

**OPTIMASI PELETAKAN *BASE TRANSCEIVER STATION* PADA  
KABUPATEN PURWAKARTA DENGAN ALGORITMA *DIFFERENTIAL  
EVOLUTION* (STUDI KASUS: PT SK)**

**SKRIPSI**

**Mirza Anandita  
0404070433**



**UNIVERSITAS INDONESIA  
FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI  
DEPOK  
JULI 2008**

**OPTIMASI PELETAKAN *BASE TRANSCEIVER STATION* PADA  
KABUPATEN PURWAKARTA DENGAN ALGORITMA *DIFFERENTIAL  
EVOLUTION* (STUDI KASUS: PT SK)**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik  
Mirza Anandita  
0404070433**



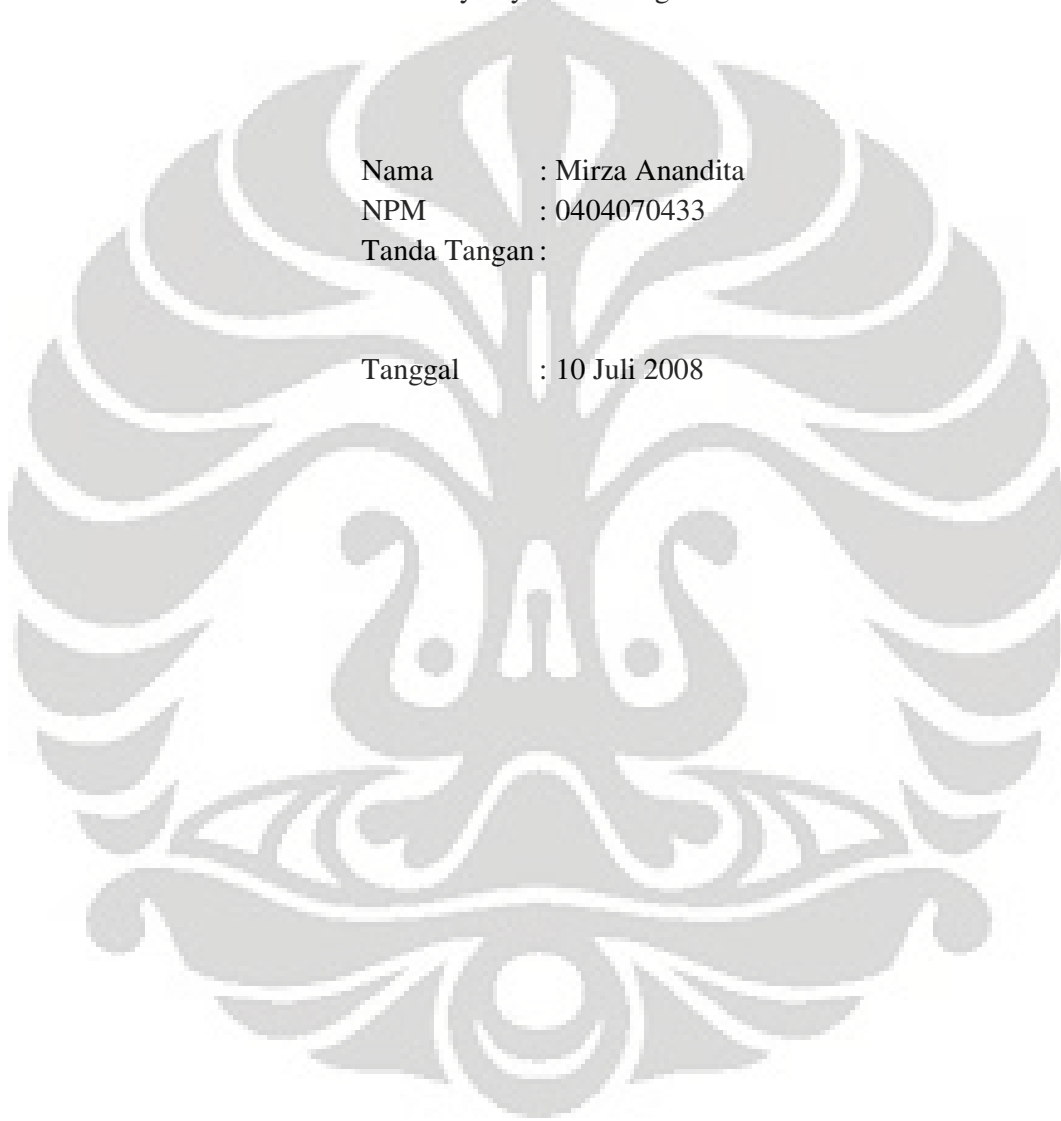
**UNIVERSITAS INDONESIA  
FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI  
DEPOK  
JULI 2008**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Mirza Anandita  
NPM : 0404070433  
Tanda Tangan :

Tanggal : 10 Juli 2008



## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Mirza Anandita  
NPM : 0404070433  
Program Studi : Teknik Industri  
Judul Skripsi : OPTIMASI PELETAKAN *BASE TRANSCIEVER STATION* PADA KABUPATEN PURWAKARTA DENGAN ALGORITMA *DIFFERENTIAL EVOLUTION* (STUDI KASUS: PT SK)

**Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Sarjana Fakultas Teknik Universitas Indonesia**

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Amar Rachman, MEIM

Penguji : Ir. Boy Nurtjahyo, MSIE

Penguji : Ir. Isti Surjandari, Ph.D

Depok, 10 Juli 2008

(Ir. Amar Rachman, MEIM)



**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS  
(Hasil Karya Perorangan)**

---

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mirza Anandita  
NPM : 0404070433  
Program Studi : Teknik Industri  
Fakultas : Teknik  
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Non- Eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

OPTIMASI PELETAKAN *BASE TRANSCIEVER STATION* PADA  
KABUPATEN PURWAKARTA DENGAN ALGORITMA *DIFFERENTIAL  
EVOLUTION* (STUDI KASUS: PT SK)

beserta perangkat yang ada (bila diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini menjadi tanggungjawab saya pribadi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 10 Juli 2008  
Yang menyatakan

(Mirza Anandita)



## UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur penulis panjatkan kepada ALLAH SWT, karena atas berkat dan rahmatNya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penyusunan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Departemen Teknik Industri pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, baik dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Amar Rachman, MEIM, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran didalam mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. Papa, Mama, dan Kakak atas semua bantuan dan dukungan selama ini kepada penulis.
3. Bapak Trenggono dan Bapak Ahmad yang telah sangat banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang diperlukan penulis.
4. D'Sempruls (Ade, Cici, Dika, Gode, Glory, Zia), D'Cross (Dee dan Dipi), Guk2, Rio, Dhanu, Gilang, Adi, Nuri, Randy, Asep, Distya, Unggul, Arli dan semua rekan-rekan Teknik Industri 2004 lainnya yang selama 4 tahun ini telah meluangkan waktunya yang sangat berharga bersama penulis.
5. Raniyah Nuraini dan Widyanita Puji Lestari yang selalu menjadi teman untuk mencoba hal-hal baru.
6. Teman-teman dari Pondok Kerria (Pe'A, Sidki, Benny, Willy, Nurul, Della, Shinta, dll) yang selalu meramaikan kosan saat penulis masih tinggal di Pondok Kerria.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan saudara-saudara semua. Dan semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 10 Juli 2008

Penulis



## ABSTRAK

Nama : Mirza Anandita

Program Studi : 0404070433

Judul : Optimasi Peletakan *Base Transceiver Station* pada Kabupaten Purwakarta dengan Algoritma *Differential Evolution* (Studi Kasus: PT SK)

Semakin meningkatnya pengguna telepon seluler di Indonesia berakibat pada munculnya berbagai operator baru. Hal ini tentu juga berdampak pada semakin banyaknya *Base Transceiver Station* (BTS) yang dipasang pada menara yang harus diletakkan di berbagai tempat guna memenuhi kebutuhan pengguna telepon seluler agar dapat menggunakan jasa telepon seluler dimanapun mereka berada. Hal ini mendorong para operator untuk membangun banyak menara sehingga letaknya terkesan tidak tertata dan tidak teratur sehingga dikeluarkanlah suatu peraturan pemerintah baru yang mengharuskan bahwa satu menara telekomunikasi harus digunakan oleh lebih dari satu operator untuk mengatasi permasalahan ini. Hal ini pun telah mendorong munculnya perusahaan-perusahaan yang menyediakan jasa penyewaan BTS yang diantaranya adalah PT SK.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan titik-titik optimum dari peletakan BTS pada Kabupaten Purwakarta dimana titik-titik tersebut digunakan untuk merelokasi BTS yang sebelumnya digunakan secara sendiri-sendiri oleh tiga operator, yaitu A, B, dan C di 66 titik di Kabupaten Purwakarta yang dilakukan oleh PT SK. Selain itu, relokasi juga dilakukan dengan menambahkan 32 titik baru sehingga memiliki total lokasi sebanyak 98 buah. Penentuan titik-titik optimum tersebut menggunakan metode optimasi algoritma *Differential Evolution*. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah peningkatan area layanan secara berturut-turut sebesar 41%, 58%, dan 120% untuk Operator A, B, dan C.

Kata kunci :

Optimasi, Algoritma, *Base Transceiver Station*, *Differential Evolution*

## ABSTRACT

Name : Mirza Anandita

Study Program: Industrial Engineering

Title : Base Transceiver Station Locating Optimization in *Kabupaten*  
Purwakarta Using Differential Evolution Algorithm (Case Study: PT SK)

The growing number of cellular phone users in Indonesia has accelerated the emerging of new providers. This phenomenon results in encouraging the providers to locate many Base Transceiver Stations installed on towers in many spots in order to fulfill the customers' needs to use the cellular phone services. The locating of many BTS in many spots done by a number of providers has resulted in disorganized locating of the BTS. To solve the problem, the Indonesian government issued decree that requires every tower to be used by more than one BTS. The decree also resulted in the emergence of many companies that offer tower renting service to cellular phone providers. One of those companies is PT SK.

The goal of this research is to determine the optimum coordinates of BTS locating in Kabupaten Purwakarta where those coordinates are used to relocate BTS in 66 locations that had been previously used individually by three providers, Provider A, B, and C by PT X and to increase the coverage of the each provider. In addition, PT X also added new 32 spots to locate the BTS. This problem is solved using Differential Evolution algorithm. The result of this research is the increase of the coverage of each provider which are increase of 41%, 58%, and 120% for Provider A, B and C respectively.

