Gambar 3.5</b>	Peta Titik-Titik Potensial Daerah Pusat Kegiatan Warga di Kabupaten Bangkalan .....	39
<b>Gambar 3.6</b>	Peta Titik-Titik Potensial Daerah Pusat Pemerintahan dan Pelayanan di Kabupaten Bangkalan .....	40
<b>Gambar 3.7</b>	Peta Titik-Titik Potensial Kawasan Strategis Ekonomi Di Kabupaten Bangkalan .....	41
<b>Gambar 3.8</b>	Peta Titik-Titik Potensial Kawasan Industri dan Pergudangan di Kabupaten Bangkalan .....	42
<b>Gambar 3.9</b>	Peta Titik-Titik Potensial Kawasan Pariwisata dan Sosial Budaya di Kabupaten Bangkalan .....	43

<b>Gambar 3.10</b>	Peta Titik-Titik Potensial Kawasan Militer di Kabupaten Bangkalan .....	44
<b>Gambar 3.11</b>	Pengguna Telepon Bergerak Seluler Menurut Wilayah, 2010 .....	45
<b>Gambar 3.12</b>	Tabel Erlang B .....	52
<b>Gambar 3.13</b>	Diagram Alir Algoritma <i>Fuzzy</i> Evolusi .....	55
<b>Gambar 4.1</b>	Peta Menara Telekomunikasi Eksisting di Kabupaten Bangkalan .....	63
<b>Gambar 4.2</b>	Peta <i>Coverage</i> BTS 2G Menara Telekomunikasi Eksisting di Kabupaten Bangkalan .....	67
<b>Gambar 4.3</b>	Peta <i>Coverage</i> BTS 3G Menara Telekomunikasi Eksisting di Kabupaten Bangkalan .....	69
<b>Gambar 4.4</b>	Tampilan Proses Penentuan Titik Penempatan Menara Telekomunikasi Baru Bersama Dalam <i>Matlab</i> .....	71
<b>Gambar 4.5</b>	Tampilan Hasil <i>Chromosome</i> Tertinggi di <i>Command Window Matlab</i> Dari Titik Penempatan Menara Telekomunikasi Baru .....	72
<b>Gambar 4.6</b>	Peta Hasil Implementasi Algoritma <i>Fuzzy</i> Evolusi di Kabupaten Bangkalan .....	73
<b>Gambar 4.7</b>	Komposisi Titik Penempatan Menara Telekomunikasi Baru Bersama Berdasarkan RTRW .....	64
<b>Gambar 4.8</b>	Peta Hasil Zona Pembangunan Menara Telekomunikasi Baru Bersama di Kabupaten Bangkalan .....	76
<b>Gambar 4.9</b>	Peta Hasil Zona Pembangunan Menara Telekomunikasi Baru Bersama Digabungkan Dengan <i>Coverage</i> Menara Eksisting di Kabupaten Bangkalan .....	77
<b>Gambar 4.10</b>	Peta Perbandingan <i>Sample</i> Hasil Optimasi Kedua Metode .....	79
<b>Gambar A.1</b>	Lembar Pengesahan Proposal Tugas Akhir .....	87
<b>Gambar B.1</b>	Surat Permohonan Ijin Penelitian dan Bantuan Data ..	89
<b>Gambar B.2</b>	Surat Rekomendasi Untuk Melakukan Penelitian .....	90
<b>Gambar B.3</b>	Surat Rekomendasi Untuk Pencarian Bantuan Data ...	91
<b>Gambar B.2</b>	Lanjutan Surat Rekomendasi Untuk Pencarian Bantuan Data .....	92
<b>Gambar D.1</b>	Peta RTRW Kabupaten Bangkalan 2009-2029 .....	103

## DAFTAR TABEL

TABEL	HALAMAN
<b>Tabel 2.1</b> Spesifikasi <i>Tower</i> atau Menara Telekomunikasi .....	21
<b>Tabel 2.2</b> <i>Fuzzy Rule</i> Untuk Pengaturan Pc .....	32
<b>Tabel 2.3</b> <i>Fuzzy Rule</i> Untuk Pengaturan Pm .....	32
<b>Tabel 3.1</b> Jumlah, Kepadatan dan Laju Pertumbuhan Penduduk Kabupaten Bangkalan 2010 .....	46
<b>Tabel 3.2</b> Hasil Perhitungan Prediksi Jumlah Penduduk di Kabupaten Bangkalan Untuk Tahun 2019 .....	48
<b>Tabel 3.3</b> Hasil Perhitungan Prediksi Jumlah Pengguna Layanan Seluler di Kabupaten Bangkalan Untuk Tahun 2019 .....	49
<b>Tabel 3.4</b> Hasil Perhitungan Prediksi Kapasitas Total Trafik di Kabupaten Bangkalan Untuk Tahun 2019 .....	51
<b>Tabel 3.5</b> Hasil Perhitungan Prediksi Jumlah Kebutuhan BTS di Kabupaten Bangkalan Untuk Tahun 2019 .....	53
<b>Tabel 3.6</b> Hasil Perhitungan Prediksi Jumlah Kebutuhan Menara Bersama di Kabupaten Bangkalan Untuk Tahun 2019 ....	54
<b>Tabel 4.1</b> Data Menara Telekomunikasi Eksisting Berdasarkan Perusahaan Pemilik Menara dan Persentase Menara Bersama di Kabupaten Bangkalan .....	64
<b>Tabel 4.2</b> <i>BTS Coverage Area Prediction 2G</i> Untuk Area <i>Sub-Urban</i> .....	65
<b>Tabel 4.3</b> <i>BTS Coverage Area Prediction 2G</i> Untuk Area <i>Rural</i> ....	66
<b>Tabel 4.4</b> <i>BTS Coverage Area Prediction 3G</i> Untuk Area <i>Sub-Urban</i> .....	68
<b>Tabel 4.5</b> <i>BTS Coverage Area Prediction 3G</i> Untuk Area <i>Rural</i> ....	68
<b>Tabel 4.6</b> Jumlah Titik-Titik Potensial Berdasarkan RTRW Per Kecamatan di Kabupaten Bangkalan .....	65
<b>Tabel 4.7</b> <i>Sample</i> Hasil Titik Penempatan Menara Telekomunikasi Baru Bersama Menggunakan Algoritma <i>Fuzzy Evolusi</i> ..	78
<b>Tabel 4.8</b> <i>Sample</i> Hasil Titik Penempatan Menara Telekomunikasi Baru Bersama Menggunakan Metode <i>Simulated Annealing</i> .....	78
<b>Tabel C.1</b> Data Menara Telekomunikasi Eksisting di Kabupaten Bangkalan .....	93
<b>Tabel E.1</b> Data Titik Potensial Kawasan Pemukiman .....	105

<b>Tabel E.2</b>	Data Titik Potensial Pusat Kegiatan Warga .....	115
<b>Tabel E.3</b>	Data Titik Potensial Pusat Pemerintahan dan Pelayanan .....	115
<b>Tabel E.4</b>	Data Titik Potensial Kawasan Strategis Ekonomi .....	116
<b>Tabel E.5</b>	Data Titik Potensial Kawasan Industri dan Perdagangan .....	117
<b>Tabel E.6</b>	Data Titik Potensial Kawasan Pariwisata dan Sosial Budaya .....	117
<b>Tabel E.7</b>	Data Titik Potensial Kawasan Militer .....	117
<b>Tabel G.1</b>	Data Hasil Optimasi Algoritma Fuzzy Evolusi .....	129

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi telekomunikasi, khususnya pada sistem telekomunikasi seluler yang berperan membuat penggunaanya dapat berkomunikasi dalam keadaan bergerak atau diam. Dalam sistem telekomunikasi seluler dibutuhkan suatu perencanaan sel (*cell planning*) yang mempunyai tujuan untuk dapat melayani pengguna saat berkomunikasi dengan pengguna lain yang berada dalam jangkauan dengan sebuah *Base Transceiver Station* (BTS). Untuk itu, penambahan jumlah dan lokasi menara telekomunikasi baru bersama BTS merupakan suatu tuntutan yang wajib terpenuhi. Oleh karena itu, penempatan lokasi menara telekomunikasi baru bersama harus mempertimbangkan faktor-faktor estetika lingkungan, tata ruang wilayah dan jumlah menara BTS yang telah ada sebelumnya sesuai dengan Peraturan Menkominfo Nomor: 02/PER/M.KOMINFO/3/2008 tentang pedoman pembangunan dan penggunaan menara telekomunikasi bersama yaitu menara yang harus diisi lebih dari satu operator serta mempertimbangan estetika lingkungan dan rencana tata ruang wilayahnya.

Untuk itu pada sistem telekomunikasi seluler untuk perencanaan sel, penempatan lokasi BTS yang baik dan tepat dapat mengurangi *blank spot area*, memaksimalkan area cakupan (*coverage area*) layanan seluler dan memenuhi kapasitas trafik serta tidak mengganggu keindahan suatu wilayah. Proses optimasi memperhitungkan perkembangan jumlah penduduk, pertumbuhan jumlah pengguna seluler dan peta geografis wilayah yang ditampilkan dalam bentuk digital menggunakan *Map Info*.

Pada tugas akhir ini untuk proses optimasi penempatan lokasi menara telekomunikasi baru bersama di Kabupaten Bangkalan digunakan *Fuzzy Evolutionary Algorithms* (*Fuzzy EAs*) atau disebut Algoritma *Fuzzy* Evolusi. Algoritma ini merupakan sebuah *hybrid system* yang menggabungkan Algoritma Genetika (AG) dan Sistem *Fuzzy* (SF), dimana SF digunakan untuk mengatur nilai probabilitas *crossover* ( $P_c$ ) dan probabilitas mutasi ( $P_m$ ) selama proses evolusi pada AG[1]. Implementasi algoritma ini menggunakan *Matlab*, digunakan untuk penempatan lokasi menara telekomunikasi baru bersama yang akan dibangun di Kabupaten Bangkalan sesuai dengan hasil penentuan jumlah kebutuhan menara untuk 5 tahun ke depan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang dibahas pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merencanakan dan menentukan kebutuhan menara telekomunikasi seluler di Kabupaten Bangkalan untuk 5 tahun ke depan?
2. Bagaimana menentukan prioritas penempatan lokasi menara telekomunikasi seluler baru bersama di Kabupaten Bangkalan dengan memperhatikan lokasi menara yang telah ada sebelumnya dan sesuai dengan Peraturan Menkominfo?
3. Bagaimana mengoptimalkan penempatan lokasi menara telekomunikasi seluler baru bersama di Kabupaten Bangkalan menggunakan Algoritma *Fuzzy* Evolusi sesuai dengan hasil penentuan jumlah kebutuhan menara untuk 5 tahun ke depan?
4. Bagaimana mengolah dan memetakan hasil optimasi penempatan lokasi menara telekomunikasi seluler baru bersama di Kabupaten Bangkalan menggunakan *Map Info* v.10.0?

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan, maka tugas akhir ini diberikan batasan masalah sebagai berikut :

1. Wilayah yang digunakan untuk penelitian tugas akhir adalah Kabupaten Bangkalan.
2. Proses perencanaan menara telekomunikasi seluler baru bersama yang diteliti adalah teknologi GSM (*Global System for Mobile Communication*) dengan menggunakan standar GSM.
3. Kriteria prioritas penempatan lokasi menara telekomunikasi seluler baru bersama di Kabupaten Bangkalan adalah dengan memperhatikan lokasi menara yang telah ada sebelumnya dan menggunakan RTRW (Rencana Tata Ruang Wilayah) serta jarak terdekat antar titik.
4. Proses optimasi menggunakan Algoritma *Fuzzy* Evolusi sesuai dengan penentuan jumlah kebutuhan menara untuk 5 tahun ke depan menggunakan teori kapasitas trafik.
5. Hasil optimasi penempatan lokasi menara telekomunikasi baru bersama diolah menggunakan pemetaan pada *Map Info* v.10.0.
6. Hasil penelitian tugas akhir ini merupakan sebuah rekomendasi bersama dengan hasil penelitian tugas akhir lain di wilayah yang sama menggunakan metode *Simulated Annealing*.

## 1.4 Tujuan

Maksud dan tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Memperoleh solusi perencanaan kebutuhan BTS dan menara telekomunikasi seluler bersama di Kabupaten Bangkalan untuk 5 tahun ke depan sesuai dengan perhitungan kapasitas trafik.
2. Menerapkan Algoritma *Fuzzy* Evolusi untuk mengoptimalkan penempatan lokasi menara telekomunikasi seluler baru bersama di Kabupaten Bangkalan.
3. Memberikan rekomendasi untuk mengendalikan pembangunan dan penggunaan menara bersama secara efektif dan efisien, serta mengatur persebaran lokasinya dengan memperhatikan menara eksisting, estetika lingkungan dan rencana tata ruang wilayah Kabupaten Bangkalan sesuai dengan Peraturan Menkominfo.
4. Membandingkan hasil optimasi dari penelitian ini dengan hasil optimasi penelitian lain di wilayah yang sama menggunakan metode *Simulated Annealing*.

## 1.5 Metodologi

Tahapan tugas akhir yang telah dilaksanakan menggunakan beberapa pendekatan, antara lain :

1. Studi Literatur  
Mempelajari teori-teori yang mendukung tugas akhir ini dari beberapa sumber referensi seperti buku-buku, literature maupun dari internet yang terkait dalam penelitian ini.
2. Pengumpulan Data dan Informasi  
Melakukan pengumpulan data secara langsung di lapangan dan dari dinas-dinas pemerintahan yang terkait yang dapat menunjang tugas akhir ini, sehingga dapat diketahui masalah yang dihadapi di Kabupaten Bangkalan sebagai wilayah yang diteliti.
3. Perancangan dan Implementasi Sistem  
Melakukan perancangan dan implementasi sistem berupa optimasi untuk kebutuhan lokasi menara telekomunikasi seluler baru bersama sesuai dengan teori-teori yang didapat setelah melakukan studi literatur dan pengumpulan data dan informasi.
4. Analisa Data  
Dari hasil perancangan dan implementasi sistem berupa optimasi yang diperoleh, lalu dilakukan analisa agar bisa diolah dan dilakukan pemetaan pada *Map Info v.10.0*.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Secara umum sistematika penulisan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

### a. BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian singkat mengenai latar belakang permasalahan, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika penulisan dan relevansi dari tugas akhir yang disusun.

### b. BAB II : TEORI PENUNJANG

Berisikan uraian dasar-dasar teori penunjang mengenai konsep dasar sistem telekomunikasi seluler dan teori Algoritma *Fuzzy* Evolusi yang berkaitan dengan optimasi penempatan lokasi menara baru bersama pada sistem telekomunikasi seluler.

### c. BAB III : PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Berisikan pembahasan tentang dasar perancangan penempatan lokasi menara baru bersama pada sistem telekomunikasi seluler sesuai dengan data dan informasi yang diperoleh serta implementasi dengan Algoritma *Fuzzy* Evolusi pada hasil perancangan tersebut.

### d. BAB IV : ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Berisikan analisa dan pembahasan dari perancangan dan implementasi penempatan lokasi menara baru bersama pada sistem telekomunikasi seluler ke dalam *Map Info* v.10.0 sesuai dengan Peraturan Menkominfo untuk kebutuhan menara baru bersama 5 tahun ke depan agar bisa menjadi suatu rekomendasi untuk mengendalikan pembangunan dan penggunaan menara bersama secara efektif dan efisien.

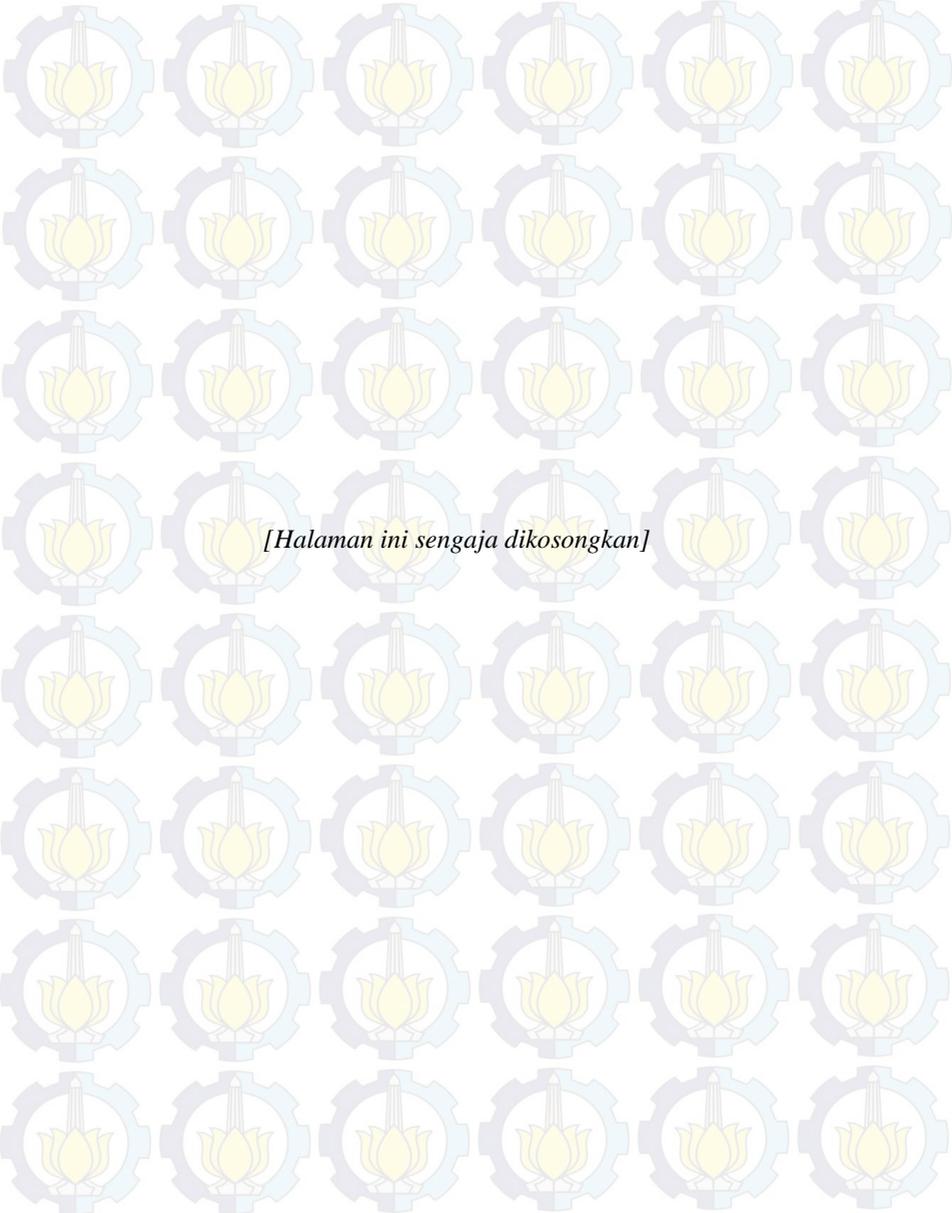
### e. BAB V : PENUTUP

Bab ini membahas kesimpulan-kesimpulan serta saran yang dapat ditarik dari keseluruhan tugas akhir ini untuk perbaikan penempatan lokasi menara baru bersama pada sistem telekomunikasi seluler yang telah diperoleh dan kemungkinan pengembangan topik yang bersangkutan.

## 1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Dapat menjadi rekomendasi dalam perencanaan pembangunan dan penggunaan menara baru bersama pada sistem telekomunikasi seluler di wilayah tertentu.
2. Dari hasil yang diperoleh pada penelitian tugas akhir ini diharapkan berkontribusi pada kemajuan teknologi sistem telekomunikasi seluler.
3. Dapat membantu pemerintah daerah dalam menentukan kebijakan mengenai pembangunan dan penggunaan menara baru bersama pada sistem telekomunikasi seluler sesuai dengan Peraturan Menkominfo.



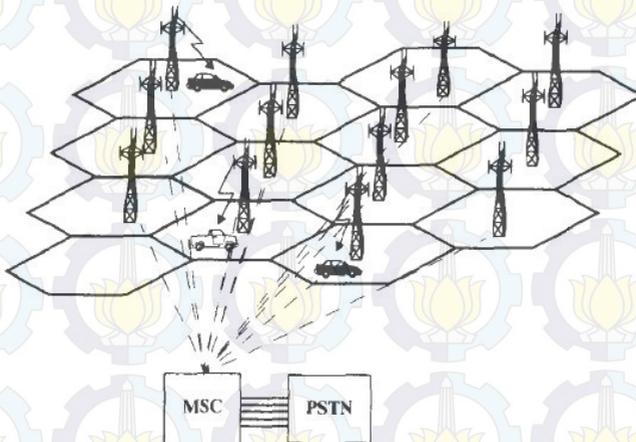
*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## BAB II TEORI PENUNJANG

### 2.1 Sistem Telekomunikasi Seluler

Sistem Telekomunikasi Seluler merupakan sistem komunikasi yang digunakan untuk memberikan pelayanan jasa telekomunikasi bagi pelanggan bergerak. Sistem ini bersifat nirkabel (tanpa kabel) yang menggunakan gelombang radio sebagai media transmisinya. Sistem ini bertujuan untuk mengefisienkan penggunaan kanal (*channel*) yang tersedia atau dalam desainnya adalah memaksimalkan penggunaan kanal yang tersedia. Disebut sistem komunikasi seluler karena daerah layanannya dibagi-bagi menjadi daerah-daerah yang kecil yang disebut *cell* (sel). Suatu sel pada dasarnya merupakan pusat komunikasi radio yang berhubungan dengan MSC yang mengatur panggilan masuk[2].

Ilustrasi sistem telekomunikasi seluler dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Ilustrasi Sistem Telekomunikasi Seluler[3]

Prinsip dasar dari sistem telekomunikasi seluler adalah :

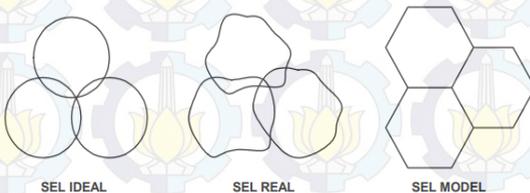
1. Pemancar mempunyai daya pancar dan cakupan yang memadai.
2. Menggunakan prinsip penggunaan kembali frekuensi (*frequency re-use*).
3. Pemecahan sel (*cell splitting*) pada sel yang telah jenuh.

### 2.1.1 Konsep Sel

Sel merupakan suatu area cakupan (*coverage area*) dari suatu *Radio Base Station (RBS)*. Setiap sel mempunyai area cakupan masing-masing dan beroperasi secara khusus. Jumlah sel pada suatu daerah geografis didasarkan pada jumlah pelanggan yang beroperasi di daerah tersebut. Dan untuk ukuran sel pada sistem telekomunikasi seluler dapat dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain :

1. Kepadatan trafik yang muncul.
2. Ketinggian antena sektoral.
3. Daya pemancar, yaitu daya pancar *Base Station (BS)* dan *Mobile Station (MS)*.
4. Faktor alam seperti udara, laut, gunung dan lain-lain.

Bentuk jaringan sistem seluler berkaitan dengan luas cakupan daerah pelayanan. Bentuk sel yang terdapat pada sistem komunikasi bergerak seluler digambarkan dengan bentuk *hexagonal* dan lingkaran. Namun secara prinsip bentuk sel yang sebenarnya tergantung pada keadaan geografis sehingga membentuk suatu sel yang tidak beraturan. Tetapi, bentuk *hexagonal* dipilih sebagai bentuk pendekatan jaringan seluler, karena dari sel yang lebih sedikit dengan bentuk *hexagonal* diharapkan dapat mencakup seluruh wilayah pelayanan[2]. Ilustrasi beberapa bentuk sel dapat dilihat pada Gambar 2.2.

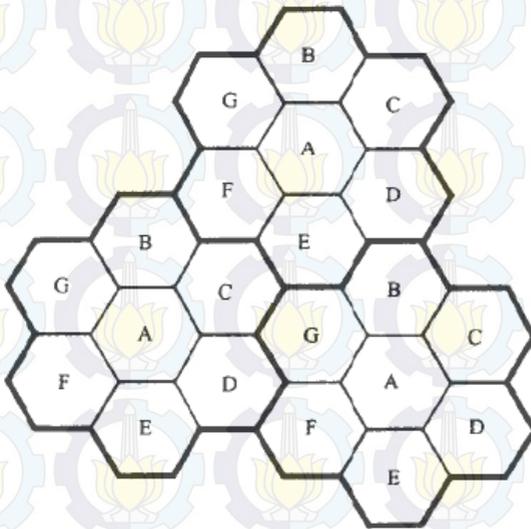


**Gambar 2.2** Ilustrasi Beberapa Bentuk Sel[4]

### 2.1.2 Frequency Re-use

*Frequency Re-use* adalah penggunaan kembali frekuensi yang sama di area berbeda dengan mempertimbangkan efek interferensi. *Frequency Re-use* dilakukan karena keterbatasan spektrum frekuensi, keterbatasan *coverage area cell*, menambah jumlah kanal frekuensi dan untuk efisiensi frekuensi yang dimiliki. Antara sel-sel yang bersebelahan tidak boleh menggunakan frekuensi yang sama atau berdekatan.

Pada konsep *frequency re-use*, suatu kanal frekuensi tertentu dapat melayani beberapa panggilan pada waktu yang bersamaan. Maka dapat dikatakan penggunaan spektrum frekuensi yang efisien dapat dicapai. Semua frekuensi yang tersedia dapat digunakan oleh tiap-tiap sel, sehingga dapat mencapai kapasitas jumlah pemakai yang besar[2]. Ilustrasi terjadinya *frequency re-use* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



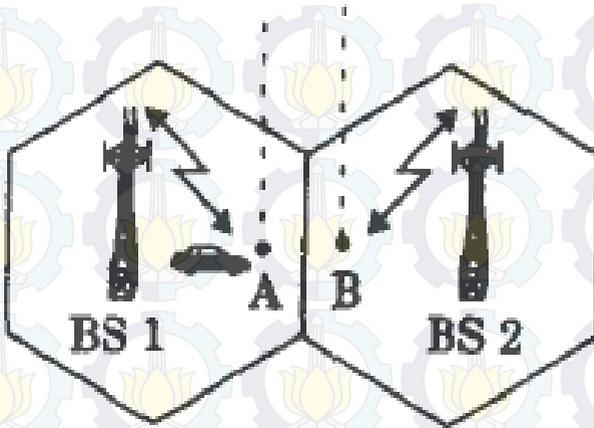
**Gambar 2.3** Ilustrasi *Frequency Re-use*[3]

### 2.1.3 Handover

*Handover* atau yang biasa juga disebut *handoff* merupakan suatu proses pengalihan RBS apabila pengguna melakukan suatu panggilan dalam keadaan bergerak dari satu sel menuju sel yang lain. Proses ini terjadi agar pelanggan dapat mengirim atau menerima sinyal dengan baik walaupun pelanggan sedang dalam keadaan bergerak dan tanpa terjadinya pemutusan hubungan. Kondisi untuk dilakukannya proses *handover*, yaitu :

1. Ketika MS berada pada perbatasan level sel, karena sinyal yang diterima akan melemah.
2. Pada saat pengguna berada di *signal strength hole* yang terdapat dalam satu sel[2].

Ilustrasi terjadinya *handover* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Ilustrasi *Handover*[3]

#### 2.1.4 Interferensi

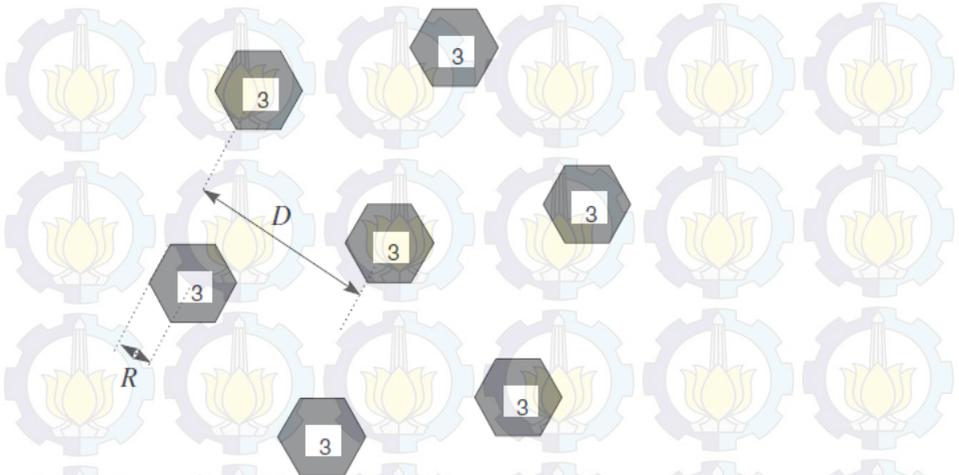
Interferensi adalah gangguan yang terjadi disebabkan adanya sinyal lain yang frekuensinya sama dan daya sinyal pengganggu tersebut cukup besar. Jaringan seluler lebih sering memiliki masalah yang disebabkan oleh interferensi dibandingkan oleh masalah kekuatan sinyal. Penyebab-penyebab terjadinya interferensi, antara lain :

1. MS dalam sel yang sama.
2. Proses panggilan pada sel disebelahnya.
3. BS lain dengan frekuensi yang sama.
4. Sistem non seluler lainnya.

Akibat yang ditimbulkan oleh interferensi pada kanal suara adalah *crossstalk*, sedangkan pada control kanal adalah *missed* dan *call blocking*. Interferensi lebih banyak pada daerah perkotaan karena *noise Radio Frequency (RF)*, BS dan MS lebih banyak. Ada dua jenis dasar interferensi, yaitu :

1. *Co-Channel Interference (CCI)* adalah interferensi yang terjadi karena antar sel menggunakan kanal atau frekuensi yang sama (*co-channel*). Penggunaan frekuensi ulang pada sebuah sel yang sama dinamakan *co-channel* sel.
2. *Adjacent Channel Interference* merupakan interferensi yang muncul akibat kanal yang berdekatan[5].

Ilustrasi *co-channel interference* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Ilustrasi *Co-channel Interference*[6]

### 2.1.5 Dasar Trafik

Secara umum trafik dapat diartikan sebagai perpindahan informasi dari satu tempat ke tempat yang lain melalui jaringan telekomunikasi. Besaran dari suatu trafik telekomunikasi diukur dengan satuan waktu, sedangkan nilai dari trafik suatu kanal adalah lamanya waktu pendudukan pada kanal tersebut. Salah satu tujuan dari perhitungan trafik adalah untuk mengetahui unjuk kerja jaringan dan mutu pelayanan jaringan telekomunikasi. Untuk menggambarkan ukuran kesibukan digunakan istilah Erlang. Yang dimaksud dengan satu erlang adalah intensitas panggilan selama satu periode. Besaran yang dipakai untuk menyatakan besar lalu lintas telekomunikasi adalah banyak dan lamanya pembicaraan ( $A$  Erlang).

Semakin banyak trafik yang dihasilkan, maka semakin banyak BS yang diperlukan untuk melayani pelanggan. Jumlah stasiun dasar untuk jaringan seluler yang sederhana adalah sama dengan jumlah sel. Untuk dapat mencapai tujuan yang memuaskan, maka dengan semakin meningkatnya populasi pelanggan (*user*), maka harus meningkatkan jumlah sel-sel di daerah yang bersangkutan, sehingga meningkatkan jumlah BS.

Intensitas Trafik adalah jumlah waktu pendudukan per satuan waktu atau volume trafik dibagi dengan periode waktu pengamatan[7]. Maka intensitas trafik dapat dihitung dengan rumus :

$$A = \frac{V}{t} \quad (2.1)$$

dengan :

$A$  = intensitas trafik yang dibangkitkan (Erlang)

$V$  = volume trafik atau waktu pendudukan per satuan waktu

$t$  = periode waktu pengamatan

Sedangkan kapasitas total trafik adalah trafik yang dibangkitkan oleh pengguna layanan seluler, sehingga penyelenggara jaringan seluler dapat mengantisipasi lonjakan trafik pada jam sibuk, tidak hanya pada keadaan trafik normal[7].

$$T = P \times A \quad (2.2)$$

dengan :

$T$  = kapasitas total trafik yang dibangkitkan (Erlang)

$P$  = jumlah pengguna layanan seluler (jiwa)

$A$  = intensitas trafik yang dibangkitkan (Erlang)

### 2.1.6 Trunking dan Kualitas Pelayanan

Komunikasi seluler menggunakan sebuah sistem *trunking* untuk mengakomodasi jumlah *user* yang besar pada spektrum radio yang kecil. Konsep *trunking* adalah diperbolehkan *user* dalam jumlah besar memakai secara bersama-sama jumlah kanal yang terbatas dengan memperbolehkan akses untuk setiap *user* berdasar atas keperluannya untuk mempergunakan kanal. Pada *trunking* sistem, setiap *user* dialokasikan kanal berdasar atas panggilan yang terbentuk dan kanal akan dikembalikan bila panggilan telah selesai.

*Trunking* mengeksplorasi perilaku *user* sehingga sejumlah kanal tetap dapat mengakomodasi *user* dalam jumlah besar dan komunitas *user* yang acak. Bila seorang *user* meminta pelayanan dan seluruh kanal radio sedang dipergunakan, maka permintaan dari *user* tersebut langsung ditolak atau diblok untuk mengakses sistem. Pada beberapa sistem, diperkenalkan antrian untuk menangani panggilan tersebut hingga tersedianya kanal. Unjuk kerja komunikasi seluler seperti juga komunikasi telepon dinyatakan dengan kualitas pelayanan atau *grade of service* (GOS). GOS ini diukur berdasar atas teori *trunking* yang diperkenalkan oleh Erlang.

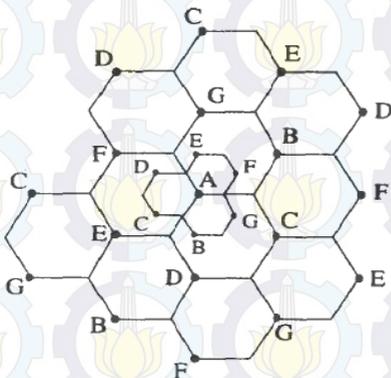
GOS adalah ukuran kemungkinan sebuah *user* mengakses kanal sistem pada saat jam sibuk. GOS digunakan untuk mendefinisikan unjuk kerja suatu sistem *trunking* berdasar atas keberhasilan sebuah *user* mendapatkan kanal dari sejumlah kanal yang tersedia. Para perancang sistem seluler harus memperhatikan jumlah kanal maksimum yang dibutuhkan dan untuk mengalokasikan sejumlah kanal dalam sistem untuk mencapai GOS yang diinginkan. GOS juga menyatakan perilaku sejumlah panggilan diblok atau ditunda lebih besar dari waktu antrian[8].

### 2.1.7 Peningkatan Kapasitas Komunikasi Seluler

Pertumbuhan jumlah *user* pada komunikasi seluler terus meningkat, sedangkan kanal yang tersedia jumlahnya terbatas. Hal ini mengakibatkan *user* tidak tercukupi kebutuhan layanan oleh kanal yang tersedia. Peningkatan kapasitas kanal dapat dilakukan dengan tiga teknik, yaitu :

#### 1. Pemecahan Sel (*Cell Splitting*)

Pemecahan sel (*cell splitting*) adalah pembagian suatu sel yang sibuk menjadi sel yang lebih kecil dengan masing-masing sel baru mempunyai BS dengan daya dan ketinggian antenna yang lebih rendah. Pemecahan sel dapat meningkatkan kapasitas sistem dengan memberikan pemakaian ulang kanal lebih banyak. Sel baru dengan ukuran yang lebih kecil dari sel yang lama, kapasitas sistem meningkat dengan bertambahnya jumlah kanal[5]. Ilustrasi terjadinya pemecahan sel (*cell splitting*) dapat dilihat pada Gambar 2.6.

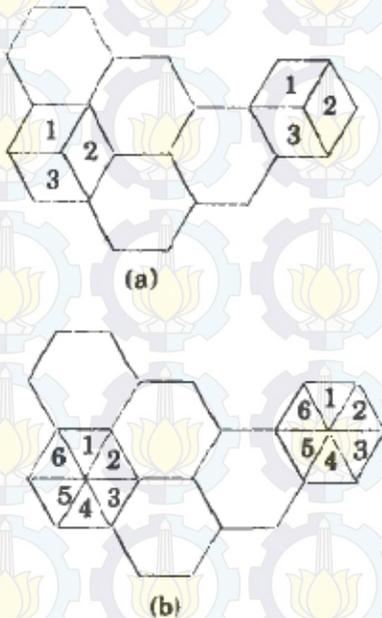


**Gambar 2.6** Ilustrasi Pemecahan Sel (*Cell Splitting*)[4]

Dalam prakteknya tidak semua sel dipecah menjadi sel yang lebih kecil, karena sangat tidak mungkin mencari kondisi ideal untuk melakukan pemecahan sel. Pemecahan sel yang semakin banyak menjadikan sistem menjadi kompleks, seperti pengaturan jarak minimum agar diperoleh C/I yang optimal serta adanya faktor *handover*. Semakin kecil jarak antar sel semakin kompleks proses *handover* untuk *user* yang bergerak dengan kecepatan tinggi.

## 2. Sektorisasi (*Sectoring*)

Sektorisasi merupakan salah satu metode yang digunakan untuk memecah sel. Ini dibutuhkan bila secara khusus dibutuhkan sel-sel yang kecil. Ketika kepadatan trafik meningkat, ukuran sel dapat direduksi dengan model sektorisasi, yaitu membagi sel tersebut menjadi beberapa sektor  $120^\circ$  atau  $60^\circ$  dan masing-masing sektor mempunyai RF sendiri. Dengan sector  $120^\circ$  hanya 2 sektor yang dominan. Bila sektor dibagi per  $60^\circ$ , yang dominan hanya 1 sektor. Antena yang digunakan mempunyai pola radiasi *directional*[5]. Ilustrasi mengenai sektorisasi  $60^\circ$  dan  $120^\circ$  dapat dilihat pada Gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Ilustrasi Sektorisasi (*Sectoring*) dengan (a)  $120^\circ$  (b)  $60^\circ$ [3]

Tetapi sektorisasi menyebabkan peningkatan jumlah antena yang digunakan dan menurunkan efisiensi *trunking*, karena mengurangi daerah cakupan dari sistem. Selain itu juga menjadikan sistem lebih kompleks dengan makin banyaknya *handover*[5].

### 3. Coverage Zone Approach

*Coverage Zone Approach* berhubungan dengan morfologi area suatu daerah untuk penentuan ukuran sel. Morfologi area suatu daerah untuk ukuran sel dapat dikategorikan berdasarkan kepadatan penduduk, perilaku penduduk dan kondisi lingkungannya.

Morfologi area dikelompokkan menjadi 3 kategori, yaitu :

- a. *Urban*, yaitu daerah dengan kepadatan penduduk tinggi, lalu lintas jalanan padat dan terdapat banyak gedung-gedung serta bangunan yang padat dengan ketinggian hingga puluhan lantai.
- b. *Sub-Urban*, yaitu daerah dengan kepadatan penduduk lumayan tinggi, lalu lintas jalanan tidak cukup padat dan jumlah bangunan yang mulai padat dan tidak terlalu tinggi.
- c. *Rural*, yaitu daerah dengan kepadatan penduduk jarang, lalu lintas jalanan yang jarang kendaraan dan jumlah bangunan yang jarang serta banyak ditemui alam terbuka yang dapat berupa perkebunan, lading atau sawah yang luas[4].

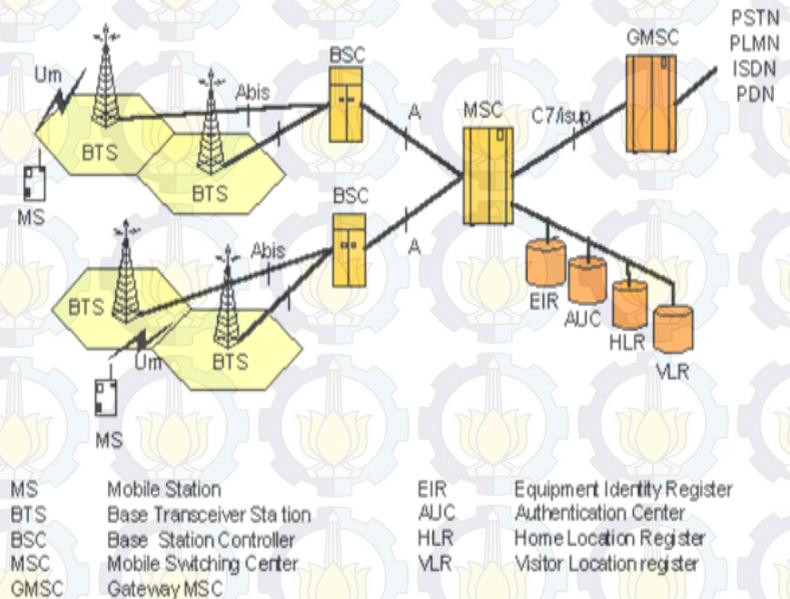
Berdasarkan luas cakupan areanya, sel memiliki beberapa jenis atau tipe. Sel dikelompokkan menjadi 3 jenis atau tipe, yaitu :

- a. *Macro Cell*, BS merupakan titik tertinggi, cakupannya mencapai beberapa kilometer dan *Pathloss* rata-ratanya adalah distribusi normal, dimana *pathloss* merupakan hasil dari banyaknya penyebaran dengan banyaknya *obstacles* (halangan). Tipe sel ini biasanya cocok untuk *rural* dan *sub-urban area* karena sel ini mampu meliputi luas cakupan area dengan radius lebih dari 5 km.
- b. *Micro Cell*, perbedaan propagasinya sangat berarti yaitu karakteristik propagasi ringan (*milder*), *Small Multipath Delay Spread* dan *Shallow Fading* implikasinya sangat memungkinkan untuk transmisi data dengan kecepatan tinggi. Tipe sel ini biasanya cocok untuk *urban area* karena sel ini mampu meliputi luas cakupan area dengan radius antara 3-5 km.
- c. *Pico Cell*, tipe sel ini biasanya cocok untuk *indoor area*. Kanal *indoor area* jarak yang dicakup sangat kecil. Propagasi di dalam gedung dipengaruhi oleh tata letak dari gedung, material dari konstruksinya dan tipe dari bangunan. Sel ini mampu meliputi luas cakupan area dengan radius kurang dari 1 km[4,5].

## 2.2 Global System for Mobile Communication (GSM)

GSM merupakan sebuah teknologi telekomunikasi seluler yang bersifat *digital*. Teknologi GSM banyak diterapkan pada *mobile communication*, khususnya *handphone*. Teknologi ini memanfaatkan gelombang mikro dan pengiriman sinyal yang dibagi berdasarkan waktu, sehingga sinyal informasi yang dikirim akan sampai pada tujuan. GSM dijadikan standar global untuk komunikasi seluler sekaligus sebagai teknologi seluler yang paling banyak digunakan orang di seluruh dunia[9].

Kanal frekuensi GSM tergantung jenisnya, untuk GSM 900, kanal frekuensinya adalah 890-915 MHz dan 935-960 MHz (*channel spacing* : 200 KHz) tetapi untuk sinyal bandwidthnya adalah 400 KHz. Sedangkan untuk GSM 1800, kanal frekuensinya adalah 1725-1780 MHz dan 1820-1875 MHz (*channel spacing* : 200 KHz). Dan untuk UMTS, kanal frekuensinya adalah 1920-1980 MHz dan 2110-2170 MHz (*channel spacing* : 200 KHz)[10]. Untuk arsitektur jaringan GSM dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Arsitektur Jaringan GSM[4]

Secara umum, *network element* dalam arsitektur jaringan GSM dapat dibagi menjadi :

1. *Mobile Station (MS)*

- *Mobile Equipment (ME)* atau *handset*, merupakan perangkat GSM yang berada di sisi pengguna atau pelanggan yang berfungsi sebagai terminal *transceiver* (pengirim dan penerima sinyal) untuk berkomunikasi dengan perangkat GSM lainnya.
- *Subscriber Identity Module (SIM)* atau *SIM Card*, merupakan kartu yang berisi seluruh informasi pelanggan dan beberapa informasi pelayanan. ME tidak akan dapat digunakan tanpa SIM di dalamnya, kecuali untuk panggilan darurat.

2. *Base Station Sub-System (BSS)*

- *Base Transceiver Station (BTS)*, merupakan perangkat GSM yang berhubungan langsung dengan MS dan berfungsi sebagai pengirim dan penerima sinyal.
- *Base Station Controller (BSC)*, merupakan perangkat yang mengontrol kerja BTS-BTS yang berada di bawahnya dan sebagai penghubung BTS dan MSC[10].
- *Transcoder (XCDR)*, merupakan perangkat untuk translasi MSC dari 64 Kbps menjadi 16 Kbps dan juga untuk efisiensi kanal trafik[5].

3. *Network Sub-System (NSS)*

- *Mobile Switching Center (MSC)*, merupakan sebuah *network element central* dalam sebuah jaringan GSM. MSC sebagai inti dari jaringan seluler, dimana MSC berperan untuk interkoneksi hubungan pembicaraan, baik antar seluler maupun dengan jaringan kabel PSTN ataupun dengan jaringan data[10].
- *Gateway MSC (GMSC)*, merupakan titik pertemuan yang menghubungkan dua atau lebih jaringan, seperti PSTN dan ISDN. GMSC berisi fungsi pencarian informasi lokasi dari HLR-nya *subscriber*, peroutingan kembali panggilan ke MS berdasarkan informasi lokal yang ditunjukkan dari HLR[5].
- *Home Location Register (HLR)*, merupakan sebuah basis data yang berisi semua informasi administrasi dari semua pelanggan yang terdaftar di suatu jaringan GSM beserta lokasi dari MS. Data-data tersebut antara lain : layanan pelanggan, servis tambahan serta informasi lokasi pelanggan.

- *Visitor Location Register (VLR)*, merupakan sebuah basis data yang berisi administrasi terpilih dari HLR yang dibutuhkan untuk control panggilan dan izin bagi pengguna layanan berlangganan untuk setiap pengguna.
  - *Equipment Identity Register (EIR)*, merupakan sebuah basis data yang berisi daftar MS yang valid dalam jaringan GSM yang teridentifikasi lewat nomor IMEI (*International Mobile Equipment Identity*).
  - *Authentication Center (AuC)*, merupakan sebuah basis data terproteksi yang menyimpan salinan PIN (*Personal Identity Number*) yang digunakan untuk autentifikasi[10].
  - *Inter Working Function (IWF)*, merupakan *interface* antara jaringan GSM dengan jaringan ISDN.
  - *Echo Canceller*, merupakan perangkat untuk sambungan dengan PSTN dan untuk mengurangi *echo* (gema)[8].
4. *Operation and Maintenance System (OSS)*
- *Operation and Maintenance Center (OMC)*, merupakan pusat pengontrolan operasi dan pemeliharaan jaringan. Fungsi utamanya adalah mengawasi alarm perangkat dan perbaikan terhadap kesalahan operasi.
  - *Network Management Center (NMC)*, merupakan pusat pengontrolan operasi dan pemeliharaan jaringan yang lebih besar dari OMC[8].

### 2.3 Jenis-Jenis Menara Telekomunikasi

Satu *site* akan melayani satu sel. Setiap *site* biasanya terdiri dari sebuah menara (*tower*), antena dan *shelter*. Menara digunakan untuk meletakkan berbagai macam antena. Tinggi menara disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi lingkungan. *Shelter* digunakan sebagai tempat untuk menyimpan berbagai perangkat telekomunikasi. Dilihat berdasarkan jenis lokasinya, menara dapat diklasifikasikan menjadi 2 jenis, yaitu :

1. *Roof Top* adalah menara yang berdiri di atas atap sebuah gedung atau bangunan.
2. *Green Field* adalah menara yang berdiri langsung di atas tanah atau di sebuah lahan.

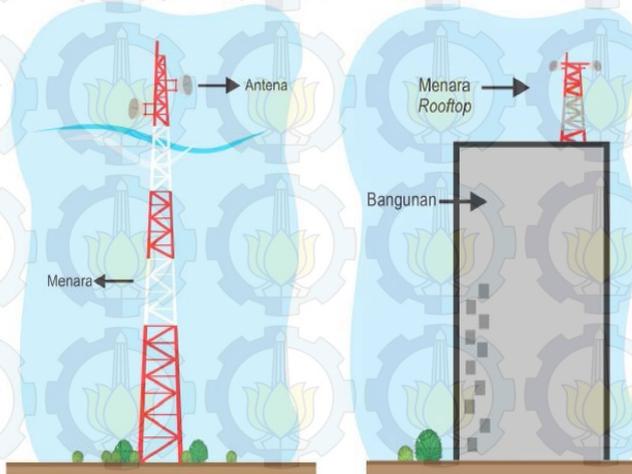
Sedangkan jika diklasifikasikan berdasarkan struktur bangunan, menara dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu :

1. Menara Mandiri (*Self Supporting Tower*)

Menara mandiri merupakan menara dengan struktur rangka baja yang berdiri sendiri dan kokoh, sehingga mampu menampung perangkat telekomunikasi dengan optimal. Menara ini dapat didirikan di atas bangunan dan di atas tanah. Menara tipe ini dapat berupa menara berkaki 4 (*rectangular tower*) dan menara berkaki 3 (*triangular tower*). Menara ini memiliki fungsi untuk :

- Komunikasi bergerak atau seluler di daratan (*land mobile* atau *cellular communication*), mencakup komunikasi seluler dengan teknologi GSM beserta variannya dan CDMA beserta variannya.
- Komunikasi titik ke titik (*point to point communication*).
- Penyiaran televisi (UHF, VHF).
- Penyiaran radio (AM, FM).

Ilustrasi menara mandiri dapat dilihat pada Gambar 2.9.

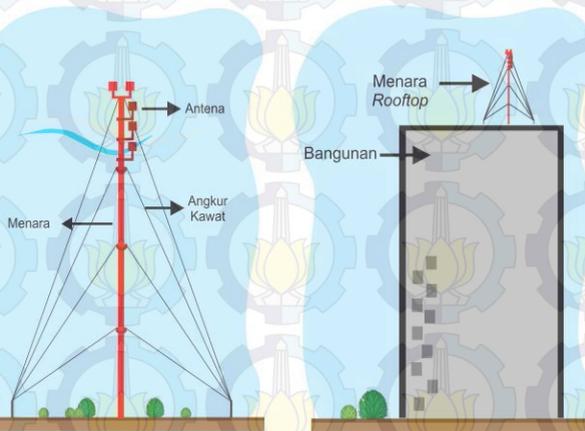


**Gambar 2.9** Menara Mandiri (*Self Supporting Tower*)[11]

## 2. Menara Tegang (*Guyed Tower*)

Menara tegang merupakan menara dengan struktur rangka baja yang memiliki penampang lebih kecil dari menara mandiri dan berdiri dengan bantuan perkuatan kabel yang diangkurkan pada tanah dan di atas bangunan. Menara tipe ini dapat berupa menara berkaki 4 (*rectangular tower*) dan menara berkaki 3 (*triangular tower*). Menara ini memiliki fungsi untuk :

- Komunikasi bergerak atau seluler di daratan (*land mobile* atau *cellular communication*), mencakup komunikasi seluler dengan teknologi GSM beserta variannya dan CDMA beserta variannya.
  - Jaringan telekomunikasi nirkabel.
  - Komunikasi titik ke titik (*point to point communication*).
  - Penyiaran televisi (UHF, VHF).
  - Penyiaran radio (AM, FM).
- Ilustrasi menara teregang dapat dilihat pada Gambar 2.10.



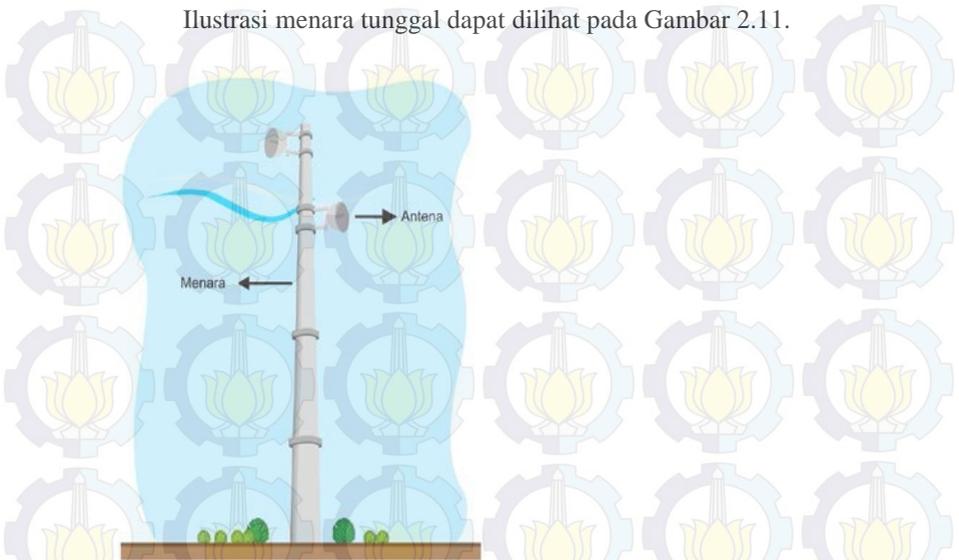
**Gambar 2.10** Menara Teregang (*Guyed Tower*)[11]

### 3. Menara Tunggal (*Monopole Tower*)

Menara tunggal merupakan menara yang hanya terdiri dari satu rangka batang atau tiang yang didirikan atau ditancapkan langsung pada tanah dan tidak dapat didirikan di atas bangunan. Berdasarkan penampangnya, menara *monopole* terbagi menjadi menara berpenampang lingkaran (*circular pole*) dan menara berpenampang persegi (*tapered pole*). Menara tunggal memiliki fungsi untuk :

- Komunikasi bergerak atau seluler di daratan (*land mobile* atau *cellular communication*), mencakup komunikasi seluler dengan teknologi GSM beserta variannya dan CDMA beserta variannya.
- Jaringan telekomunikasi nirkabel.
- Komunikasi titik ke titik (*point to point communication*).
- Jaringan transmisi.
- Komunikasi radio gelombang mikro.

Ilustrasi menara tunggal dapat dilihat pada Gambar 2.11.



**Gambar 2.11** Menara Tunggal (*Monopole Tower*)[11]

Menurut Surat Edaran Direktur Jenderal Pajak, SE-17/PJ.6/2003 tentang Petunjuk Teknis Penilaian Bangunan Khusus, spesifikasi untuk *tower* atau menara telekomunikasi dibagi menjadi Sembilan. Pembagian spesifikasi *tower* atau menara telekomunikasi dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Spesifikasi *Tower* atau Menara Telekomunikasi[12]

No.	Type	Ketinggian (m)	Jumlah Kaki	Konstruksi	Pemasangan
1.	SST	≤ 10	4	Baja	Di atas tanah
2.	SST	11-20	4	Baja	Di atas tanah
3.	SST	21-30	4	Baja	Di atas tanah
4.	SST	31-50	4	Baja	Di atas tanah
5.	SST	51-60	4	Baja	Di atas tanah
6.	SST	71-80	4	Baja	Di atas tanah
7.	SST	81-90	4	Baja	Di atas tanah
8.	Greenfield (medium)	101-110	4	Baja	Di atas tanah
9.	Greenfield (medium)	111-120	4	Baja	Di atas tanah

## 2.4 Prediksi Jumlah Penduduk dan Pengguna Layanan Seluler

Prediksi jumlah penduduk perlu dilakukan untuk memperkirakan jumlah penduduk di masa mendatang. Pada umumnya prediksi jumlah penduduk diperlukan untuk tahapan perencanaan jangka panjang suatu wilayah. Tingkat pertumbuhan penduduk di suatu wilayah dihitung dengan membandingkan jumlah penduduk awal dengan jumlah penduduk di kemudian tahun di suatu wilayah sesuai dengan data penduduk dari pihak yang berwenang. Dengan rumus pertumbuhan penduduk secara geometrik (*geometric rate of growth*), angka pertumbuhan penduduk sama untuk setiap tahunnya, untuk memprediksi jumlah penduduk di masa mendatang dapat dihitung dengan rumus[9] :

$$P_t = P_0 (1 + r)^t \quad (2.3)$$

dengan :

$P_t$  = jumlah penduduk pada t tahun (jiwa)

$P_0$  = jumlah penduduk awal (jiwa)

$r$  = laju pertumbuhan penduduk (%)

$t$  = jumlah tahun dari 0 ke t

Sedangkan jumlah pengguna layanan seluler merupakan penetrasi pengguna telepon pada masyarakat di suatu daerah atau negara dinyatakan dengan teledensitas, yang dinyatakan dengan perbandingan antara jumlah sambungan telepon (*main lines*) dengan jumlah penduduk di daerah tersebut. Semakin tinggi angka teledensitas artinya kemudahan berkomunikasi dan mendapatkan informasi akan semakin mudah. Indikator teledensitas untuk suatu wilayah di setiap negara memiliki nilai yang berbeda, tergantung dengan hasil studi dari pihak yang terkait dengan penetapan teledensitas tersebut. Untuk memprediksi jumlah pengguna layanan seluler di masa mendatang dapat dihitung dengan rumus[9] :

$$P = x \% \times P_t \quad (2.4)$$

dengan :

$P$  = jumlah pengguna layanan seluler (jiwa)

$x$  = teledensitas seluler (%)

$P_t$  = jumlah penduduk pada t tahun (jiwa)

## 2.5 Prediksi Jumlah Kebutuhan BTS dan Menara Bersama

Untuk mengetahui jumlah kebutuhan BTS di suatu daerah diperlukan perhitungan kapasitas suatu BTS dalam melayani pengguna layanan seluler yaitu dengan memperhatikan jumlah antena yang digunakan dalam setiap sektornya. Kapasitas BTS yang digunakan adalah kapasitas rata-rata BTS. Prediksi jumlah kebutuhan BTS yang dibutuhkan untuk melayani jumlah pengguna layanan seluler merupakan hasil pembagian antara kapasitas total trafik yang dibangkitkan pelanggan layanan seluler dalam satuan Erlang dibagi dengan kapasitas 1 BTS yang terdapat pada wilayah tersebut. Untuk dapat memprediksi jumlah kebutuhan BTS di masa mendatang dapat dihitung dengan rumus[9] :

$$B = T / A_{BTS} \quad (2.5)$$

dengan :

- $B$  = jumlah kebutuhan BTS
- $T$  = kapasitas total trafik yang dibangkitkan (Erlang)
- $A_{BTS}$  = kapasitas 1 BTS (Erlang)

Sedangkan untuk mengetahui jumlah kebutuhan menara bersama di suatu daerah diperlukan data jumlah BTS serta menara telekomunikasi eksisting di suatu wilayah. Jumlah kebutuhan BTS di masa mendatang digunakan sebagai salah satu parameter untuk mengetahui jumlah kebutuhan menara bersama di suatu daerah. Sesuai dengan peraturan menteri atau peraturan suatu daerah, setiap menara bersama harus menampung minimal 3 BTS. Jadi untuk dapat memprediksi jumlah kebutuhan menara di masa mendatang dapat dihitung dengan rumus[9] :

$$M_t = \frac{B_t - B_0}{3} + M_0 \quad (2.6)$$

dengan :

- $M_t$  = jumlah menara pada t tahun
- $M_0$  = jumlah menara awal
- $B_t$  = jumlah kebutuhan BTS pada t tahun
- $B_0$  = jumlah kebutuhan BTS awal
- 3 = 1 menara bersama mampu menampung 3 BTS

## 2.6 Prediksi BTS Coverage Menara Telekomunikasi Eksisting

BTS *coverage* menara telekomunikasi eksisting dapat diketahui dengan metode pemetaan luas area layanan BTS atau juga dapat disebut dengan metode *BTS Coverage Area Prediction* yaitu suatu metode untuk memperoleh peta luasan area cakupan layanan dari sebuah BTS dalam sebuah wilayah. *Coverage* tiap BTS berbeda-beda karena dipengaruhi beberapa faktor, misalnya seperti perbedaan ketinggian pada tiap menara telekomunikasi, semakin tinggi menara telekomunikasi maka area cakupan layanannya akan semakin luas. Besarnya daya pancar yang dikirimkan oleh antena sektoral dalam mencakup daerah layanan tergantung pada spesifikasi antena tersebut. Dalam *BTS Coverage Area Prediction* ini digunakan metode Okumura-Hata Model, yaitu formula empirik untuk estimasi *mean path loss* propagasi sinyal. Maka *BTS Coverage Area Prediction* tiap area dapat dihitung dengan rumus[6] :

$$\text{Area sub-urban} \quad L_{dB} = A + B \log R - C \quad (2.7)$$

$$\text{Area rural} \quad L_{dB} = A + B \log R - D \quad (2.8)$$

dengan :

$$A = 69,55 + 26,16 \log fc - 13,82 \log h_b$$

$$B = 44,9 - 6,55 \log h_b$$

$$C = 2 (\log (fc / 28))^2 + 5,4$$

$$D = 4,78 (\log fc)^2 - 18,33 \log fc + 40,94$$

$$R = \text{radius coverage BTS dari menara telekomunikasi (meter)}$$

## 2.7 Regulasi dan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW)

Konsep menara bersama telekomunikasi diantaranya adalah penggunaan menara telekomunikasi oleh beberapa operator. Sebuah operator telekomunikasi dapat memasang BTS di menara operator lain atau tower provider lain. Dengan demikian, untuk dapat memiliki cakupan yang dibutuhkan, operator tidak perlu membangun menara telekomunikasi di banyak tempat atau titik, cukup dengan membangun di daerah-daerah yang belum ada menara telekomunikasinya[8]. Menara bersama telekomunikasi yang dibangun pada suatu daerah harus sesuai dengan peraturan yang berlaku. Oleh karena itu Pemerintah Daerah harus turut serta dalam mengatur dan bertanggung jawab dalam menyusun rencana pembangunan dan penggunaan menara bersama telekomunikasi.

Pada Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Nomor: 02/PER/M.KOMINFO/3/2008 tentang Pedoman Pembangunan dan Penggunaan Menara Bersama Telekomunikasi memberi kewenangan pada Pemerintah Daerah untuk turut serta mengatur dan bertanggung jawab dalam menyusun rencana penataan, pembangunan dan penggunaan menara bersama. Beberapa kewenangan pemerintah daerah tersebut antara lain adalah pemberian Izin Mendirikan Bangunan Menara (IMBM), menyusun dan mengatur penempatan lokasi menara telekomunikasi dengan mempertimbangkan aspek-aspek teknis dan prinsip penggunaan menara bersama dan pemberian sanksi administratif berupa teguran, peringatan pengenaan denda atau pencabutan izin sesuai dengan perundang-undangan.

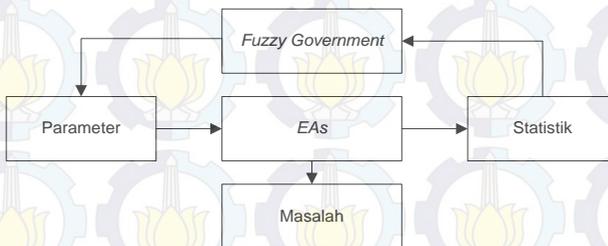
Peraturan Bersama Menteri Dalam Negeri, Menteri Pekerjaan Umum, Menteri Komunikasi dan Informatika dan Kepala BKPM (Badan Koordinasi Penanaman Modal) tentang Pedoman Pembangunan dan Penggunaan Menara Bersama Telekomunikasi Nomor: 18 Tahun 2009, Nomor: 07/PRT/M/2009, Nomor: 19/PER/M.KOMINFO/3/2009 dan Nomor: 3/P/2009, merupakan peraturan yang lebih terperinci mengenai menara bersama. Beberapa aturan tambahan dalam peraturan bersama ini antara lain memberikan waktu tenggat selama dua tahun bagi menara telekomunikasi yang telah berdiri untuk beralih ke konsep menara bersama, tidak diperbolehkannya monopoli menara bersama di satu wilayah, pemberian kesempatan yang sama untuk semua operator telekomunikasi pada satu menara bersama dan memprioritaskan menara telekomunikasi eksisting sebagai menara bersama apabila berada di lokasi atau wilayah yang telah sesuai dengan rencana tata ruang wilayah (RTRW).

RTRW adalah rencana tata ruang yang bersifat umum dari suatu wilayah yang merupakan penjabaran dari rencana tata ruang wilayah provinsi yang berisi tujuan, kebijakan, strategi penataan ruang suatu wilayah, rencana struktur ruang suatu wilayah, rencana pola ruang suatu wilayah, penetapan kawasan strategis wilayah, arahan pemanfaatan ruang suatu wilayah dan ketentuan pengendalian pemanfaatan ruang suatu wilayah agar suatu wilayah dapat ditata sesuai dengan fungsi wilayah-wilayah yang direncanakan. Untuk Kabupaten Bangkalan, rencana tata ruang wilayah (RTRW) dijabarkan dalam Peraturan Daerah Kabupaten Bangkalan Nomor 10 Tahun 2009 tentang Rencana Tata Ruang dan Rencana Wilayah Kabupaten Bangkalan Tahun 2009-2029[9].

## 2.8 Algoritma Fuzzy Evolusi

*Fuzzy Evolutionary Algorithms (Fuzzy EAs)* atau Algoritma *Fuzzy Evolusi* adalah sebuah *hybrid system* yang menggabungkan Algoritma Genetika (AG) dan Sistem *Fuzzy* (SF), dimana SF digunakan untuk mengatur nilai probabilitas *crossover* ( $P_c$ ) dan probabilitas mutasi ( $P_m$ ) selama proses evolusi pada AG. Pengaturan parameter ini dilakukan untuk mendapatkan nilai  $P_c$  dan  $P_m$  yang digunakan sebagai parameter pada AG yang optimal pada suatu kondisi tertentu. EAs berawal dari sekumpulan solusi (populasi) yang dibangkitkan secara acak dan proses evolusi yang terjadi kemungkinan besar mengakibatkan perubahan kondisi populasi. Sedangkan, nilai parameter  $P_c$  dan  $P_m$  tidak berubah sejak ditentukan pada awal proses evolusi. Sehingga, pada generasi tertentu, mungkin saja parameter-parameter tersebut sudah tidak lagi relevan dengan kondisi populasi yang sudah berubah. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa EAs memerlukan supervise manusia untuk melakukan *setting* parameter, mendeteksi kemunculan solusi, memonitor proses evolusi agar tidak terjebak pada konvergensi premature maupun konvergensi yang sangat lambat[13,14]. Untuk itu, diperlukan sebuah teknik tambahan yang mampu melakukan *setting* parameter EAs agar mampu berubah-ubah secara otomatis menyesuaikan dengan kondisi populasi saat itu. Salah satu teknik yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah ini adalah dengan menggunakan SF yang di dalamnya terdapat *Fuzzy Government* (FG).

FG adalah kumpulan *fuzzy rules* dan *routines* yang berfungsi untuk mengontrol proses evolusi, mendeteksi kemunculan solusi, mengubah-ubah (*tuning*) parameter EAs pada saat *running* sehingga dapat mencegah konvergensi premature maupun konvergensi yang sangat lambat[13]. Interaksi antara EAs dan FG dapat dilihat pada Gambar 2.12.



**Gambar 2.12** Interaksi Antara EAs dan FG[15]

### 2.5.1 Algoritma Genetika

Algoritma Genetika (AG) merupakan salah satu teknik yang ada di dalam EAs. AG merupakan teknik yang paling populer dan banyak digunakan[16]. AG pertama kali dipublikasikan oleh John Holland sekitar tahun 1975 di Amerika Serikat. Pada saat itu, AG memiliki bentuk yang sangat sederhana, sehingga disebut *Simple Genetic Algorithm* (SGA). Ciri utama SGA adalah tidak terlalu cepat dalam menemukan solusi optimal, tetapi memiliki heuristik yang baik untuk masalah kombinatorial[13].

AG adalah sebuah pencarian heuristik yang didasarkan atas mekanisme evolusi biologis. Keberagaman pada evolusi biologis adalah variasi dari kromosom antar individu organism. Variasi kromosom ini akan mempengaruhi laju reproduksi dan tingkat kemampuan organism untuk tetap hidup. Pada algoritma ini, teknik pencarian dilakukan sekaligus atas sejumlah solusi yang mungkin dan dikenal dengan istilah populasi. Individu yang terdapat dalam satu populasi disebut dengan istilah kromosom. Kromosom ini merupakan suatu solusi yang masih berbentuk simbol. Populasi awal dibangun secara acak, sedangkan populasi berikutnya merupakan hasil evolusi kromosom-kromosom melalui iterasi yang disebut dengan istilah generasi.

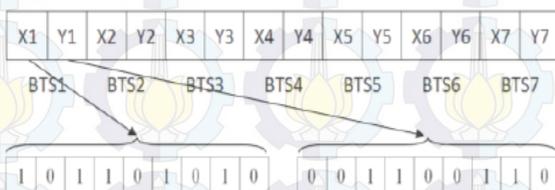
Pada setiap generasi, kromosom akan melalui proses evaluasi dengan menggunakan alat ukur yang disebut dengan fungsi *fitness*. Nilai *fitness* dari suatu kromosom akan menunjukkan kualitas kromosom dalam populasi tersebut. Generasi berikutnya dikenal dengan istilah anak (*offspring*) terbentuk dari gabungan 2 kromosom generasi sekarang yang bertindak sebagai induk (*parent*) dengan menggunakan operator penyilangan (*crossover*). Selain operator penyilangan, suatu kromosom dapat juga dimodifikasi dengan menggunakan operator mutasi. Populasi generasi yang baru dibentuk dengan cara menyeleksi nilai *fitness* dari kromosom induk (*parent*) dan nilai *fitness* dari kromosom anak (*offspring*), serta menolak kromosom-kromosom yang lainnya sehingga ukuran populasi (jumlah kromosom dalam suatu populasi) konstan. Setelah melalui beberapa generasi, maka algoritma ini akan konvergen ke kromosom terbaik[17]. Pada dasarnya Algoritma Genetika memiliki 7 komponen dalam prosesnya agar algoritma ini berjalan dengan baik, yaitu :

1. Skema Pengkodean

Terdapat tiga skema yang paling umum digunakan dalam pengkodean, yaitu :

- *Real-number encoding*, pada skema ini nilai gen berada dalam interval  $[0,R]$  dimana  $R$  adalah bilangan real positif dan biasanya  $R = 1$ .
- *Discrete Decimal Encoding*, setiap gen bisa bernilai salah satu bilangan bulat dalam interval  $[0,9]$ .
- *Binary Encoding*, setiap gen hanya bisa bernilai 0 atau 1[16].

Ilustrasi contoh penggunaan skema pengkodean dapat dilihat pada Gambar 2.13.



**Gambar 2.13** Ilustrasi Skema Pengkodean[15]

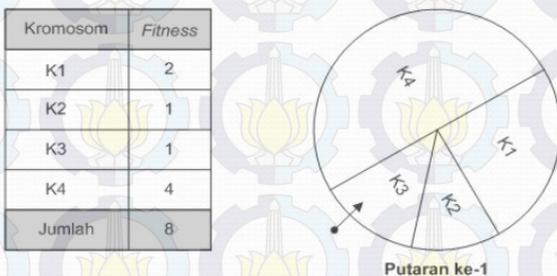
## 2. Nilai *Fitness*

Suatu individu dievaluasi berdasarkan suatu fungsi tertentu sebagai ukuran performansinya. Di dalam evolusi alam, individu yang bernilai *fitness* tinggi yang akan bertahan hidup. Sedangkan individu yang bernilai *fitness* rendah akan mati. Pada masalah optimasi, jika solusi yang dicari adalah memaksimalkan sebuah fungsi  $h$  (dikenal sebagai masalah maksimasi), maka nilai *fitness* yang digunakan adalah nilai dari fungsi  $h$  tersebut, yakni  $f = h$  (dimana  $f$  adalah nilai *fitness*). Tetapi jika masalahnya adalah meminimalkan fungsi  $h$  (masalah minimasi), maka fungsi  $h$  tidak bisa digunakan secara langsung. Hal ini disebabkan adanya aturan bahwa individu yang memiliki nilai *fitness* tinggi lebih mampu bertahan hidup pada generasi berikutnya. Oleh karena itu nilai *fitness* yang bisa digunakan adalah  $f = 1/h$ , yang artinya semakin kecil nilai  $h$ , maka semakin besar nilai  $f$ . Tetapi hal ini akan menjadi masalah jika  $h$  bisa bernilai 0, yang mengakibatkan  $f$  bisa bernilai tak hingga. Untuk mengatasinya,  $h$  perlu ditambah sebuah bilangan yang dianggap sangat kecil.

Penentuan nilai *fitness* sangat berpengaruh pada performansi AG secara keseluruhan. Dalam beberapa kasus, nilai *fitness* yang sangat sederhana bisa ditemukan dengan mudah. Tetapi dalam beberapa kasus lain diperlukan nilai *fitness* yang sangat kompleks dan sulit ditemukan.