Keywords:

Optimization, Algorithm, Base Transceiver Station, Differential Evolution

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>I</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	<b>II</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>III</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI</b> .....	<b>V</b>
<b>KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS</b> .....	<b>V</b>
<b>UCAPAN TERIMAKASIH</b> .....	<b>VII</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>IX</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>X</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>XII</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>XIII</b>
<b>1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang Masalah</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Diagram Keterkaitan Masalah</b> .....	<b>4</b>
<b>1.3 Rumusan Masalah</b> .....	<b>4</b>
<b>1.4 Tujuan Penelitian</b> .....	<b>5</b>
<b>1.5 Batasan Masalah</b> .....	<b>5</b>
<b>1.6 Metodologi Penelitian</b> .....	<b>5</b>
<b>1.7 Sistematika Penulisan</b> .....	<b>6</b>
<b>2. DASAR TEORI</b> .....	<b>10</b>
<b>2.1 Telekomunikasi</b> .....	<b>10</b>
2.1.1 Sejarah .....	10
2.1.2 Telepon Seluler .....	10
2.1.3 Base Transceiver Station (BTS).....	11
<b>2.2 Lokasi Fasilitas</b> .....	<b>13</b>
<b>2.3 Algoritma Differential Evolution</b> .....	<b>14</b>
2.3.1 Sejarah .....	14
2.3.2 Konsep Dasar .....	16
2.3.3 Tahapan Pengerjaan .....	17

2.3.3.1	Inisialisasi.....	17
2.3.3.2	Mutasi .....	18
2.3.3.3	Pindah Silang.....	19
2.3.3.4	Seleksi.....	20
2.3.3.5	Terminasi .....	20
2.3.4	Permasalahan Kombinatorial dengan DE.....	23
<b>3.</b>	<b>PROFIL PERUSAHAAN DAN PENGUMPULAN DATA.....</b>	<b>24</b>
<b>3.1</b>	<b>Profil Perusahaan.....</b>	<b>24</b>
3.1.1	Sejarah Singkat Perusahaan .....	24
3.1.2	Visi Misi .....	25
<b>3.2</b>	<b>Pengumpulan Data.....</b>	<b>26</b>
3.2.1	Titik Koordinat BTS.....	26
3.2.2	Radius Sel BTS .....	34
<b>4.</b>	<b>PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS .....</b>	<b>35</b>
<b>4.1</b>	<b>Input Data .....</b>	<b>35</b>
<b>4.2</b>	<b>Langkah-langkah dalam Proses Pencarian Solusi Optimal Penelitian..</b>	<b>35</b>
<b>4.3</b>	<b>Verifikasi dan Validasi Program.....</b>	<b>46</b>
<b>4.4</b>	<b>Pengolahan Data dan Hasil.....</b>	<b>49</b>
<b>4.5</b>	<b>Analisis .....</b>	<b>53</b>
4.5.1	Analisis Metode .....	53
4.5.2	Analisis Hasil .....	54
4.5.2.1	Analisis Usulan Kombinasi BTS.....	54
4.5.2.2	Analisis Perbandingan Usulan Kombinasi BTS dengan Peletakan BTS Awal untuk Tiap Operator.....	55
<b>5.</b>	<b>KESIMPULAN .....</b>	<b>60</b>
	<b>DAFTAR REFERENSI.....</b>	<b>61</b>
	<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>60</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah.....	4
Gambar 1.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	8
Gambar 1.3 Diagram Alir Metodologi Penelitian (lanjutan) .....	9
Gambar 2.1 Telepon Seluler .....	11
Gambar 2.2 Base Transceiver Station .....	13
Gambar 2.3 Proses Terjadinya Pindah Silang.....	20
Gambar 2.4 Diagram Alir Tahapan Pengerjaan DE Secara Umum .....	21
Gambar 2.5 Diagram Alir Proses Pencarian Solusi DE.....	22
Gambar 3.1 Jaringan <i>Site</i> PT SK.....	24
Gambar 3.2 Posisi BTS Operator A .....	31
Gambar 3.3 Posisi BTS Operator B.....	32
Gambar 3.4 Posisi BTS Operator C.....	33
Gambar 3.5 Posisi untuk Dibangun BTS Baru .....	34
Gambar 4.1 Daerah irisan dua lingkaran .....	37
Gambar 4.2 Diagram Alir Optimasi Peletakan BTS dengan DE .....	45

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Koordinat Operator A.....	27
Tabel 3.2 Koordinat Operator B.....	28
Tabel 3.3 Koordinat Operator C.....	28
Tabel 3.4 Koordinat yang Mungkin Dipasang BTS Baru.....	29
Tabel 4.1 Koordinat Relatif BTS di Kabupaten Purwakarta.....	41
Tabel 4.2 Koordinat Relatif BTS di Kabupaten Purwakarta (sambungan) .....	42
Tabel 4.3 Parameter Kontrol dan Jumlah Iterasi Maksimum pada Penelitian Ini.	43
Tabel 4.4 Data yang Digunakan untuk Validasi Program .....	46
Tabel 4.5 Parameter Kontrol yang Digunakan pada Validasi Program.....	47
Tabel 4.6 Hasil Pembangkitan Bilangan Acak.....	48
Tabel 4.7 Populasi Vektor Target dan Hasil Evaluasi.....	48
Tabel 4.8 Populasi Vektor Mutan.....	49
Tabel 4.9 Populasi Vektor <i>Trial</i> dan Hasil Evaluasi .....	49
Tabel 4.10 Kombinasi Peletakan BTS yang Optimum.....	51
Tabel 4.11 Kombinasi Peletakan BTS yang Optimum (sambungan).....	52
Tabel 4.12 Titik Koordinat BTS Operator A yang Tidak Digunakan Lagi .....	56
Tabel 4.13 Titik Koordinat BTS Operator B yang Tidak Digunakan Lagi .....	57
Tabel 4.14 Titik Koordinat BTS Operator C yang Tidak Digunakan Lagi .....	57
Tabel 4.15 Titik-titik Koordinat untuk Dibangun BTS Baru.....	59

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Persaingan di sektor industri kian meningkat seiring dengan perkembangan zaman. Setiap perusahaan dan industri berlomba-lomba dalam menghasilkan produk atau jasa yang terbaik untuk merebut pangsa pasar. Dalam bentuk persaingan ini tentu saja pihak yang paling diuntungkan adalah pihak konsumen. Pilihan yang banyak tersedia di depan mata membuat konsumen dapat memilih produk dan jasa yang paling sesuai untuk kebutuhan mereka. Hal ini berlaku terutama untuk produk atau jasa yang digunakan secara luas oleh masyarakat sehingga mendorong banyak produsen yang berusaha untuk menyediakan produk atau jasa tersebut.

Hal yang sama dialami pula oleh industri telekomunikasi telepon seluler di Indonesia. Dengan jumlah penduduk yang mencapai 240 juta jiwa dan tingkat melek teknologi yang terus meningkat telah menciptakan segmen pasar yang sangat luas yang sangat penting dalam pertumbuhan industri telekomunikasi di negara ini. Oleh karena itu, jumlah operator yang menyediakan jasa telepon seluler pun semakin meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah pengguna telepon seluler itu sendiri. Hal ini mendorong para operator berlomba-lomba untuk memberikan pelayanan yang terbaik. Salah satu cara yang dapat dilakukan oleh para operator untuk merebut hati para pelanggan adalah dengan cara memperluas jangkauan layanan operator tersebut bahkan hingga ke daerah-daerah pelosok. Untuk memperluas jangkauan layanannya, para operator telepon seluler harus membangun *Base Transceiver Station* (BTS) yang dipasang pada menara telekomunikasi pada lokasi tertentu dimana BTS tersebut memancarkan sinyal yang digunakan oleh telepon seluler agar dapat saling bertukar informasi baik berupa panggilan telepon, SMS, maupun layanan lainnya. Namun, hal ini membuat para operator telepon seluler berlomba-lomba memperbesar daerah jangkauan sinyal mereka dengan membangun banyak sekali menara telekomunikasi di suatu wilayah sehingga terkesan letaknya tidak tertata dan tidak teratur.



Karena pembangunan menara telekomunikasi yang terkesan liar tersebut, pemerintah mengeluarkan suatu peraturan yang mewajibkan bahwa menara telekomunikasi harus digunakan oleh lebih dari satu operator atau secara bersama-sama berdasarkan Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Nomor: 02/Per/M.Kominfo/3/2008<sup>1</sup>. Dengan peraturan ini, diharapkan agar perusahaan telekomunikasi telepon seluler tidak membangun menara telekomunikasi secara liar. Dengan tidak bebasnya perusahaan telekomunikasi telepon seluler dalam membangun menara telekomunikasi karena keterbatasan lokasi, maka tiap BTS harus diletakkan pada tempat yang tepat sehingga para pelanggan operator telepon seluler dapat menikmati layanan operator telepon seluler tersebut. Selain itu, karena penggunaan menara secara bersama-sama mengakibatkan banyak operator telepon seluler yang lebih memilih menyewa menara telekomunikasi ketimbang membangun sendiri dengan alasan biaya. Oleh karena itu, muncul perusahaan-perusahaan yang menyediakan jasa penyewaan menara telekomunikasi.

PT SK adalah perusahaan pelopor dalam bisnis penyewaan *tower* bagi operator telekomunikasi di Indonesia yang berdiri pada. Hadirnya perusahaan penyedia jasa penyewaan menara telekomunikasi seperti PT SK memudahkan dilakukannya pemindahan atau relokasi BTS yang digunakan oleh operator telepon seluler. Relokasi ini berguna untuk mengurangi penggunaan lahan yang berlebihan dalam membangun menara telekomunikasi. Dengan adanya relokasi ini, maka lahan-lahan yang tidak dipakai untuk menara telekomunikasi ini dapat digunakan untuk kebutuhan-kebutuhan yang lainnya.