### 3. Seleksi Orang Tua

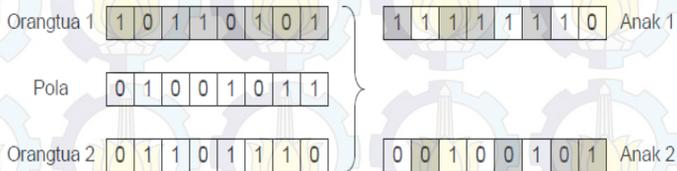
Pemilihan dua buah kromosom sebagai orang tua, yang akan dipindah-silangkan, biasanya dilakukan secara proporsional sesuai dengan nilai *fitness*-nya. Suatu metode seleksi yang umum digunakan adalah *roulette-wheel* (roda roulette). Sesuai dengan namanya, metode ini menirukan permainan *roulette-wheel* dimana masing-masing kromosom menempati potongan lingkaran pada roda *roulette* secara proporsional sesuai dengan nilai *fitness*-nya. Kromosom yang memiliki nilai *fitness* lebih besar menempati potongan lingkaran yang lebih besar dibandingkan dengan kromosom bernilai *fitness* rendah[16]. Ilustrasi sebuah contoh penggunaan metode *roulette-wheel* dapat dilihat pada Gambar 2.14.



**Gambar 2.14** Ilustrasi Metode *Roulette-Wheel*[15]

### 4. Pindah Silang (*Crossover*)

Salah satu komponen paling penting dalam AG adalah *crossover* atau pindah silang. Sebuah kromosom yang mengarah pada solusi yang bagus bisa diperoleh dari proses memindah-silangkan dua buah kromosom[16]. Ilustrasi sebuah contoh penggunaan *crossover* dapat dilihat pada Gambar 2.15.



**Gambar 2.15** Ilustrasi *Crossover*[15]

Pindah silang bisa juga berakibat buruk jika ukuran populasinya sangat kecil. Dalam suatu populasi yang sangat kecil, suatu kromosom dengan gen-gen yang mengarah ke solusi akan sangat cepat menyebar ke kromosom-kromosom lainnya. Untuk mengatasi masalah ini digunakan suatu aturan bahwa pindah silang hanya bisa dilakukan dengan suatu probabilitas tertentu  $P_c$ . Artinya, pindah silang bias dilakukan hanya jika suatu bilangan *random*  $[0,1)$  yang dibangkitkan kurang dari  $P_c$  yang ditentukan. Pada umumnya,  $P_c$  diset mendekati 1, misalnya 0,8. Pindah silang bisa dilakukan dalam beberapa cara berbeda. Yang paling sederhana adalah pindah silang satu titik potong (*one-point crossover*).

### 5. Mutasi

Prosedur ini sangatlah sederhana. Untuk semua gen yang ada, jika bilangan random yang dibangkitkan kurang dari probabilitas mutasi  $P_m$  yang ditentukan maka ubah gen tersebut menjadi nilai kebalikannya (dalam binary encoding, 0 diubah 1 dan 1 diubah 0). Biasanya nilai  $P_m$  diset sebagai  $1/n$ , dimana  $n$  adalah jumlah gen dalam kromosom. Dengan  $P_m$  sebesar ini berarti mutasi hanya terjadi pada sekitar satu gen saja. Pada AG sederhana, nilai  $P_m$  adalah tetap selama evolusi[16]. Ilustrasi sebuah contoh penggunaan mutasi dapat dilihat pada Gambar 2.16.



**Gambar 2.16** Ilustrasi Mutasi[15]

### 6. Elitisme

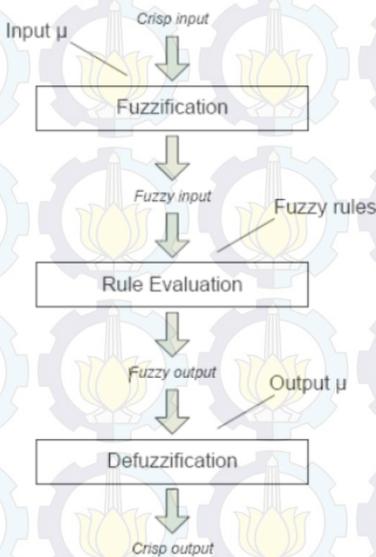
Karena seleksi dilakukan secara random, maka tidak ada jaminan bahwa suatu individu bernilai *fitness* tertinggi akan selalu terpilih. Walaupun individu bernilai *fitness* tertinggi terpilih, mungkin saja individu tersebut akan rusak (nilai *fitness*-nya menurun) karena proses pindah silang. Untuk menjaga agar individu bernilai *fitness* tertinggi tersebut tidak hilang selama evolusi, maka perlu dibuat satu atau beberapa kopinya. Prosedur ini dikenal sebagai *elitisme*.

## 7. Penggantian Populasi

Dalam algoritma genetika dikenal skema penggantian populasi yang disebut *generational replacement*, yang berarti semua individu (misal  $N$  individu dalam satu populasi) dari suatu generasi digantikan sekaligus oleh  $N$  individu baru hasil pindah silang dan mutasi. Skema penggantian ini tidak realistis dari sudut pandang biologi. Di dunia nyata, individu-individu dari generasi berbeda bisa berada dalam waktu yang bersamaan. Fakta lainnya adalah individu-individu muncul dan hilang secara konstan, tidak pada generasi tertentu[16].

### 2.5.2 Sistem Fuzzy

Sistem *Fuzzy* (SF) merupakan inti dari *Soft Computing* (SC). Ide dasar SF adalah *fuzzy set* dan *fuzzy logic*. Dengan menggunakan SF, kita dapat merepresentasikan dan menangani masalah ketidakpastian yang dalam hal ini bisa berarti keraguan, ketidaktepatan, kebenaran parsial dan kurang lengkapan informasi. Suatu sistem yang berbasis aturan *fuzzy* terdiri dari 3 komponen utama yaitu *Fuzzification*, *Inference* dan *Defuzzification*[14]. Diagram blok dari SF dapat dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Diagram Blok Sistem *Fuzzy*[14]

Di dalam SF ini, hal penting yang harus dipahami adalah mengenai variabel linguistik dan fungsi keanggotaan. Variabel linguistik adalah suatu interval numerik dan mempunyai nilai-nilai linguistik, yang semantiknya didefinisikan oleh fungsi keanggotaan[14].

*Fuzzification* adalah proses yang berfungsi untuk mengubah masukan-masukan yang nilai kebenarannya bersifat pasti (*crisp input*) ke dalam bentuk *fuzzy input* yang berupa nilai linguistik yang semantiknya ditentukan berdasarkan fungsi keanggotaan tertentu. *Inference* adalah proses penalaran menggunakan *fuzzy input* dan *fuzzy rules* yang telah ditentukan, sehingga menghasilkan *fuzzy output*. Sedangkan *Defuzzification* (penegasan) berfungsi untuk mengubah *fuzzy output* menjadi *crisp value* (nilai pasti) berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan[14,18].

*Fuzzy Government* (FG) yang digunakan berasal dari Xu beserta koleganya. FG yang diusulkan oleh Xu ini menggunakan dua parameter masukan, yaitu ukuran populasi dan generasi, serta menghasilkan dua nilai keluaran, yaitu nilai probabilitas *crossover* (Pc) dan nilai probabilitas mutasi (Pm)[15]. *Fuzzy rule* yang diusulkan oleh Xu dan koleganya dapat dilihat pada Tabel 2.2 dan Tabel 2.3 :

**Tabel 2.2 Fuzzy Rule Untuk Pengaturan Pc[1,14]**

Pc	Ukuran Populasi		
Generasi	Kecil	Sedang	Besar
Singkat	Sedang	Kecil	Kecil
Sedang	Besar	Besar	Sedang
Lama	Sangat Besar	Sangat Besar	Besar

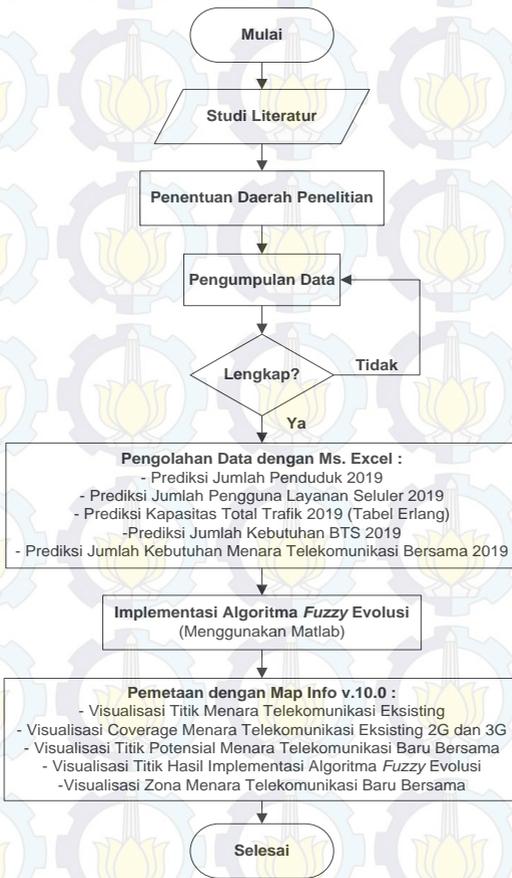
**Tabel 2.3 Fuzzy Rule Untuk Pengaturan Pm[1,14]**

Pm	Ukuran Populasi		
Generasi	Kecil	Sedang	Besar
Singkat	Besar	Sedang	Kecil
Sedang	Sedang	Kecil	Sangat Kecil
Lama	Kecil	Sangat Kecil	Sangat Kecil

Pada model yang diusulkan oleh Xu ini, proses *inference*-nya menggunakan Metode Mamdani atau yang juga dikenal dengan metode Max-Min. Selanjutnya, pada proses *defuzzification*, digunakan metode *centroid method*, yaitu metode untuk menghitung *crisp value* berdasarkan titik berat dari kurva hasil proses *inference*[15].

### BAB III PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Dalam melakukan implementasi algoritma yang digunakan pada tugas akhir ini dibutuhkan perancangan yang sistematis. Perancangan dalam pengimplementasian algoritma ini dimaksudkan agar hasil implementasi dapat sesuai dengan yang diinginkan. Diagram alir penelitian tugas akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.1.



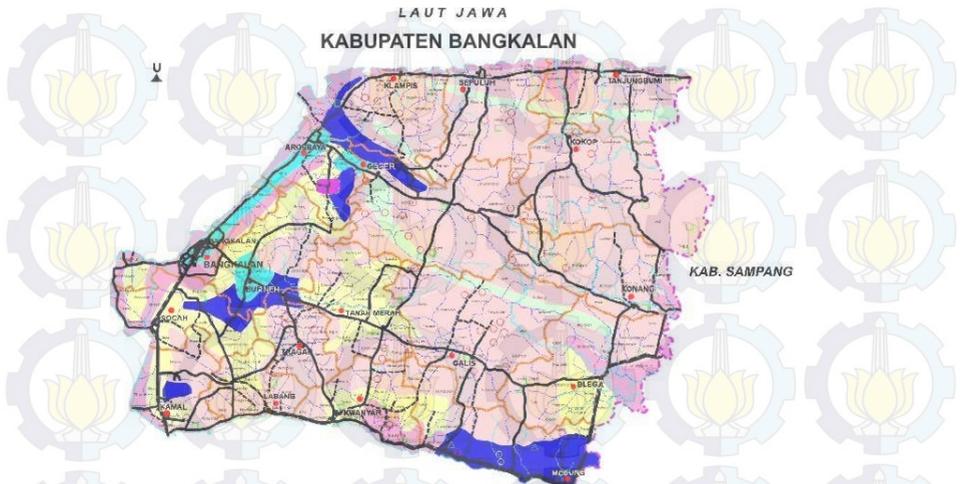
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir

### 3.1 Penentuan Daerah Penelitian

Perancangan penempatan lokasi menara baru bersama pada sistem telekomunikasi seluler ini diimplementasikan di Kabupaten Bangkalan. Kabupaten Bangkalan terletak di Pulau Madura, dimana termasuk ke dalam Provinsi Jawa Timur. Kabupaten Bangkalan secara geografis terletak di koordinat antara  $112^{\circ}40'06''$  -  $113^{\circ}08'04''$  Bujur Timur dan  $6^{\circ}51'39''$  -  $7^{\circ}11'39''$  Lintang Selatan. Batas-batas wilayah Kabupaten Bangkalan antara lain, untuk sebelah utara adalah Laut Jawa, sebelah selatan adalah Selat Madura, sebelah barat adalah Laut Jawa dan sebelah Timur adalah Kabupaten Sampang.

Kabupaten Bangkalan memiliki luas wilayah sebesar 1.260,24 km<sup>2</sup> yang terbagi menjadi 18 Kecamatan dan 281 Desa atau Kelurahan. Kota Bangkalan merupakan pusat aktivitas pemerintahan untuk Kabupaten Bangkalan. Secara geografis Kabupaten Bangkalan memiliki nilai strategis, karena paling dekat dengan Pulau Jawa. Dengan letak paling barat dari Pulau Madura, Kabupaten Bangkalan menjadi pintu gerbang lalu lintas barang dan jasa yang menghubungkan Jawa dan Madura. Bahkan Bangkalan termasuk dalam pengembangan *Surabaya Metropolitan Area* (SMA), dimana diharapkan menjadi kutub pertumbuhan ekonomi di Provinsi Jawa Timur[19].

Alasan pemilihan Kabupaten Bangkalan sebagai daerah penelitian karena pada saat ini Pulau Madura sedang menjadi sorotan karena dianggap seperti hutan tower, karena pembangunan menara yang tidak terkendali dan tidak memiliki izin yang jelas. Kabupaten Bangkalan merupakan salah satu kabupaten di Pulau Madura yang banyak memiliki menara telekomunikasi saat ini. Pemberian izin pembangunan menara di Kabupaten Bangkalan juga sedang disoroti karena Kantor Pelayanan Perizinan Terpadu (KPPT) yang merupakan pihak yang mengeluarkan izin pembangunan menara telekomunikasi belum memberikan informasi yang jelas tentang proses perizinan pembangunan menara telekomunikasi. Sedangkan Peraturan Daerah (Perda) tentang penataan, pembangunan dan penggunaan bersama menara telekomunikasi belum jelas diatur, hanya ada Perda yang memberikan kewenangan kepada KPPT, Dinas Pekerjaan Umum Cipta Karya dan Tata Ruang, Satpol PP dan Dishub Kominfo untuk memberikan pengawasan menara telekomunikasi. Tetapi dinas-dinas yang terkait tersebut terkesan lepas tangan sehingga pengawasan pembangunan menara telekomunikasi di Kabupaten Bangkalan belum maksimal. Peta Kabupaten Bangkalan dapat dilihat pada Gambar 3.2.



SELAT MADURA  
**Gambar 3.2** Peta Kabupaten Bangkalan[19]

### 3.2 Pengumpulan Data

Dalam perancangan dan implementasi pada penelitian ini dibutuhkan data-data penunjang untuk penyelesaian masalah dan analisis. Data-data tersebut terbagi menjadi dua, yaitu :

- Data Primer, yaitu data yang diperoleh melalui pengamatan langsung (*survey*) ke lapangan.
- Data Sekunder, yaitu data yang diperoleh bukan melalui pengamatan langsung melainkan melalui sumber-sumber lain seperti melalui Konsultan PT. Dibyacipta Primasol, Dinas Perhubungan Komunikasi dan Informatika Kabupaten Bangkalan, Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kabupaten Bangkalan dan Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Bangkalan.

Adapun data-data yang dibutuhkan dalam menyelesaikan penelitian ini antara lain :

#### a) **Data Menara Telekomunikasi Eksisting**

Data menara telekomunikasi eksisting merupakan data dari menara-menara telekomunikasi yang telah ada di Kabupaten Bangkalan. Lokasi menara-menara telekomunikasi eksisting tersebut diperoleh dari pengamatan langsung dan data dari Konsultan PT. Dibyacipta Primasol. Untuk data tersebut dapat dilihat pada Lampiran C.

### b) Peta Digital

Peta Digital merupakan representasi fenomena geografik yang disimpan untuk ditampilkan dan dianalisis oleh komputer. Sistem penyimpanan pada tiap objek menggunakan titik koordinat (*latitude* dan *longitude*). Peta dalam format seperti ini dapat digunakan sebagai input maupun output.

Dalam penelitian ini, Peta Digital Kabupaten Bangkalan merupakan peta dengan data berbasis *Map Info*. Peta Digital ini terdiri dari beberapa komponen, seperti misalnya vektor (memuat garis batas wilayah, jalanan, sungai, dsb.), teks (keterangan untuk memberikan label nama wilayah) dan morfologi area (mengklasifikasikan area seperti *sub-urban*, *rural*, perkebunan, hutan, tambak, laut, pemukiman, pelabuhan, dsb.). Pada peta digital ini dapat dilakukan penyuntingan terhadap komponen-komponen yang ada sesuai keinginan, misalnya untuk warna area tertentu dapat disunting dengan mengganti warna sesuai kehendak. Peta Digital Kabupaten Bangkalan pada penelitian ini diperoleh dari peneliti penelitian sebelumnya. Untuk peta digital Kabupaten Bangkalan berbasis *Map Info* dapat dilihat pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.3** Peta Digital Kabupaten Bangkalan Berbasis *Map Info*

**KETERANGAN :**



: *Residential* (Kawasan Pemukiman)



: *Sub-Urban Area* (Wilayah *Sub-Urban*)



: *Agriculture* (Pertanian)



: *Plantation* (Perkebunan)



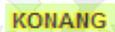
: *Land Water / River / Sea* (Waduk / Sungai / Laut)



: *Main Road / Local Road* (Jalan Utama / Jalan Lokal)



: *Borderline* (Batas kecamatan atau kabupaten)



: *Label* (Keterangan nama atau ID)

**c) Daerah Penempatan Menara Telekomunikasi Baru Bersama Sesuai Dengan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW)**

Daerah penempatan menara telekomunikasi baru bersama merupakan daerah yang dapat diidentifikasi sebagai pusat area dimana permintaan panggilan (*call request*) berasal. Permintaan panggilan dapat terjadi dimana saja karena pelanggan telepon seluler dapat melakukan panggilan di rumah, tempat umum atau ketika berkendara (*mobile*)[8].

Dalam penelitian ini, daerah tersebut didefinisikan sebagai area kebijakan strategis penataan ruang wilayah berdasarkan Peraturan Daerah Kabupaten Bangkalan Nomor 10 Tahun 2009 tentang Rencana Tata Ruang dan Rencana Wilayah Kabupaten Bangkalan Tahun 2009-2029. Untuk Peta RTRW Kabupaten Bangkalan 2009-2009 dapat dilihat pada Lampiran D. Daerah-daerah tersebut berupa titik-titik potensial yang diperoleh dari Bappeda Kabupaten Bangkalan. Untuk data lengkap titik-titik potensial tersebut dapat dilihat pada Lampiran E.

Daerah-daerah tersebut diwakili oleh daerah-daerah Kawasan Pemukiman, Pusat Kegiatan Warga, Pusat Pemerintahan dan Pelayanan, Kawasan Strategis Ekonomi, Kawasan Industri dan Perdagangan, Kawasan Pariwisata dan Sosial Budaya dan Kawasan Militer[20]. Penjelasan dan penjabaran daerah-daerah tersebut antara lain :

### 1) Kawasan Pemukiman

Titik potensial penempatan menara telekomunikasi baru bersama pada kawasan pemukiman merupakan bagian dari lingkungan hidup di luar kawasan lindung baik berupa kawasan perkotaan maupun kawasan pedesaan yang berfungsi sebagai lingkungan tempat tinggal atau lingkungan hunian dan tempat kegiatan yang mendukung perikehidupan dan penghidupan.

Sesuai dengan kebijakan strategis penataan ruang wilayah di Kabupaten Bangkalan, kawasan ini dibagi menjadi beberapa kawasan. Pertama adalah Pusat Kegiatan Nasional (PKN). Kedua adalah Pusat Kegiatan Lokal (PKL). Terakhir adalah Pusat Pelayanan Kawasan (PPK)[20]. Kawasan pemukiman ini titik potensialnya diambil dari titik-titik koordinat pusat desa dan kelurahan yang tersebar di Kabupaten Bangkalan. Di Kabupaten Bangkalan terdapat 281 Desa atau Kelurahan, jadi titik potensial untuk kawasan pemukiman terdapat 281 titik potensial yang akan dijadikan daerah penempatan menara telekomunikasi baru bersama. Untuk peta titik-titik potensial kawasan pemukiman di Kabupaten Bangkalan dapat dilihat pada Gambar 3.4.



**Gambar 3.4** Peta Titik-Titik Potensial Kawasan Pemukiman di Kabupaten Bangkalan

## 2) Pusat Kegiatan Warga

Titik potensial penempatan menara telekomunikasi baru bersama pada daerah pusat kegiatan warga merupakan titik pusat wilayah yang mempunyai kegiatan utama bukan daerah pertanian, perkebunan dan sejenisnya dengan susunan fungsi kawasan sebagai tempat pemukiman perkotaan, pemusatan distribusi pelayanan jasa pemerintahan, pelayanan sosial dan kegiatan ekonomi.

Sesuai dengan kebijakan strategis penataan ruang wilayah di Kabupaten Bangkalan, kawasan ini dibagi menjadi beberapa kawasan. Pertama adalah Kawasan Metropolitan Bangkalan. Kedua adalah Kawasan Pengembangan Metropolitan Bangkalan. Terakhir adalah pemantapan peranan kawasan yang meliputi Kecamatan Tanah Merah, Kecamatan Blega dan Kecamatan Tanjung Bumi. Semuanya diatur sesuai dengan arah perkembangan perkotaan metropolitan[20]. Jadi titik potensial untuk daerah pusat kegiatan warga terdapat 11 titik potensial yang akan dijadikan daerah penempatan menara telekomunikasi baru bersama. Untuk peta titik-titik potensial daerah pusat kegiatan warga di Kabupaten Bangkalan dapat dilihat pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.5** Peta Titik-Titik Potensial Daerah Pusat Kegiatan Warga di Kabupaten Bangkalan

### 3) Pusat Pemerintahan dan Pelayanan

Titik potensial penempatan menara telekomunikasi baru bersama pada daerah pusat pemerintahan dan pelayanan merupakan pusat pemerintahan yang berupa titik pusat perkantoran (ibu kota wilayah kabupaten) dengan skala pelayanan tingkat kabupaten dan titik pusat perkantoran dengan skala pelayanan tingkat kecamatan. Untuk pelayanan adalah pusat pelayanan merupakan titik-titik pusat pengembangan pelayanan pendidikan dan kesehatan di kecamatan.

Sesuai dengan kebijakan strategis penataan ruang wilayah di Kabupaten Bangkalan, kawasan ini merupakan kantor-kantor pelayanan di semua kecamatan serta kantor pusat pemerintahan kabupaten yang ada di Kecamatan Bangkalan[20]. Daerah pusat pemerintahan dan pelayanan ini titik potensialnya diambil dari titik-titik koordinat pusat kantor kecamatan dan kabupaten yang tersebar di Kabupaten Bangkalan, jadi terdapat 20 titik potensial yang akan dijadikan daerah penempatan menara telekomunikasi baru bersama. Untuk peta titik-titik potensial daerah pusat pemerintahan dan pelayanan di Kabupaten Bangkalan dapat dilihat pada Gambar 3.6.



**Gambar 3.6** Peta Titik-Titik Potensial Daerah Pusat Pemerintahan dan Pelayanan di Kabupaten Bangkalan

#### 4) Kawasan Strategis Ekonomi

Titik potensial penempatan menara telekomunikasi baru bersama pada kawasan strategis ekonomi merupakan kawasan potensial dengan berbagai komoditas komoditi yang saling terkait antar wilayah kabupaten atau kota dan dapat diolah menjadi suatu komoditas baru khususnya komoditas olahan yang saling terkait. Terdapat juga Kawasan Pengembangan Utama Komoditi (KAPUK) dalam suatu wilayah.

Sesuai dengan kebijakan strategis penataan ruang wilayah di Kabupaten Bangkalan, kawasan ini dibagi menjadi beberapa kawasan. Pertama adalah Kawasan KKJS di sekitar Jembatan Suramadu. Kedua adalah Kawasan Industri Socah. Ketiga adalah Kawasan Tanjung Modung – Bulupandan. Keempat adalah Kawasan Koridor Akses Suramadu. Terakhir adalah Kawasan Sekitar Jalan Sirip Akses Suramadu[20]. Jadi titik potensial untuk kawasan strategis ekonomi terdapat 6 titik potensial yang akan dijadikan daerah penempatan menara telekomunikasi baru bersama. Untuk peta titik-titik potensial kawasan strategis ekonomi di Kabupaten Bangkalan dapat dilihat pada Gambar 3.7.



**Gambar 3.7** Peta Titik-Titik Potensial Kawasan Strategis Ekonomi di Kabupaten Bangkalan

### 5) Kawasan Industri dan Pergudangan

Titik potensial penempatan menara telekomunikasi baru bersama pada kawasan industri dan pergudangan merupakan tempat pemusatan kegiatan industri yang dilengkapi dengan prasarana, sarana dan fasilitas penunjang dengan strategi pengembangan kawasan perindustrian di wilayah perkotaan dan pedesaan yang dikembangkan dan dikelola secara terpadu oleh suatu lembaga atau institusi tertentu.

Sesuai dengan kebijakan strategis penataan ruang wilayah di Kabupaten Bangkalan, kawasan ini dibagi menjadi beberapa kawasan. Pertama adalah Kawasan Industri Labang dengan luas 600 Ha. Kedua adalah Kawasan Industri Tragah dengan luas 640 Ha. Ketiga adalah Kawasan Industri Socah dengan luas 800 Ha. Keempat adalah Kawasan Industri Klampis Arosbaya dengan luas 300 Ha. Terakhir adalah Kawasan Industri Klampis dengan luas 1660 Ha[20]. Jadi titik potensial untuk kawasan industri dan pergudangan terdapat 5 titik potensial yang akan dijadikan daerah penempatan menara telekomunikasi baru bersama. Untuk peta titik-titik potensial kawasan industri dan pergudangan di Kabupaten Bangkalan dapat dilihat pada Gambar 3.8.



**Gambar 3.8** Peta Titik-Titik Potensial Kawasan Industri dan Pergudangan di Kabupaten Bangkalan

## 6) Kawasan Pariwisata dan Sosial Budaya

Titik potensial penempatan menara telekomunikasi baru bersama pada kawasan pariwisata merupakan kawasan pelestarian alam yang dimanfaatkan untuk pariwisata dan rekreasi alam. Sedangkan kawasan sosial budaya merupakan titik pusat kawasan yang diprioritaskan untuk melestarikan nilai-nilai sejarah dan budaya.

Sesuai dengan kebijakan strategis penataan ruang wilayah di Kabupaten Bangkalan, kawasan ini dibagi menjadi beberapa zona. Pertama Zona Pesisir Utara yang meliputi Pantai Siring Kemuning, Maneron dan Makam Aer Mata. Kedua Zona Geger ada Wanawisata Bukit Geger. Ketiga Zona Bangkalan yang meliputi Pesarean Syaikhona Kholil, Taman Rekreasi Kota dan Karapan Sapi. Terakhir Zona Pesisir Selatan yang meliputi Wisata Bahari Kamal, KKJS, Taman Satwa, Outbond Area Labang dan Pantai Rongkang[20]. Jadi titik potensial untuk kawasan pariwisata dan sosial budaya terdapat 11 titik potensial yang akan dijadikan daerah penempatan menara telekomunikasi baru bersama. Untuk peta titik-titik potensial kawasan pariwisata dan sosial budaya di Kabupaten Bangkalan dapat dilihat pada Gambar 3.9.



**Gambar 3.9** Peta Titik-Titik Potensial Kawasan Pariwisata dan Sosial Budaya di Kabupaten Bangkalan

### 7) Kawasan Militer

Titik potensial penempatan menara telekomunikasi baru bersama pada kawasan militer merupakan kawasan yang ditetapkan dengan fungsi utama untuk kegiatan pertahanan dan keamanan yang terdiri dari kawasan latihan militer, kawasan TNI AD (Angkatan Darat), kawasan pangkalan TNI AU (Angkatan Udara), kawasan pangkalan TNI AL (Angkatan Laut). Penataan kawasan khusus militer berdasarkan karakteristik kawasan diarahkan agar lokasinya jauh dari kegiatan umum perkotaan dan masyarakat umum.

Sesuai dengan kebijakan strategis penataan ruang wilayah di Kabupaten Bangkalan, kawasan ini dibagi menjadi dua kawasan. Pertama adalah Kawasan Militer Gudang Amunisi Batu Poron yang digunakan sebagai pengamanan dan melindungi tempat serta ruang di sekitar kawasan militer. Kedua adalah Laboratorium Senjata Militer TNI AL[20]. Jadi titik potensial untuk kawasan militer hanya terdapat 1 titik potensial yang akan dijadikan daerah penempatan menara telekomunikasi baru bersama. Untuk peta titik potensial kawasan militer di Kabupaten Bangkalan dapat dilihat pada Gambar 3.10.



**Gambar 3.10** Peta Titik Potensial Kawasan Militer di Kabupaten Bangkalan

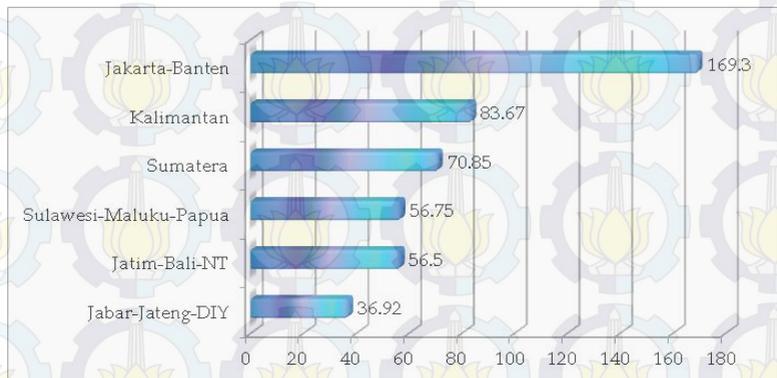
#### d) Data Statistik Penduduk

Data statistik penduduk merupakan data jumlah penduduk di Kabupaten Bangkalan dan diperlukan untuk memprediksi jumlah penduduk lima tahun ke depan yang digunakan untuk proses penentuan jumlah pengguna layanan seluler, kapasitas total trafik yang dilayani dan perhitungan kebutuhan menara dan BTS. Data tersebut diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Bangkalan sesuai dengan sensus penduduk terakhir tahun 2012. Untuk statistik jumlah, kepadatan dan laju pertumbuhan penduduk Kabupaten Bangkalan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

#### e) Data Pengguna Layanan Seluler

Data pengguna layanan seluler merupakan penetrasi pengguna telepon pada masyarakat di suatu daerah atau negara dinyatakan dengan teledensitas, yang dinyatakan dengan perbandingan antara jumlah sambungan telepon (*main lines*) dengan jumlah penduduk di daerah tersebut. Semakin tinggi angka teledensitas artinya memudahkan berkomunikasi dan mendapatkan informasi akan semakin mudah.

Dalam penelitian ini, data pengguna layanan seluler di Provinsi Jawa Timur didapat dari studi literatur pada Indikator TIK Indonesia 2011, Kementerian Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia. Data tersebut diperoleh dari Dishub Kominfo Kabupaten Bangkalan. Untuk data pengguna layanan seluler (dalam persentase) di beberapa wilayah di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 3.11.



**Gambar 3.11** Pengguna Telepon Bergerak Seluler Menurut Wilayah, 2010[21]

**Tabel 3.1** Jumlah, Kepadatan dan Laju Pertumbuhan Penduduk Kabupaten Bangkalan 2010[19]

No.	Kecamatan	Jumlah Penduduk 2012 (Jiwa)	Luas Wilayah (Km <sup>2</sup> )	Kepadatan Penduduk (Jiwa/Km <sup>2</sup> )	LP (%)
1.	Kamal	52.274	41,40	1.262,66	1,61
2.	Labang	44.218	35,23	1.255,12	0,98
3.	Kwanyar	59.086	47,81	1.235,85	0,96
4.	Modung	59.321	78,79	752,90	0,46
5.	Blega	70.196	92,82	756,26	0,57
6.	Konang	59.528	81,09	734,10	2,28
7.	Galis	95.785	120,56	794,50	1,45
8.	Tanah Merah	88.310	68,56	1.288,07	0,85
9.	Tragah	41.506	39,58	1.048,66	1,49
10.	Socah	70.173	53,82	1.303,85	1,26
11.	Bangkalan	90.420	35,02	2.581,95	2,42
12.	Burneh	70.881	66,10	1.072,33	1,89
13.	Arosbaya	56.999	42,46	1.342,42	1,44
14.	Geger	88.857	123,31	720,60	1,87
15.	Kokop	75.286	125,75	598,70	2,69
16.	Tanjung Bumi	61.168	67,49	906,33	1,73
17.	Sepulu	51.232	73,25	699,41	1,11
18.	Klampus	65.030	67,10	969,15	1,18
<b>Total</b>		<b>1.200.270</b>	<b>1.260,14</b>	<b>729,29</b>	<b>-</b>

**Keterangan :** LP adalah Laju Pertumbuhan Penduduk di Kabupaten Bangkalan dari BPS Kabupaten Bangkalan tahun 2012

### 3.3 Pengolahan Data

Dalam pengolahan data pada penelitian ini harus dilakukan secara urut dan tepat, yaitu melakukan pengolahan data dengan beberapa tahap, antara lain :

- Pengolahan Data dengan menggunakan *Microsoft Office Excel*, yaitu mengolah data prediksi jumlah penduduk, prediksi jumlah pengguna layanan seluler, prediksi kapasitas total trafik, prediksi jumlah kebutuhan BTS dan prediksi jumlah kebutuhan menara bersama.
- Implementasi Algoritma *Fuzzy* Evolusi, yaitu mengolah data yang telah diolah menggunakan *Microsoft Office Excel*, lalu dengan data tersebut diimplementasikan Algoritma *Fuzzy* Evolusi yang diolah menggunakan *Matlab*, agar diperoleh solusi optimal untuk penempatan menara baru bersama.
- Pemetaan dengan menggunakan *Map Info*, yaitu mengolah data yang telah diolah menggunakan *Microsoft Office Excel* dan Algoritma *Fuzzy* Evolusi lalu memvisualisasikannya di *Map Info*. Pemetaannya berupa visualisasi titik menara eksisting, visualisasi titik potensial menara baru bersama dan visualisasi *coverage* menara bersama.

### **3.3.1 Pengolahan Data Dengan Microsoft Office Excel**

#### **a) Prediksi Jumlah Penduduk**

Dari data jumlah penduduk yang telah diperoleh dari proses pengumpulan data, langkah selanjutnya adalah melakukan prediksi jumlah penduduk untuk 5 tahun ke depan di Kabupaten Bangkalan, dengan menggunakan rumus pertumbuhan penduduk secara geometrik (*geometric rate of growth*) pada persamaan (2.3).

Dengan menggunakan persamaan tersebut dan data dari proses pengumpulan data yang telah diperoleh, maka dapat dihitung jumlah penduduk untuk 5 tahun ke depan di Kabupaten Bangkalan. Berikut adalah hasil perhitungan prediksi jumlah penduduk di Kabupaten Bangkalan untuk tahun 2019 dapat dilihat pada Tabel 3.2.

#### **b) Prediksi Jumlah Pengguna Layanan Seluler**

Kepadatan penduduk menentukan seberapa besar trafik yang harus disediakan oleh penyelenggara jaringan seluler. Jaringan seluler yang dibangun harus mampu mengantisipasi besarnya jumlah pengguna untuk 5 tahun ke depan di Kabupaten Bangkalan. Untuk mengantisipasi jumlah pengguna selama 5 tahun ke depan diperlukan estimasi pertumbuhan jumlah pengguna dengan asumsi berapa persentase teledensitas seluler di Provinsi Jawa Timur. Maka prediksi jumlah pengguna layanan seluler dapat dihitung dengan persamaan (2.4).

**Tabel 3.2** Hasil Perhitungan Prediksi Jumlah Penduduk di Kabupaten Bangkalan Untuk Tahun 2019

No.	Kecamatan	Jumlah Penduduk 2012 (Jiwa)	LP (%)	Jumlah Penduduk 2014 (Jiwa)	Jumlah Penduduk 2019 (Jiwa)
1.	Kamal	52.274	1,61	53.971	58.458
2.	Labang	44.218	0,98	45.089	47.343
3.	Kwanyar	59.086	0,96	60.226	63.173
4.	Modung	59.321	0,46	59.869	61.258
5.	Blega	70.196	0,57	70.999	73.046
6.	Konang	59.528	2,28	62.274	69.704
7.	Galis	95.785	1,45	98.583	105.941
8.	Tanah Merah	88.310	0,85	89.818	93.701
9.	Tragah	41.506	1,49	42.753	46.034
10.	Socah	70.173	1,26	71.953	76.602
11.	Bangkalan	90.420	2,42	94.850	106.896
12.	Burneh	70.881	1,89	73.586	80.808
13.	Arosbaya	56.999	1,44	58.653	62.999
14.	Geger	88.857	1,87	92.212	101.162
15.	Kokop	75.286	2,69	79.391	90.660
16.	Tanjung Bumi	61.168	1,73	63.303	68.972
17.	Sepulu	51.232	1,11	52.376	55.348
18.	Klampis	65.030	1,18	66.574	70.596
<b>Total</b>		<b>1.200.270</b>	<b>-</b>	<b>1.236.480</b>	<b>1.332.701</b>

Dengan menggunakan persamaan tersebut dan data dari proses pengumpulan data yang telah diperoleh, maka dapat dihitung jumlah pengguna layanan seluler pada tahun 2019 di Kabupaten Bangkalan berdasarkan teledensitas Provinsi Jawa Timur. Berikut adalah hasil perhitungan prediksi jumlah pengguna layanan seluler di Kabupaten Bangkalan untuk tahun 2019 dapat dilihat pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3** Hasil Perhitungan Prediksi Jumlah Pengguna Layanan Seluler di Kabupaten Bangkalan Untuk Tahun 2019

No.	Kecamatan	Teledensitas (%)	Jumlah Penduduk 2019 (Jiwa)	Jumlah Pengguna Layanan Seluler 2019 (Jiwa)
1.	Kamal	56,5	58.458	33.029
2.	Labang	56,5	47.343	26.749
3.	Kwanyar	56,5	63.173	35.693
4.	Modung	56,5	61.258	34.611
5.	Blega	56,5	73.046	41.271
6.	Konang	56,5	69.704	39.383
7.	Galis	56,5	105.941	59.857
8.	Tanah Merah	56,5	93.701	52.941
9.	Tragah	56,5	46.034	26.009
10.	Socah	56,5	76.602	43.280
11.	Bangkalan	56,5	106.896	60.396
12.	Burneh	56,5	80.808	45.657
13.	Arosbaya	56,5	62.999	35.594
14.	Geger	56,5	101.162	57.157
15.	Kokop	56,5	90.660	51.223
16.	Tanjung Bumi	56,5	68.972	38.969
17.	Sepulu	56,5	55.348	31.272
18.	Klampis	56,5	70.596	39.887
<b>Total</b>			<b>1.332.701</b>	<b>752.976</b>

**c) Prediksi Kapasitas Total Trafik**

Wilayah Kabupaten Bangkalan termasuk dalam kategori daerah layanan *sub-urban* dan *rural*. Daerah *sub-urban* hanya terdapat di Kecamatan Bangkalan, yang dicirikan dengan jumlah bangunan yang mulai padat. Sedangkan kecamatan sisanya adalah daerah *rural* karena masih jarangnyanya bangunan yang ditemui. Maka intensitas trafik untuk setiap kategori daerah layanan dapat dihitung dengan persamaan (2.1) :

- Daerah *sub-urban*, rata-rata panggilan atau menerima panggilan adalah 60 menit dalam satu hari. Sehingga *offered traffic* per pelanggan dapat dihitung dengan persamaan (2.1) :

$$A = \frac{60}{24 \times 60} = 41,67 \text{ mErlang}$$

- Daerah *rural*, rata-rata panggilan atau menerima panggilan adalah 45 menit dalam satu hari. Sehingga *offered traffic* per pelanggan dapat dihitung dengan persamaan (2.1) :

$$A = \frac{45}{24 \times 60} = 31,25 \text{ mErlang}$$

Dari hasil perhitungan intensitas trafik diatas, maka kapasitas total trafik yang dibangkitkan harus diketahui, sehingga penyelenggara jaringan seluler dapat mengantisipasi lonjakan trafik pada jam sibuk, tidak hanya pada keadaan trafik normal. Maka prediksi kapasitas total trafik yang dibangkitkan oleh semua pengguna layanan seluler dapat dihitung dengan persamaan (2.2). Untuk itu terdapat konsep *Grade of Service* (GOS), dengan menggunakan asumsi GOS = 2 % maka terdapat 2 panggilan gagal dari seratus panggilan yang terjadi. Berikut adalah hasil perhitungan prediksi kapasitas total trafik di Kabupaten Bangkalan untuk tahun 2019 dapat dilihat pada Tabel 3.4.

#### d) **Prediksi Jumlah Kebutuhan BTS**

Untuk mengetahui jumlah kebutuhan BTS di Kabupaten Bangkalan untuk 5 tahun ke depan, diperlukan perhitungan kapasitas suatu BTS dalam melayani pengguna layanan seluler yaitu dengan memperhatikan jumlah antena yang digunakan dalam setiap sektornya. Kapasitas BTS yang digunakan adalah kapasitas rata-rata BTS di Kabupaten Bangkalan dengan konfigurasi sebagai berikut :

- Menggunakan 3 antena sektoral dengan konfigurasi 3/3/3 :
  - 1 sektor terdiri dari 3 TRx (*Transceiver*)
  - 1 TRx terdiri dari 8 kanal atau *timeslot*
  - 3 TRx = 8 x 3 = 24 kanal atau *timeslot*
- Setiap sektor membutuhkan 1 kanal BCCH (*Broadcast Control Channel*) dan 1 kanal SDCCH (*Standalone Dedicated Control Channel*) yang berguna dalam *broadcast* sinyal dan juga mengatur panggilan setiap pengguna layanan seluler.

- Jadi, 1 sektor yang terdiri dari 3 TRx mampu melayani  $24 - 2 = 22$  kanal atau 22 panggilan secara teoritis. Maksud dari teoritis disini karena masih ada beberapa faktor yaitu *interference*, *blocking*, *congestion* dan sebagainya.
- Kapasitas 1 sektor yang terdiri dari 3 TRx dengan asumsi GOS 2 % = 14,90 Erlang (sesuai Tabel Erlang B pada Gambar 3.12).

**Tabel 3.4** Hasil Perhitungan Prediksi Kapasitas Total Trafik di Kabupaten Bangkalan Untuk Tahun 2019

No.	Kecamatan	Jumlah Pengguna Layanan Seluler 2019 (Jiwa)	Morfologi Area	Kapasitas Trafik (Erlang)
1.	Kamal	33.029	Rural	1.032
2.	Labang	26.749	Rural	836
3.	Kwanyar	35.693	Rural	1.115
4.	Modung	34.611	Rural	1.082
5.	Blega	41.271	Rural	1.290
6.	Konang	39.383	Rural	1.231
7.	Galis	59.857	Rural	1.871
8.	Tanah Merah	52.941	Rural	1.654
9.	Tragah	26.009	Rural	813
10.	Socah	43.280	Rural	1.353
11.	Bangkalan	60.396	Sub Urban	2.517
12.	Burneh	45.657	Rural	1.427
13.	Arosbaya	35.594	Rural	1.112
14.	Geger	57.157	Rural	1.786
15.	Kokop	51.223	Rural	1.601
16.	Tanjung Bumi	38.969	Rural	1.218
17.	Sepulu	31.272	Rural	977
18.	Klampis	39.887	Rural	1.246
<b>Total</b>		<b>752.976</b>	-	<b>24.160</b>

Erlang B Traffic Table												
Maximum Offered Load Versus B and N												
N/B	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0	2	5	10	15	20	30	40
1	.0001	.0005	.0010	.0050	.0101	.0204	.0526	.1111	.1765	.2500	.4286	.6667
2	.0142	.0321	.0458	.1054	.1526	.2235	.3813	.5954	.7962	1.000	1.449	2.000
...												
21	8.319	9.501	10.11	11.86	12.84	14.04	16.19	18.65	20.77	22.85	27.33	32.81
22	8.946	10.18	10.81	12.64	13.65	14.90	17.13	19.69	21.90	24.06	28.74	34.46

**Gambar 3.12** Tabel Erlang B

- Kapasitas 1 BTS yang terdiri dari 3 antena sektoral yang didukung 3 TRx = 3 x 14,90 = 44,7 Erlang.

Prediksi jumlah kebutuhan BTS yang dibutuhkan untuk melayani jumlah pengguna layanan seluler merupakan hasil pembagian antara kapasitas total trafik yang dibangkitkan pelanggan layanan seluler dalam satuan Erlang dibagi dengan kapasitas 1 BTS yang terdapat pada wilayah tersebut.

Dan untuk prediksi jumlah kebutuhan BTS yang dibutuhkan untuk melayani jumlah pengguna layanan seluler di Kabupaten Bangkalan untuk tahun 2019 dapat dihitung dengan persamaan (2.5). Berikut adalah hasil perhitungan prediksi jumlah kebutuhan BTS di Kabupaten Bangkalan untuk tahun 2019 dapat dilihat pada Tabel 3.5.

#### e) **Prediksi Jumlah Kebutuhan Menara Bersama**

Persebaran menara telekomunikasi eksisting di Kabupaten Bangkalan perlu dikendalikan, yaitu dengan cara menata menara telekomunikasi eksisting menjadi menara telekomunikasi bersama agar lebih efisien dan juga mengakomodasi peletakkan BTS. Menara telekomunikasi bersama akan menampung minimal 3 BTS, karena di Kabupaten Bangkalan belum mempunyai Peraturan Daerah atau Peraturan Bupati yang mengatur tentang penataan, pembangunan dan penggunaan bersama menara telekomunikasi.

Oleh karena itu diperlukan prediksi jumlah kebutuhan menara telekomunikasi bersama untuk tahun 2019 yang dapat dihitung dengan persamaan (2.6). Berikut adalah hasil perhitungan prediksi jumlah kebutuhan menara bersama di Kabupaten Bangkalan untuk tahun 2019 dapat dilihat pada Tabel 3.6.

**Tabel 3.5** Hasil Perhitungan Prediksi Jumlah Kebutuhan BTS di Kabupaten Bangkalan Untuk Tahun 2019

No.	Kecamatan	Jumlah BTS 2014	Trafik (Erlang)	Kapasitas 1 BTS (Erlang)	Jumlah BTS 2019
1.	Kamal	29	1.032	44,7	29
2.	Labang	18	836	44,7	19
3.	Kwanyar	15	1.115	44,7	25
4.	Modung	13	1.082	44,7	24
5.	Blega	21	1.290	44,7	29
6.	Konang	10	1.231	44,7	28
7.	Galis	19	1.871	44,7	42
8.	Tanah Merah	22	1.654	44,7	37
9.	Tragah	9	813	44,7	18
10.	Socah	22	1.353	44,7	30
11.	Bangkalan	45	2.517	44,7	56
12.	Burneh	22	1.427	44,7	32
13.	Arosbaya	16	1.112	44,7	25
14.	Geger	24	1.786	44,7	40
15.	Kokop	14	1.601	44,7	36
16.	Tanjung Bumi	18	1.218	44,7	27
17.	Sepulu	12	977	44,7	22
18.	Klampus	23	1.246	44,7	28
<b>Total</b>		<b>352</b>	<b>24.160</b>	<b>-</b>	<b>546</b>

Sesuai dengan hasil perhitungan prediksi jumlah kebutuhan BTS di masing-masing kecamatan, semua kecamatan membutuhkan penambahan BTS sesuai dengan perhitungan kapasitas total trafik di masing-masing kecamatan tersebut. Kecuali di Kecamatan Kamal yang sesuai dengan perhitungan kapasitas total trafiknya tidak membutuhkan penambahan jumlah BTS untuk tahun 2019. Sehingga jumlah BTSnya mempertahankan jumlah BTS tahun 2014.

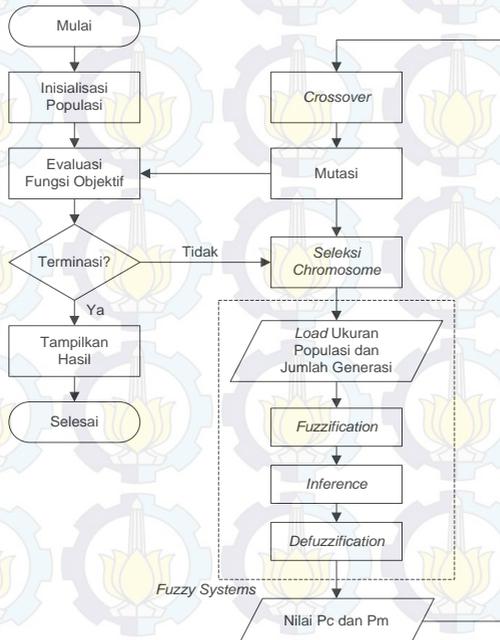
**Tabel 3.6** Hasil Perhitungan Prediksi Jumlah Kebutuhan Menara Bersama di Kabupaten Bangkalan Untuk Tahun 2019

No.	Kecamatan	Jumlah Menara 2014	Jumlah Menara 2019	Jumlah Kebutuhan Menara 2019
1.	Kamal	22	22	0
2.	Labang	13	14	1
3.	Kwanyar	10	14	4
4.	Modung	10	14	4
5.	Blega	12	15	3
6.	Konang	6	12	6
7.	Galis	16	24	8
8.	Tanah Merah	15	21	6
9.	Tragah	7	11	4
10.	Socah	13	16	3
11.	Bangkalan	30	34	4
12.	Burneh	13	17	4
13.	Arosbaya	11	14	3
14.	Geger	16	22	6
15.	Kokop	9	17	8
16.	Tanjung Bumi	11	15	4
17.	Sepulu	8	12	4
18.	Klampus	13	15	2
<b>Total</b>		<b>235</b>	<b>309</b>	<b>74</b>

Sesuai dengan hasil perhitungan prediksi jumlah kebutuhan menara bersama di masing-masing kecamatan, semua kecamatan membutuhkan penambahan menara bersama sesuai dengan perhitungan prediksi jumlah kebutuhan BTS di masing-masing kecamatan tersebut. Kecuali di Kecamatan Kamal yang sesuai dengan perhitungan prediksi jumlah kebutuhan BTS tidak membutuhkan penambahan jumlah BTS untuk tahun 2019. Sehingga jumlah menara bersamanya mempertahankan jumlah menara bersama tahun 2014.

### 3.3.2 Implementasi Algoritma Fuzzy Evolusi

Algoritma *Fuzzy* Evolusi adalah penggabungan antara Algoritma Genetika (AG) dan Sistem *Fuzzy* (SF), dimana SF digunakan untuk mengatur nilai probabilitas *crossover* (Pc) dan probabilitas mutasi (Pm). Pengaturan parameter ini dilakukan untuk mendapatkan nilai Pc dan Pm yang digunakan sebagai parameter pada AG[1]. Implementasi Algoritma *Fuzzy* Evolusi ini menggunakan *Matlab*. Diagram alir perancangan algoritma ini dapat dilihat pada Gambar 3.13.



**Gambar 3.13** Diagram Alir Algoritma *Fuzzy* Evolusi[15]

Proses Algoritma *Fuzzy* Evolusi dilakukan dengan terlebih dahulu memberikan nilai prioritas pada tiap-tiap titik potensial menara pada tiap kecamatan, dengan mempertimbangkan jarak antar titik potensial dan skala prioritas titik potensial berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) di Kabupaten Bangkalan.

Perhitungan pemberian nilai atau skor pada titik-titik potensial adalah sebagai berikut :

- Titik Alternatif Berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah :

- Nilai prioritas :
  1. Kawasan Militer = 0,125
  2. Kawasan Pariwisata dan Sosial Budaya = 0,188
  3. Kawasan Industri dan Pergudangan = 0,250
  4. Kawasan Strategis Ekonomi = 0,313
  5. Pusat Pemerintahan dan Pelayanan = 0,375
  6. Pusat Kegiatan Warga = 0,438
  7. Kawasan Pemukiman = 0,500

- Total Nilai :

- Nilai jarak terdekat antar titik = jarak terdekat / total jarak terdekat
- Total Nilai = (2 x nilai prioritas) + nilai jarak

Setelah memperoleh total nilai maka proses Algoritma *Fuzzy* Evolusi dapat dilakukan dengan menentukan jumlah gen per *chromosome* = jumlah menara bersama hasil prediksi pada tiap kecamatan. Permasalahan pada proses implementasi Algoritma *Fuzzy* Evolusi pada penelitian ini adalah mencari jumlah nilai maksimal dari kombinasi total nilai pada tiap titik potensial yang diambil secara acak atau dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$\text{fungsi objektif} = \Sigma (\text{chromosome}) \quad (3.1)$$

dengan :

fungsi objektif = fungsi objektif atau masalah yang ingin diselesaikan  
*chromosome* = kombinasi sejumlah gen atau total nilai pada tiap titik yang sudah ditentukan jumlahnya yang diambil secara acak

Proses Algoritma *Fuzzy* Evolusi berjalan sebanyak jumlah generasi atau iterasi yang sudah ditentukan. Proses implementasi Algoritma ini memiliki komponen-komponen, antara lain[22] :

### 1. Pembentukan *Chromosome*

Pembentukan *chromosome* dilakukan sesuai dengan permasalahan, karena yang dicari adalah jumlah nilai maksimal dari kombinasi total nilai titik-titik potensial pada tiap kecamatan, maka yang dijadikan sebagai gen-gen pembentuk *chromosome* adalah total nilai titik-titik potensial pada tiap kecamatan.

## 2. Inisialisasi Populasi

Proses inisialisasi populasi dilakukan dengan melakukan pembentukan *chromosome* sesuai dengan jumlah populasi. Jumlah populasi = jumlah total titik potensial pada tiap kecamatan. Jumlah gen per *chromosome* adalah sejumlah menara hasil prediksi pada tiap kecamatan. *Chromosome* dibentuk dari kombinasi total nilai tiap titik yang diambil secara acak.

## 3. Evaluasi Fungsi Objektif

Permasalahan yang ingin diselesaikan adalah mencari jumlah nilai maksimal dari kombinasi total nilai titik-titik potensial pada tiap kecamatan, maka fungsi objektif yang dapat digunakan untuk mendapatkan solusi adalah  $fungsi\_objektif(i) = \text{sum}(chromosome(i,:))$ . Kemudian dihitung rata-rata dari fungsi objektif,  $rata\_rata\_fobj = \text{sum}(fungsi\_objektif) / \text{jumlahTitikPotensial}$ .

## 4. Seleksi *Chromosome*

Proses seleksi bertujuan untuk memberikan kesempatan reproduksi yang lebih besar bagi anggota populasi yang paling fit. Pada penelitian ini metode seleksi yang digunakan adalah metode *roulette wheel selection*, metode ini bekerja dengan memetakan individu-individu dalam suatu segmen garis secara berurutan hingga tiap-tiap segmen individu memiliki ukuran yang sama dengan ukuran *fitness*-nya.

Proses seleksi dilakukan dengan cara membuat *chromosome* yang mempunyai fungsi objektif kecil mempunyai kemungkinan terpilih yang besar atau mempunyai nilai probabilitas yang tinggi. Untuk itu dapat digunakan fungsi untuk *fitness*,  $fitness(j) = 1 / (fungsi\_objektif(j)+1)$ ,  $j = 1 : \text{jumlahTitikPotensial}$ . Pada fungsi objektif perlu ditambah 1 untuk menghindari kesalahan program yang diakibatkan pembagian oleh 0.

Urutan algoritmanya sebagai berikut :

- Hitung *fitness*.
- Hitung total *fitness*.
- Tentukan probabilitas tiap-tiap *chromosome*,  $probabilitas(k) = fitness(k) / \text{total\_fitness}$ ,  $k = 1 : \text{jumlahTitikPotensial}$ . Dari probabilitas yang terbentuk, *chromosome* yang mempunyai probabilitas paling besar dipilih sebagai generasi berikutnya.
- Hitung nilai kumulatif probabilitas = kumulatif probabilitasnya yang telah dibentuk *chromosome(i)*.
- Proses seleksi menggunakan *roulette wheel* :

- Bangkitkan bilangan acak  $R = \text{cumulative\_random}$ , dalam range  $0 - 1$  sebanyak jumlah populasi.
- Jika  $R(k) < C(1)$ ,  $C = \text{kumulatif\_probabilitasnya}$ , maka pilih  $\text{chromosome\_baru}(k,:) = \text{chromosome}(1,:)$  sebagai induk, selain itu pilih  $\text{chromosome\_baru}(k,:)$  sebagai induk dengan syarat  $C(1) > R(k)$ . Putar *roulette wheel* sebanyak jumlah populasi (bangkitkan bilangan acak  $R$ ) dan pada tiap putaran, pilih satu *chromosome* untuk populasi baru.

## 5. Sistem Fuzzy

Pada SF untuk Algoritma Fuzzy Evolusi ini, digunakan model yang dikenalkan oleh Xu, yaitu dalam penentuan parameternya adalah menggunakan sistem inferensi fuzzy metode Mamdani. Metode Mamdani ini juga dikenal dengan metode Max-Min. Metode Mamdani yang digunakan oleh Xu untuk Algoritma Fuzzy Evolusi adalah menggunakan 2 buah masukan (*input*) dan 2 buah keluaran (*output*). Dua buah masukan (*input*) yang digunakan adalah :

1. Jumlah populasi yang digunakan.
2. Jumlah generasi atau iterasi yang diproses.

Sedangkan dua buah keluaran (*output*) yang dihasilkan adalah :

1. Nilai probabilitas *crossover* (Pc).
2. Nilai probabilitas mutasi (Pm).

Dalam menentukan nilai yang dihasilkan melalui SF perlu dibuat aturan-aturan fuzzy yang digunakan untuk penentuan hasil. Aturan-aturan yang dikembangkan oleh Xu diimplementasikan dalam SF Mamdani, tetapi diperlukan klasifikasi yang memberikan nilai batas untuk setiap aturan yang ada pada tiap variabel. Suatu sistem yang berbasis aturan fuzzy terdiri dari tiga komponen utama, yaitu :

### a. Fuzzification

Pada tahap *fuzzification*, sistem menerima *crisp* input berupa jumlah generasi atau iterasi untuk menghasilkan *fuzzy input* yang berupa derajat keanggotaan dengan nilai linguistik short, medium, long dan very long. Setiap fungsi keanggotaan pada proses *fuzzification* akan digunakan dalam pengujian sistem. Adapun klasifikasi yang digunakan dalam model Xu, ditentukan sendiri karena hal ini belum ditemukan studi literature atau penelitian sebelumnya yang menjelaskan tentang hal ini. Klasifikasi yang memberikan nilai batas atau rentang untuk generasi atau iterasi sebagai masukan (*input*), aturan nilainya adalah sebagai berikut :

- SHORT = ( $0 \leq$  generasi atau iterasi  $\leq 50$ )
- MEDIUM = ( $50 <$  generasi atau iterasi  $\leq 100$ )
- LONG = ( $100 <$  generasi atau iterasi  $\leq 150$ )
- VERY LONG = ( $150 <$  generasi atau iterasi  $\leq 200$ )

### b. *Inference*

Proses *inference* dilakukan dengan menggunakan aturan-aturan *fuzzy* yang dibangun oleh Xu bersama koleganya. Proses ini terbagi dalam dua bagian, yaitu *inference* untuk nilai probabilitas *crossover* (Pc) dan *inference* untuk probabilitas mutasi (Pm). Metode yang digunakan pada proses ini adalah model inferensi Mamdani, dimana keluaran yang dihasilkan menunjukkan basis aturan *fuzzy*. Penjabaran basis aturannya terjadi pada proses *crossover* dan mutasi.

### c. *Defuzzification*

Setelah proses *inference* menghasilkan *fuzzy output*, selanjutnya *fuzzy output* tersebut digunakan pada proses *defuzzification*. Proses ini pada akhirnya menghasilkan *crisp output* berupa nilai untuk masing-masing probabilitas Pc dan Pm. Untuk klasifikasi yang memberikan nilai batas untuk probabilitas *crossover* (Pc) sebagai keluaran (*output*) pada umumnya adalah antara 0.6 sampai 0.9. Sehingga aturan nilainya adalah sebagai berikut :

- SMALL = (0.6)
- MEDIUM = (0.7)
- LARGE = (0.8)
- VERY LARGE = (0.9)

Dan untuk untuk klasifikasi yang memberikan nilai batas untuk probabilitas mutasi (Pm) sebagai keluaran (*output*) pada umumnya sangat kecil, sekitar 1 dibagi dengan jumlah gen yang digunakan. Artinya peluang mutasi hanya terjadi pada sekitar satu gen saja pada tiap individu. Atau dapat dikatakan probabilitas mutasi mendekati nilai nol (0). Sehingga pada klasifikasi yang memberikan nilai batas untuk probabilitas mutasi (Pm), aturan nilainya adalah sebagai berikut :

- SMALL = (0.025)
- MEDIUM = (0.033)
- LARGE = (0.05)
- VERY LARGE = (0.1)

## 6. *Crossover*

Pada *crossover* metode yang digunakan salah satunya adalah *one-cut point*, yaitu memilih secara acak satu posisi dalam *chromosome* induk kemudian saling menukar gen. *Chromosome* yang dijadikan induk dipilih secara acak dan jumlah *chromosome* yang mengalami *crossover* dipengaruhi oleh nilai probabilitas *crossover* ( $P_c$ ). Nilai probabilitas *crossover* pada proses ini diatur dalam SF. Urutan algoritmanya sebagai berikut :

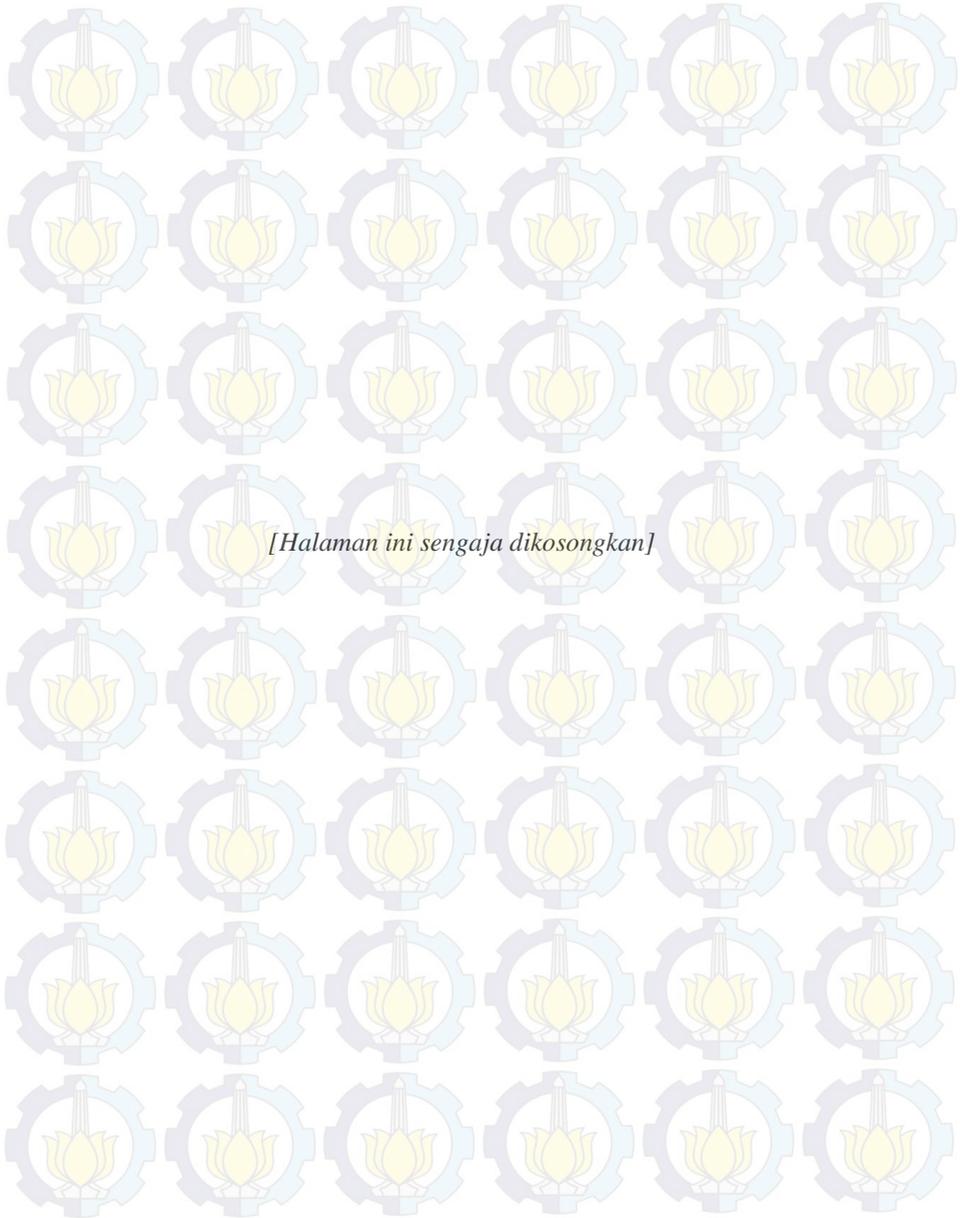
- a. Pertama bangkitkan bilangan acak = *crossover random*, dalam range 0 – 1 sebanyak jumlah populasi.
- b. Proses SF (*Inference*) :
  - IF (Iterasi is SHORT)  
Jumlah *crossover* =  $\text{jmlCrossOver} = \text{round} (P_c \text{ is SMALL} * \text{Populasi})$   
 $\text{crossover\_induk} = \text{zeros} (1, \text{jmlCrossOver})$
  - IF (Iterasi is MEDIUM)  
Jumlah *crossover* =  $\text{jmlCrossOver} = \text{round} (P_c \text{ is MEDIUM} * \text{Populasi})$   
 $\text{crossover\_induk} = \text{zeros} (1, \text{jmlCrossOver})$
  - IF (Iterasi is LONG)  
Jumlah *crossover* =  $\text{jmlCrossOver} = \text{round} (P_c \text{ is LARGE} * \text{Populasi})$   
 $\text{crossover\_induk} = \text{zeros} (1, \text{jmlCrossOver})$
  - IF (Iterasi is VERY LONG)  
Jumlah *crossover* =  $\text{jmlCrossOver} = \text{round} (P_c \text{ is VERY LARGE} * \text{Populasi})$   
 $\text{crossover\_induk} = \text{zeros} (1, \text{jmlCrossOver})$
- c. Maka  $\text{crossover\_induk}(k)$  dipilih sebagai induk.
- d. Menentukan posisi *cut-point crossover* dengan cara :
  - Bangkitkan bilangan acak dengan batasan 1 sampai (panjang *chromosome* – 1). Misalkan didapatkan posisi *crossover* adalah 1 maka *chromosome* induk akan dipotong mulai gen ke-1 kemudian potongan gen tersebut saling ditukarkan antar induk.
  - Posisi *cut-point crossover* dipilih menggunakan bilangan acak 1 sampai (jumlah gen dalam *chromosome* – 1) sebanyak jumlah *crossover* yang terjadi =  $\text{jumlahTitikPotensial} / 2$ .
  - Lakukan proses *crossover*, melakukan penukaran posisi gen *chromosome* yang berada diantara kedua titik potong tersebut.

## 7. Mutasi

Jumlah *chromosome* yang mengalami mutasi dalam suatu populasi ditentukan oleh nilai probabilitas mutasi ( $P_m$ ). Nilai probabilitas mutasi ( $P_m$ ) = *mutation\_rate* pada proses ini diatur dalam Sistem *Fuzzy*. Proses mutasi dilakukan dengan cara mengganti satu gen yang terpilih secara acak dengan suatu nilai baru yang didapat secara acak. Urutan algoritmanya sebagai berikut :

- a. Hitung panjang total gen yang ada dalam satu populasi, panjang total gen adalah  $\text{total\_gen} = (\text{jumlah gen dalam } chromosome) * \text{jumlahTitikPotensial}$ .
- b. Proses SF (*Inference*) :
  - IF (Iterasi is SHORT)  
THEN (*mutation\_rate* is VERY LARGE)
  - IF (Iterasi is MEDIUM)  
THEN (*mutation\_rate* is LARGE)
  - IF (Iterasi is LONG)  
THEN (*mutation\_rate* is MEDIUM)
  - IF (Iterasi is VERY LONG)  
THEN (*mutation\_rate* is SMALL)
- c. Hitung jumlah mutasi,  $\text{jumlah\_mutasi} = \text{round}(\text{mutation\_rate} * \text{total\_gen})$ .
- d. Pilih posisi gen yang mengalami mutasi dengan cara :
  - Bangkitkan suatu bilangan acak,  $\text{acak\_random} = \text{randperm}(\text{total\_gen})$ . Maka untuk  $\text{acak\_random} = \text{acak\_random} (1 : \text{jumlah\_mutasi})$  dan  $\text{acak\_posisi} = \text{acak\_random}$ . Jika syarat tersebut terpenuhi maka pilih posisi tersebut sebagai *sub-chromosome* yang mengalami mutasi.
  - Ganti nilai gen pada *sub-chromosome* dengan bilangan acak 0 sampai  $\text{total\_gen}$ .
  - Cek pengacakan nilai mutasi.
  - Cek jumlah *chromosome* terakhir serta dapat dicari *chromosome* tertinggi.

Setelah proses mutasi maka telah diselesaikan satu iterasi dalam Algoritma *Fuzzy* Evolusi ini atau disebut dengan satu generasi. Dan proses tersebut akan terus berjalan sampai jumlah iterasi maksimum yang sudah ditentukan yaitu 200. Dan iterasi akan menghentikan proses tersebut jika  $\text{rata\_akhir} \leq \text{rataakhir\_sebelumnya}$ . Maka setelah itu bisa diketahui jumlah iterasi yang berjalan dan didapatkan hasil akhirnya.



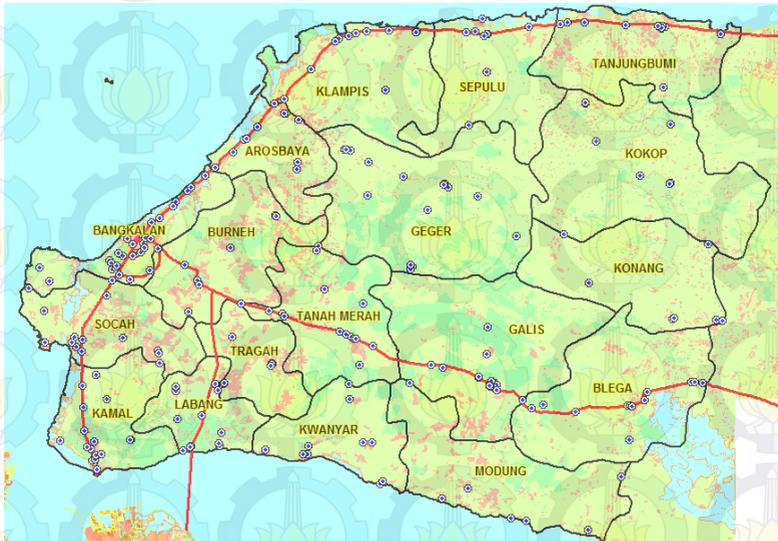
*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisa Data

#### 4.1.1 Data dan Lokasi Menara Telekomunikasi Eksisting

Sampai dengan bulan Agustus 2014, di Kabupaten Bangkalan terdapat 235 menara telekomunikasi dengan jumlah total BTS sebanyak 352. Dari jumlah tersebut, terdapat 18 perusahaan pemilik menara dengan 9 operator telekomunikasi yang melayani komunikasi seluler di Kabupaten Bangkalan. Ke sembilan operator telekomunikasi tersebut adalah Telkomsel, Indosat, XL, NTS, HCPT, Smartfren, Esia, STI dan Flexi. Untuk data menara telekomunikasi eksisting berdasarkan perusahaan pemilik menara dan persentase menara bersama di Kabupaten Bangkalan dapat dilihat pada Tabel 4.1. Dari data tersebut kemudian dapat diplot titik-titik menaranya berdasarkan posisi koordinat (*latitude* dan *longitude*) ke dalam peta digital Kabupaten Bangkalan dengan menggunakan *Map Info*. Untuk peta menara telekomunikasi eksisting di Kabupaten Bangkalan dapat dilihat pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Peta Menara Telekomunikasi Eksisting di Kabupaten Bangkalan

**Tabel 4.1** Data Menara Telekomunikasi Eksisting Berdasarkan Perusahaan Pemilik Menara dan Persentase Menara Bersama di Kabupaten Bangkalan[23]

No.	Perusahaan Pemilik Menara	Jumlah Menara	Jumlah Menara Bersama	Persentase Menara Bersama (%)
1.	PT. Axis Telekom Indonesia	12	2	16,7
2.	PT. Bakrie Telecom Tbk	3	2	66,7
3.	PT. Hutchison Charoen Pokphand Telecom	12	5	41,7
4.	PT. Indosat Tbk.	17	1	5,9
5.	PT. Profesional Telekomunikasi Indonesia (Protelindo)	5	2	40
6.	PT. Smartfren Telecom Tbk	5	3	60
7.	PT. Telekomunikasi Indonesia Tbk	8	3	37,5
8.	PT. Telekomunikasi Selular	41	10	24,4
9.	PT. Indonusa Mora Prakarsa	1	0	0
10.	PT. XL Axiata Tbk	79	47	59,5
11.	PT. Dayamitra Telekomunikasi (Mitratel)	1	0	0
12.	PT. Tower Bersama Group	33	13	39,4
13.	PT. ISP	1	0	0
14.	PT. Naragita Dinamika Komunika	3	2	66,7
16.	PT. Persada Sokka Tama	6	1	16,7
17.	PT. Sampoerna Telekomunikasi Indonesia	2	1	50
18.	PT. Sinar Rajawali Perkasa	1	0	0
19.	Tidak Diketahui	5	0	0
<b>Total</b>		<b>235</b>	<b>92</b>	<b>39,1</b>

Berdasarkan data menara telekomunikasi eksisting pada data diatas, dapat dilihat adanya kolokasi BTS antar operator seluler di menara telekomunikasi yang dimiliki perusahaan pemilik menara yang beroperasi sebesar 39,1 %. Artinya satu menara telekomunikasi bisa digunakan lebih dari satu operator seluler (*multi operator*).