Salah satu relokasi yang dilakukan oleh PT SK adalah relokasi pada Kabupaten Purwakarta, Jawa Barat. Kabupaten Purwakarta merupakan Kabupaten yang sedang mengalami perkembangan. Perkembangan ini juga mengakibatkan penduduk Kabupaten Purwakarta semakin familiar dengan teknologi modern seperti telepon seluler. Dengan semakin familiarnya penduduk Kabupaten dengan teknologi telepon seluler, tentu saja dibutuhkan BTS yang dapat menjangkau seluruh daerah Kabupaten Purwakarta agar dapat memenuhi kebutuhan penduduk Kabupaten Purwakarta akan layanan operator telepon seluler. Untuk dapat

---

<sup>1</sup><http://www.postel.go.id/utama.aspx?MenuID=3&MenuItem=4&SubMenu=3&ContentID=3&DirId=4>



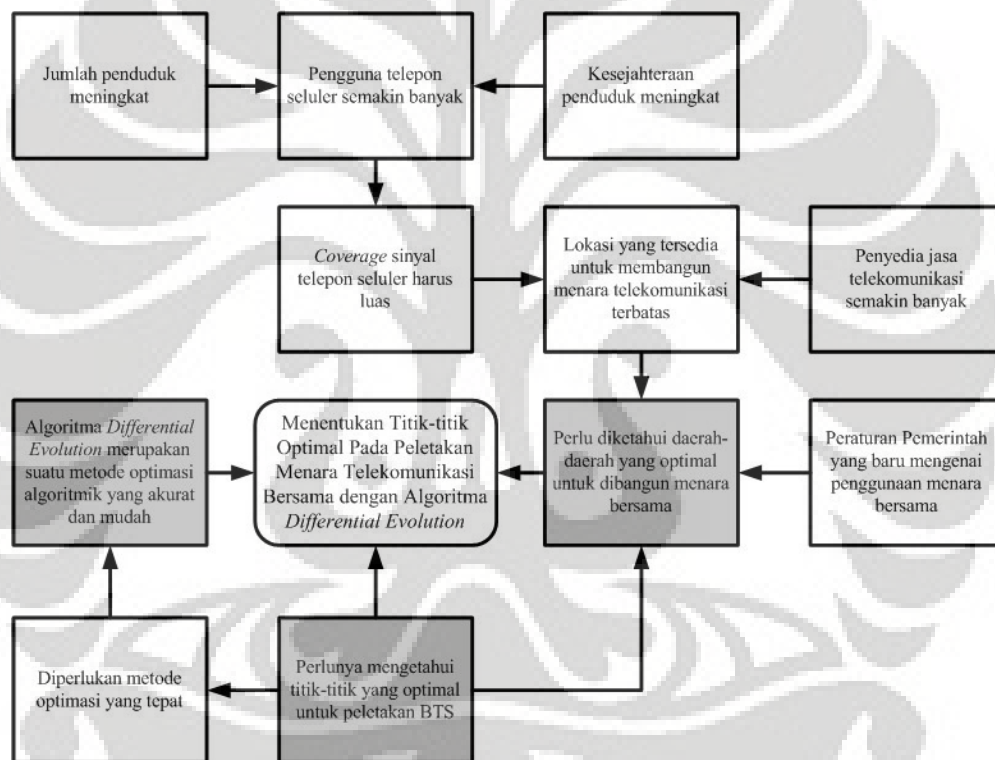
memenuhi kebutuhan itulah, para operator telepon seluler sebelum dikeluarkannya peraturan penggunaan menara secara bersama-sama membangun banyak menara di kabupaten tersebut. Saat ini, menara telekomunikasi yang pengoperasiannya telah dialihkan kepada PT SK ada sebanyak 66 buah yang merupakan menara telekomunikasi yang digunakan oleh tiga operator telepon seluler, yaitu Operator A, Operator B, dan Operator C. Dari jumlah sebanyak itu, banyak menara yang letaknya berdekatan sehingga mengakibatkan daerah jangkauan dari BTS tersebut saling bertumpuk sehingga diperlukan relokasi. Selain dapat menghemat penggunaan lahan, relokasi BTS tersebut juga dapat meningkatkan jangkauan layanan yang sebelumnya belum dicapai oleh Operator A, Operator B, atau Operator C.

Dengan penjelasan di atas, penulis bertujuan untuk melakukan suatu penelitian agar dari 66 buah BTS pada Kabupaten Purwakarta yang akan direlokasi tersebut dapat diketahui peletakan yang terbaik, dimana tiap Operator dapat memperluas jangkauan layanannya dengan peletakan BTS yang tepat. Untuk mendapatkan letak BTS yang tepat tersebut, maka perlu dilakukan metode optimasi. Optimasi merupakan suatu metode dengan pendekatan matematis yang bertujuan untuk memperoleh tujuan yang maksimal dengan *cost* (biaya) yang minimal. Pengertian *cost* dalam hal ini dapat berupa uang, sumber daya, tenaga kerja, atau berbagai bentuk pengorbanan lain yang perlu dikeluarkan untuk mencapai suatu tujuan. Hingga saat ini, ada berbagai jenis teknik-teknik optimasi. Namun, untuk kasus-kasus yang berskala besar dibutuhkan teknik-teknik optimasi yang lebih modern seperti algoritma optimasi. Algoritma merupakan suatu kumpulan perintah yang digunakan untuk menyelesaikan suatu masalah. Diantara algoritma-algoritma yang ada, algoritma *Differential Evolution* (DE) merupakan algoritma yang tepat dan tangguh untuk digunakan dalam memecahkan permasalahan optimasi dengan skala yang cukup besar. Selain tangguh, DE merupakan algoritma yang pengoperasiannya relatif mudah dibandingkan dengan algoritma-algoritma optimasi lainnya seperti *Genetic Algorithm*, *Tabu Search*, dan lain-lain. Hal ini disebabkan oleh struktur dari DE itu sendiri yang sederhana dan memiliki parameter kontrol yang relatif tidak banyak dibandingkan dengan algoritma-algoritma lainnya. Oleh karena itu, penulis bertujuan untuk membuat

suatu penelitian mengenai peletakan *Base Transceiver Station* yang optimum pada Kabupaten Purwakarta dengan menggunakan algoritma *Differential evolution*.

## 1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka dapat dibuat diagram keterkaitan masalah yang menampilkan permasalahan secara visual dan sistematis. Diagram keterkaitan masalah dari dilakukannya penelitian ini adalah seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah

## 1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah dan diagram keterkaitan masalah yang telah dijelaskan sebelumnya, maka inti permasalahan dari penelitian ini adalah optimasi peletakan menara telekomunikasi bersama di Kabupaten Purwakarta dengan menggunakan metode *Algoritma Differential Evolution*.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan diagram keterkaitan masalah yang telah dijelaskan sebelumnya, maka tujuan dari penelitian ini adalah memperoleh titik-titik yang optimal pada peletakan menara telekomunikasi bersama untuk operator A, B, dan C sehingga diperoleh *coverage* maksimum dengan jumlah penggunaan menara telekomunikasi yang minimum di Kabupaten Purwakarta.

#### 1.5 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini dilakukan pembatasan masalah agar pelaksanaan serta hasil yang akan diperoleh sesuai dengan tujuan pelaksanaannya. Adapun batasan masalahnya adalah :

1. Penelitian ini hanya meliputi Kabupaten Purwakarta. Oleh karena itu, hasil dari penelitian ini tidak memperhitungkan daerah lain.
2. Relokasi BTS hanya dilakukan untuk Operator A, B, dan C karena operator-operator tersebut merupakan operator yang memiliki jumlah BTS dan pelanggan yang signifikan di Kabupaten Purwakarta sehingga lokasi BTS bersama berasal dari lokasi-lokasi dimana BTS Operator A, B, dan C atau lokasi BTS baru.

#### 1.6 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam skripsi ini secara sistematis adalah sebagai berikut :

1. Penentuan topik penelitian

Adapun topik dari penelitian ini adalah Optimasi Peletakan *Base Transceiver Station* pada Kabupaten Purwakarta dengan Algoritma *Differential Evolution*.

2. Penentuan landasan teori

Setelah menentukan topik penelitian, maka tahap selanjutnya adalah menentukan landasan teori yang berhubungan dengan topik penelitian ini sebagai dasar dalam pelaksanaan penelitian. Landasan teori ini kemudian akan dijadikan acuan dalam pelaksanaan tugas akhir. Adapun landasan

teori yang terkait dengan penelitian ini diantaranya adalah *Facility Location*, Telekomunikasi, dan Algoritma *Differential Evolution*.

### 3. Pengumpulan data

Dalam melakukan penelitian ini, data yang dibutuhkan merupakan data titik-titik koordinat dari lahan yang tersedia untuk diletakkan BTS. Dari titik-titik tersebut maka akan dicari kombinasi yang optimal dari peletakan BTS Operator A, Operator B, dan Operator C. Selain itu, untuk dapat menentukan luas jangkauan layanan, maka dibutuhkan juga radius jangkauan yang dipancarkan oleh BTS.

### 4. Pengolahan data

Pada tahapan ini, dilakukan pengolahan dari data yang diperoleh. Pengolahan data ini dilakukan dengan menggunakan algoritma *Differential Evolution* dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB.

### 5. Analisis hasil pengolahan data

Dalam tahap ini dilakukan analisis terhadap hasil pengolahan data untuk memperoleh tujuan penulisan skripsi.

### 6. Kesimpulan

Dalam tahapan ini akan dihasilkan kesimpulan mengenai keseluruhan penelitian. Kesimpulan dari penelitian ini merupakan ringkasan dari hasil pengolahan data dan analisis yang telah dilakukan sebelumnya.

Secara lebih detail, metode penelitian pada skripsi ini dapat dilihat pada Gambar 1.2 dan Gambar 1.3.

## 1.7 Sistematika Penulisan

Secara umum, sistematika penulisan dari penelitian ini terdiri dari beberapa bab yang berisikan sebagai berikut:

Bab pertama yang merupakan pendahuluan. Pada bab ini penulis menjelaskan mengenai latar belakang dari dilakukannya penelitian ini. Oleh karena itu, isi utama dari bab ini adalah latar belakang permasalahan, tujuan penelitian, dan metodologi penelitian. Selain itu, pada bab ini dicantumkan juga

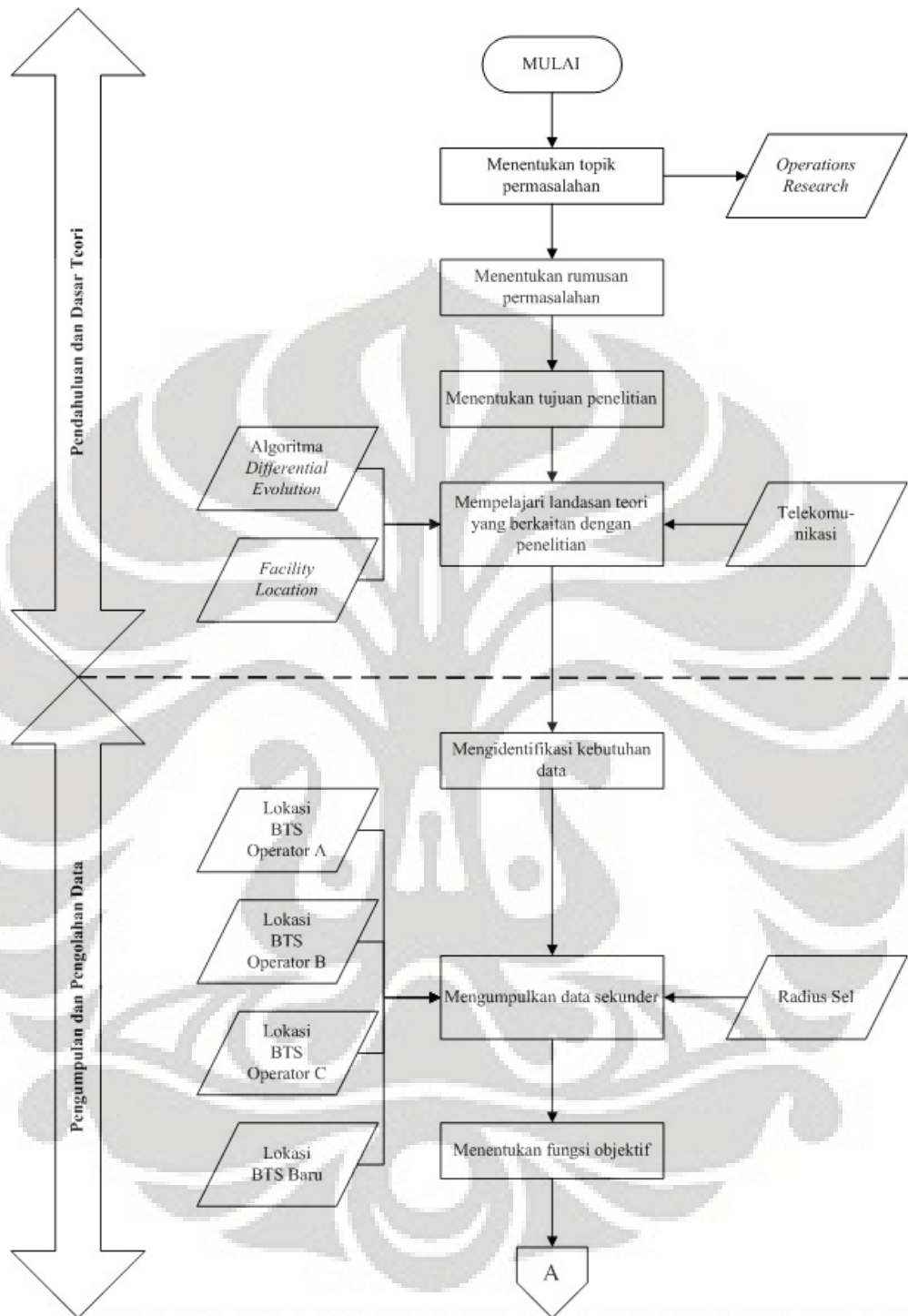
diagram keterkaitan masalah untuk memberikan gambaran secara sistematis dari dilakukannya penelitian ini dan diagram alir metodologi penelitian yang menjelaskan mengenai langkah-langkah umum dari pelaksanaan penelitian ini.