#### 4.1.2 Data dan Lokasi Coverage Menara Telekomunikasi Eksisting

Data *coverage* menara telekomunikasi eksisting merupakan data area cakupan (*coverage*) BTS dari menara-menara telekomunikasi eksisting yang beroperasi di Kabupaten Bangkalan. *Coverage* menara telekomunikasi eksisting dapat diketahui dengan metode pemetaan luas area layanan BTS atau juga dapat disebut dengan metode *BTS Coverage Area Prediction*. *BTS Coverage Area Prediction* dalam penelitian ini menggunakan metode Okumura-Hata Model, yaitu formula empirik untuk estimasi *mean path loss* propagasi sinyal. Jadi *BTS Coverage Area Prediction* tiap area dapat dihitung dengan persamaan (2.7) dan (2.8) :

##### 1. Coverage BTS 2G

###### a) Area *sub-urban*[24]

- Frekuensi ( $f_c$ ) = 915 MHz
- EIRP = 34 dBm (maksimum)
- Sensitivity = -102 dBm (minimum)
- Margin = 15 dB
- MAPL = EIRP – Sensitivity – Margin  
= 34 – (-102) – 15  
= 121 dB

Untuk hasil perhitungan *BTS Coverage Area Prediction* 2G untuk area *sub-urban* dapat dilihat pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** *BTS Coverage Area Prediction* 2G Untuk Area *Sub-Urban*

hb (m)	A	B	C	Radius Coverage (m)	Luas Coverage (km <sup>2</sup> )
30	126,607	35,225	9,986	1.331	4,609
42	124,587	34,268	9,986	1.537	6,144
45	124,173	34,071	9,986	1.585	6,529
50	123,541	33,772	9,986	1.661	7,176
52	123,306	33,660	9,986	1.691	7,436
62	122,250	33,160	9,986	1.834	8,747
70	121,522	32,815	9,986	1.943	9,813
72	121,352	32,734	9,986	1.969	10,082

b) Area rural[24]

- Frekuensi ( $f_c$ ) = 915 MHz
- EIRP = 34 dBm (maksimum)
- Sensitivity = -102 dBm (minimum)
- Margin = 30 dB
- MAPL = EIRP – Sensitivity – Margin  
= 34 – (-102) – 30  
= 106 dB

Untuk hasil perhitungan *BTS Coverage Area Prediction 2G* untuk area rural dapat dilihat pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** *BTS Coverage Area Prediction 2G Untuk Area Rural*

hb (m)	A	B	D	Radius Coverage (m)	Luas Coverage (km <sup>2</sup> )
25	127,701	35,743	28,578	1.557	6,306
30	126,607	35,225	28,578	1.684	7,371
31	126,410	35,132	28,578	1.708	7,585
32	126,220	35,041	28,578	1.732	7,799
35	125,682	34,786	28,578	1.802	8,442
40	124,880	34,407	28,578	1.914	9,521
41	124,732	34,336	28,578	1.935	9,738
42	124,587	34,268	28,578	1.957	9,955
45	124,173	34,071	28,578	2.020	10,610
50	123,541	33,772	28,578	2.122	11,711
52	123,306	33,660	28,578	2.162	12,155
54	123,079	33,553	28,578	2.201	12,600
62	122,250	33,160	28,578	2.354	14,405
70	121,522	32,815	28,578	2.500	16,246
71	121,436	32,774	28,578	2.517	16,478
72	121,352	32,734	28,578	2.535	16,711
82	120,572	32,365	28,578	2.709	19,076

Peta *coverage* BTS 2G menara telekomunikasi eksisting menunjukkan data *BTS Coverage Area Prediction* 2G area *sub-urban* maupun *rural* sesuai dengan posisi koordinat masing-masing menara. Untuk peta *coverage* BTS 2G menara telekomunikasi eksisting di Kabupaten Bangkalan dapat dilihat pada Gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Peta *Coverage* BTS 2G Menara Telekomunikasi Eksisting di Kabupaten Bangkalan

## 2. *Coverage* BTS 3G

### a) Area *sub-urban*[25]

- Frekuensi ( $f_c$ ) = 2080 MHz
- EIRP = 24 dBm (maksimum)
- Sensitivity = -113 dBm (minimum)
- Margin = 15 dB
- MAPL = EIRP – Sensitivity – Margin  
 $= 24 - (-113) - 15$   
 $= 122$  dB

Untuk hasil perhitungan *BTS Coverage Area Prediction* 3G untuk area *sub-urban* dapat dilihat pada Tabel 4.4.

**Tabel 4.4** *BTS Coverage Area Prediction 3G Untuk Area Sub-Urban*

hb (m)	A	B	C	Radius Coverage (m)	Luas Coverage (km <sup>2</sup> )
42	133,917	34,268	12,401	1,033	2,774
45	133,503	34,071	12,401	1,063	2,935
50	132,871	33,772	12,401	1,110	3,203
51	132,752	33,715	12,401	1,119	3,257
62	131,580	33,160	12,401	1,216	3,847
70	130,851	32,815	12,401	1,283	4,279

b) Area rural[25]

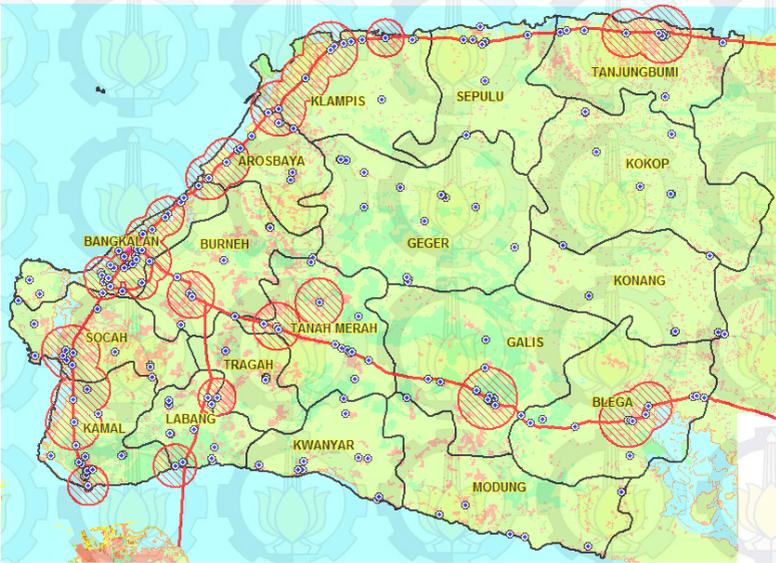
- Frekuensi ( $f_c$ ) = 2080 MHz
- EIRP = 24 dBm (maksimum)
- Sensitivity = -113 dBm (minimum)
- Margin = 30 dB
- MAPL = EIRP – Sensitivity – Margin = 107 dB

Untuk hasil perhitungan *BTS Coverage Area Prediction 3G* untuk area *rural* dapat dilihat pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.5** *BTS Coverage Area Prediction 3G Untuk Area Rural*

hb (m)	A	B	D	Radius Coverage (m)	Luas Coverage (km <sup>2</sup> )
30	135,937	35,225	32,746	1,283	4,278
35	135,012	34,786	32,746	1,368	4,866
41	134,062	34,336	32,746	1,464	5,572
42	133,917	34,268	32,746	1,479	5,690
50	132,871	33,772	32,746	1,598	6,639
51	132,752	33,715	32,746	1,612	6,758
52	132,635	33,660	32,746	1,626	6,878
70	130,851	32,815	32,746	1,867	9,059
72	130,682	32,734	32,746	1,892	9,305
82	129,902	32,365	32,746	2,014	10,551

Peta *coverage* BTS 3G menara telekomunikasi eksisting menunjukkan data *BTS Coverage Area Prediction* 3G area *sub-urban* maupun *rural* sesuai dengan posisi koordinat masing-masing menara. Untuk peta *coverage* BTS 3G menara telekomunikasi eksisting di Kabupaten Bangkalan dapat dilihat pada Gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Peta *Coverage* BTS 3G Menara Telekomunikasi Eksisting di Kabupaten Bangkalan

Dari hasil pemetaan luas *coverage* layanan BTS hasil *BTS Coverage Area Prediction* 2G dan 3G area *sub-urban* maupun *rural* sesuai dengan posisi koordinat masing-masing menara, maka dapat diketahui daerah atau wilayah mana saja di Kabupaten Bangkalan yang sudah mendapatkan dan belum mendapatkan layanan telekomunikasi seluler. Indikatornya dapat terlihat dalam peta *coverage* BTS 2G maupun BTS 3G masih terlihat *blank spot area*. Sesuai dengan tujuan perencanaan sel untuk mengurangi *blank spot area*, memaksimalkan area cakupan (*coverage area*) layanan seluler dan memenuhi kapasitas trafik serta tidak mengganggu keindahan suatu wilayah, maka perlu dilakukan penambahan menara baru di lokasi yang optimal sesuai dengan rencana tata ruang wilayah (RTRW) Kabupaten Bangkalan.

#### 4.1.3 Data dan Lokasi Titik Potensial Penempatan Menara Telekomunikasi Baru Bersama Berdasarkan RTRW

Daerah penempatan menara telekomunikasi baru bersama berupa titik-titik potensial sesuai Perda Kabupaten Bangkalan Nomor 10 Tahun 2009. Untuk peta lokasi titik-titik potensial dapat dilihat pada BAB III.

Titik-titik potensial tersebut dari Kawasan Pemukiman, Pusat Kegiatan Warga, Pusat Pemerintahan dan Pelayanan, Kawasan Strategis Ekonomi, Kawasan Industri dan Perdagangan, Kawasan Pariwisata dan Sosial Budaya dan Kawasan Militer sesuai posisi koordinat. Untuk data jumlah titik-titik potensial berdasarkan RTRW per kecamatan di Kabupaten Bangkalan dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Lampiran E.

**Tabel 4.6** Jumlah Titik-Titik Potensial Berdasarkan RTRW Per Kecamatan di Kabupaten Bangkalan[20]

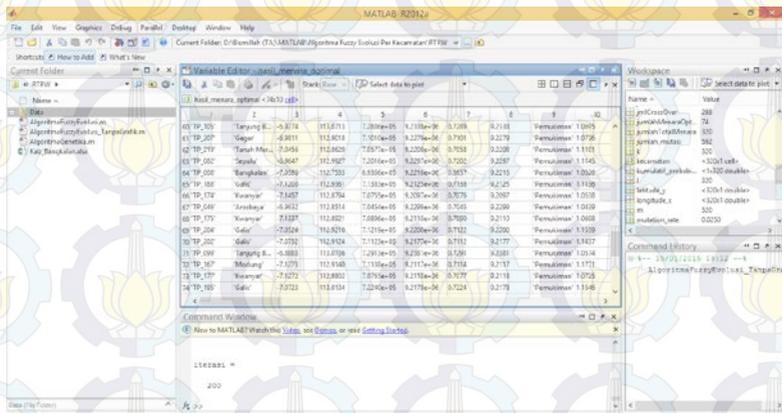
No.	Kecamatan	Jumlah Titik Potensial Berdasarkan RTRW
1.	Kamal	15
2.	Labang	19
3.	Kwanyar	19
4.	Modung	19
5.	Blega	21
6.	Konang	14
7.	Galis	22
8.	Tanah Merah	25
9.	Tragah	20
10.	Socah	17
11.	Bangkalan	18
12.	Burneh	14
13.	Arosbaya	21
14.	Geger	15
15.	Kokop	14
16.	Tanjung Bumi	17
17.	Sepulu	18
18.	Klampis	27
<b>Total</b>		<b>335</b>

## 4.2 Pembahasan

### 4.2.1 Hasil Implementasi Algoritma Fuzzy Evolusi

Berdasarkan Peraturan Bersama Menteri Nomor 18 Tahun 2009 tentang Pedoman Pembangunan dan Penggunaan Menara Bersama Telekomunikasi, bahwa tidak diperbolehkannya monopoli menara bersama di satu wilayah, pemberian kesempatan yang sama untuk semua operator telekomunikasi pada satu menara bersama dan memprioritaskan menara telekomunikasi eksisting sebagai menara bersama apabila berada di lokasi atau wilayah yang telah sesuai dengan rencana tata ruang wilayah (RTRW). Jadi lokasi penempatan menara telekomunikasi baru diambil dari titik-titik koordinat titik potensial berdasarkan RTRW.

Titik potensial adalah jumlah titik-titik koordinat berdasarkan RTRW yang akan diproses sesuai dengan perhitungan jumlah kebutuhan menara tahun 2019. Jadi dari jumlah titik potensial sebanyak 335 diambil 74 titik sesuai dengan perhitungan jumlah kebutuhan menara tahun 2019 yang paling optimal. Proses optimasi penentuan titik penempatan menara telekomunikasi baru bersama dilakukan dengan menggunakan *Matlab*. Implementasi Algoritma *Fuzzy Evolusi* prosesnya dilakukan dengan data seluruh kecamatan di Kabupaten Bangkalan. Untuk tampilan proses penentuan titik penempatan menara telekomunikasi baru bersama dalam *Matlab* dapat dilihat pada Gambar 4.4.



**Gambar 4.4** Tampilan Proses Penentuan Titik Penempatan Menara Telekomunikasi Baru Bersama Dalam *Matlab*

Pada tampilan proses di atas terlihat 74 titik-titik potensial yang terpilih adalah yang paling optimal. Terlihat pada tampilan proses di atas terdapat parameter-parameter yang digunakan untuk proses optimasi yang menunjukkan bahwa hasil tersebut adalah hasil yang paling optimal. Titik-titik tersebut merupakan titik-titik dengan nilai-nilai gen tertinggi dalam *chromosome* tertinggi. Untuk tampilan hasil *chromosome* tertinggi di *command window Matlab* dari titik penempatan menara telekomunikasi baru bersama dapat dilihat pada Gambar 4.5.

```

Command Window
New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.

chromosome_tertinggi =
Columns 1 through 9
1.0562 1.0500 1.1148 1.0670 0.8480 1.1234 0.7416 1.0515 1.0617
Columns 10 through 18
1.1891 1.1171 1.0583 1.0499 1.0512 1.1357 1.0483 0.9486 1.0736
Columns 19 through 27
1.0623 1.0675 1.0996 1.0567 0.8138 1.0963 1.0466 1.1255 1.0480
Columns 28 through 36
1.0736 1.1305 1.0866 1.1101 1.0511 1.0554 1.0658 1.1589 1.1127
Columns 37 through 45
1.1030 1.1058 1.0990 1.0622 1.0529 1.0392 1.1164 1.1115 1.1022
Columns 46 through 54
1.0816 1.0942 1.0982 1.1096 1.0486 1.1309 0.4407 1.1046 1.1479
Columns 55 through 63
1.0542 1.1213 1.1017 1.1066 1.0505 1.0695 1.0736 1.1101 1.1145
Columns 64 through 72
1.0526 1.1136 1.0538 1.0439 1.0698 1.1559 1.1437 1.0574 1.1771
Columns 73 through 74
1.0725 1.1546

iterasi =
200

fx >>
  
```

**Gambar 4.5** Tampilan Hasil *Chromosome* Tertinggi di *Command Window Matlab* Dari Titik Penempatan Menara Telekomunikasi Baru

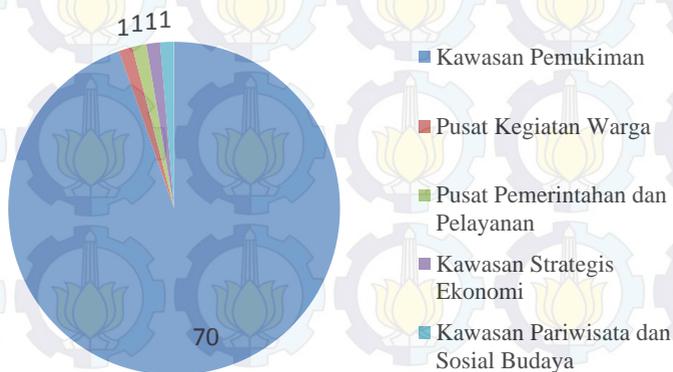
Pada tampilan hasil *chromosome* tertinggi, parameter yang digunakan adalah jumlah iterasi atau generasinya adalah 200, terlihat dari jumlah iterasi yang dilakukan sebanyak 200, iterasi tersebut adalah iterasi maksimal yang sudah ditentukan di awal. Hasil yang muncul pada *command window Matlab* pada gambar diatas adalah hasil akhir yang berupa kumpulan *chromosome* sesuai dengan jumlah titik potensial di kecamatan tersebut dan *chromosome* tertinggi yang terpilih adalah 74 titik dengan nilai-nilai gen tertinggi sesuai dengan jumlah menara bersama hasil prediksi di kecamatan tersebut.

Hasil penentuan titik penempatan menara telekomunikasi baru bersama menggunakan Algoritma *Fuzzy* Evolusi di Kabupaten Bangkalan dapat dilihat pada Lampiran G. Hasil tersebut merupakan hasil lengkap dari 74 titik yang terpilih yang paling optimal yang tersebar di seluruh kecamatan di Kabupaten Bangkalan dengan posisi koordinat (*latitude* dan *longitude*) titiknya dan total nilai prioritasnya. Sedangkan untuk peta hasil implementasi Algoritma *Fuzzy* Evolusi di Kabupaten Bangkalan dapat dilihat pada Gambar 4.6.



**Gambar 4.6** Peta Hasil Implementasi Algoritma *Fuzzy* Evolusi di Kabupaten Bangkalan

Dari hasil proses implementasi Algoritma *Fuzzy* Evolusi telah terpilih 74 titik penempatan menara telekomunikasi baru bersama sesuai dengan perhitungan jumlah kebutuhan menara tahun 2019 berdasarkan titik-titik koordinat titik potensial RTRW. Dari 74 titik tersebut yang tersebar di semua kecamatan di Kabupaten Bangkalan kecuali Kecamatan Kamal yang secara perhitungan kapasitas trafik di kecamatan tersebut tidak memerlukan penambahan kebutuhan menara sesuai perhitungannya untuk tahun 2019. Dari titik-titik terpilih, dapat dilihat bahwa 50% dari titik yang terpilih berada di tepi jalan utama provinsi atau jalan kabupaten yang merupakan sarana mobilitas penduduk. Selain itu juga terdapat titik-titik yang saling berdekatan, titik tersebut biasanya ada di wiliayah *sub-urban* yang mempunyai karakteristik jumlah penduduknya mulai padat, lalu lintas yang lumayan padat dan jumlah bangunan yang mulai padat, seperti terdapat pusat pemerintahan, pusat perbelanjaan, pusat kesehatan, pusat peribadatan dan sekolah. Sebagian besar titik-titik yang terplih adalah kawasan pemukiman dan sisanya adalah pusat kegiatan warga, pusat pemerintahan dan pelayanan, kawasan strategis ekonomi dan kawasan pariwisata dan sosial budaya. Untuk komposisi titik penempatan menara telekomunikasi baru bersama berdasarkan RTRW dapat dilihat pada Gambar 4.7.



**Gambar 4.7** Komposisi Titik Penempatan Menara Telekomunikasi Baru Bersama Berdasarkan RTRW

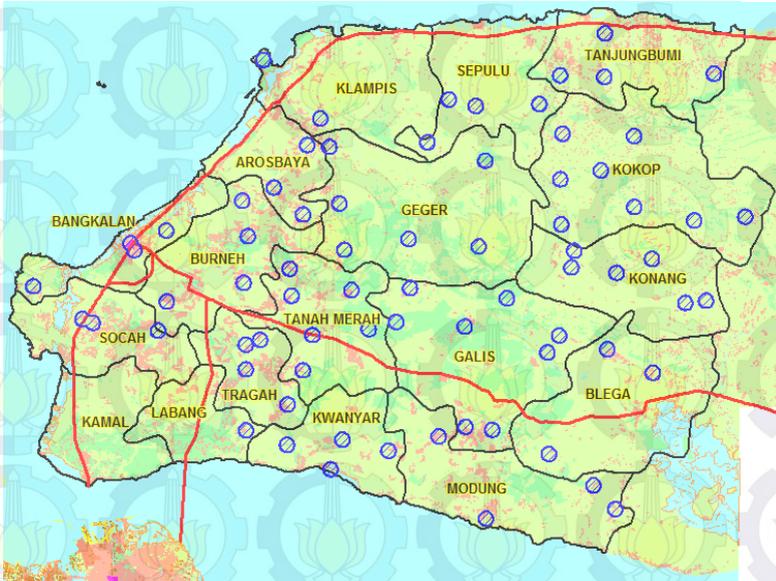
#### 4.2.2 Hasil Zona Pembangunan Menara Telekomunikasi Baru Bersama

Zona menara telekomunikasi baru bersama digambarkan dengan lingkaran berwarna biru atau bisa disebut dengan zona *cell planning*. Lingkaran berwarna biru tersebut merupakan *coverage* dari menara telekomunikasi baru bersama tersebut. Digambarkan dengan lingkaran biru bukan berupa titik karena agar pembangunan menara telekomunikasi baru bersama bisa disesuaikan dengan kondisi wilayah. Apabila koordinat titik penempatan menara telekomunikasi baru bersama tidak sesuai dengan kondisi wilayah di lapangan, maka koordinat titik tersebut dapat digeser di dalam lingkaran berwarna biru tersebut. Luas lingkaran berwarna biru merupakan luas wilayah yang disarankan untuk dapat dibangun titik menara telekomunikasi baru bersama.

Dalam menentukan lokasi menara telekomunikasi baru bersama ini menggunakan luas lingkaran dengan radius 500 m dari titik pusat penempatan menara telekomunikasi baru bersama. Hal tersebut dikarenakan Kabupaten Bangkalan belum memiliki peraturan khusus yang mengatur tentang pendirian menara telekomunikasi seluler bersama, maka diasumsikan digunakan radius luas lingkaran sebesar 500 m. Hal tersebut mengacu pada peraturan-peraturan Kabupaten di Provinsi Jawa Timur yang mengatur tentang pendirian menara telekomunikasi seluler bersama memiliki radius sekitar 300 – 500 m.

Berdasarkan perhitungan perhitungan jumlah kebutuhan menara tahun 2019 di Kabupaten Bangkalan terdapat 74 zona menara telekomunikasi baru bersama yang tersebar di semua kecamatan di Kabupaten Bangkalan kecuali Kecamatan Kamal yang secara perhitungan tidak memerlukan penambahan kebutuhan menara untuk tahun 2019. Hal tersebut dikarenakan menara telekomunikasi eksisting yang telah ada di Kecamatan Kamal mampu memenuhi kebutuhan penduduk akan layanan seluler.

Dalam masing-masing zona menara telekomunikasi baru bersama tersebut atau bisa disebut dengan zona *cell planning*. Setiap zona *cell planning* hanya diperbolehkan satu pembangunan menara telekomunikasi seluler baru bersama. Hal tersebut dikarenakan Kabupaten Bangkalan belum memiliki peraturan khusus yang mengatur tentang pendirian menara telekomunikasi seluler bersama. Untuk peta hasil zona pembangunan menara telekomunikasi baru bersama di Kabupaten Bangkalan dapat dilihat pada Gambar 4.8.



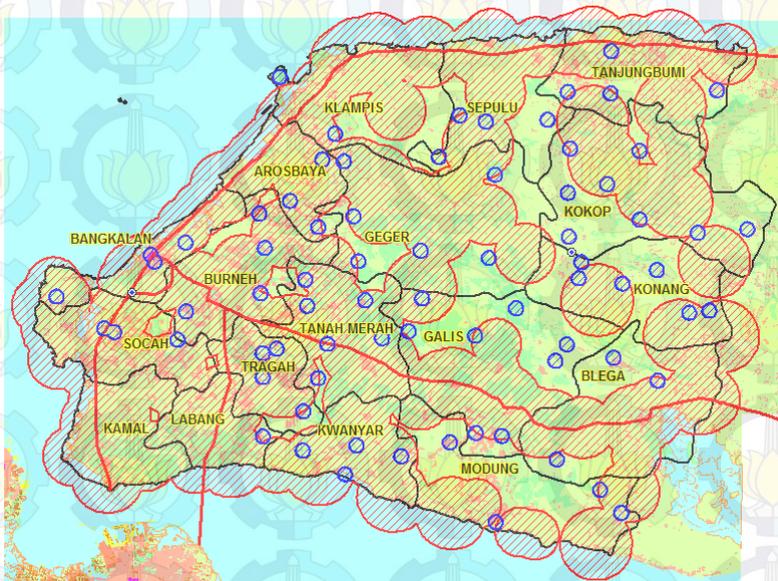
**Gambar 4.8** Peta Hasil Zona Pembangunan Menara Telekomunikasi Baru Bersama di Kabupaten Bangkalan

Luas zona pembangunan menara telekomunikasi baru akan memberikan gambaran luas wilayah yang bisa digunakan untuk membangun menara baru. Zona tersebut dengan radius 500 meter atau 0,5 km dengan jumlah zona adalah 74 zona. Maka akan didapatkan hasil untuk luas zona pembangunan menara telekomunikasi baru sebagai berikut :

- Luas per zona  
 Luas Zona  $= \pi r^2$   
 $= 3,14 \times 0,5^2$   
 $= 0,785 \text{ km}^2$
- Luas total keseluruhan zona  
 Luas Total  $= \text{Luas Zona} \times \text{Jumlah Total Zona}$   
 $= 0,785 \text{ km}^2 \times 74 \text{ zona}$   
 $= 58,09 \text{ km}^2$

Jadi total luas zona pembangunan menara telekomunikasi baru adalah  $58,09 \text{ km}^2$  sehingga dapat disesuaikan dengan kondisi wilayah.

Sedangkan jika zona pembangunan menara telekomunikasi baru bersama tersebut digabungkan dengan *BTS Coverage Area Prediction* menara telekomunikasi eksisting dapat diketahui zona pembangunan menara telekomunikasi baru bersama tersebut terletak di daerah mana dalam *BTS Coverage Area Prediction*. Jadi dapat dianalisis apakah zona pembangunan menara telekomunikasi baru bersama tersebut sudah menunjukkan lokasi yang tepat jika ditinjau dari sisi *coverage* menara telekomunikasi eksisting selain ditinjau berdasarkan rencana tata ruang wilayah. Karena penempatan menara telekomunikasi baru bersama juga mempertimbangkan lokasi menara eksisting agar dapat mengurangi dapat mengurangi *blank spot area*, memaksimalkan area cakupan (*coverage area*) layanan seluler. Untuk peta hasil zona pembangunan menara telekomunikasi baru bersama digabungkan dengan *coverage* menara eksisting di Kabupaten Bangkalan dapat dilihat pada Gambar 4.9.



**Gambar 4.9** Peta Hasil Zona Pembangunan Menara Telekomunikasi Baru Bersama Digabungkan Dengan *Coverage* Menara Eksisting di Kabupaten Bangkalan

### 4.2.3 Perbandingan Hasil Implementasi Algoritma Fuzzy Evolusi Dengan Metode Simulated Annealing

Karena penelitian ini merupakan sebuah rekomendasi bersama dengan hasil penelitian lain dengan wilayah yang sama yaitu di Kabupaten Bangkalan menggunakan Metode *Simulated Annealing*, maka diperlukan sebuah perbandingan hasil titik penempatan menara telekomunikasi baru bersama agar bisa diketahui metode mana yang paling efektif dan efisien untuk optimasi penempatan menara telekomunikasi baru bersama. Perbandingan cukup dilakukan dengan *sample* hasil untuk satu kecamatan saja yaitu Kecamatan Bangkalan, dengan demikian sudah bisa diketahui hasilnya. Berikut adalah hasil titik penempatan menara telekomunikasi baru bersama menggunakan Algoritma *Fuzzy Evolusi* dapat dilihat pada Tabel 4.7.

**Tabel 4.7** *Sample* Hasil Titik Penempatan Menara Telekomunikasi Baru Bersama Menggunakan Algoritma *Fuzzy Evolusi*

Site ID	Kecamatan	Latitude	Longitude	Daerah
TP_003	Bangkalan	-7,017512052	112,769928	Kawasan Pemukiman
TP_013	Bangkalan	-7,052109001	112,687813	Kawasan Pemukiman
TP_282	Bangkalan	-7,025525978	112,747892	Pusat Kegiatan Warga
TP_293	Bangkalan	-7,029628	112,750129	Pusat Pemerintahan dan Pelayanan

Untuk pembahasan hasil dari Algoritma *Fuzzy Evolusi* sudah dibahas dan dianalisa pada pada sub bab 4.2.1. Sedangkan untuk *sample* hasil titik penempatan menara telekomunikasi baru bersama menggunakan Metode *Simulated Annealing* dapat dilihat pada Tabel 4.8.

**Tabel 4.8** *Sample* Hasil Titik Penempatan Menara Telekomunikasi Baru Bersama Menggunakan Metode *Simulated Annealing*

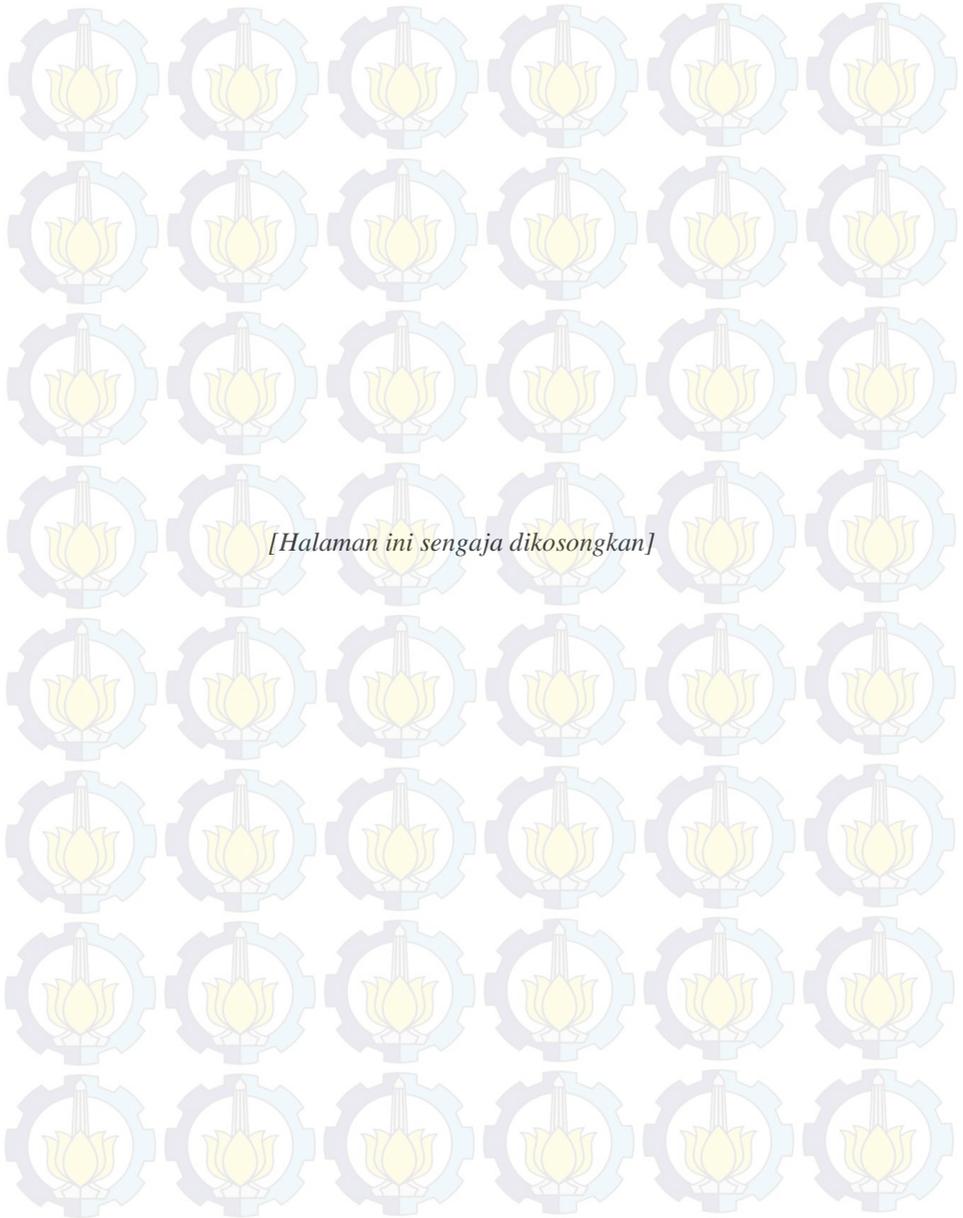
Site ID	Kecamatan	Latitude	Longitude
BGKL_240	Bangkalan	-7,033329802	112,742925
BGKL_241	Bangkalan	-7,013802391	112,7634617
BGKL_242	Bangkalan	-7,037044116	112,7380056
BGKL_243	Bangkalan	-7,020979924	112,7641916

Hasil titik penempatan menara telekomunikasi baru bersama dari kedua metode tersebut mempunyai hasil optimai yang berbeda, bisa dilihat dari posisi koordinat yang berbeda semua dari semua site id. Hal tersebut dikarenakan kedua metode tersebut memiliki karakteristik optimasi yang berbeda walaupun kedua metode yang digunakan menggunakan parameter titik potensial berdasarkan RTRW. Selain itu, Metode *Simulated Annealing* hanya menggunakan titik potensial RTRW sebagai acuan untuk mendapatkan posisi titik koordinat baru, bukan memilih titik dengan koordinat yang telah ada pada data titik potensial seperti yang digunakan pada penelitian ini. Jadi hasil yang didapatkan dari Metode *Simulated Annealing* merupakan titik dengan posisi koordinat baru, hal tersebut diindikasikan dengan tidak bisa diketahuinya titik tersebut termasuk dalam daerah sesuai dengan RTRW.

Sesuai hasil yang didapatkan dari kedua metode tersebut dapat disimpulkan bahwa dari masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan. Dan hal tersebut disesuaikan dengan masalah yang dicari dan penyesuaian karakteristik metode. Untuk peta perbandingan *sample* hasil optimasi kedua metode dapat dilihat pada Gambar 4.10.



**Gambar 4.10** Peta Perbandingan *Sample* Hasil Optimasi Kedua Metode



## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari keseluruhan proses perencanaan sel (*cell planning*) adalah sebagai berikut :

1. Kabupaten Bangkalan membutuhkan 546 BTS dengan 309 menara telekomunikasi seluler bersama untuk mencukupi kebutuhan trafik 2019. Berdasarkan jumlah kebutuhan BTS dan menara bersama, maka dibutuhkan penambahan jumlah BTS sebanyak 194 BTS dan 74 menara baru.
2. Hasil optimasi penempatan menara telekomunikasi seluler baru bersama dengan Algoritma *Fuzzy* Evolusi, terpilih 74 titik yang paling optimal dari 335 titik potensial sesuai dengan penambahan jumlah kebutuhan menara tahun 2019.
3. Titik-titik penempatan menara telekomunikasi seluler baru bersama tersebut, dijadikan 74 zona pembangunan menara baru bersama dengan radius 500 meter agar bisa disesuaikan dengan kondisi wilayah saat pembangunan menara. Untuk setiap zona tersebut hanya diperbolehkan satu pembangunan menara baru bersama.
4. Dari keseluruhan hasil optimasi Algoritma *Fuzzy* Evolusi ini dapat dipergunakan untuk mengoptimalkan penempatan lokasi menara telekomunikasi seluler baru bersama dengan memilih titik-titik potensial yang paling optimal dari posisi titik-titik koordinat berdasarkan rencana tata ruang wilayah.
5. Hasil optimasi penempatan lokasi menara telekomunikasi seluler baru bersama dengan Algoritma *Fuzzy* Evolusi dapat dijadikan rekomendasi bersama dengan metode *Simulated Annealing* karena hasilnya sudah optimal dan sesuai dengan penelitian sebelumnya bahwa kedua algoritma tersebut cocok untuk proses optimasi.

## 5.2 Saran

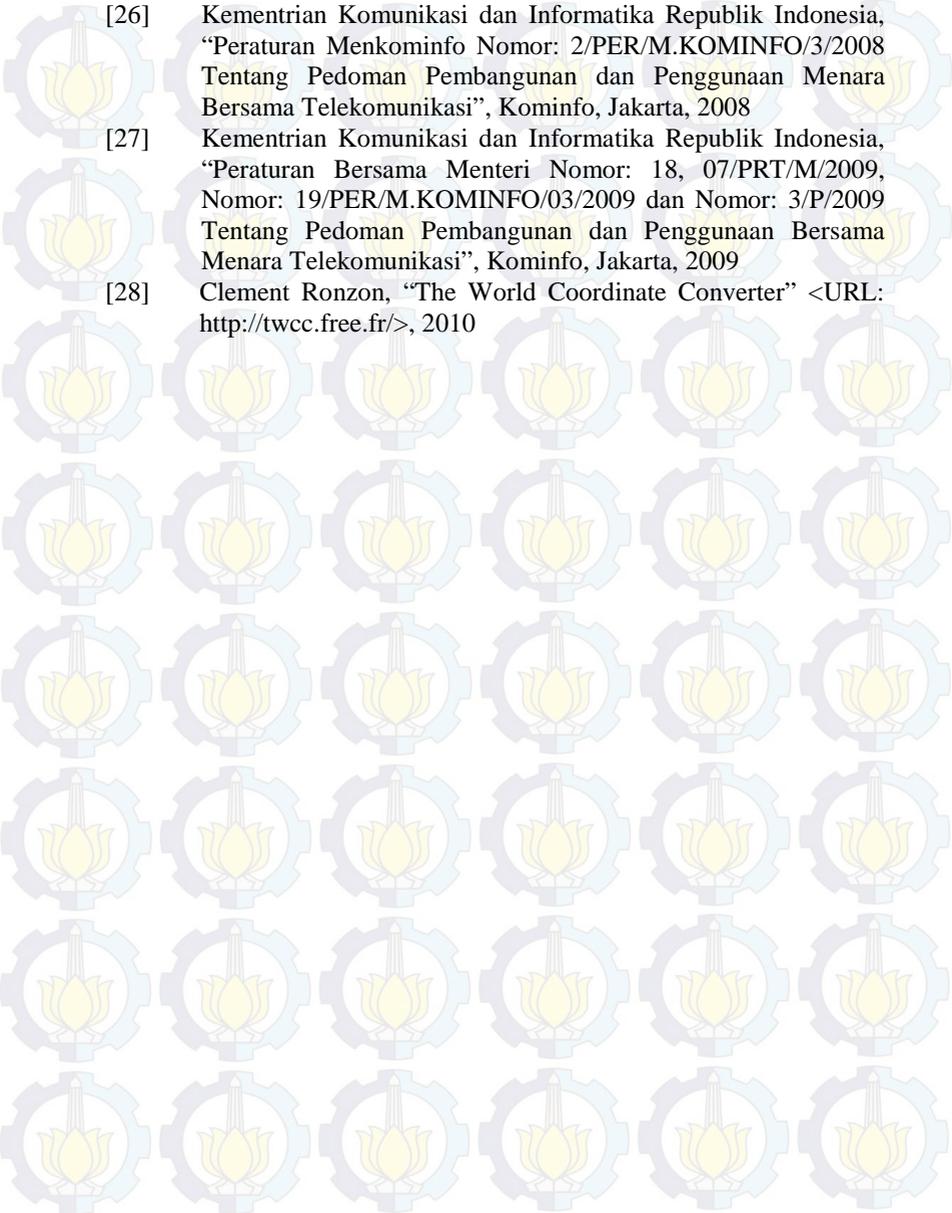
Saran untuk penelitian dan pengembangan lebih lanjut agar diperoleh hasil yang lebih maksimal adalah sebagai berikut :

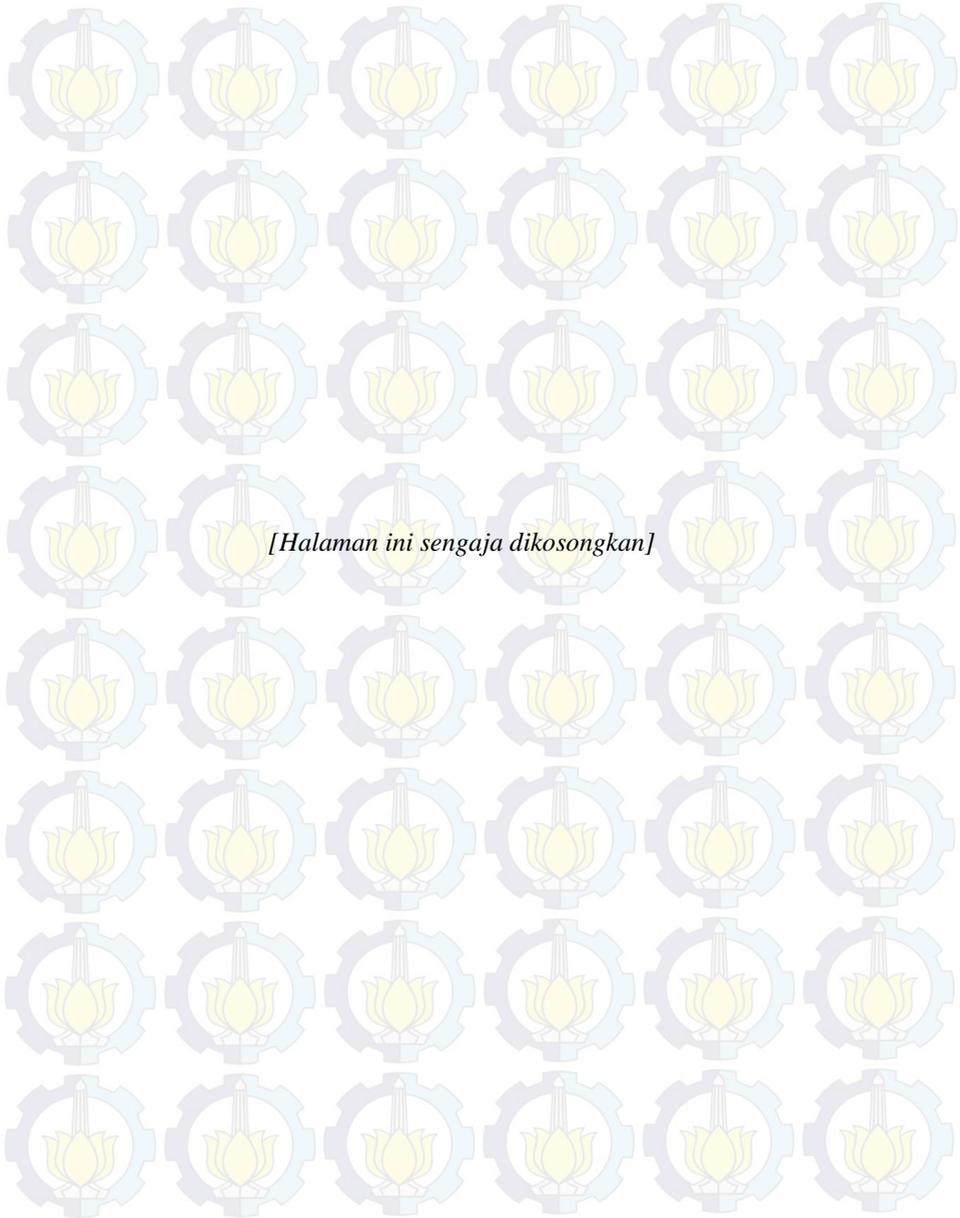
1. Perencanaan dan perhitungan jumlah kebutuhan BTS dan menara diperlukan penelitian dan pengembangan lebih lanjut mengenai perencanaan jaringan dan spesifikasi alat dan parameter input jaringan secara teknik dengan mempertimbangkan daya pancar, daya terima, *path loss*, sensitivitas alat dan lain-lain.
2. Untuk melakukan optimasi lokasi penempatan menara telekomunikasi baru bersama dengan menggunakan Algoritma *Fuzzy* Evolusi, perlu dilakukan pengembangan dengan menambah variabel penilaian *fitness* pada Algoritma Genetiknya seperti persebaran pengguna seluler dan *coverage area*. Pada Sistem *Fuzzy* perlu dilakukan studi kasus dengan menggunakan model aturan *fuzzy* yang diusulkan oleh pakar yang lain, seperti Herrera dan Lozano.
3. Untuk Pemerintah Daerah Kabupaten Bangkalan, diperlukan adanya peraturan daerah yang khusus mengatur dan membahas tentang penyelenggaraan dan retribusi pengendalian menara telekomunikasi agar pengaturan untuk menara telekomunikasi seluler bersama lebih maksimal dan terpantau. Serta dapat dijadikan sebagai acuan untuk zona penempatan menara telekomunikasi baru bersama.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Muzid, S., “Pemanfaatan Algoritma Fuzzy Evolusi Untuk Penyelesaian Kasus Travelling Salesman Problem”, Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi, pp. 1-6, Yogyakarta, Juni, 2008.
- [2] Bahri, S., “Konsep Dasar Telekomunikasi Seluler” <URL: <http://samsul-nar.blogspot.com/2009/04/konsep-dasar-telekomunikasi-seluler.html>>, April, 2009
- [3] Rappaport, T. S., “*Wireless Communications Principles and Praticce*”, Prentice Hall Inc., New Jersey, 2<sup>nd</sup> Edition, 2001.
- [4] Wibisono, G., Usman, U. K., dan Hantoro, G. D., “*Konsep Teknologi Seluler*”, Informatika, Bandung, 2008.
- [5] Daryani, Sri, “*Sistem Komunikasi Bergerak*”, Politeknik Negeri Jakarta, Jakarta, 2008.
- [6] Saunders, S. R., and Aragon-Zavala, A., “*Antennas and Propagation For Wireless Communication Systems*”, John Wiley and Sons Ltd., England, 2<sup>nd</sup> Edition, 2007.
- [7] Suwadi, “*Diktat Trafik*”, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2012.
- [8] Fauzi, A., “Perencanaan Kebutuhan Base Transceiver Station (BTS) dan Optimasi Penempatan Menara Bersama Telekomunikasi”, Prosiding Seminar Tantangan dan Peluang dalam Pembangunan Masyarakat Informasi Indonesia, pp. 443-453, Padang, November, 2013
- [9] Manjayanti, D. A., “Perencanaan dan Penataan Menara Telekomunikasi Seluler di Kabupaten Bangkalan Menggunakan Map Info”. POMITS Jurnal Teknik ITS, Vol 3, No. 1, Januari, 2014.
- [10] Rizki, A, “Mengenal Jaringan GSM (Global System For Mobile Communication)” <URL: <http://www.adityarizki.net/2012/03/mengenal-jaringan-gsm-global-system-for-mobile-communication/>>, Maret, 2012
- [11] Direktur Jenderal Penataan Ruang Kementerian Pekerjaan Umum, “Surat Edaran Nomor: 06/SE/Dr/2011 Tentang Petunjuk Teknis Kriteria Lokasi Menara Telekomunikasi”, Dirjen Penataan Ruang KemenPU, Jakarta, 2011
- [12] Direktur Jenderal Pajak, “Petunjuk Teknis Penilaian Bangunan Khusus”, SE-17/PJ.6/2003, Dirjen Pajak, Jakarta, 2003

- [13] Suyanto, *“Evolutionary Computation”*, Informatika, Bandung, 2008.
- [14] Suyanto, *“Soft Computing”*, Informatika, Bandung, 2008.
- [15] Fachrie M., *“Implementasi Fuzzy Evolutionary Algorithms Untuk Penentuan Posisi Base Transceiver Station (BTS)”*, Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi, pp. 1-7, Yogyakarta, Juni, 2012
- [16] Suyanto, *“Algoritma Genetika Dalam Matlab”*, Andi Offset, Yogyakarta, 1<sup>st</sup> Edition, 2005.
- [17] Kusumadewi, Sri, *“Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya)”*, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2003.
- [18] Suyanto, *“Artificial Intelligence”*, Informatika, Bandung, 2008.
- [19] Badan Pusat Statistik Kabupaten Bangkalan, *“Kabupaten Bangkalan Dalam Angka 2010 Bangkalan In Figures”*, Badan Pusat Statistik Kabupaten Bangkalan, Bangkalan, 2010
- [20] Pemerintah Kabupaten Bangkalan, *“Peraturan Daerah Kabupaten Bangkalan Nomor 10 Tahun 2009 Tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Bangkalan Tahun 2009 – 2029”*, Pemerintah Kabupaten Bangkalan, Bangkalan, 2009
- [21] Tim Indikator TIK Indonesia, *“Indikator TIK 2011”*, Puslitbang Penyelenggaraan Komunikasi dan Informatika Kementerian Kominfo, Jakarta, 2011
- [22] Hermawanto, D, *“Algoritma Genetika dan Contoh Aplikasinya”* <URL: <http://www.firman-its.com/2007/05/17/algorithm-genetika-dan-contoh-aplikasinya/>>, Mei, 2007
- [23] Konsultan PT. Dibyacipta Primasol, *“Data Site Bangkalan-1”*, PT. Dibyacipta Primasol, Surabaya, 2014
- [24] Dirjen Pos dan Telekomunikasi, *“Peraturan Direktur Jenderal Pos dan Telekomunikasi Nomor: 370/DIRJEN/2010 Penetapan Persyaratan Teknis Alat dan Perangkat Telekomunikasi Untuk Pesawat Telepon Seluler Global System For Mobile (GSM)”*, Dirjen Postel, Jakarta, 2010
- [25] Dirjen Pos dan Telekomunikasi, *“Peraturan Direktur Jenderal Pos dan Telekomunikasi Nomor: 264/DIRJEN/2005 Persyaratan Teknis Alat dan Perangkat Customer Premises Equipment (CPE) Universal Mobile Telecommunication System – Time Division Duplexing (UMTS – TDD)”*, Dirjen Postel, Jakarta, 2005

- 
- [26] Kementerian Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia, “Peraturan Menkominfo Nomor: 2/PER/M.KOMINFO/3/2008 Tentang Pedoman Pembangunan dan Penggunaan Menara Bersama Telekomunikasi”, Kominfo, Jakarta, 2008
- [27] Kementerian Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia, “Peraturan Bersama Menteri Nomor: 18, 07/PRT/M/2009, Nomor: 19/PER/M.KOMINFO/03/2009 dan Nomor: 3/P/2009 Tentang Pedoman Pembangunan dan Penggunaan Bersama Menara Telekomunikasi”, Kominfo, Jakarta, 2009
- [28] Clement Ronzon, “The World Coordinate Converter” <URL: <http://twcc.free.fr/>>, 2010



*[Halaman ini sengaja dikosongkan]*

# LAMPIRAN A PROPOSAL TUGAS AKHIR

Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri - ITS

TE 141599 TUGAS AKHIR – 4 SKS

Nama Mahasiswa : Raka Kusuma Landyanto  
Nomor Pokok : 2212106015  
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia  
Tugas Diberikan : Semester Gasal 2014/2015  
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.  
Judul Tugas Akhir : **Optimasi Penempatan Lokasi Menara Baru Bersama Pada Sistem Telekomunikasi Seluler di Kabupaten Bangkalan Menggunakan Algoritma Fuzzy Evolusi**  
(*Placement Optimization of New Joint Tower Location on Cellular Telecommunication System in Bangkalan Regency Using Fuzzy Evolutionary Algorithms*)

23 SEP 2014

## Uraian Tugas Akhir :

Pada sistem seluler dibutuhkan perencanaan sel dengan tujuan untuk dapat melayani pengguna saat berkomunikasi dengan pengguna lain yang berada dalam jangkauan dengan sebuah *Base Transceiver Station* (BTS). Penempatan BTS yang baik dan tepat diharapkan dapat mengurangi *blank spot area* dan dapat memenuhi kapasitas trafik serta *coverage area*. Algoritma Fuzzy Evolusi adalah sebuah *hybrid system* yang menggabungkan Algoritma Genetika (AG) dan Sistem Fuzzy (SF). SF digunakan untuk mengatur nilai probabilitas rekombinasi (Pc) dan probabilitas mutasi (Pm) selama proses evolusi pada AG berlangsung agar performa AG meningkat dan untuk menghindari terjadinya kondisi konvergensi prematur. Tugas akhir ini bertujuan untuk menerapkan Algoritma Fuzzy Evolusi untuk mengoptimasi penempatan lokasi menara baru telekomunikasi seluler bersama dengan mempertimbangkan posisi menara yang telah ada sebelumnya dan estetika lingkungan serta tata ruang wilayah di Kabupaten Bangkalan untuk 5 tahun ke depan.

Dosen Pembimbing,

Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT.  
NIP. 1961 09 03 1989 03 1001

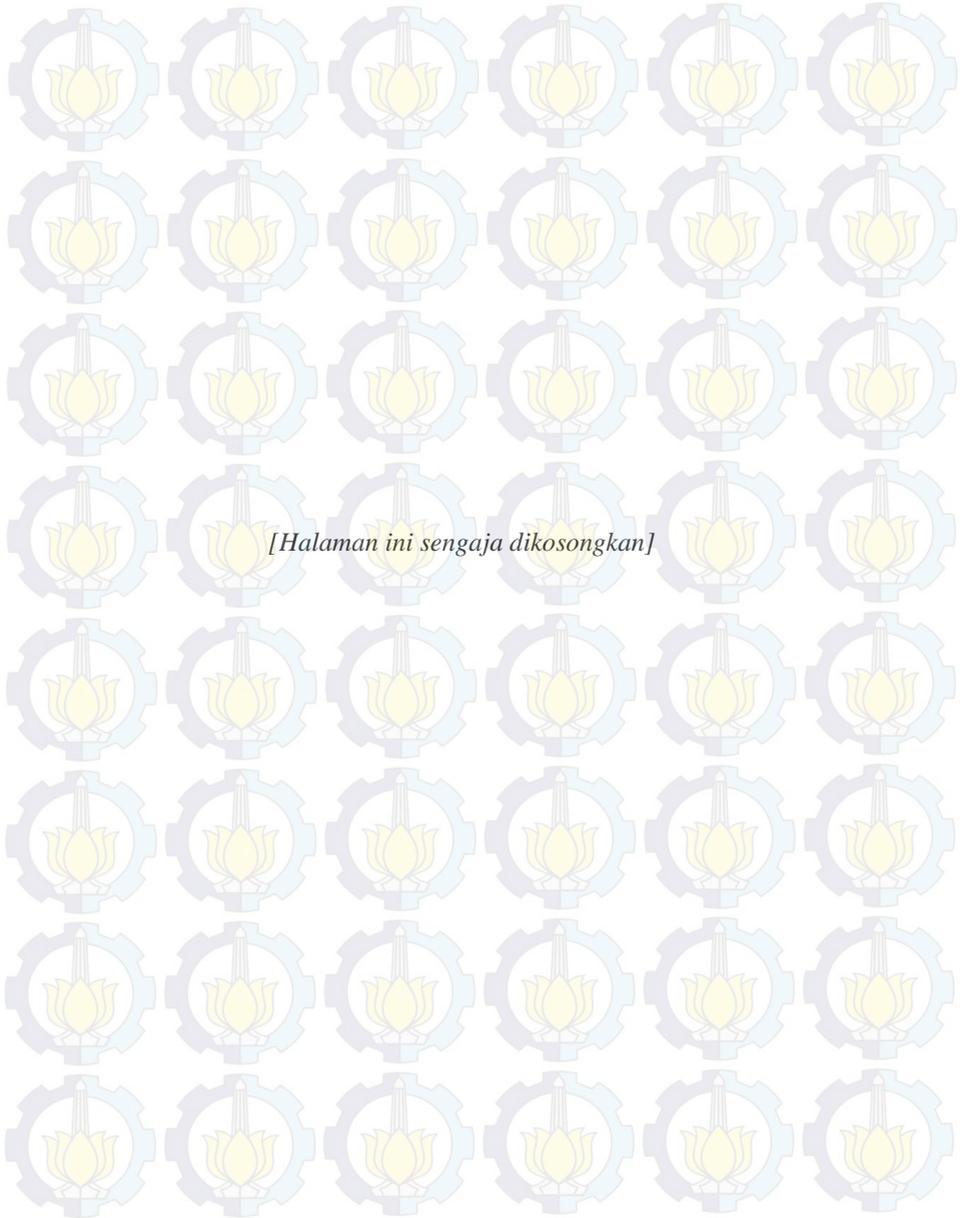
Mengetahui,  
Jurusan Teknik Elektro FTI – ITS  
Ketua,

Menyetujui,  
Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia  
Koordinator,

Dr. Tri Arief Sardiono, ST., MT.  
NIP. 1970 02 12 1995 12 1001

Dr. Ir. Endrovo, DEA  
NIP. 1965 04 04 1991 02 1001

Gambar A.1 Lembar Pengesahan Proposal Tugas Akhir



## LAMPIRAN B SURAT IJIN PENELITIAN DAN BANTUAN DATA



### KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

Gedung B & C, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Telp. (031) 5947302, 5994251-55 (Ext.1206, 1239) Fax. (031) 5931237

Email: [elits@ee.its.ac.id](mailto:elits@ee.its.ac.id) ; [www.ee.its.ac.id](http://www.ee.its.ac.id)

Nomor  
Lampiran  
Hal : 00147 /IT2.1.2/PP.05.02/2014  
1 (satu) set  
Penelitian Tugas Akhir  
dan bantuan data

28 Oktober 2014

Kepada : Yth. Kepala  
Badan Kesatuan Bangsa dan Politik  
Jawa Timur  
Jl. Putat Indah 1  
Surabaya (60189)

Dengan ini kami hadapkan mahasiswa :

Nama : Raka Kusuma Landyanto  
Nomor Pokok : 2212106015  
Tahap Pendidikan : Sarjana, Jurusan Teknik Elektro FTI - ITS  
Bidang Studi : Telekomunikasi Multimedia

yang sedang mengambil Tugas Akhir dengan judul :

***Optimasi Penempatan Lokasi Menara Baru Bersama Pada Sistem Telekomunikasi Seluler di Kabupaten Bangkalan Menggunakan Algoritma Fuzzy Evolusi***

Sehubungan dengan hal tersebut diatas, kami mohon agar mahasiswa yang bersangkutan bisa mendapatkan kesempatan untuk melaksanakan penelitian / pencarian data dan informasi yang berhubungan dengan tugas akhirnya di Instansi Saudara. Apabila memungkinkan kami mengharapkan hal tersebut dapat dilaksanakan mulai tanggal 3 November 2014, selama 1 (satu) bulan.

Atas perhatian dan bantuan yang diberikan kami ucapkan terima kasih.

Kepala,



Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT.  
NIP. 197002121995121001

**Gambar B.1** Surat Permohonan Ijin Penelitian dan Bantuan Data



PEMERINTAH PROVINSI JAWA TIMUR  
**BADAN KESATUAN BANGSA DAN POLITIK**  
JALAN PUTAT INDAH NO.1 TELP. (031) - 5677935, 5681297, 5675493  
SURABAYA - (60189)

**REKOMENDASI PENELITIAN/SURVEY/KEGIATAN**  
Nomor : 070/ 10262 /203.3/2014

- Dasar** : 1. Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 64 tahun 2011 tentang Pedoman Penerbitan Rekomendasi Penelitian, sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 7 tahun 2014 tentang Perubahan atas Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 64 tahun 2011 ;  
2. Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 101 Tahun 2008 tentang Uraian Tugas Sekretariat, Bidang, Sub Bagian dan Sub Bidang Badan Kesatuan Bangsa dan Politik Provinsi Jawa Timur.
- Menimbang** : Surat Kepala Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya tanggal 28 Oktober 2014 Nomor : 00147/IT2.1.2/PP.05.02/2014 perihal Penelitian Tugas Akhir dan bantuan data atas nama Raka Kusuma Landyanto.

**Gubernur Jawa Timur, memberikan rekomendasi kepada :**

- a. Nama : Raka Kusuma Landyanto  
b. Alamat : Dukuh Lor RT 027 RW 015 Pakahan, Jogonalan Kab. Klaten Prov. Jawa Tengah  
c. Pekerjaan/Jabatan : Mahasiswa  
d. Instansi/Organisasi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya  
e. Kebangsaan : Indonesia

**Untuk melakukan penelitian/survey/kegiatan dengan :**

- a. Judul Proposal : "Optimasi Penempatan Lokasi Menara Baru Bersama Pada Sistem Telekomunikasi Seluler di Kabupaten Bangkalan menggunakan Algoritma Fuzzy Evolusi"  
b. Tujuan : Optimasi Cell Planning  
c. Bidang Penelitian : Telekomunikasi Multimedia  
d. Penanggung Jawab : Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT  
e. Anggota/Peserta : -  
f. Waktu Penelitian : 2 bulan  
g. Lokasi Penelitian : Kabupaten Bangkalan

**Dengan ketentuan**

1. Berkewajiban menghormati dan menaati peraturan dan tata tertib di daerah setempat / lokasi penelitian/survey/kegiatan;
2. Pelaksanaan penelitian agar tidak disalahgunakan untuk tujuan tertentu yang dapat mengganggu kestabilan keamanan dan ketertiban di daerah/lokasi setempat ;
3. Wajib melaporkan hasil penelitian dan sejenisnya kepada Gubernur Jawa Timur melalui Badan Kesatuan Bangsa dan Politik Provinsi Jawa Timur dalam kesempatan pertama.

Demikian rekomendasi ini dibuat untuk dipergunakan seperlunya.

Surabaya, 10 Nopember 2014  
an. KEPALA BADAN KESATUAN BANGSA DAN POLITIK  
PROVINSI JAWA TIMUR  
Kepala Bidang Budaya Politik

**Drs. SUSANTO, M.Si**

Tempina Tk. I  
NIP. 19590503 198504 1 012

**Tembusan :**

- Yth. 1. Gubernur Jawa Timur (sebagai laporan);  
2. Kepala Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya di Surabaya;  
3. Yang bersangkutan.

**Gambar B.2 Surat Rekomendasi Untuk Melakukan Penelitian**



PEMERINTAH KABUPATEN BANGKALAN  
**BADAN KESATUAN BANGSA DAN POLITIK**  
JL. SOEKARNO HATTA NO. 37 TELP/FAX. (031) 3091577  
B A N G K A L A N

**REKOMENDASI PENELITIAN**  
**NOMOR : 072 / 813 / 433.202 / 2014**

**Dasar**

1. Undang - Undang Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2004 tentang Pemerintahan Daerah, sebagaimana telah diubah beberapa kali, terakhir dengan Undang-Undang Nomor 12 Tahun 2008;
2. Permendagri Nomor 7 Tahun 2014 tentang Perubahan atas Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 64 Tahun 2011 tentang Pedoman Penerbitan Rekomendasi Penelitian;
3. Peraturan Daerah Kabupaten Bangkalan Nomor 11 Tahun 2012 tentang Perubahan Kedua atas Peraturan Daerah Kabupaten Bangkalan Nomor 4 Tahun 2008 tentang Organisasi dan Tata Kerja Lembaga Teknis;
4. Peraturan Bupati Bangkalan Nomor 18 Tahun 2011 tentang Perubahan Atas Peraturan Bupati Bangkalan Nomor 37 Tahun 2008 tentang Rincian Tugas, Fungsi dan Tata Kerja Badan Kesatuan Bangsa, Politik dan Perlindungan Masyarakat.

**Memimbang**

- a. bahwa untuk tertib administrasi dan pengendalian pelaksanaan penelitian dan pengembangan perlu diterbitkan rekomendasi penelitian
- b. bahwa sesuai Surat Badan Kesatuan Bangsa Provinsi Jawa Timur, Tanggal 10 November 2014, Nomor : 070/10263/203.3/2014 Perihal Pengantar Penelitian
- c. bahwa sesuai konsideran huruf a dan b, serta hasil verifikasi Badan Kesatuan Bangsa dan Politik Kabupaten Bangkalan, berkas persyaratan administrasi penelitian telah memenuhi syarat sesuai pasal 4, 5 dan 6 Peraturan menteri Dalam Negeri Republik Indonesia Nomor 64 Tahun 2011 tentang Pedoman Penerbitan Rekomendasi Penelitian.

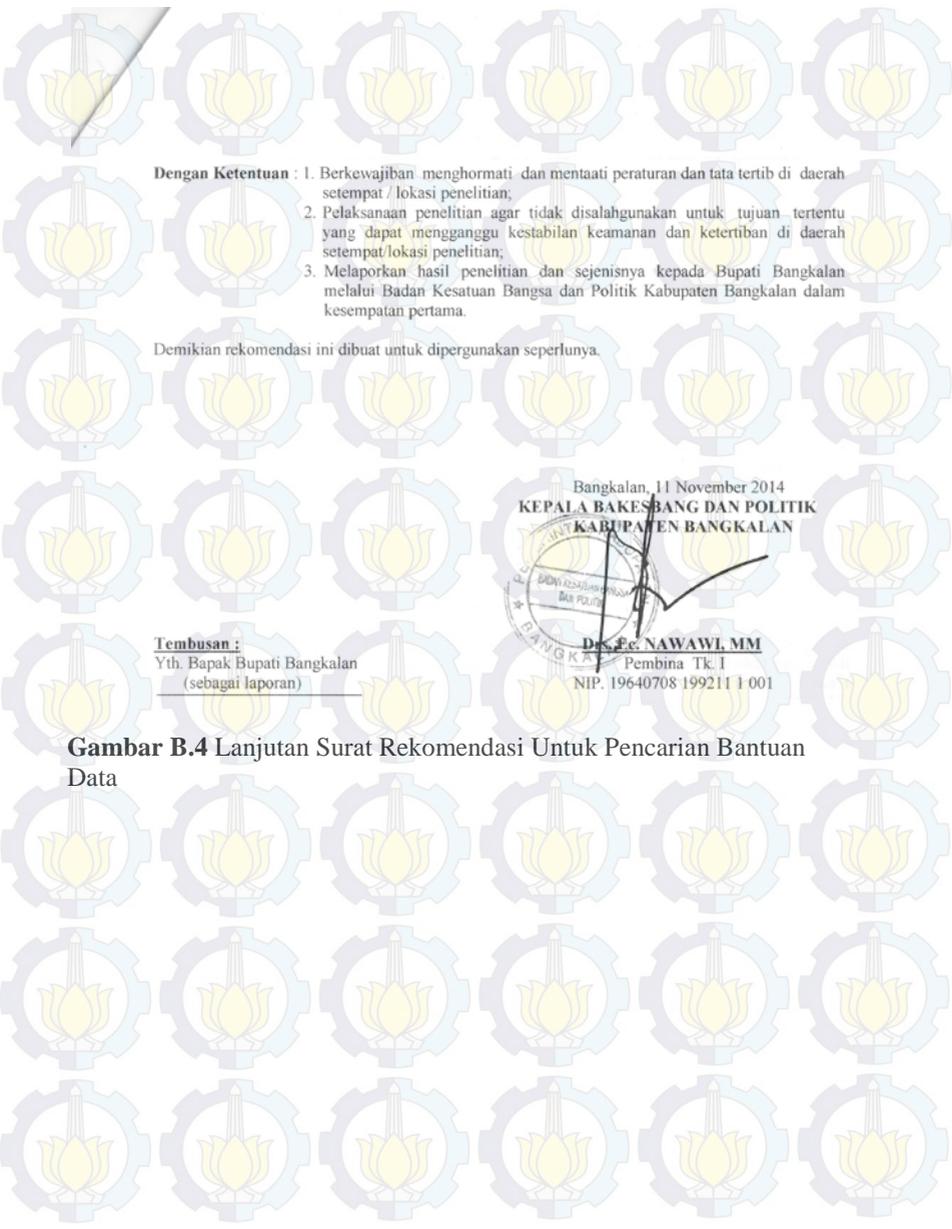
**Badan Kesatuan Bangsa dan politik Kabupaten Bangkalan, memberikan rekomendasi kepada :**

- |                                    |   |
|------------------------------------|---|
| a. Nama                            | : RAKA KUSUMA LANDYANTO                                   |
| b. Alamat                          | : Dukuh Lor Rt. 027/Rw. 015 Pakahan, Klaten – Jawa Tengah |
| c. Pekerjaan/Jabatan               | : Mahasiswa   |
| d. Instansi/Civitas/<br>Organisasi | : Institut Teknologi sepuluh Nopember Surabaya            |
| e. Kebangsaan                      | : Indonesia   |

**Untuk mengadakan PENELITIAN / SURVEY / RESEARCH dengan :**

- |                      |  |
|----------------------|--|
| a. Judul             | : Optimasi penempatan lokasi menara baru bersama pada system telekomunikasi seluler di Kabupaten Bangkalan menggunakan Algoritma Fuzzy Evolusi |
| b. Bidang Penelitian | : Telekomunikasi Multimedia  |
| c. Tujuan            | : Mencari Data   |
| d. Status Penelitian | : S1   |
| e. Pembimbing        | : Dr. Ir. Achmad Mauludiyanto, MT  |
| f. Anggota           | : -  |
| g. Waktu             | : 11 November 2014 s/d 11 Januari 2015   |
| h. Tempat/Lokasi     | : Bappeda Kabupaten Bangkalan  |

**Gambar B.3** Surat Rekomendasi Untuk Pencarian Bantuan Data

- 
- Dengan Ketentuan :**
1. Berkeajiban menghormati dan mentaati peraturan dan tata tertib di daerah setempat / lokasi penelitian;
  2. Pelaksanaan penelitian agar tidak disalahgunakan untuk tujuan tertentu yang dapat mengganggu kestabilan keamanan dan ketertiban di daerah setempat/lokasi penelitian;
  3. Melaporkan hasil penelitian dan sejenisnya kepada Bupati Bangkalan melalui Badan Kesatuan Bangsa dan Politik Kabupaten Bangkalan dalam kesempatan pertama.

Demikian rekomendasi ini dibuat untuk dipergunakan seperlunya.