Bab kedua yang berisikan dasar teori. Bab ini menjelaskan mengenai landasan-landasan teori yang berkaitan dari dilakukannya penelitian ini. Oleh karena itu, bab ini berisikan mengenai teori-teori yang berkaitan dengan *facility location*, telekomunikasi, dan metode optimasi yang dikhususkan pada Algoritma *Differential Evolution*.

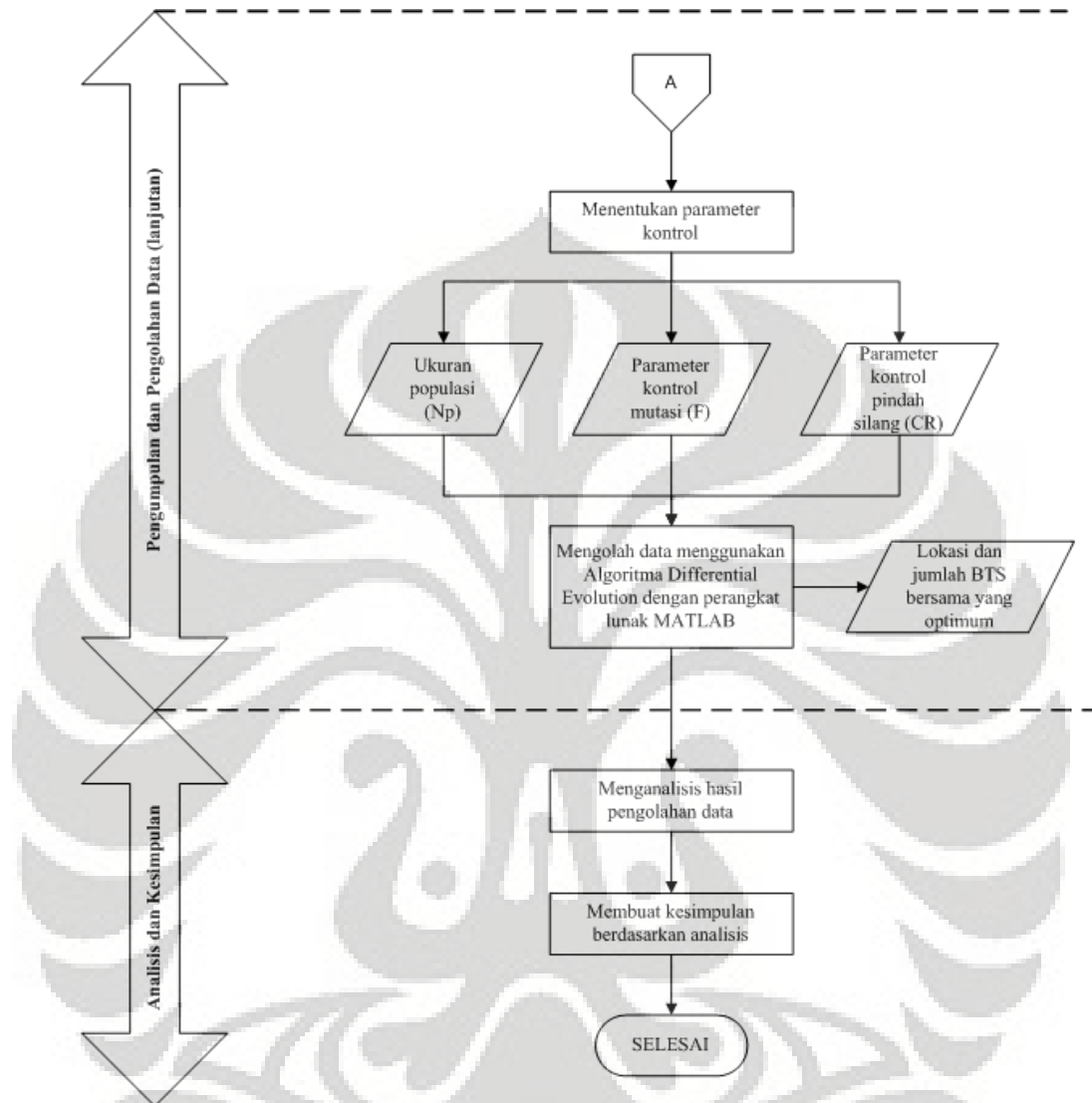
Bab ketiga yang berisikan pengumpulan data. Bab ini menjelaskan mengenai data yang dibutuhkan pada penelitian ini. Data tersebut berupa radius jangkauan sinyal yang dipancarkan oleh BTS dan lokasi-lokasi BTS Operator A, B, C dan lokasi-lokasi baru yang layak untuk dibangun BTS baru pada Kabupaten Purwakarta. Selain itu, pada bab ini juga akan dibahas mengenai profil dari PT. SK.

Bab keempat yang merupakan pengolahan data dan analisis. Pada bab ini akan dijelaskan langkah-langkah pada pengolahan data secara lebih detil. Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode Algoritma *Differential Evolution*. Setelah pengolahan data, maka penulis menganalisis hasil yang diperoleh dari pengolahan data yang telah dijelaskan sebelumnya.

Bab kelima yang merupakan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh penulis yang merupakan ringkasan dari penjelasan pada bab sebelumnya.



Gambar 1.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian



Gambar 1.3 Diagram Alir Metodologi Penelitian (lanjutan)



## 2. DASAR TEORI

### 2.1 Telekomunikasi

#### 2.1.1 Sejarah

Menurut definisinya, telekomunikasi dapat diartikan sebagai suatu metode pengiriman sinyal yang digunakan oleh manusia untuk berkomunikasi dengan pihak lain pada jarak yang jauh, atau ketika kedua belah pihak tidak berhadapan langsung. Sebelum adanya teknologi modern seperti saat ini, manusia mengirimkan sinyal ke pihak lain dengan menggunakan media seperti asap, drum, *semaphore*, bendera, atau heliograf<sup>2</sup>. Namun seiring dengan berkembangnya teknologi, maka telekomunikasi pun mulai berkembang sejak ditemukannya peralatan komunikasi jarak jauh modern seperti telepon dan telegraf hingga menjadi seperti saat ini dimana sudah ditemukannya telepon seluler, faksimile, e-mail, dan lain-lain.

#### 2.1.2 Telepon Seluler

Diantara media telekomunikasi yang tersedia, media yang paling umum digunakan dan terus berkembang adalah telepon seluler. Awal mula dikembangkannya telepon seluler berawal pada tahun 1915, dimana *American Telephone & Telegraph* mencoba untuk mengembangkan suatu telepon nirkabel, namun pengembangan tersebut sempat dihentikan karena dikhawatirkan akan menggeser monopoli telepon kabel pada saat itu. Hingga pada tahun 1970an, telepon seluler diproduksi secara komersial oleh Illinois Bell di Chicago dan cukup memperoleh sukses pada saat itu<sup>3</sup>. Pada tahun 2007, diperkirakan ada sekitar 3,3 milyar orang diseluruh dunia yang menggunakan telepon seluler, atau sekitar setengah dari penduduk dunia<sup>4</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa telepon seluler merupakan salah satu teknologi modern yang paling umum digunakan saat ini. Saat ini, telepon seluler yang umum digunakan dikelompokkan menjadi dua

---

<sup>2</sup> Microsoft Encarta Premium 2006, Telecommunication. (2005).Microsoft

<sup>3</sup> Microsoft Encarta Premium 2006, Cellular Radio Phone. (2005).Microsoft

<sup>4</sup> [http://www.itu.int/ITU-D/ict/publications/wtdr\\_03/index.html](http://www.itu.int/ITU-D/ict/publications/wtdr_03/index.html)



macam standar, yaitu GSM (*Global System for Mobile Communication*) dan CDMA (*Code Division Multi Access*). GSM adalah nama dari sebuah group standarisasi yang dibentuk di Eropa tahun 1982 untuk menciptakan sebuah standar bersama telpon bergerak selular di Eropa yang beroperasi pada daerah frekuensi 900 MHz<sup>5</sup>. GSM saat ini banyak digunakan di negara-negara di dunia. Sedangkan CDMA adalah teknologi akses *voice* dan data, dimana setiap *user* menggunakan *code* tersendiri yang unik dalam mengakses kanal frekuensi yang sama dalam sebuah sistem. Pada CDMA, sinyal informasi pada *transmitter* di-*coding* dan disebar dengan *bandwidth* sebesar 1.25 MHz (*spread spectrum*), kemudian pada sisi *receiver* dilakukan *decoding* sehingga didapatkan sinyal informasi yang dibutuhkan<sup>6</sup>.