Bangkalan, 11 November 2014  
**KEPALA BAKESBANG DAN POLITIK  
KABUPATEN BANGKALAN**



**Dr. Fe. NAWAWI, MM**  
Pembina Tk. I  
NIP. 19640708 199211 1 001

**Tembusan :**  
Yth. Bapak Bupati Bangkalan  
(sebagai laporan)

**Gambar B.4** Lanjutan Surat Rekomendasi Untuk Pencarian Bantuan Data

## LAMPIRAN C

### DATA MENARA TELEKOMUNIKASI EKSISTING DI KABUPATEN BANGKALAN

**Tabel C.1** Data Menara Telekomunikasi Eksisting di Kabupaten Bangkalan

Site ID	Kecamatan	Longitude	Latitude	Tinggi Menara (m)	Jumlah BTS
BGKL-001	Bangkalan	112.761450	-7.013620	42	2
BGKL-002	Bangkalan	112.756020	-7.016350	50	3
BGKL-003	Bangkalan	112.756030	-7.016420	45	1
BGKL-004	Bangkalan	112.771400	-7.003420	51	1
BGKL-005	Bangkalan	112.769510	-7.005810	70	1
BGKL-006	Bangkalan	112.790100	-6.986510	50	2
BGKL-007	Bangkalan	112.746560	-7.035330	42	2
BGKL-008	Bangkalan	112.749540	-7.034900	42	1
BGKL-009	Bangkalan	112.744610	-7.036860	42	5
BGKL-010	Bangkalan	112.744580	-7.029880	72	1
BGKL-011	Arosbaya	112.795490	-6.982220	72	2
BGKL-012	Arosbaya	112.796460	-6.981420	45	1
BGKL-013	Arosbaya	112.807590	-6.971730	50	1
BGKL-014	Tanah Merah	112.889670	-7.066550	52	1
BGKL-015	Bangkalan	112.738230	-7.037180	30	2
BGKL-016	Bangkalan	112.735490	-7.035450	72	1
BGKL-017	Bangkalan	112.751070	-7.029460	30	1
BGKL-018	Bangkalan	112.751600	-7.032130	62	1
BGKL-019	Bangkalan	112.729880	-7.039990	30	2
BGKL-020	Bangkalan	112.730770	-7.041450	62	1
BGKL-021	Bangkalan	112.731660	-7.045870	62	2

Site ID	Kecamatan	Longitude	Latitude	Tinggi Menara (m)	Jumlah BTS
BGKL-022	Bangkalan	112.733950	-7.044370	72	1
BGKL-023	Bangkalan	112.734420	-7.043190	42	1
BGKL-024	Bangkalan	112.735760	-7.048830	30	0
BGKL-025	Bangkalan	112.743060	-7.051550	50	1
BGKL-026	Bangkalan	112.755150	-7.046370	50	1
BGKL-027	Bangkalan	112.751440	-7.024930	30	1
BGKL-028	Bangkalan	112.752450	-7.025570	62	2
BGKL-029	Bangkalan	112.755530	-7.026330	30	2
BGKL-030	Bangkalan	112.740890	-7.026440	42	2
BGKL-031	Bangkalan	112.779050	-6.996380	70	1
BGKL-032	Bangkalan	112.781200	-6.993890	52	1
BGKL-033	Bangkalan	112.685820	-7.044870	72	2
BGKL-034	Bangkalan	112.692130	-7.053410	72	1
BGKL-035	Arosbaya	112.840550	-6.947710	70	1
BGKL-036	Arosbaya	112.839610	-6.947570	70	3
BGKL-037	Klampus	112.839660	-6.938760	70	1
BGKL-038	Arosbaya	112.848630	-6.951190	50	1
BGKL-039	Arosbaya	112.847470	-6.982450	52	1
BGKL-040	Arosbaya	112.848300	-6.978182	70	2
BGKL-041	Arosbaya	112.814410	-6.964130	50	1
BGKL-042	Arosbaya	112.816020	-6.963200	50	1
BGKL-043	Arosbaya	112.822850	-6.955810	50	2
BGKL-044	Klampus	112.833310	-6.941430	52	1
BGKL-045	Klampus	112.833270	-6.941490	50	2
BGKL-046	Klampus	112.856320	-6.919870	50	3
BGKL-047	Burneh	112.834010	-7.011500	50	1
BGKL-048	Burneh	112.834420	-7.011180	70	1

Site ID	Kecamatan	Longitude	Latitude	Tinggi Menara (m)	Jumlah BTS
BGKL-049	Burneh	112.834850	-7.011690	52	2
BGKL-050	Burneh	112.786050	-7.053790	50	2
BGKL-051	Burneh	112.784960	-7.052390	70	2
BGKL-052	Burneh	112.786636	-7.054850	72	2
BGKL-053	Burneh	112.779650	-7.072000	50	1
BGKL-054	Burneh	112.805990	-7.031990	52	1
BGKL-055	Burneh	112.760910	-7.032780	30	1
BGKL-056	Burneh	112.760100	-7.032830	42	3
BGKL-057	Burneh	112.777340	-7.042730	54	4
BGKL-058	Socah	112.727950	-7.062220	50	2
BGKL-059	Socah	112.731390	-7.052540	25	1
BGKL-060	Socah	112.712730	-7.089690	70	1
BGKL-061	Socah	112.738670	-7.088610	30	2
BGKL-062	Socah	112.689350	-7.091500	52	1
BGKL-064	Socah	112.708180	-7.088080	50	1
BGKL-065	Socah	112.760670	-7.096600	52	2
BGKL-066	Socah	112.678960	-7.057540	52	2
BGKL-067	Socah	112.688500	-7.072040	72	1
BGKL-068	Kamal	112.761950	-7.104100	72	1
BGKL-069	Socah	112.760930	-7.097990	72	2
BGKL-070	Socah	112.712480	-7.097250	72	5
BGKL-071	Socah	112.709070	-7.094380	72	1
BGKL-072	Socah	112.706300	-7.091480	45	1
BGKL-073	Kamal	112.720680	-7.166250	72	1
BGKL-074	Kamal	112.719790	-7.165510	30	1
BGKL-075	Kamal	112.721240	-7.164790	72	1
BGKL-076	Kamal	112.720980	-7.162380	72	1

Site ID	Kecamatan	Longitude	Latitude	Tinggi Menara (m)	Jumlah BTS
BGKL-077	Kamal	112.721830	-7.161890	45	1
BGKL-078	Kamal	112.718560	-7.158230	72	2
BGKL-079	Kamal	112.716370	-7.156770	72	1
BGKL-080	Kamal	112.720580	-7.153650	72	2
BGKL-081	Kamal	112.714540	-7.146710	35	1
BGKL-082	Kamal	112.714580	-7.146600	52	1
BGKL-083	Kamal	112.713530	-7.132350	72	1
BGKL-084	Kamal	112.699220	-7.152850	52	1
BGKL-085	Kamal	112.713690	-7.132370	52	4
BGKL-086	Kamal	112.722530	-7.171770	30	1
BGKL-087	Kamal	112.722570	-7.171170	35	2
BGKL-088	Kamal	112.725400	-7.161570	50	1
BGKL-089	Kamal	112.743920	-7.152240	31	1
BGKL-090	Kamal	112.743100	-7.152510	72	1
BGKL-091	Kamal	112.713200	-7.118520	42	2
BGKL-092	Kamal	112.721390	-7.112030	52	1
BGKL-093	Kamal	112.728580	-7.127050	52	1
BGKL-094	Labang	112.800670	-7.147590	42	1
BGKL-095	Labang	112.773400	-7.139330	72	1
BGKL-096	Labang	112.772860	-7.139050	50	3
BGKL-097	Labang	112.788140	-7.136690	50	1
BGKL-098	Labang	112.796670	-7.117000	72	1
BGKL-099	Labang	112.772160	-7.121560	52	1
BGKL-100	Labang	112.772050	-7.118700	52	1
BGKL-101	Labang	112.781480	-7.156400	32	1
BGKL-102	Labang	112.781240	-7.156660	25	1
BGKL-103	Labang	112.776420	-7.158890	41	2

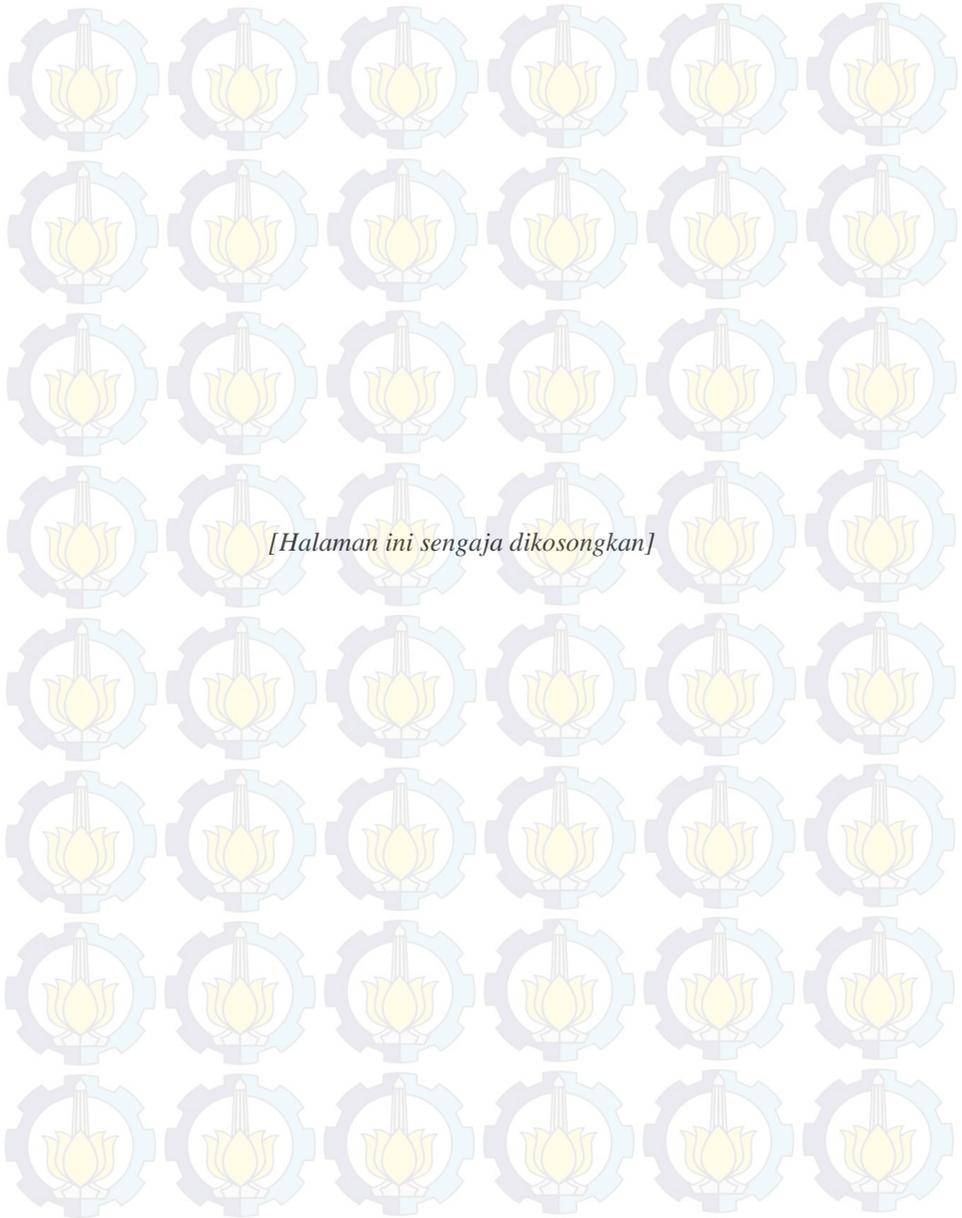
Site ID	Kecamatan	Longitude	Latitude	Tinggi Menara (m)	Jumlah BTS
BGKL-104	Labang	112.799610	-7.156030	72	2
BGKL-105	Labang	112.798980	-7.154470	70	2
BGKL-106	Labang	112.798680	-7.121010	62	1
BGKL-107	Tragah	112.802050	-7.116960	52	1
BGKL-108	Tragah	112.802320	-7.116540	30	2
BGKL-109	Tragah	112.807550	-7.087820	41	1
BGKL-110	Tragah	112.832290	-7.104060	72	1
BGKL-111	Tragah	112.832770	-7.104280	72	1
BGKL-112	Tragah	112.832440	-7.104370	50	2
BGKL-113	Tragah	112.831950	-7.105480	72	1
BGKL-114	Burneh	112.812780	-7.066940	52	1
BGKL-115	Tanah Merah	112.860350	-7.033195	52	1
BGKL-116	Tanah Merah	112.860060	-7.033270	52	2
BGKL-117	Burneh	112.861299	-7.030320	42	1
BGKL-118	Tanah Merah	112.839170	-7.072860	51	3
BGKL-119	Tanah Merah	112.839050	-7.072900	72	1
BGKL-120	Tanah Merah	112.887500	-7.104950	52	1
BGKL-121	Tanah Merah	112.840280	-7.074500	50	1
BGKL-122	Tanah Merah	112.895970	-7.093180	72	3
BGKL-123	Tanah Merah	112.830790	-7.071170	52	1
BGKL-124	Tanah Merah	112.875220	-7.083900	52	2
BGKL-125	Tanah Merah	112.879100	-7.085730	72	1
BGKL-126	Tanah Merah	112.882650	-7.087310	72	2
BGKL-127	Tanah Merah	112.884480	-7.088730	52	1
BGKL-128	Tanah Merah	112.885460	-7.088370	72	1
BGKL-129	Tanah Merah	112.865364	-7.057830	52	1
BGKL-130	Klampis	112.905740	-6.895180	30	2

Site ID	Kecamatan	Longitude	Latitude	Tinggi Menara (m)	Jumlah BTS
BGKL-131	Klampis	112.903530	-6.932840	50	3
BGKL-132	Klampis	112.874150	-6.900390	70	1
BGKL-133	Klampis	112.884560	-6.897360	70	2
BGKL-134	Klampis	112.891310	-6.895900	82	1
BGKL-135	Klampis	112.923200	-6.895630	50	3
BGKL-136	Klampis	112.922560	-6.896170	70	1
BGKL-137	Klampis	112.879930	-6.898650	82	2
BGKL-138	Klampis	112.871580	-6.902320	70	1
BGKL-139	Geger	112.892620	-6.998960	50	1
BGKL-140	Geger	112.892880	-6.977680	72	1
BGKL-141	Geger	112.986310	-7.023630	50	2
BGKL-142	Geger	112.930140	-7.007590	70	2
BGKL-143	Geger	112.877550	-6.969910	50	1
BGKL-144	Geger	112.915180	-6.986950	40	2
BGKL-145	Geger	112.961850	-6.998960	50	2
BGKL-146	Geger	112.943180	-6.993210	70	1
BGKL-147	Geger	112.941160	-6.991190	72	1
BGKL-148	Geger	112.940450	-6.991490	52	2
BGKL-149	Geger	112.881440	-6.970400	50	2
BGKL-150	Geger	112.878470	-6.969910	52	1
BGKL-151	Kwanyar	112.901310	-7.179370	32	2
BGKL-152	Kwanyar	112.902840	-7.177550	72	2
BGKL-153	Kwanyar	112.855430	-7.160730	72	2
BGKL-154	Kwanyar	112.889970	-7.153540	52	1
BGKL-155	Kwanyar	112.855810	-7.155980	72	2
BGKL-156	Kwanyar	112.852340	-7.160950	52	2
BGKL-157	Kwanyar	112.895770	-7.153680	72	1

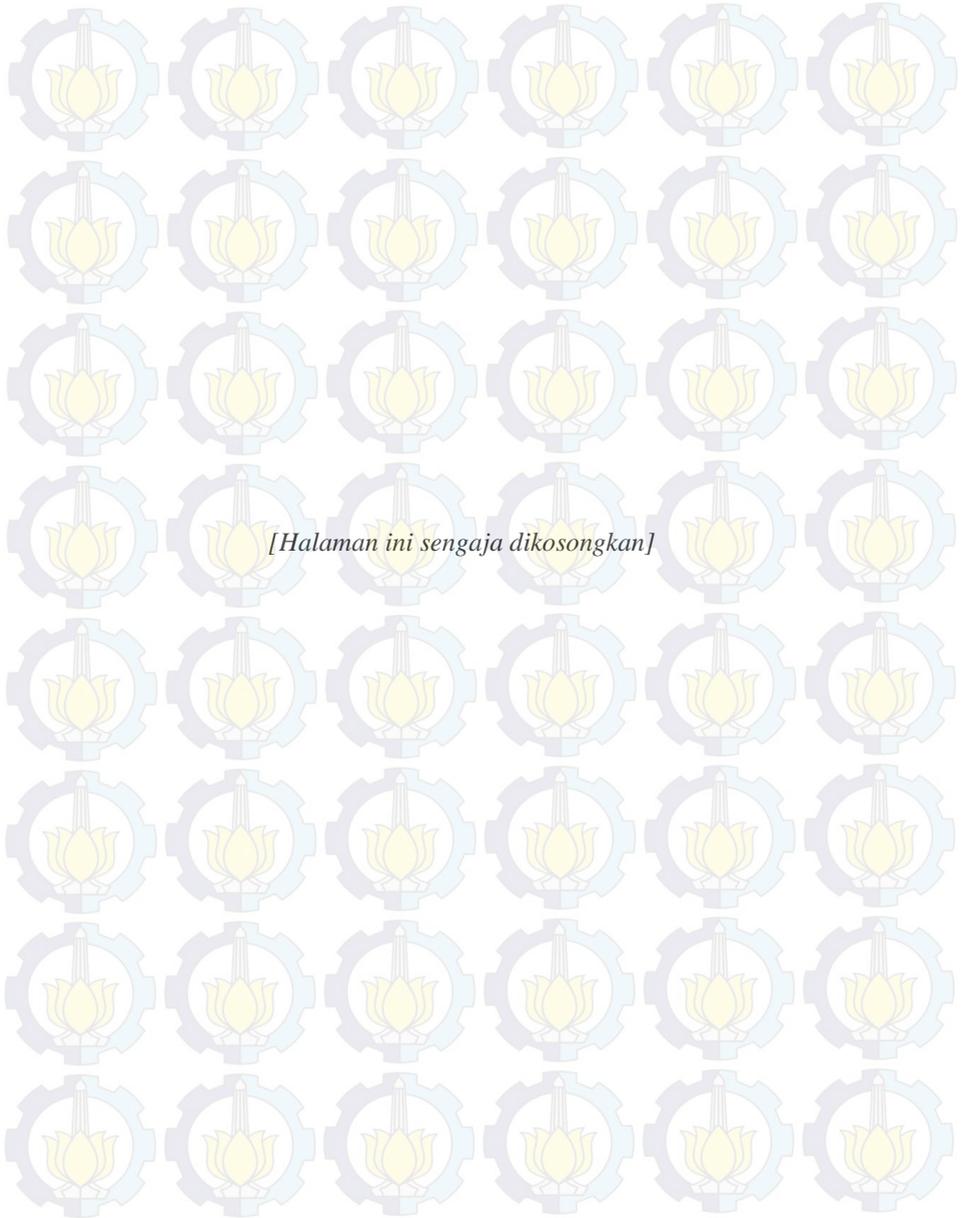
Site ID	Kecamatan	Longitude	Latitude	Tinggi Menara (m)	Jumlah BTS
BGKL-158	Kwanyar	112.880790	-7.117010	72	1
BGKL-159	Kwanyar	112.881590	-7.126530	52	1
BGKL-160	Kwanyar	112.828410	-7.158339	41	1
BGKL-161	Geger	112.956110	-6.954700	70	1
BGKL-162	Sepulu	112.967160	-6.921210	50	2
BGKL-163	Sepulu	112.993450	-6.892740	50	1
BGKL-164	Sepulu	112.967830	-6.897150	70	2
BGKL-165	Sepulu	112.966930	-6.897210	72	1
BGKL-166	Sepulu	112.964420	-6.887760	50	1
BGKL-167	Sepulu	112.965670	-6.898520	72	2
BGKL-168	Sepulu	112.959560	-6.895820	70	1
BGKL-169	Sepulu	112.954200	-6.896080	50	2
BGKL-170	Galis	112.968560	-7.080590	32	2
BGKL-171	Galis	112.973260	-7.116010	52	1
BGKL-172	Galis	112.971210	-7.114890	52	1
BGKL-173	Galis	112.974070	-7.116690	72	1
BGKL-174	Galis	112.970900	-7.114850	72	1
BGKL-175	Galis	112.972300	-7.118390	32	1
BGKL-176	Galis	112.970590	-7.117840	72	1
BGKL-177	Galis	112.970030	-7.117150	72	1
BGKL-178	Galis	112.970010	-7.117390	82	1
BGKL-179	Galis	112.962770	-7.112310	32	1
BGKL-180	Galis	112.962890	-7.111690	52	1
BGKL-181	Galis	112.974300	-7.120580	52	1
BGKL-182	Galis	112.990800	-7.126750	52	2
BGKL-183	Blega	112.996520	-7.131740	62	1
BGKL-184	Galis	112.967750	-7.097750	32	1

Site ID	Kecamatan	Longitude	Latitude	Tinggi Menara (m)	Jumlah BTS
BGKL-185	Galis	112.932930	-7.104710	52	2
BGKL-186	Galis	112.940330	-7.106330	72	1
BGKL-187	Geger	112.920850	-7.043220	62	2
BGKL-188	Geger	112.919870	-7.045140	72	1
BGKL-189	Geger	112.919610	-7.042210	52	2
BGKL-190	Modung	113.053350	-7.174070	32	2
BGKL-191	Modung	112.939980	-7.188220	72	1
BGKL-192	Modung	112.940040	-7.188350	72	1
BGKL-193	Modung	112.983880	-7.200200	32	1
BGKL-194	Modung	113.053350	-7.174070	52	1
BGKL-195	Modung	113.053160	-7.174140	32	1
BGKL-196	Modung	112.919490	-7.116050	52	1
BGKL-197	Modung	113.032520	-7.207560	72	1
BGKL-198	Modung	112.993150	-7.201860	32	2
BGKL-199	Modung	112.956210	-7.182190	32	2
BGKL-200	Tanjung Bumi	113.013700	-6.891110	50	2
BGKL-201	Tanjung Bumi	113.018040	-6.889790	50	1
BGKL-202	Tanjung Bumi	113.028500	-6.889650	72	4
BGKL-203	Tanjung Bumi	113.114310	-6.896800	50	1
BGKL-204	Tanjung Bumi	113.054720	-6.891600	52	1
BGKL-205	Tanjung Bumi	113.079500	-6.892340	70	2
BGKL-206	Tanjung Bumi	113.077740	-6.891550	72	1
BGKL-207	Tanjung Bumi	113.077060	-6.893420	70	1
BGKL-208	Tanjung Bumi	113.077120	-6.893090	70	1
BGKL-209	Tanjung Bumi	113.074970	-6.891550	70	3
BGKL-210	Kokop	113.029610	-6.940420	70	2
BGKL-211	Kokop	113.029370	-6.940120	70	3

Site ID	Kecamatan	Longitude	Latitude	Tinggi Menara (m)	Jumlah BTS
BGKL-212	Kokop	113.029310	-6.939830	72	1
BGKL-213	Kokop	113.036450	-6.964440	70	2
BGKL-214	Kokop	113.083470	-6.990220	50	2
BGKL-215	Kokop	113.082780	-6.990470	72	1
BGKL-216	Konang	113.107030	-7.028330	72	2
BGKL-217	Kokop	113.083120	-6.953480	50	2
BGKL-218	Tanjung Bumi	113.078710	-6.930250	71	1
BGKL-219	Kokop	113.063930	-6.985760	52	1
BGKL-220	Kokop	113.016080	-7.022370	70	0
BGKL-221	Konang	113.085130	-7.075170	72	2
BGKL-222	Konang	113.085820	-7.074830	50	2
BGKL-223	Konang	113.112510	-7.075470	72	1
BGKL-224	Konang	113.116710	-7.076090	50	2
BGKL-225	Konang	113.032490	-7.052960	72	1
BGKL-226	Blega	113.023820	-7.133710	52	4
BGKL-227	Blega	113.056670	-7.129320	72	4
BGKL-228	Blega	113.058550	-7.129440	70	1
BGKL-229	Blega	113.059780	-7.129980	52	2
BGKL-230	Blega	113.067650	-7.126110	52	1
BGKL-232	Blega	113.069480	-7.120960	52	2
BGKL-233	Blega	113.097140	-7.114990	72	1
BGKL-234	Blega	113.099140	-7.114590	72	1
BGKL-235	Blega	113.104170	-7.115270	52	2
BGKL-236	Blega	113.003980	-7.129360	52	1
BGKL-237	Blega	113.057980	-7.151150	32	1







**LAMPIRAN E**  
**DATA TITIK POTENSIAL BERDASARKAN**  
**RENCANA TATA RUANG WILAYAH (RTRW)**  
**KABUPATEN BANGKALAN 2009-2029**

**Tabel E.1** Data Titik Potensial Kawasan Pemukiman

Site ID	Kelurahan	Kecamatan	Longitude	Latitude
TP_001	Gebang	Bangkalan	112.794735	-6.990201984
TP_002	Sabiyah	Bangkalan	112.7872241	-7.001333981
TP_003	Bancaran	Bangkalan	112.769928	-7.017512052
TP_004	Pejagan	Bangkalan	112.750854	-7.024593018
TP_005	Pangeranan	Bangkalan	112.7428511	-7.02593599
TP_006	Demangan	Bangkalan	112.7469371	-7.032358936
TP_007	Kemayoran	Bangkalan	112.741188	-7.034759988
TP_008	Keraton	Bangkalan	112.753254	-7.038592987
TP_009	Mlajah	Bangkalan	112.7435238	-7.043943791
TP_010	Mertajasah	Bangkalan	112.722713	-7.045248021
TP_011	Sembilangan	Bangkalan	112.70364	-7.05058003
TP_012	Kramat	Bangkalan	112.696709	-7.038979049
TP_013	Ujung Piring	Bangkalan	112.687813	-7.052109001
TP_014	Pernajuh	Socah	112.680489	-7.063721925
TP_015	Petaonan	Socah	112.698505	-7.07089897
TP_016	Dakiring	Socah	112.690262	-7.080255965
TP_017	Junganyar	Socah	112.6943931	-7.091666949
TP_018	Socah	Socah	112.712688	-7.092705047
TP_019	Keleyan	Socah	112.7183041	-7.072203986
TP_020	Buluh	Socah	112.7232241	-7.09483297
TP_021	Bilaporah	Socah	112.733101	-7.059430005
TP_022	Jaddih	Socah	112.742615	-7.082189979

Site ID	Kelurahan	Kecamatan	Longitude	Latitude
TP_023	Parseh	Socah	112.7651019	-7.079150965
TP_024	Sanggra Agung	Socah	112.770908	-7.094858047
TP_025	Jambu	Burneh	112.772129	-7.075962998
TP_026	Langkap	Burneh	112.770443	-7.061208984
TP_027	Burneh	Burneh	112.791681	-7.058221994
TP_028	Benangkah	Burneh	112.817932	-7.049523978
TP_029	Tonjung	Burneh	112.785377	-7.040339969
TP_030	Arok	Burneh	112.776039	-7.028397969
TP_031	Kapor	Burneh	112.790504	-7.024169925
TP_032	Sobih	Burneh	112.803821	-7.019344017
TP_033	Pangolongan	Burneh	112.820435	-7.020758035
TP_034	Alas Kembang	Burneh	112.830761	-7.029080004
TP_035	Binoh	Burneh	112.845413	-7.017725049
TP_036	Perreng	Burneh	112.816906	-6.999016016
TP_037	Lajing	Arosbaya	112.807636	-6.973629991
TP_038	Balung	Arosbaya	112.8254011	-6.978310953
TP_039	Tengket	Arosbaya	112.8212931	-6.954098018
TP_040	Arosbaya	Arosbaya	112.83408	-6.959107075
TP_041	Plakaran	Arosbaya	112.841408	-6.959558979
TP_042	Buduran	Arosbaya	112.846279	-6.953663993
TP_043	Makam Agung	Arosbaya	112.842319	-6.96379504
TP_044	Dlember	Arosbaya	112.840736	-6.968081955
TP_045	Tambegan	Arosbaya	112.846344	-6.962032994
TP_046	Cendagah	Arosbaya	112.851414	-6.963178965
TP_047	Karang Pao	Arosbaya	112.8509099	-6.959860044
TP_048	Mangkon	Arosbaya	112.849098	-6.968038997
TP_049	Berbeluk	Arosbaya	112.856926	-6.964563006
TP_050	Karang Duwak	Arosbaya	112.844539	-6.980506998

Site ID	Kelurahan	Kecamatan	Longitude	Latitude
TP_051	Glagga	Arosbaya	112.856449	-6.98298
TP_052	Ombul	Arosbaya	112.8363571	-6.990836029
TP_053	Pandan Lanjang	Arosbaya	112.842026	-7.008654017
TP_054	Batonaong	Arosbaya	112.854496	-7.007351018
TP_055	Muarah	Klampis	112.846092	-6.944118003
TP_056	Polongan	Klampis	112.864971	-6.94823105
TP_057	Ra'as	Klampis	112.853123	-6.934282953
TP_058	Tolbuk	Klampis	112.839557	-6.930890022
TP_059	Ko'ol	Klampis	112.842232	-6.919042985
TP_060	Tobaddung	Klampis	112.855213	-6.920257974
TP_061	Trogan	Klampis	112.866585	-6.924976987
TP_062	Karang Asem	Klampis	112.8701781	-6.935811046
TP_063	Bantean	Klampis	112.883884	-6.941091068
TP_064	Bragang	Klampis	112.8986131	-6.940849975
TP_065	Bulung	Klampis	112.8868439	-6.925421035
TP_066	Mrandung	Klampis	112.860393	-6.906722935
TP_067	Buluk Agung	Klampis	112.883621	-6.907349031
TP_068	Bator	Klampis	112.902515	-6.903869993
TP_069	Klampis Barat	Klampis	112.902733	-6.896742998
TP_070	Klampis Timur	Klampis	112.910766	-6.897570984
TP_071	Larangan Sorjan	Klampis	112.920101	-6.905964914
TP_072	Tenggun Daya	Klampis	112.91326	-6.908963048
TP_073	Larangan Glintong	Klampis	112.927849	-6.922171984
TP_074	Manonggal	Klampis	112.915436	-6.931341943
TP_075	Panyaksagan	Klampis	112.929581	-6.954555969
TP_076	Lergunong	Klampis	112.908428	-6.962176012
TP_077	Klapayan	Sepulu	112.931309	-6.962573045
TP_078	Gangseyan	Sepulu	112.9444349	-6.936206001

Site ID	Kelurahan	Kecamatan	Longitude	Latitude
TP_079	Bangsereh	Sepulu	112.96106	-6.940144032
TP_080	Kelbung	Sepulu	112.974377	-6.941508003
TP_081	Klabetan	Sepulu	112.958622	-6.921167016
TP_082	Saplasah	Sepulu	112.992748	-6.964708001
TP_083	Gunelap	Sepulu	113.000446	-6.938825982
TP_084	Banyior	Sepulu	112.9743581	-6.912548955
TP_085	Tanagura Barat	Sepulu	112.986805	-6.912375949
TP_086	Tanagura Timur	Sepulu	112.995052	-6.915607038
TP_087	Lembung Paseser	Sepulu	113.002071	-6.896439969
TP_088	Labuhan	Sepulu	112.990673	-6.892094966
TP_089	Prancak	Sepulu	112.9733619	-6.894746952
TP_090	Sepuluh	Sepulu	112.961151	-6.898552016
TP_091	Maneron	Sepulu	112.944355	-6.906297935
TP_092	Planggiran	Tanjung Bumi	113.013176	-6.921097076
TP_093	Aengtae	Tanjung Bumi	113.0171811	-6.897211961
TP_094	Tagungguh	Tanjung Bumi	113.040512	-6.921861024
TP_095	Tlangoh	Tanjung Bumi	113.040798	-6.895128991
TP_096	Banyu Sangkah	Tanjung Bumi	113.02758	-6.889835983
TP_097	Macajah	Tanjung Bumi	113.057869	-6.898713951
TP_098	Tanjung Bumi	Tanjung Bumi	113.067909	-6.895373021
TP_099	Telaga Biru	Tanjung Bumi	113.073574	-6.888335048
TP_100	Paseseh	Tanjung Bumi	113.082668	-6.895849004
TP_101	Bumi Anyar	Tanjung Bumi	113.108101	-6.897702018
TP_102	Larangan Timur	Tanjung Bumi	113.0907061	-6.923129013
TP_103	Tambak Pocuk	Tanjung Bumi	113.108334	-6.919576011
TP_104	Bungkeng	Tanjung Bumi	113.076896	-6.92115803
TP_105	Bandang Daya	Tanjung Bumi	113.071274	-6.927414059
TP_106	Batokorogan	Kokop	113.02235	-6.943489041

Site ID	Kelurahan	Kecamatan	Longitude	Latitude
TP_107	Dupok	Kokop	113.0390241	-6.953912968
TP_108	Banda Soleh	Kokop	113.014873	-6.957003995
TP_109	Bandang Laok	Kokop	113.0591311	-6.958264982
TP_110	Mandung	Kokop	113.084629	-6.960457015
TP_111	Tramok	Kokop	113.038597	-6.979474049
TP_112	Katol Timur	Kokop	113.013576	-6.985010079
TP_113	Mano'an	Kokop	113.088856	-6.987188024
TP_114	Kokop	Kokop	113.059391	-7.001825989
TP_115	Lembung Gunung	Kokop	113.0142901	-7.012825023
TP_116	Amparaan	Kokop	113.038326	-7.011111018
TP_117	Tlokoh	Kokop	113.096519	-7.010013022
TP_118	Durjan	Kokop	113.128052	-7.007530064
TP_119	Galis Daya	Konang	113.001972	-7.049924026
TP_120	Batokaban	Konang	113.022365	-7.02896106
TP_121	Kanegarah	Konang	113.020707	-7.039289977
TP_122	Durin Barat	Konang	113.0262069	-7.053095955
TP_123	Durin Timur	Konang	113.048687	-7.042397016
TP_124	Genteng	Konang	113.070556	-7.033753011
TP_125	Cangkarman	Konang	113.095157	-7.028381974
TP_126	Sambiyon	Konang	113.1098359	-7.051155015
TP_127	Campor	Konang	113.104027	-7.059288918
TP_128	Konang	Konang	113.091263	-7.060713987
TP_129	Bandung	Konang	113.0794411	-7.063087991
TP_130	Pakes	Konang	113.071072	-7.073501007
TP_131	Senasen	Konang	113.1128769	-7.070128026
TP_132	Alasraja	Blega	113.043129	-7.089457965
TP_133	Kajan	Blega	113.027523	-7.102240037
TP_134	Nyor Manis	Blega	113.04615	-7.112708062

Site ID	Kelurahan	Kecamatan	Longitude	Latitude
TP_135	Blega	Blega	113.058784	-7.110404029
TP_136	Karpote	Blega	113.027973	-7.118224015
TP_137	Karangnangka	Blega	113.066143	-7.098893029
TP_138	Karang Panas	Blega	113.071373	-7.10377806
TP_139	Bates	Blega	113.0918309	-7.090342015
TP_140	Lomaer	Blega	113.098278	-7.108187919
TP_141	Karang Gayam	Blega	113.0857769	-7.113623932
TP_142	Lombang Laok	Blega	113.033909	-7.13613095
TP_143	Rosep	Blega	113.053703	-7.13802899
TP_144	Blegaolah	Blega	113.070747	-7.136744963
TP_145	Kampao	Blega	113.032391	-7.146798027
TP_146	Pangeran Gedungan	Blega	113.044659	-7.153416943
TP_147	Panjalinan	Blega	113.063266	-7.152872985
TP_148	Ko'olan	Blega	113.026264	-7.160866082
TP_149	Gigir	Blega	113.007286	-7.153980969
TP_150	Lombang Daya	Blega	113.004616	-7.138414994
TP_151	Paeng	Modung	113.0508799	-7.17119902
TP_152	Neroh	Modung	113.034916	-7.173169031
TP_153	Serabi Timur	Modung	113.027447	-7.185641981
TP_154	Kolla	Modung	113.048458	-7.18771598
TP_155	Patereman	Modung	113.034969	-7.207521949
TP_156	Pangpajung	Modung	113.010319	-7.197273016
TP_157	Serabi Barat	Modung	113.004398	-7.185935988
TP_158	Langpanggang	Modung	112.968487	-7.19393005
TP_159	Patengteng	Modung	112.978027	-7.178817028
TP_160	Suwaan	Modung	112.959587	-7.174471065
TP_161	Modung	Modung	112.943355	-7.186071077

Site ID	Kelurahan	Kecamatan	Longitude	Latitude
TP_162	Brakas Dajah	Modung	112.95504	-7.165817012
TP_163	Karanganyar	Modung	112.936802	-7.171915064
TP_164	Glisgis	Modung	112.921963	-7.151955064
TP_165	Mangaan	Modung	112.938992	-7.14348808
TP_166	Pakong	Modung	112.92688	-7.127759009
TP_167	Alaskokon	Modung	112.913994	-7.127340983
TP_168	Batah Timur	Kwanyar	112.911037	-7.175428002
TP_169	Batah Barat	Kwanyar	112.900414	-7.174834975
TP_170	Karanganyar	Kwanyar	112.887634	-7.173235974
TP_171	Pandan	Kwanyar	112.896561	-7.157780017
TP_172	Karang Entang	Kwanyar	112.888714	-7.155985984
TP_173	Duwek Buter	Kwanyar	112.9079661	-7.152402023
TP_174	Janteh	Kwanyar	112.879375	-7.145701011
TP_175	Paoran	Kwanyar	112.892071	-7.133737971
TP_176	Gunung Sereng	Kwanyar	112.8992391	-7.128299996
TP_177	Sumur Kuning	Kwanyar	112.8802111	-7.127195049
TP_178	Morombuh	Kwanyar	112.8645251	-7.133519026
TP_179	Pasangrahan	Kwanyar	112.872223	-7.163947034
TP_180	Kwanyar Barat	Kwanyar	112.849331	-7.159733025
TP_181	Ketetang	Kwanyar	112.845222	-7.149089976
TP_182	Dlemer	Kwanyar	112.868103	-7.150895078
TP_183	Tebul	Kwanyar	112.8329009	-7.153924038
TP_184	Kajuanak	Galis	112.972092	-7.139252998
TP_185	Pekadan	Galis	112.9555621	-7.137479041
TP_186	Paterongan	Galis	112.98492	-7.126625021
TP_187	Galis	Galis	112.9603769	-7.121718941
TP_188	Paka'an Laok	Galis	112.936069	-7.12033104
TP_189	Pakaandaya	Galis	112.943676	-7.106007015