Gambar 2.1 Telepon Seluler

### 2.1.3 Base Transceiver Station (BTS)

Telepon seluler bekerja dengan cara mengirimkan dan menerima sinyal radio melalui *Base Transceiver Station* (BTS). BTS adalah pusat transmisi dan penerimaan di dalam setiap sel radio. Sel-sel PCS bisa cukup kecil hanya berdiameter beberapa ratus kaki atau cukup besar berdiameter beberapa mil. Dari BTS, suara atau data dibawa ke *Base Station Controller* (BSC). BSC ini bertanggung jawab mengelola kanal-kanal suara dan data di dalam BTS dan memelihara komunikasi dengan *Mobile services Switching Center* (MSC). Diantara MSC dan BSC ada *Transcoder and Rate Adapter Unit* (TRAU). TRAU ini menyandikan dan membaca sandi percakapan ataupun kecepatan adaptasi untuk mentransmisikan data. *Base Station Sub-system* (BSS) mencakup semua BTS, BSC dan TRAU. MSC adalah *switch* yang dirancang secara khusus untuk komunikasi *mobile* (bergerak). Switch dalam komunikasi pada dasarnya merupakan komputer-komputer yang mengelola dan mengontrol sirkuit. MSC

<sup>5</sup> <http://www.elektroindonesia.com/elektro/no5b.html>

<sup>6</sup> <http://www.telkomflexi.com/corporate/index.php?page=MQ>

menentukan dan mengoordinasikan panggilan dari *Public Switched Telephone Network* (PSTN) ke BSC dan akhirnya ke handset pengguna. PSTN adalah jaringan telepon kabel yang dilengkapi dengan telekomunikasi kabel interlokal dan lokal. MSC tergantung pada *Intelligent Network* (IN) untuk pelayanan-pelayanan khusus yang ditawarkan oleh PCS. Untuk menyediakan pelayanan-pelayanan ini, IN terdiri atas beberapa peralatan *intelligent*. Peralatan ini secara khusus meliputi *Home Location Register* (HLR), *Equipment Identity Register* (EIR), *Authentication Center* (AuC), dan *Visitors Location Register* (VLR). IN diakses dengan MSC melalui protokol komunikasi yang disebut *Signaling System 7* (SS7)<sup>7</sup>.

BTS umumnya diletakkan pada tempat yang tinggi misalnya menara, tiang, atau gedung. Selain itu, BTS juga diletakkan pada tempat yang berpenduduk banyak dimana diantara penduduk tersebut merupakan pelanggan dari operator telekom seluler yang bersangkutan.



---

<sup>7</sup> <http://elektroindonesia.com/elektro/khusus51.html>

Gambar 2.2 Base Transceiver Station

## 2.2 Lokasi Fasilitas

Lokasi fasilitas (*facility location*) merupakan salah satu aspek yang sangat penting dalam perencanaan fasilitas (*facility planning*). Lokasi fasilitas merupakan faktor yang sangat diperhatikan oleh setiap perusahaan manufaktur maupun perusahaan jasa baik yang baru berdiri maupun sudah lama. Hal ini disebabkan karena lokasi dari fasilitas yang didirikan akan mempengaruhi kelangsungan hidup dari perusahaan itu sendiri. Dalam penentuan lokasi fasilitas, tiap perusahaan memiliki pertimbangan-pertimbangan masing-masing, pertimbangan tersebut umumnya berupa<sup>8</sup>:

- Kedekatan dengan pelanggan
- Iklim bisnis
- Biaya total
- Infrastruktur
- Mutu dari tenaga kerja
- *Supplier*
- Fasilitas penunjang lainnya
- Zona perdagangan bebas
- Iklim politik
- Kendala hukum
- Kebijakan yang berhubungan dengan lingkungan, dan lain-lain

Dalam industri telekomunikasi telepon seluler, permasalahan utama dalam lokasi fasilitas terutama merupakan permasalahan dalam peletakan BTS. Dalam menjual jasanya ke masyarakat, penyedia jasa layanan telepon seluler harus dapat membangun BTS pada lokasi yang tepat. Lokasi yang tepat dalam meletakkan BTS adalah lokasi dimana terdapat banyak pelanggan. Karena telepon seluler bekerja dengan sinyal yang dipancarkan oleh BTS, maka telepon seluler harus berada di dalam area layanan (*coverage*) dari BTS yang bersangkutan. Oleh

---

<sup>8</sup> Chase, Richard, F. Robert Jacobs, Nicholas J. Aquilano. (2004). *Operations Management for Competitive Advantage* (10th ed.). New York: McGraw-Hill.

karena itu, peletakan BTS harus memenuhi kriteria dalam hal kedekatan dengan pelanggan agar pelanggan dapat menikmati layanan jasa yang ditawarkan oleh penyedia.

## 2.3 Algoritma Differential Evolution

### 2.3.1 Sejarah

Dalam bidang matematika dan komputasi, algoritma merupakan kumpulan perintah untuk menyelesaikan suatu masalah. Perintah-perintah ini dapat diterjemahkan secara bertahap dari awal hingga akhir. Masalah tersebut dapat berupa apa saja, dengan catatan untuk setiap masalah, ada kriteria kondisi awal yang harus dipenuhi sebelum menjalankan algoritma. Algoritma sering mempunyai langkah pengulangan (iterasi) atau memerlukan keputusan (logika Boolean dan perbandingan) sampai tugasnya selesai<sup>9</sup>. Algoritma memiliki banyak kegunaan dimana salah satu kegunaannya adalah untuk permasalahan optimasi, sehingga algoritma jenis ini biasa disebut dengan algoritma optimasi. Algoritma banyak digunakan dalam pemecahan masalah optimasi karena pada umumnya di banyak kasus di dunia nyata, permasalahan yang timbul memiliki permasalahan yang sulit atau tidak mungkin dikerjakan dengan menggunakan teknik-teknik optimasi konvensional yang dikerjakan secara manual. Misalnya, dalam kebanyakan kasus berskala besar, permasalahan optimasi yang ada memiliki jumlah variabel yang sangat besar hingga mencapai ratusan, memiliki fungsi-fungsi, baik kendala maupun tujuan, yang bersifat non-linier sehingga memiliki banyak optima lokal, atau fungsi yang non-kontinu.

Algoritma optimasi memiliki jenis yang sangat banyak, namun menurut Wolpert dan Macready hingga saat ini belum ada suatu algoritma superior yang dapat menyelesaikan permasalahan. Selama empat dekade, belum ada penelitian yang dapat memberikan solusi algoritma yang terbaik, karena pada prakteknya masih banyak hambatan, seperti fungsi yang *non-differentiable*, non-kontinu, non-linear, multi-dimensi, memiliki banyak *constraint* (kendala), dan bersifat stokastik<sup>10</sup>. Hingga pada akhir tahun 1995, Storn dan Price menawarkan suatu terobosan baru, yaitu algoritma *Differential Evolution* (DE). DE pertama kali

<sup>9</sup> Microsoft Encarta Premium 2006, Algorithm. (2005).Microsoft

<sup>10</sup> Rasmus K. Ursem, "*Differential Evolution Made Easy*", *Technical Report no. 01, 2005*

mulai dikembangkan ketika Price mencoba memecahkan permasalahan polynomial Chebyshev yang diajukan oleh Storn. Dalam mencoba memecahkan permasalahan tersebut, Price terinspirasi untuk menggunakan selisih dari vektor dalam mencari suatu solusi penyelesaian, hingga setelah melalui diskusi yang panjang dan simulasi dengan menggunakan program computer yang dilakukan oleh Storn dan Price, dikembangkanlah *Genetic Annealing* yang merupakan cikal bakal dari DE itu sendiri. DE merupakan algoritma yang masuk kedalam kelompok optimasi yang masuk ke dalam sub-kelompok algoritma evolusioner (EA). Sama seperti EA yang lainnya seperti *Genetic Algorithm* (GA), *Evolution Strategy*, *Learning Classifier System*, dan lain-lain, DE memiliki konsep yang terinspirasi dari teori evolusi biologi, dimana di dalamnya terdapat reproduksi, mutasi, rekombinasi, dan seleksi.

DE pertama kali dijelaskan oleh Price dan Storn di ICSI *technical report* pada tahun 1995. Satu tahun kemudian, DE sukses didemonstrasikan di *First International Contest on Evolutionary Optimization* yang diadakan bersamaan dengan *International Conference on Evolutionary Computation* yang diadakan oleh IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) dan berhasil memenangkan tempat ketiga. Terinspirasi dari hasil tersebut, Price dan Storn menulis sebuah artikel untuk jurnal Dr. Dobbs ("*Differential Evolution: A Simple Evolution Strategy for Fast Optimization*") yang diterbitkan pada April 1997 dan selanjutnya mereka menerbitkan artikel lagi untuk *Journal of Global Optimization* ("*Differential Evolution: A Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Space*"). Artikel-artikel ini memperkenalkan DE ke komunitas internasional dan mendemonstrasikan keunggulan yang dimiliki oleh DE dibandingkan dengan metode heuristik yang lainnya. Pada tahun 1999, Price membuat suatu ringkasan yang berisi penjelasan mengenai algoritma DE ini dalam bentuk buku yang berjudul "*New Ideas in Optimization*"<sup>11</sup>.

DE telah sukses diterapkan di berbagai bidang, baik teknik maupun sains, beberapa contoh diantaranya adalah<sup>12</sup>:

- Desain *filter* digital (Storn, 1996)

<sup>11</sup> <http://www.icsi.berkeley.edu/~storn/code.html>

<sup>12</sup> Srikanta Routroy dan Rambabu Kodali, Op. Cit.

- Pengambilan keputusan untuk produksi bahan bakar alkohol (Wang et al., 1998)
- Proses fermentasi untuk *lot size* tertentu (Chiou dan Wang, 1999)
- Perpaduan multi sensor (Joshi dan Sanderson, 1999)
- Optimasi dinamis untuk reaksi polimer yang terus-menerus (Lee et al., 1999)
- Optimasi pertukaran panas (Babu dan Munawar, 2000)
- Perencanaan persediaan (Srikanta dan Rambabu, 2003), dan lain-lain

### 2.3.2 Konsep Dasar

Seperti yang dijelaskan di atas, DE bekerja dengan meniru teori evolusi biologi. DE memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan metode optimasi klasik, diantaranya adalah:

- Memiliki populasi yang berisikan calon-calon penyelesaian
- Merupakan metode non-deterministik yang menghasilkan solusi-solusi yang berbeda meskipun model awalnya tidak dirubah, karena bekerja dengan menggunakan *random sampling*.
- Menggunakan elemen-elemen dari solusi-solusi yang telah ada untuk menciptakan solusi baru dengan cirri-ciri yang diwariskan dari elemen-elemen induknya.

Mirip dengan EA lainnya, DE menggunakan vektor-vektor yang merepresentasikan kandidat-kandidat penyelesaian dimana teknik pencariannya dilakukan sekaligus atas sejumlah solusi yang disebut dengan populasi. Populasi awal (generasi ke nol) dibentuk dengan membangkitkan bilangan acak, sedangkan populasi berikutnya merupakan hasil evolusi dari vektor-vektor yang telah melalui tahap reproduksi, mutasi, rekombinasi, dan seleksi. Setiap individu didefinisikan sebagai vektor berdimensi-D dimana vektor-vektor tersebut dilambangkan sebagai  $x_{i,g}$  yang merupakan anggota populasi pada generasi ke-g. Populasi dinotasikan sebagai  $P_x$  yang terdiri atas vektor-vektor tersebut yang berdimensi  $N_p$  dimana  $N_p$  merupakan ukuran populasi. Oleh karena itu, Populasi dan vektor yang menjadi



calon-calon penyelesaian dapat dilambangkan ke dalam bentuk umum seperti berikut:

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_{x,g} &= (x_{i,g}), \quad i=0,1,\dots,Np-1, \quad g=0,1,\dots,g_{\max} \\ \mathbf{x}_{i,g} &= (x_{j,i,g}), \quad j=0,1,\dots,D-1 \end{aligned} \quad (2.1)$$

Pada setiap generasi, tiap individu calon penyelesaian akan melewati proses evaluasi dimana individu-individu tersebut akan membentuk vektor target dan dihitung fungsi objektifnya (atau seringkali disebut sebagai *fitness function*). Selain itu, individu-individu tersebut akan dilakukan proses mutasi dan pindah silang (*crossover*) agar dapat membentuk vektor *trial* yang digunakan untuk membentuk populasi anak (populasi pada generasi selanjutnya). Populasi generasi selanjutnya akan dibentuk dengan cara membandingkan fungsi objektif dari vektor induk dan anak (vektor *trial*) dimana individu dengan nilai fungsi objektif yang terbaik akan lolos ke generasi selanjutnya. Proses tersebut akan terus diulang hingga kriteria terminasi terpenuhi.

### 2.3.3 Tahapan Pengerjaan

Dalam proses pencarian solusi, DE akan melalui tahapan-tahapan berupa inisialisasi, mutasi, pindah silang, seleksi, dan terminasi.

#### 2.3.3.1 Inisialisasi

Tahapan inisialisasi merupakan penetapan parameter kontrol dan populasi awal (generasi ke-0). Tujuan penetapan parameter kontrol adalah untuk menemukan solusi yang dapat diterima melalui sejumlah evaluasi fungsi dan nantinya akan berdampak pada performa DE. DE memiliki parameter kontrol yang tidak banyak, dimana hal ini merupakan salah satu keunggulan DE dibandingkan algoritma optimasi lainnya. Parameter kontrol pada DE diantaranya adalah ukuran populasi, parameter kontrol mutasi, dan parameter kontrol pindah silang.

Ukuran populasi ( $N_p$ ) merupakan jumlah saluran populasi dalam satu generasi (berupa kolom matriks) yang nilainya tetap selama proses pencarian.

Namun, jika proses pencarian mengalami hambatan, maka nilai dari  $N_p$  dapat dinaikkan. Umumnya, nilai dari  $N_p = 10 \times D$ , dimana  $D$  merupakan ukuran dimensi (berupa baris matriks). Dimensi merupakan input parameter yang nilainya akan berubah-ubah selama proses pencarian solusi. Populasi awal (berisikan individu sejumlah  $N_p$ ) yang diinisialisasikan, merupakan populasi solusi awal yang dapat diperoleh dari metode heuristic maupun diperoleh dengan pengambilan sampel secara acak.

Parameter kontrol mutasi ( $F$ ) merupakan parameter kontrol bernilai bilangan asli positif yang berfungsi dalam mengendalikan tingkat evolusi dari populasi.. Nilai efektif dari  $F$  umumnya berada pada kisaran  $[0.4, 1]$ . Walaupun pada teorinya nilai dari parameter kontrol mutasi tersebut tidak memiliki batas atas (dapat lebih besar dari 1), sangat jarang nilainya lebih besar dari 1. Selain itu, nilai  $F$  yang lebih kecil dari 0.4 juga tidak efektif karena akan membawa vektor mutasi yang mendekati vektor target.

Parameter kontrol pindah silang ( $Cr$ ) merupakan parameter yang digunakan dalam penentu pewarisan gen yang dimiliki oleh vektor target dan vektor mutasi dalam pembentukan vektor *trial* dengan cara membandingkannya dengan bilangan acak yang dibangkitkan pada proses pindah silang. Nilai dari  $Cr$  ini berkisar pada antara  $[0, 1]$ .

Setelah menentukan parameter kontrol, maka dilakukan evaluasi dari populasi awal yang terbentuk. Evaluasi dilakukan dengan cara menghitung nilai dari fungsi objektifnya. Evaluasi ini dilakukan sebagai ukuran dalam menentukan karakteristik dari vektor pada generasi selanjutnya.

### 2.3.3.2 Mutasi

Setelah melakukan inisialisasi, proses selanjutnya adalah proses mutasi. Mutasi merupakan proses untuk membentuk vektor mutasi ( $v_{i,g}$ ) yang diperoleh dari mengalikan selisih dari dua vektor pada generasi sekarang yang dipilih secara acak dengan parameter kontrol mutasi ( $F$ ) lalu dijumlahkan dengan vektor yang ketiga yang juga dipilih secara acak. Oleh karena itu, ukuran populasi minimal adalah empat. Rumus dari proses mutasi ini adalah sebagai berikut:



$$\mathbf{v}_{i,g} = \mathbf{x}_{r0,g} + F \cdot (\mathbf{x}_{r1,g} - \mathbf{x}_{r2,g}) \quad (2.2)$$

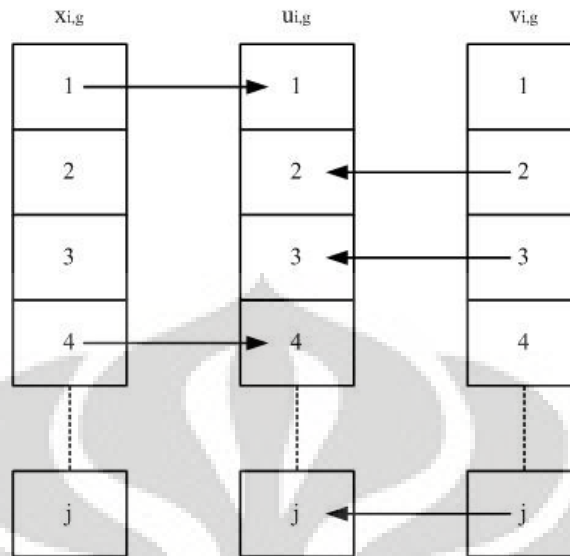
### 2.3.3.3 Pindah Silang

Untuk melengkapi proses mutasi, DE juga menggunakan proses pindah silang (*crossover*), atau terkadang disebut sebagai rekombinasi diskrit (*discrete recombination*)<sup>13</sup>. Pindah silang merupakan proses yang bertujuan untuk memperkaya keanekaragaman gen dalam populasi yang akan memasuki generasi yang berikutnya dengan menyilangkan gen yang dimiliki oleh populasi vektor mutan dengan populasi vektor target sehingga membentuk populasi vektor *trial*. Proses pindah silang ini melibatkan parameter kontrol pindah silang (*Cr*). Parameter kontrol pindah silang ini merupakan elemen yang menentukan gen-gen mana saja yang diperoleh dari vektor target dan mutan untuk diwariskan kepada vektor *trial*. Penentuan ini dilakukan dengan cara membandingkan nilai *Cr* tersebut dengan bilangan yang dibangkitkan secara acak. Jika nilai *Cr* lebih besar dari bilangan acak, maka gen dari vektor mutasi akan lolos untuk memasuki vektor *trial*, sedangkan jika nilai *Cr* lebih kecil atau sama dengan bilangan acak, maka gen dari vektor target yang akan lolos memasuki vektor *trial*. Berikut adalah formula umum dari proses pindah silang beserta representasi visualnya:

$$u_{i,g} = u_{j,i,g} = \begin{cases} v_{j,i,g} & \text{if } (\text{rand}_j(0,1) \leq Cr \text{ or } j = j_{rand}) \\ x_{j,i,g} & \text{if } (\text{rand}_j(0,1) > Cr \text{ or } j = j_{rand}) \end{cases} \quad (2.3)$$

Setelah diperoleh populasi dari vektor *trial*, maka vektor *trial* itu akan dievaluasi nilai objektifnya sebagaimana evaluasi yang dilakukan terhadap vektor target dimana nilai ini digunakan pada proses selanjutnya, yaitu proses seleksi.

<sup>13</sup> Price, Kenneth V, Rainer M. Storn, Jouni A. Lampinen. (2005). *Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization*. Germany: Springer.



Gambar 2.3 Proses Terjadinya Pindah Silang

#### 2.3.3.4 Seleksi

Tahapan ini merupakan tahapan dimana terjadi pemilihan antara vektor target dan vektor *trial* yang akan lolos untuk masuk ke generasi yang selanjutnya. Penyeleksian dilakukan dengan cara membandingkan nilai yang merupakan hasil dari evaluasi nilai objektif pada vektor target dan vektor *trial*. Vektor yang akan lolos ke generasi selanjutnya adalah vektor yang memiliki nilai evaluasi yang terbaik seperti yang ditunjukkan oleh bentuk umum di bawah ini:

$$x_{i,g+1} = \begin{cases} u_{i,g} & \text{if } f(u_{i,g}) \leq f(x_{i,g}) \\ x_{i,g} & \text{if } f(u_{i,g}) > f(x_{i,g}) \end{cases} \quad (2.4)$$