Site ID	Kelurahan	Kecamatan	Longitude	Latitude
TP_190	Longkek	Galis	112.9618409	-7.104876965
TP_191	Daleman	Galis	112.9990841	-7.108491015
TP_192	Banyubunih	Galis	112.98407	-7.092823948
TP_193	Tellok	Galis	113.006134	-7.09157901
TP_194	Belateran	Galis	113.01334	-7.081093956
TP_195	Kelbung	Galis	113.013447	-7.072306957
TP_196	Telagah	Galis	112.980884	-7.058322035
TP_197	Lantek Temor	Galis	112.9688	-7.082519062
TP_198	Lantek Barat	Galis	112.954895	-7.075835013
TP_199	Kranggan Timur	Galis	112.924045	-7.108465065
TP_200	Separah	Galis	112.926991	-7.098296962
TP_201	Banjar	Galis	112.928383	-7.075286984
TP_202	Bangpendah	Galis	112.91238	-7.073205043
TP_203	Sadah	Galis	112.9234049	-7.062041957
TP_204	Sorpa	Galis	112.920952	-7.052401004
TP_205	Kompol	Geger	112.870689	-6.965668918
TP_206	Campor	Geger	112.880516	-6.984114051
TP_207	Kampak	Geger	112.901821	-6.981076031
TP_208	Tegerpriyah	Geger	112.876955	-7.000458957
TP_209	Batobella	Geger	112.897369	-7.005885985
TP_210	Tagubang	Geger	112.880129	-7.029004998
TP_211	Geger	Geger	112.919842	-7.022157033
TP_212	Kombangan	Geger	112.945797	-6.99692494
TP_213	Banyoneng Dajah	Geger	112.957462	-6.963829037
TP_214	Banyoneng Laok	Geger	112.967201	-6.97374096
TP_215	Katol Barat	Geger	112.984905	-6.994698976
TP_216	Dabung	Geger	112.9789961	-7.018725988
TP_217	Lerpak	Geger	112.963291	-7.026496069

Site ID	Kelurahan	Kecamatan	Longitude	Latitude
TP_218	Dlambah Dajah	Tanah Merah	112.846397	-7.040740045
TP_219	Batangan	Tanah Merah	112.862854	-7.045556989
TP_220	Dlamba Laok	Tanah Merah	112.847637	-7.057371962
TP_221	Buddan	Tanah Merah	112.839913	-7.061768929
TP_222	Mrecah	Tanah Merah	112.846695	-7.066235946
TP_223	Tlomar	Tanah Merah	112.858711	-7.065350956
TP_224	Rongdurin	Tanah Merah	112.869587	-7.052371976
TP_225	Pettong	Tanah Merah	112.884647	-7.053656943
TP_226	Kendaban	Tanah Merah	112.869259	-7.071682035
TP_227	Landak	Tanah Merah	112.896385	-7.044967016
TP_228	Jangkar	Tanah Merah	112.888641	-7.06607997
TP_229	Petrah	Tanah Merah	112.895451	-7.07768696
TP_230	Basanah	Tanah Merah	112.818416	-7.072032971
TP_231	Poter	Tanah Merah	112.8307271	-7.072559953
TP_232	Patemon	Tanah Merah	112.846008	-7.080166963
TP_233	Dumajah	Tanah Merah	112.860786	-7.081500981
TP_234	Tanah Merah Daya	Tanah Merah	112.881626	-7.088451976
TP_235	Padurangan	Tanah Merah	112.901455	-7.092574082
TP_236	Pacentan	Tanah Merah	112.854771	-7.103252977
TP_237	Baipajung	Tanah Merah	112.864822	-7.106308025
TP_238	Tanah Merah Laok	Tanah Merah	112.884567	-7.108362957
TP_239	Kranggan Barat	Tanah Merah	112.900868	-7.105807002
TP_240	Pangeleyan	Tanah Merah	112.910648	-7.10518898
TP_241	Masaran	Tragah	112.7973861	-7.087525007
TP_242	Bancang	Tragah	112.808361	-7.096595931
TP_243	Pacangan	Tragah	112.810936	-7.085711022
TP_244	Pamorah	Tragah	112.81749	-7.074045968
TP_245	Pocong	Tragah	112.81937	-7.087564049

Site ID	Kelurahan	Kecamatan	Longitude	Latitude
TP_246	Jaah	Tragah	112.816425	-7.095116084
TP_247	Keteleng	Tragah	112.819466	-7.102736988
TP_248	Tragah	Tragah	112.82214	-7.091765976
TP_249	Banyu Bese	Tragah	112.828304	-7.084525962
TP_250	Jaddung	Tragah	112.838093	-7.081981991
TP_251	Karang Leman	Tragah	112.830807	-7.092819031
TP_252	Dukotambin	Tragah	112.839485	-7.091953923
TP_253	Soket Daya	Tragah	112.830898	-7.102885026
TP_254	Tambin	Tragah	112.837452	-7.110148085
TP_255	Bajeman	Tragah	112.845363	-7.124146992
TP_256	Soket Laok	Tragah	112.824337	-7.118654938
TP_257	Kemoneng	Tragah	112.811779	-7.119780039
TP_258	Alang Alang	Tragah	112.8073881	-7.115219941
TP_259	Petapan	Labang	112.796169	-7.113796068
TP_260	Sendang Daya	Labang	112.779865	-7.116447023
TP_261	Sendang Laok	Labang	112.7753519	-7.120549026
TP_262	Jukung	Labang	112.760002	-7.136647024
TP_263	Labang	Labang	112.776718	-7.13534997
TP_264	Morkepek	Labang	112.784622	-7.13568793
TP_265	Pangpong	Labang	112.778965	-7.147008037
TP_266	Kesek	Labang	112.773106	-7.150343034
TP_267	Sukolilo Barat	Labang	112.787075	-7.153464926
TP_268	Sukolilo Timur	Labang	112.808727	-7.154559044
TP_269	Ba'engas	Labang	112.7981451	-7.137829027
TP_270	Bringin	Labang	112.806129	-7.133570031
TP_271	Bunajih	Labang	112.819752	-7.14024303
TP_272	Pendabah	Kamal	112.749584	-7.110067928
TP_273	Tellang	Kamal	112.728352	-7.120212985

Site ID	Kelurahan	Kecamatan	Longitude	Latitude
TP_274	Gili Anyar	Kamal	112.710274	-7.139614008
TP_275	Gili Timur	Kamal	112.733337	-7.140803932
TP_276	Gili Barat	Kamal	112.702442	-7.148939971
TP_277	Tajungan	Kamal	112.696197	-7.153226051
TP_278	Banyu Ajuh	Kamal	112.721493	-7.162696009
TP_279	Kamal	Kamal	112.728504	-7.16694508
TP_280	Tanjung Jati	Kamal	112.739822	-7.167479973
TP_281	Kebun	Kamal	112.746941	-7.158754036

**Tabel E.2** Data Titik Potensial Pusat Kegiatan Warga

Site ID	Kecamatan	Longitude	Latitude
TP_282	Bangkalan	112.747892	-7.025525978
TP_283	Burneh	112.785239	-7.049022026
TP_284	Socah	112.70653	-7.095101066
TP_285	Kamal	112.719648	-7.155205977
TP_286	Tanah Merah	112.888217	-7.089950025
TP_287	Kwanyar	112.854612	-7.160301983
TP_288	Modung	112.938452	-7.187228992
TP_289	Blega	113.063177	-7.128491994
TP_290	Klampus	112.837596	-6.938161056
TP_291	Sepulu	112.960743	-6.89015802
TP_292	Tanjung Bumi	113.080974	-6.887910081

**Tabel E.3** Data Titik Potensial Pusat Pemerintahan dan Pelayanan

Site ID	Kecamatan	Longitude	Latitude
TP_293	Bangkalan	112.750129	-7.029628
TP_294	Bangkalan	112.736027	-7.04751
TP_295	Burneh	112.783451	-7.053634
TP_296	Socah	112.708372	-7.090351

Site ID	Kecamatan	Longitude	Latitude
TP_297	Kamal	112.723162	-7.127546
TP_298	Kamal	112.7158006	-7.1530071
TP_299	Labang	112.8041817	-7.1570486
TP_300	Kwanyar	112.8576876	-7.1552857
TP_301	Tragah	112.8402328	-7.095612
TP_302	Tanah Merah	112.8915907	-7.0893346
TP_303	Galis	112.9596192	-7.1131428
TP_304	Modung	113.0309445	-7.210742
TP_305	Blega	113.0606299	-7.1300927
TP_306	Konang	113.0853151	-7.0756382
TP_307	Kokop	113.02787	-6.93916
TP_308	Tanjung Bumi	113.0725765	-6.8909805
TP_309	Sepulu	112.9508645	-6.8925896
TP_310	Klampus	112.8975677	-6.8947724
TP_311	Arosbaya	112.837546	-6.9468332
TP_312	Geger	112.8916725	-6.9752039

**Tabel E.4** Data Titik Potensial Kawasan Strategis Ekonomi

Site ID	Kecamatan	Longitude	Latitude
TP_313	Klampus	112.8504738	-6.9211869
TP_314	Klampus	112.8295898	-6.9122827
TP_315	Labang	112.7815518	-7.1555276
TP_316	Labang	112.8037548	-7.1053216
TP_317	Socah	112.6934485	-7.0697409
TP_318	Socah	112.6759391	-7.0729777

**Tabel E.5** Data Titik Potensial Kawasan Industri dan Pergudangan

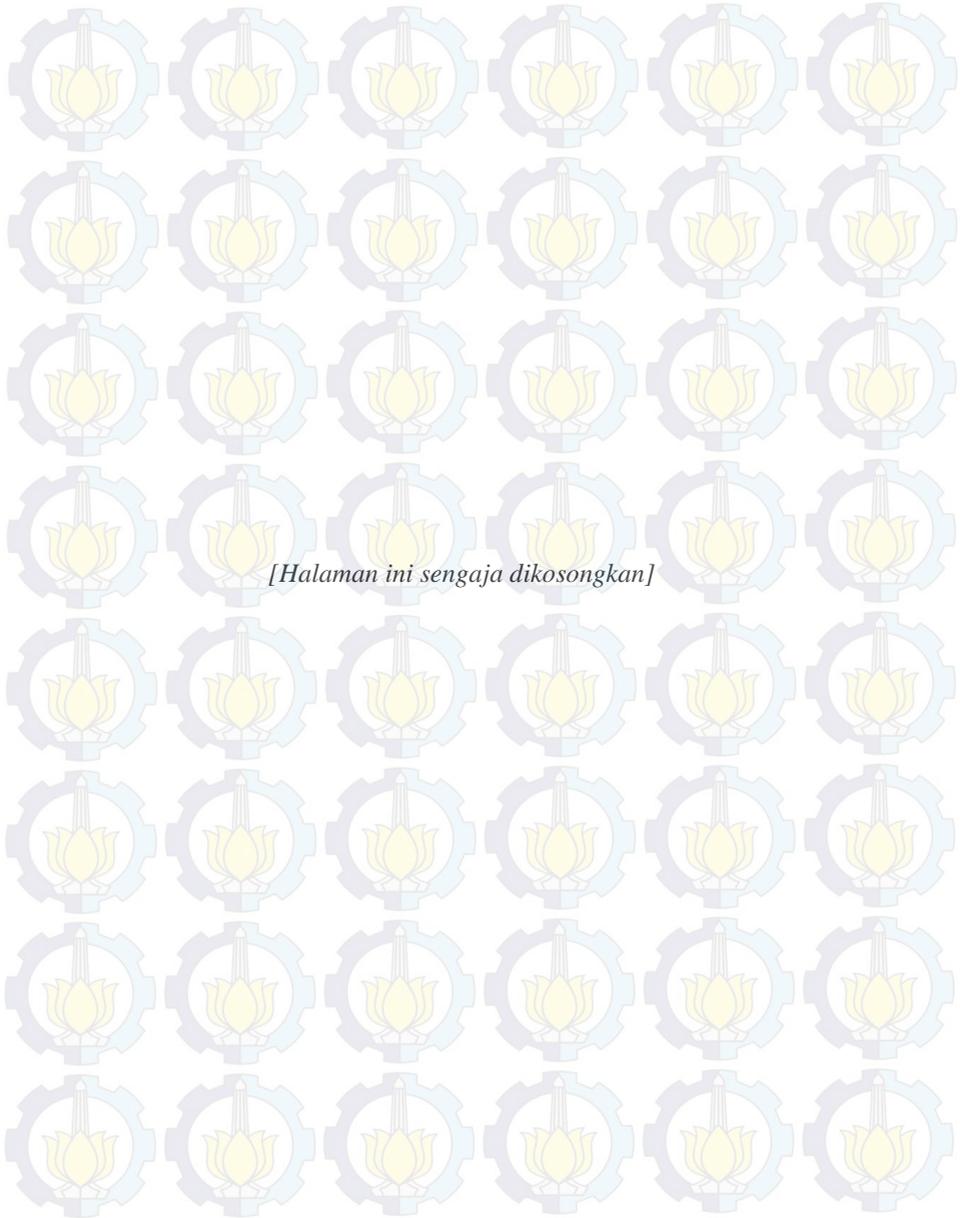
Site ID	Kecamatan	Longitude	Latitude
TP_319	Klampis	112.8627205	-6.8993311
TP_320	Arosbaya	112.8488756	-6.9528824
TP_321	Socah	112.6864243	-7.0821544
TP_322	Tragah	112.8063704	-7.1165511
TP_323	Labang	112.8063824	-7.130816

**Tabel E.6** Data Titik Potensial Kawasan Pariwisata dan Sosial Budaya

Site ID	Kecamatan	Longitude	Latitude
TP_324	Tanjung Bumi	113.0505556	-6.8847222
TP_325	Sepulu	112.966876	-6.8881686
TP_326	Arosbaya	112.8351427	-6.9557792
TP_327	Geger	112.8786408	-6.9693544
TP_328	Bangkalan	112.740851	-7.044426
TP_329	Bangkalan	112.748155	-7.030583
TP_330	Socah	112.724671	-7.074444
TP_331	Kamal	112.7186331	-7.1505373
TP_332	Labang	112.790451	-7.1371747
TP_333	Labang	112.807572	-7.1554305
TP_334	Kwanyar	112.8510894	-7.1647663

**Tabel E.7** Data Titik Potensial Kawasan Militer

Site ID	Kecamatan	Longitude	Latitude
TP_335	Kamal	112.764038	-7.157492052



## LAMPIRAN F

### LISTING ALGORITMA FUZZY EVOLUSI DALAM MATLAB

```
%Variabel Optimai
NamaKecamatan = 'Kab_Bangkalan.xlsx';
jumlahMenaraOptimal = 74;
jumlahTotalMenara = 320;
[~, ~, namamenara] =
xlsread>NamaKecamatan,1,['A2:A',num2str(jumlahTotalMenara+1)]);
[~, ~, kecamatan] =
xlsread>NamaKecamatan,1,['B2:B',num2str(jumlahTotalMenara+1)]);
[latitude_y]=xlsread>NamaKecamatan,1,['C2:C',num2str(jumlahTotalMenara+1)]);
[longitude_x]=xlsread>NamaKecamatan,1,['D2:D',num2str(jumlahTotalMenara+1)]);
[x_longitude]=xlsread>NamaKecamatan,1,['E2:E',num2str(jumlahTotalMenara+1)]);
[y_latitude]=xlsread>NamaKecamatan,1,['F2:F',num2str(jumlahTotalMenara+1)]);
[x_normal]=xlsread>NamaKecamatan,1,['G2:G',num2str(jumlahTotalMenara+1)]);
[y_normal]=xlsread>NamaKecamatan,1,['H2:H',num2str(jumlahTotalMenara+1)]);
[~, ~, daerah]=
xlsread>NamaKecamatan,1,['L2:L',num2str(jumlahTotalMenara+1)]);
[nilaitotal]=
xlsread>NamaKecamatan,1,['K2:K',num2str(jumlahTotalMenara+1)]);

%Variabel
chromosome =
zeros(jumlahTotalMenara,jumlahMenaraOptimal);
fungsi_objektif = zeros(1,jumlahTotalMenara);
```

```

rataakhir_sebelumnya = 0;
for iterasi=1:200 %Jumlah Iterasi Maksimum
    if (iterasi>1)
        rataakhir_sebelumnya = rata_akhir;
    end

    %Pembentukan Chromosome, Inisialisasi Populasi
    dan Evaluasi Chromosome
    for i=1:jumlahTotalMenara
        angkarandom = randperm(jumlahTotalMenara);
        angkarandom =
        angkarandom(1:jumlahMenaraOptimal);
        chromosome(i,:) = nilaitotal(angkarandom);
        fungsi_objektif(i) = sum(chromosome(i,:));
        chromosome(i,:);
        if (i == jumlahTotalMenara)
            fungsi_objektif;
            rata_rata_fobj =
            sum(fungsi_objektif)/jumlahTotalMenara;
            rata_rata_fobj;
        end
    end

    %Seleksi Chromosome
    fitness = zeros(1,jumlahTotalMenara);
    for j=1:jumlahTotalMenara
        fitness(j) = 1/(fungsi_objektif(j)+1);
        if (j==jumlahTotalMenara)
            fitness;
            total_fitness = sum(fitness);
            total_fitness;
        end
    end

    %Probabilitas
    probabilitas = zeros(1,jumlahTotalMenara);
    for k=1:jumlahTotalMenara
        probabilitas(k) = fitness(k)/total_fitness;
        if (k==jumlahTotalMenara)

```

```

        probabilitas;
    end
end

%Kumulatif Probabilitas
A = probabilitas;
B = zeros(1, jumlahTotalMenara);
kumulatif_probabilitasnya =
zeros(1, jumlahTotalMenara);
for l=1:jumlahTotalMenara
    B = zeros(1, jumlahTotalMenara);
    for m=1:l
        B(l) = B(l) + A(m);
    end
    kumulatif_probabilitasnya(l) = sum(B);
    if (l==jumlahTotalMenara)
        kumulatif_probabilitasnya;
    end
end

%Proses Seleksi Menggunakan Roulette-Wheel
Selection
cumulative_random = zeros(1, jumlahTotalMenara);
for n=1:jumlahTotalMenara
    r_random = randperm(jumlahTotalMenara);
    r_random = r_random(1:jumlahTotalMenara);
    cumulative_random = r_random/100;
    if (n==jumlahTotalMenara)
        cumulative_random;
    end
end

%Populasi Chromosome Baru
C = kumulatif_probabilitasnya;
R = cumulative_random;
chromosome_baru =
zeros(jumlahTotalMenara, jumlahMenaraOptimal);
for k=1:jumlahTotalMenara
    if(R(k)<C(1))

```

```

        chromosome_baru(k,:) = chromosome(1,:);
    end
    for l=1:jumlahTotalMenara
        if(C(l)>R(k))
            chromosome_baru(k,:) =
            chromosome(1,:);
            break
        end
    end
    if(k==jumlahTotalMenara)
        chromosome_baru;
    end
end

%Crossover
crossover_random = zeros(1,jumlahTotalMenara);
for i=1:jumlahTotalMenara
    c_random = randperm(100);
    r_random = r_random(1:jumlahTotalMenara);
    if (i==jumlahTotalMenara)
        crossover_random = c_random/100;
    end
end

%Fungsi Sistem Fuzzy Crossover Probability (Pc)
if (iterasi >= 0)&&(iterasi <= 50)
    jmlCrossOver = round(0.6 *
    jumlahTotalMenara);
    crossover_induk = zeros(1,jmlCrossOver);
end
if (iterasi > 50)&&(iterasi <= 100)
    jmlCrossOver = round(0.7 *
    jumlahTotalMenara);
    crossover_induk = zeros(1,jmlCrossOver);
end
if (iterasi > 100)&&(iterasi <= 150)
    jmlCrossOver = round(0.8 *
    jumlahTotalMenara);

```

```

        crossover_induk = zeros(1,jmlCrossOver);
    end
    if (iterasi > 150)&&(iterasi <= 200)
        jmlCrossOver = round(0.9 *
jumlahTotalMenara);
        crossover_induk = zeros(1,jmlCrossOver);
    end

%Induk
k = 0;
for i=1:170
    for j=1:jumlahTotalMenara
        if(i/100==crossover_random(j))
            if(k<jmlCrossOver)
                k = k +1;
                crossover_induk(k) = j;
            end
        end
    end
end
if(i==200)
    crossover_induk;
end
end

%Posisi Cut Point
cut_point = zeros(1,jumlahTotalMenara/2);
for i=1:jumlahTotalMenara/2
    cut_point(i)=randi(jumlahMenaraOptimal -
1,1);
    if(i==jumlahTotalMenara/2)
        cut_point;
    end
end

%Hasil Crossover
hasil_crossover = chromosome_baru;
for i=1:jumlahTotalMenara/2
    for j=cut_point(i)+1:jumlahMenaraOptimal

```

```

hasil_crossover(crossover_induk(i),j)=chromosome
_baru(crossover_induk(i),j);
end
if(i==jumlahTotalMenara/2)
    hasil_crossover;
end
end

%Mutasi
total_gen = jumlahMenaraOptimal *
jumlahTotalMenara;

%Fungsi Sistem Fuzzy Mutation Probability (Pm)
if (iterasi >= 0)&&(iterasi <= 50)
    mutation_rate = 10/100; %10 persen
end
if (iterasi > 50)&&(iterasi <= 100)
    mutation_rate = 5/100; %5 persen
end
if (iterasi > 100)&&(iterasi <= 150)
    mutation_rate = 3.3/100; %3.3 persen
end
if (iterasi > 150)&&(iterasi <= 200)
    mutation_rate = 2.5/100; %2.5 persen
end

jumlah_mutasi = round(mutation_rate *
total_gen);

%Acak Posisi Mutasi
acak_posisi = zeros(1,jumlah_mutasi);
posisi_x = zeros(1,jumlah_mutasi);
posisi_y = zeros(1,jumlah_mutasi);
for i=1:jumlah_mutasi
    acak_random = randperm(total_gen);
    acak_random = acak_random(1:jumlah_mutasi);
    acak_posisi = acak_random;

```

```

    posisi_y = (acak_random-
(mod(acak_random, jumlahMenaraOptimal)))/jumlahMe
naraOptimal;
    posisi_x = acak_random - (posisi_y *
jumlahMenaraOptimal);

    if(i==jumlah_mutasi)
        acak_posisi;
        posisi_y;
        posisi_x;
    end
end
%Cek Random Mutasi
cekRandomMutasi =
zeros(jumlahTotalMenara, jumlahMenaraOptimal);
for i=1:jumlahMenaraOptimal
    for j=1:jumlahTotalMenara
        for k=1:jumlahTotalMenara
            if (hasil_crossover(j,i) ==
nilaitotal(k))
                cekRandomMutasi(j,i) = k;
                break
            end
        end
    end
end
end
%Hasil Akhir Chromosome
hasil_akhir = hasil_crossover;
angkaDilarang = zeros(1, jumlahMenaraOptimal);
for i=1:jumlah_mutasi
    if (posisi_y(i)==0)
        posisi_y(i)=1;
    end
    if (posisi_x(i)==0)
        posisi_x(i)=jumlahMenaraOptimal;
    end
end

```

```

    angkaDilarang =
    cekRandomMutasi(posisi_y(i),:);
    A = 1:jumlahTotalMenara;
    B = angkaDilarang;
    S = setdiff(A,B);
    r = S(randi(numel(S),jumlahTotalMenara,1));

    hasil_akhir(posisi_y(i),posisi_x(i))=
    nilaitotal(r(1));

    if(i==jumlah_mutasi)
        hasil_akhir;
    end
end

%Jumlah Chromosome Terakhir
sum_akhir = zeros(1,jumlahTotalMenara);
for i=1:jumlahTotalMenara
    sum_akhir(i) = sum(hasil_akhir(i,:));
    if (i==jumlahTotalMenara)
        sum_akhir;
    end
end

%Mencari Chromosome Tertinggi
rata_akhir = sum(sum_akhir) / jumlahTotalMenara;
tertinggi = max(sum_akhir);
chromosome_tertinggi =
zeros(1,jumlahTotalMenara);
for i=1:jumlahTotalMenara
    if(sum_akhir(i)==tertinggi)
        chromosome_tertinggi = hasil_akhir(i,:);
        break
    end
end

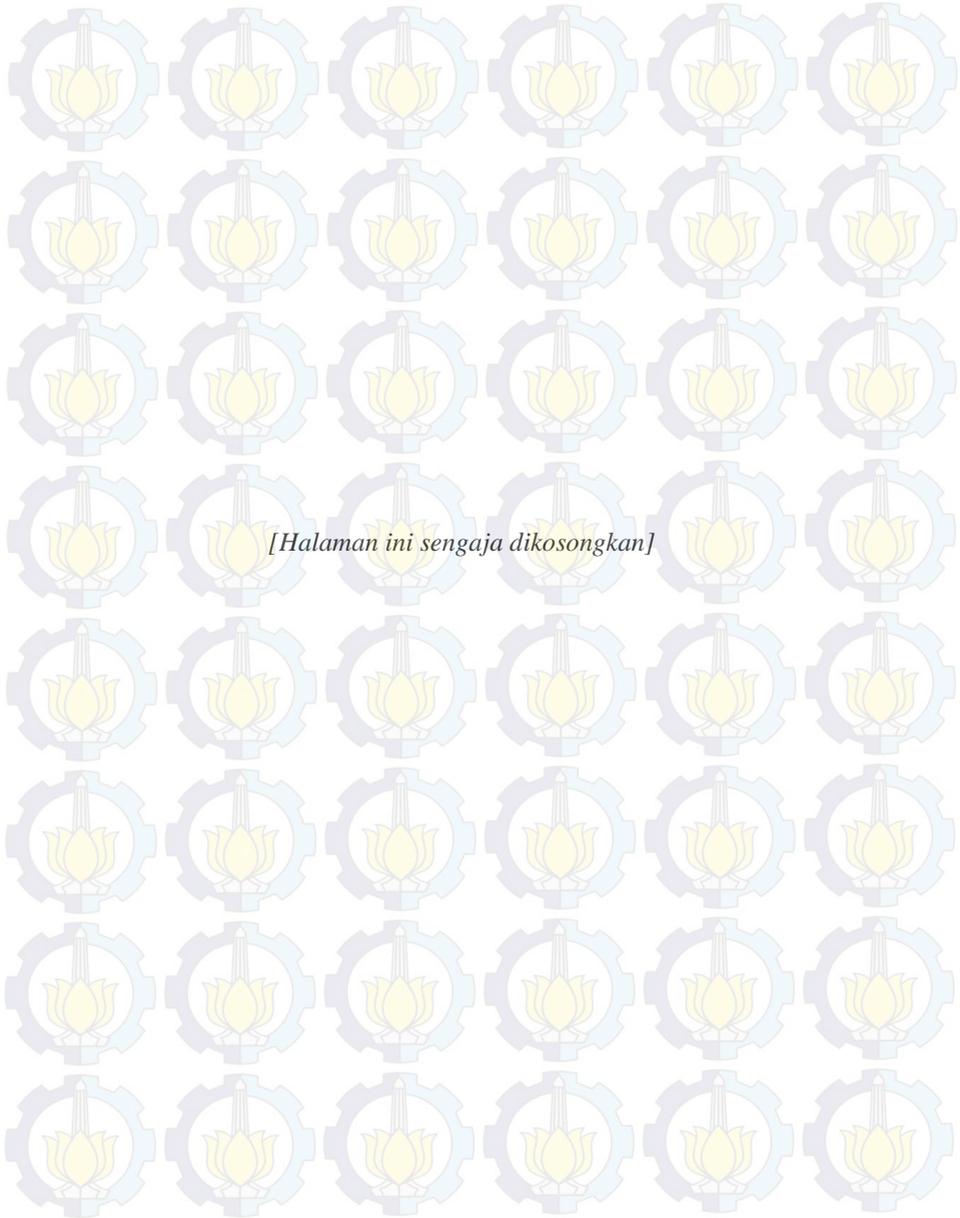
%Hasil Menara Optimal
if(rata_akhir<=rataakhir_sebelumnya-
3.0) || (iterasi==200) %Menghentikan Iterasi

```

```

hasil_akhir
chromosome_tertinggi
hasil_menara_optimal =
cell(jumlahMenaraOptimal,10);
for i=1:jumlahTotalMenara
    for j=1:jumlahMenaraOptimal
        if
            (nilaitotal(i)==chromosome_tertinggi(j))
                hasil_menara_optimal{j,1} =
                    namamenara(i);
                    hasil_menara_optimal{j,2} =
                        kecamatan(i);
                    hasil_menara_optimal{j,3} =
                        latitude_y(i);
                    hasil_menara_optimal{j,4} =
                        longitude_x(i);
                    hasil_menara_optimal{j,5} =
                        x_longitude(i);
                    hasil_menara_optimal{j,6} =
                        y_latitude(i);
                    hasil_menara_optimal{j,7} =
                        x_normal(i);
                    hasil_menara_optimal{j,8} =
                        y_normal(i);
                    hasil_menara_optimal{j,9} =
                        daerah(i);
                    hasil_menara_optimal{j,10} =
                        nilaitotal(i);
                end
            end
        end
    end
    iterasi %Jumlah Iterasi Yang Dilakukan
    break
end
end

```



## LAMPIRAN G

### DATA HASIL OPTIMASI ALGORITMA FUZZY EVOLUSI

**Tabel G.1** Data Hasil Optimasi Algoritma Fuzzy Evolusi

Site ID	Kecamatan	Longitude	Latitude	Daerah RTRW	Total Nilai
TP_003	Bangkalan	112.769928	-7.017512052	Pemukiman	1.075774518
TP_013	Bangkalan	112.687813	-7.052109001	Pemukiman	1.11724253
TP_019	Socah	112.7183041	-7.072203986	Pemukiman	1.051725164
TP_023	Socah	112.7651019	-7.079150965	Pemukiman	1.102008732
TP_026	Burneh	112.770443	-7.061208984	Pemukiman	1.063117701
TP_028	Burneh	112.817932	-7.049523978	Pemukiman	1.054587008
TP_033	Burneh	112.820435	-7.020758035	Pemukiman	1.05536293
TP_036	Burneh	112.816906	-6.999016016	Pemukiman	1.072639233
TP_049	Arosbaya	112.856926	-6.964563006	Pemukiman	1.051511845
TP_052	Arosbaya	112.8363571	-6.990836029	Pemukiman	1.065839526
TP_054	Arosbaya	112.854496	-7.007351018	Pemukiman	1.098203572
TP_056	Klampis	112.864971	-6.94823105	Pemukiman	1.122859382
TP_077	Sepulu	112.931309	-6.962573045	Pemukiman	1.127089734
TP_078	Sepulu	112.9444349	-6.936206001	Pemukiman	1.08323028
TP_079	Sepulu	112.96106	-6.940144032	Pemukiman	1.074141411
TP_083	Sepulu	113.000446	-6.938825982	Pemukiman	1.089804547
TP_092	Tanjung Bumi	113.013176	-6.921097076	Pemukiman	1.106563715
TP_094	Tanjung Bumi	113.040512	-6.921861024	Pemukiman	1.075133566
TP_095	Tanjung Bumi	113.040798	-6.895128991	Pemukiman	1.065775586
TP_103	Tanjung Bumi	113.108334	-6.919576011	Pemukiman	1.095357107
TP_108	Kokop	113.014873	-6.957003995	Pemukiman	1.079146037

Site ID	Kecamatan	Longitude	Latitude	Daerah RTRW	Total Nilai
TP_109	Kokop	113.0591311	-6.958264982	Pemukiman	1.067454784
TP_111	Kokop	113.038597	-6.979474049	Pemukiman	1.06168422
TP_112	Kokop	113.013576	-6.985010079	Pemukiman	1.077776126
TP_114	Kokop	113.059391	-7.001825989	Pemukiman	1.070221055
TP_115	Kokop	113.0142901	-7.012825023	Pemukiman	1.092583188
TP_117	Kokop	113.096519	-7.010013022	Pemukiman	1.096966542
TP_118	Kokop	113.128052	-7.007530064	Pemukiman	1.130472488
TP_120	Konang	113.022365	-7.02896106	Pemukiman	1.086045552
TP_121	Konang	113.020707	-7.039289977	Pemukiman	1.082377912
TP_123	Konang	113.048687	-7.042397016	Pemukiman	1.062198643
TP_124	Konang	113.070556	-7.033753011	Pemukiman	1.061443441
TP_127	Konang	113.104027	-7.059288918	Pemukiman	1.067190902
TP_128	Konang	113.091263	-7.060713987	Pemukiman	1.058281756
TP_132	Blega	113.043129	-7.089457965	Pemukiman	1.105413486
TP_138	Blega	113.071373	-7.10377806	Pemukiman	1.089287511
TP_149	Blega	113.007286	-7.153980969	Pemukiman	1.129877642
TP_152	Modung	113.034916	-7.173169031	Pemukiman	1.135069846
TP_154	Modung	113.048458	-7.18771598	Pemukiman	1.153732172
TP_158	Modung	112.968487	-7.19393005	Pemukiman	1.105819442
TP_165	Modung	112.938992	-7.14348808	Pemukiman	1.131283707
TP_173	Kwanyar	112.9079661	-7.152402023	Pemukiman	1.07840305
TP_174	Kwanyar	112.879375	-7.145701011	Pemukiman	1.053848628
TP_179	Kwanyar	112.872223	-7.163947034	Pemukiman	1.055653267
TP_181	Kwanyar	112.845222	-7.149089976	Pemukiman	1.074121041
TP_184	Galis	112.972092	-7.139252998	Pemukiman	1.130796878
TP_185	Galis	112.9555621	-7.137479041	Pemukiman	1.125514569
TP_193	Galis	113.006134	-7.09157901	Pemukiman	1.131224416

Site ID	Kecamatan	Longitude	Latitude	Daerah RTRW	Total Nilai
TP_194	Galis	113.01334	-7.081093956	Pemukiman	1.147627164
TP_196	Galis	112.980884	-7.058322035	Pemukiman	1.132113196
TP_198	Galis	112.954895	-7.075835013	Pemukiman	1.100870698
TP_202	Galis	112.91238	-7.073205043	Pemukiman	1.143651243
TP_204	Galis	112.920952	-7.052401004	Pemukiman	1.155876377
TP_205	Geger	112.870689	-6.965668918	Pemukiman	1.102165995
TP_208	Geger	112.876955	-7.000458957	Pemukiman	1.08791255
TP_210	Geger	112.880129	-7.029004998	Pemukiman	1.104392608
TP_211	Geger	112.919842	-7.022157033	Pemukiman	1.083926967
TP_214	Geger	112.967201	-6.97374096	Pemukiman	1.102613479
TP_217	Geger	112.963291	-7.026496069	Pemukiman	1.106422628
TP_218	Tanah Merah	112.846397	-7.040740045	Pemukiman	1.131029988
TP_220	Tanah Merah	112.847637	-7.057371962	Pemukiman	1.103027451
TP_225	Tanah Merah	112.884647	-7.053656943	Pemukiman	1.104833692
TP_229	Tanah Merah	112.895451	-7.07768696	Pemukiman	1.100643325
TP_233	Tanah Merah	112.860786	-7.081500981	Pemukiman	1.085132463
TP_236	Tanah Merah	112.854771	-7.103252977	Pemukiman	1.114346672
TP_245	Tragah	112.81937	-7.087564049	Pemukiman	1.042529522
TP_247	Tragah	112.819466	-7.102736988	Pemukiman	1.038986155
TP_249	Tragah	112.828304	-7.084525962	Pemukiman	1.047447933
TP_255	Tragah	112.845363	-7.124146992	Pemukiman	1.081002908
TP_271	Labang	112.819752	-7.14024303	Pemukiman	1.067045912
TP_282	Bangkalan	112.747892	-7.025525978	Pusat Kegiatan Warga	0.925094542

Site ID	Kecamatan	Longitude	Latitude	Daerah RTRW	Total Nilai
TP_293	Bangkalan	112.750129	-7.029628	Pusat Pemerintahan dan Pelayanan	0.797808153
TP_314	Klampis	112.8295898	-6.9122827	Kawasan Strategis Ekonomi	0.79118127
TP_329	Socah	112.724671	-7.074444	Kawasan Pariwisata dan Sosbud	0.430030209

## BIODATA PENULIS



**Raka Kusuma Landyanto**, dilahirkan di Klaten pada tanggal 17 Februari 1991. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Drs. Supriyanto dan Ibu Siti Wuryanti, A.Md. Riwayat pendidikan formal penulis dimulai dari SD Negeri 1 Tonggalan Klaten pada tahun 1997-2003, kemudian melanjutkan di SMP Negeri 2 Klaten pada tahun 2003-2006 dan SMA Negeri 1 Jogonalan Klaten pada tahun 2006-2009. Setelah itu penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang perguruan tinggi dan diterima di Institut Teknologi Telkom Bandung pada Diploma 3 Jurusan Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro dan Komunikasi pada tahun 2009-2012, kemudian pada bulan Januari 2013 penulis melanjutkan pendidikan S1 Teknik Elektro bidang studi Teknik Telekomunikasi Multimedia di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

E-mail : [rakakusumal@gmail.com](mailto:rakakusumal@gmail.com)