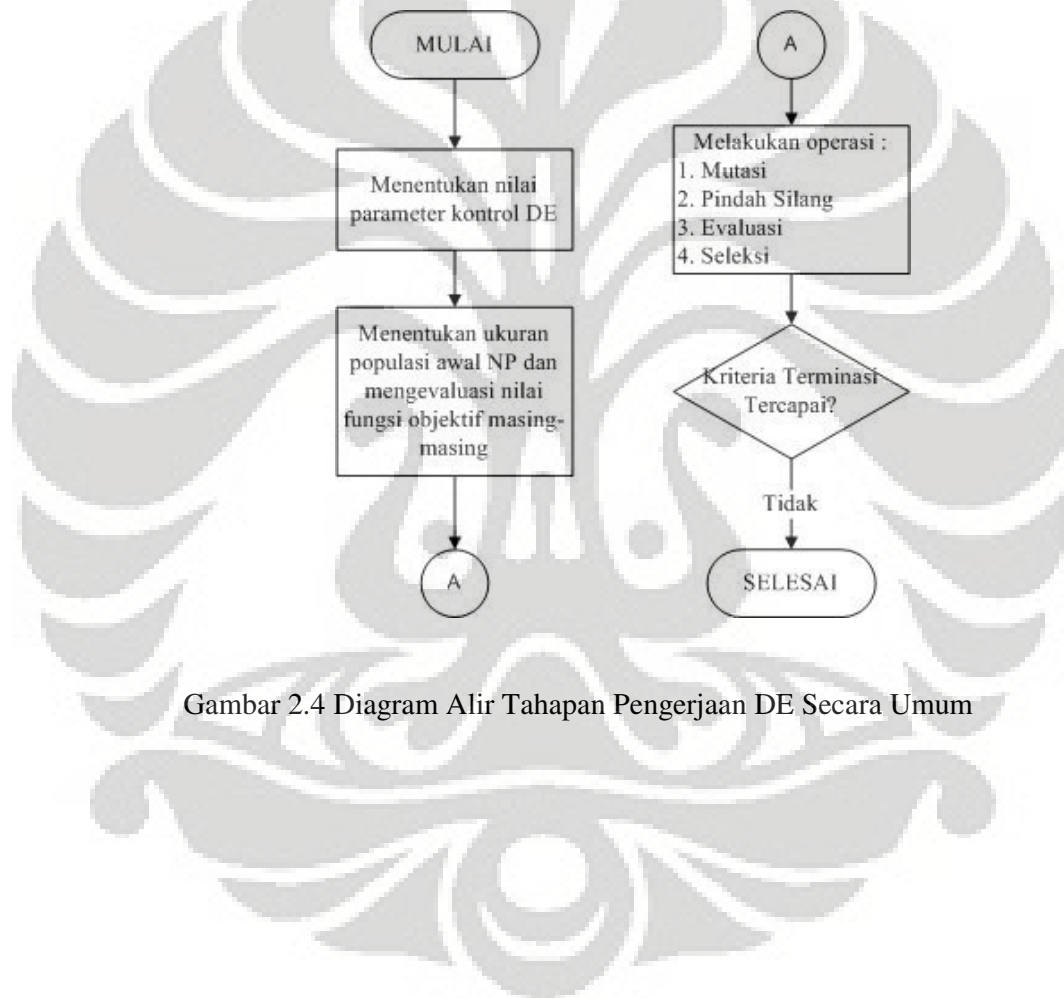
#### 2.3.3.5 Terminasi

Terminasi merupakan keadaan dimana proses pencarian solusi optimal berhenti. Terminasi terjadi ketika proses pencarian solusi optimal telah mencapai kriteria terminasi. Namun, bila kriteria terminasi belum terpenuhi, maka akan dibentuk lagi generasi baru dengan mengulangi langkah-langkah sebelumnya dari awal. Umumnya kriteria terminasi adalah sebagai berikut<sup>14</sup>:

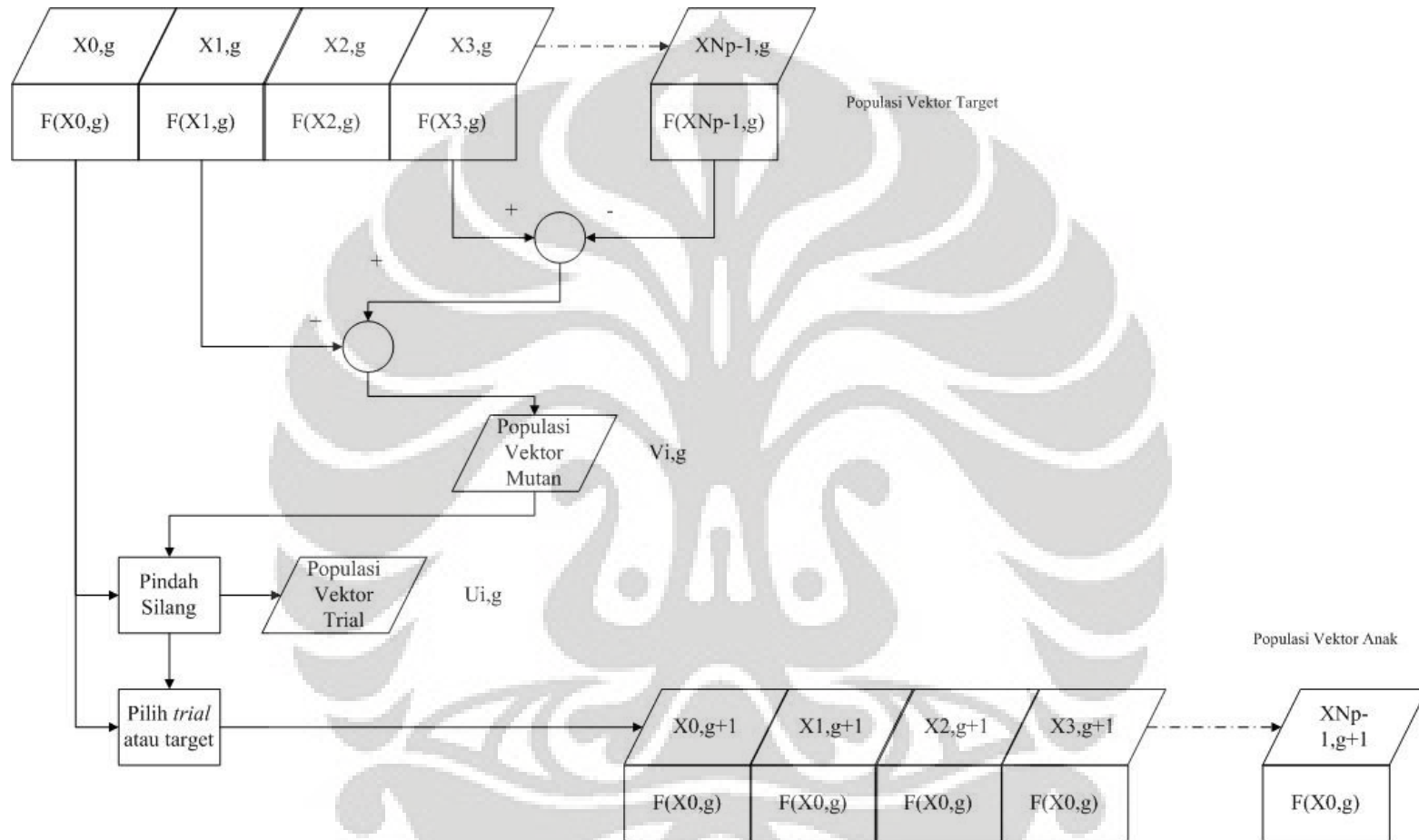
<sup>14</sup> Price, Kenneth V, Rainer M. Storn, Jouni A. Lampinen. (2005). *Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization*. Germany: Springer.

- Jumlah iterasi maksimum
- Waktu komputasi maksimum
- Mencapai keadaan konvergen (nilai dari fungsi objektif yang optimal tidak lagi berubah )

Secara lebih detail, tahapan proses pengerjaan DE ditunjukkan pada gambar 2.4 dan Gambar 2.5.



Gambar 2.4 Diagram Alir Tahapan Pengerjaan DE Secara Umum



Gambar 2.5 Diagram Alir Proses Pencarian Solusi DE

#### 2.3.4 Permasalahan Kombinatorial dengan DE

Dalam banyak kasus, seringkali permasalahan yang ditemui berupa permasalahan kombinatorial yang memiliki fungsi-fungsi yang berupa integer. Beberapa contoh permasalahan yang berupa masalah kombinatorial diantaranya adalah masalah penjadwalan, tata letak, dan *routing*. Pada masalah-masalah tersebut, variabel-variabel yang ada berupa integer dan bersifat stokastik, sehingga kemungkinan dari solusi-solusi yang ditawarkan ada banyak, sehingga kemungkinan untuk mendapatkan nilai optimum lokal pun menjadi sangat besar. Untuk kasus-kasus yang berskala kecil, umumnya permasalahan tersebut dapat dipecahkan dengan *Integer Linear Programming* (ILP), namun untuk kasus yang lebih besar, solusi yang ditawarkan dapat menjadi amat banyak. Misalnya, dalam kasus *routing*, ada banyak sekali kemungkinan dalam menentukan urutan jalur terpendek dari satu tempat ke tempat lainnya jika jumlah tempat yang harus dilewati ada puluhan atau ratusan. Kasus seperti ini sulit untuk dipecahkan dengan menggunakan teknik optimasi konvensional seperti ILP karena banyaknya kemungkinan kombinasi penyelesaian yang tersedia dapat menyebabkan hasil optimum yang diperoleh dapat berupa nilai optimum lokal, bukan optimum global.

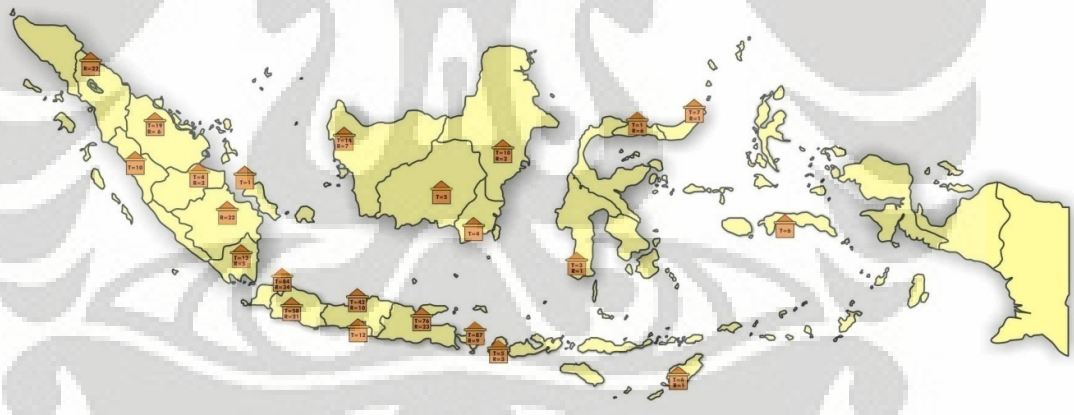
Oleh karena itu, untuk menyelesaikan permasalahan kombinatorial yang rumit diperlukan pendekatan algoritmik seperti DE, dimana pendekatan algoritmik dapat membawa solusi penyelesaian menjauhi nilai-nilai optima lokal. Pemecahan permasalahan optimasi kombinatorial dengan menggunakan DE merupakan solusi yang sangat tepat karena, seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, DE memiliki struktur yang sederhana dan parameter kontrol yang relative sedikit jika dibandingkan dengan EA lainnya. Selain itu, DE juga menawarkan berbagai solusi berupa populasi solusi sehingga dari solusi akhir yang ditawarkan dapat dipilih solusi mana yang paling optimum.

### 3. PROFIL PERUSAHAAN DAN PENGUMPULAN DATA

#### 3.1 Profil Perusahaan

##### 3.1.1 Sejarah Singkat Perusahaan

PT SK adalah perusahaan pelopor dalam bisnis penyewaan menara bagi operator telekomunikasi di Indonesia. Pada awalnya, PT SK berbasis bisnis dalam penyediaan berbagai *IT solution*. Namun, seiring perkembangannya yang melihat kepada keuntungan serta prospek masa depan, PT SK fokus pada bisnis solusi penyewaan menara. Dalam dunia bisnis di Indonesia, dapat dikatakan bahwa PT SK telah menciptakan pasar bisnis ini. Layanan yang ditawarkan oleh perusahaan ini justru dengan cepat diterima oleh operator telekomunikasi besar seperti Telkom dan Telkomsel.



Gambar 3.1 Jaringan *Site* PT SK  
(Sumber: PT SK)

Pada tahun 1999, PT SK didirikan dengan fokus industri telekomunikasi sebagai sistem integritas. Kemudian pada tahun 2001 PT SK bekerjasama dengan PT Telkomsel dalam menyediakan penyewaan infrastruktur menara. Tahun 2002, menara pertama yang didirikan telah berhasil *on air* di Tukad Balian, Denpasar, Bali. Dengan meningkatnya industri ini, didirikan kantor pertama pada tanggal 12

Juni 2002. 26 Juni 2003, didirikan menara *co-location* yang pertama, yaitu dimana dalam satu menara digunakan secara bersama-sama oleh beberapa operator.

Jangkauan *site-site* yang dibangun oleh PT SK melingkupi Jawa, Bali, Sumatera, Nusa Tenggara, Kalimantan, Sulawesi, dan Maluku. Keunggulan perusahaan ini terletak pada:

1. *Service Level Bergaransi*. Dalam setiap perjanjian penyewaan tower dengan operator, PT SK membuat perjanjian dengan konsumen mengenai pelayanan yang diberikan PT SK Perjanjian ini disebut *Service Level Agreement*.
2. *Call center* yang efisien. Call center di PT SK bekerja 24x7x365 hari. Jadi kapanpun dan dimanapun konsumen dapat mengadukan masalah yang terjadi. Demikian pula dengan teknisi pemeliharaan lapangan/*Maintenance Management Officer (MMO)* yang selalu siap sedia.
3. *Supply* daya yang aman dengan menyediakan genset yang dapat dimobilisasi. Listrik merupakan elemen penting dalam pelayanan PT SK.
4. *Site Management Center*. Saat ini perusahaan tengah mengembangkan sistem monitoring *site* otomatis, dimana sensor-sensor yang digunakan akan mendeteksi masalah dengan lebih cepat dan otomatis melaporkan masalah tersebut kepada MMO melalui SMS. Salah satu sensor yang dipasang berupa deteksi apabila terdapat upaya paksa masuk kedalam *site*.

### 3.1.2 Visi Misi

Visi PT SK ini adalah menjadi perusahaan yang terbaik dan terbesar dalam penyediaan infrastruktur telekomunikasi seluler di Indonesia, serta menjadi partner strategis bagi operator. Sedangkan misi perusahaan ini adalah sebagai berikut:

- Menjadi milik yang bermanfaat bagi bangsa dan negara
- Mengembangkan industri *outsourcing* yang berdampak pada efisiensi investasi nasional
- Serta mampu memberikan nilai tambah bagi para *stakeholder*



PT SK dalam menjalankan bisnisnya selalu memperhatikan kepentingan para *stakeholder*. Hal ini dimaksudkan agar perusahaan tetap eksis untuk jangka waktu yang panjang dengan cara mempertahankan kepercayaan *stakeholder* merupakan kunci. *Stakeholder* antara lain perusahaan telekomunikasi, pemda, masyarakat sekitar *site*, institusi pemilik lahan, cagar budaya dan pariwisata, serta lembaga keuangan. Ada tiga jenis jasa *outsourcing* yang dikembangkan oleh perusahaan dengan tetap mempertimbangkan tantangan yang ada, yaitu:

1. *Built to suit*. Menyediakan *tower*, *site* dan infrastruktur berdasar rencana dan kebutuhan operator, termasuk operasi dan pemeliharaan *tower* dengan servis level bergaransi.
2. Menjual dan menyewa kembali. Menjual *tower* yang telah ada dan menyewa kembali untuk operasi dan pemeliharaan.
3. *Co-location*. Penggunaan satu *site* yang dapat digunakan secara bersama-sama oleh beberapa operator.

### **3.2 Pengumpulan Data**

#### **3.2.1 Titik Koordinat BTS**

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder dari PT SK berupa titik-titik koordinat dari BTS yang ada pada Kabupaten Purwakarta. Titik-titik koordinat tersebut terbagi atas empat kelompok, yaitu koordinat dari menara milik operator A sebanyak 32 titik, menara milik operator B sebanyak 21 titik, menara milik operator C sebanyak 13, dan titik-titik baru yang layak untuk dipasang menara baru sebanyak 32, sehingga total titik koordinat untuk dilakukan relokasi BTS adalah sebanyak 98 titik dimana 66 titik merupakan titik yang telah diletakkan BTS Operator A, Operator B, atau Operator C. Dari titik koordinat inilah akan dilakukan relokasi BTS dan optimasi dari peletakkannya dimana relokasi dan optimasi letak BTS ketiga operator tersebut bertujuan untuk meningkatkan *coverage* (area layanan) dari ketiga operator dengan menggunakan titik-titik tersebut secara bersama-sama. Lokasi dari BTS-BTS tersebut adalah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 dimana koordinat lokasi BTS



ditunjukkan dengan menggunakan letak geografis berupa garis lintang (*latitude*) dan garis bujur (*longitude*). Nilai *latitude* yang negatif menunjukkan bahwa koordinat tersebut berada dibawah garis khatulistiwa (berada pada lintang selatan).

Tabel 3.1 Koordinat Operator A

No	Site ID	Longitude	Latitude	Keterangan
1	PKA001	107.4133	-6.5494	Desa Kembangkuning Kec. Jatiluhur
2	PKA002	107.5698	-6.5042	Desa Cipeundeuy
3	PKA003	107.4171	-6.6553	Desa Nagrak Kec. Darangdan
4	PKA004	107.3995	-6.5275	Desa Jatiluhur Kec. Jatiluhur
5	PKA005	107.4241	-6.5959	Desa Sukajaya Kec. Sukatani
6	PKA006	107.4332	-6.5615	Kota Purwakarta
7	PKA007	107.4578	-6.5095	Desa Mulyamekar Kec. Babakancikao
8	PKA008	107.4496	-6.5439	Kota Purwakarta
9	PKA009	107.4446	-6.6975	Desa Sawit Kec. Darangdan
10	PKA010	107.4378	-6.5606	Kota Purwakarta
11	PKA011	107.3975	-6.6361	Desa Anjun Kec. Plered
12	PKA012	107.4370	-6.6936	Desa Sawit Kec. Darangdan
13	PKA013	107.3987	-6.5321	Desa Jatiluhur Kec. Jatiluhur
14	PKA014	107.4577	-6.5093	Desa Mulyamekar Kec. Babakancikao
15	PKA015	107.5196	-6.4937	Desa Cilandak Kec. Cibatu
16	PKA016	107.5574	-6.6813	Desa Wanayasa Kec. Wanayasa
17	PKA017	107.3800	-6.6458	Desa Plered Kec. Plered
18	PKA018	107.4747	-6.5874	Desa Pasawahankidul Kec. Pasawahan
19	PKA019	107.4046	-6.4950	Desa Cicadas Kec. Babakancikao
20	PKA020	107.4314	-6.5898	Desa Cijantung Kec. Sukatani
21	PKA021	107.4370	-6.5410	Kota Purwakarta
22	PKA022	107.4778	-6.4878	Desa Bungursari Kec. Bungursari
23	PKA023	107.4795	-6.4237	Desa Cikopo Kec. Bungursari
24	PKA024	107.4795	-6.4383	Desa Cikopo Kec. Bungursari
25	PKA025	107.4856	-6.4089	Desa Cikopo Kec. Bungursari
26	PKA026	107.4451	-6.4937	Desa Cigelam Kec. Babakancikao
27	PKA027	107.4803	-6.4619	Desa Cibungur Kec. Bungursari
28	PKA028	107.4841	-6.4090	Desa Cikopo Kec. Bungursari
29	PKA029	107.4799	-6.4385	Desa Cikopo Kec. Bungursari
30	PKA030	107.3177	-6.6983	Desa Citamiang Kec. Maniis
31	PKA031	107.5010	-6.7097	Desa Bojongbarat Kec. Bojong
32	PKA032	107.3989	-6.6844	Desa Depok Kec. Darangdan

(Sumber: PT SK)

Tabel 3.2 Koordinat Operator B

No	Site ID	Longitude	Latitude	Keterangan
1	PKB001	107.44720	-6.4730	Desa Cigelam Kec. Babakancikao
2	PKB002	107.44830	-6.4979	Desa Mulyamekar Kec. Babakancikao
3	PKB003	107.39920	-6.4903	Desa Cicadas Kec. Babakancikao
4	PKB004	107.42980	-6.5161	Babakancikao
5	PKB005	107.41220	-6.5470	Desa Kembangkuning Kec. Jatiluhur
6	PKB006	107.44390	-6.5515	Kota Purwakarta
7	PKB007	107.42820	-6.5469	Kota Purwakarta
8	PKB008	107.44320	-6.5366	Kel. Nagri Kaler Kota Purwakarta
9	PKB009	107.48790	-6.5037	Desa Campaka Kec. Campaka
10	PKB010	107.51040	-6.4954	Desa Cijaya Kec. Campaka
11	PKB011	107.55220	-6.5023	Desa Ciparungsari Kec. Cibatu
12	PKB012	107.45970	-6.5683	Desa Lebakanyar Kec. Pasawahan
13	PKB013	107.49900	-6.6200	Desa Salammulya Kec. Pondoksalam
14	PKB014	107.52400	-6.6439	Desa Sukadami Kec. Wanayasa
15	PKB015	107.57550	-6.6814	Desa Pusakamulya Kec. Kiarapedes
16	PKB016	107.43580	-6.5802	Desa Cijantung Kec. Sukatani
17	PKB017	107.41600	-6.6613	Desa Gununghejo Kec. Darangdan
18	PKB018	107.43440	-6.6872	Desa Darangdan Kec. Darangdan
19	PKB019	107.32230	-6.6567	Desa Warungjeruk Kec. Tegalwaru
20	PKB020	107.31900	-6.6961	Desa Citamiang Kec. Maniis
21	PKB021	107.50500	-6.7089	Desa Bojongbarat Kec. Bojong

(Sumber: PT SK)

Tabel 3.3 Koordinat Operator C

No	Site ID	Longitude	Latitude	Keterangan
1	PKC001	107.4654	-6.4323	Desa Cinangka Kec. Bungur Sari
2	PKC002	107.4240	-6.5957	Desa Cijantung Kec. Sukatani
3	PKC003	107.4157	-6.6630	Desa Gununghejo Kec Darangdan
4	PKC004	107.4459	-6.5532	Kota Purwakarta
5	PKC005	107.4577	-6.5221	Kel. Cisereuh Kota Purwakarta
6	PKC006	107.4805	-6.4707	Desa Cibungur Kec. Bungur Sari
7	PKC007	107.4470	-6.4722	Desa Cigelam Kec. Babakancikao
8	PKC008	107.5791	-6.6841	Desa Pusakamulya Kec. Kiarapedes
9	PKC009	107.4331	-6.5208	Desa Maracang Kec. Babakancikao
10	PKC010	107.3172	-6.6982	Desa Citamiang Kec. Maniis
11	PKC011	107.5015	-6.7108	Desa Bojong Barat Kec. Bojong
12	PKC012	107.3988	-6.6848	Desa Depok Kec. Darangdan
13	PKC013	107.4684	-6.7024	Desa Linggasari Kec. Darangdan

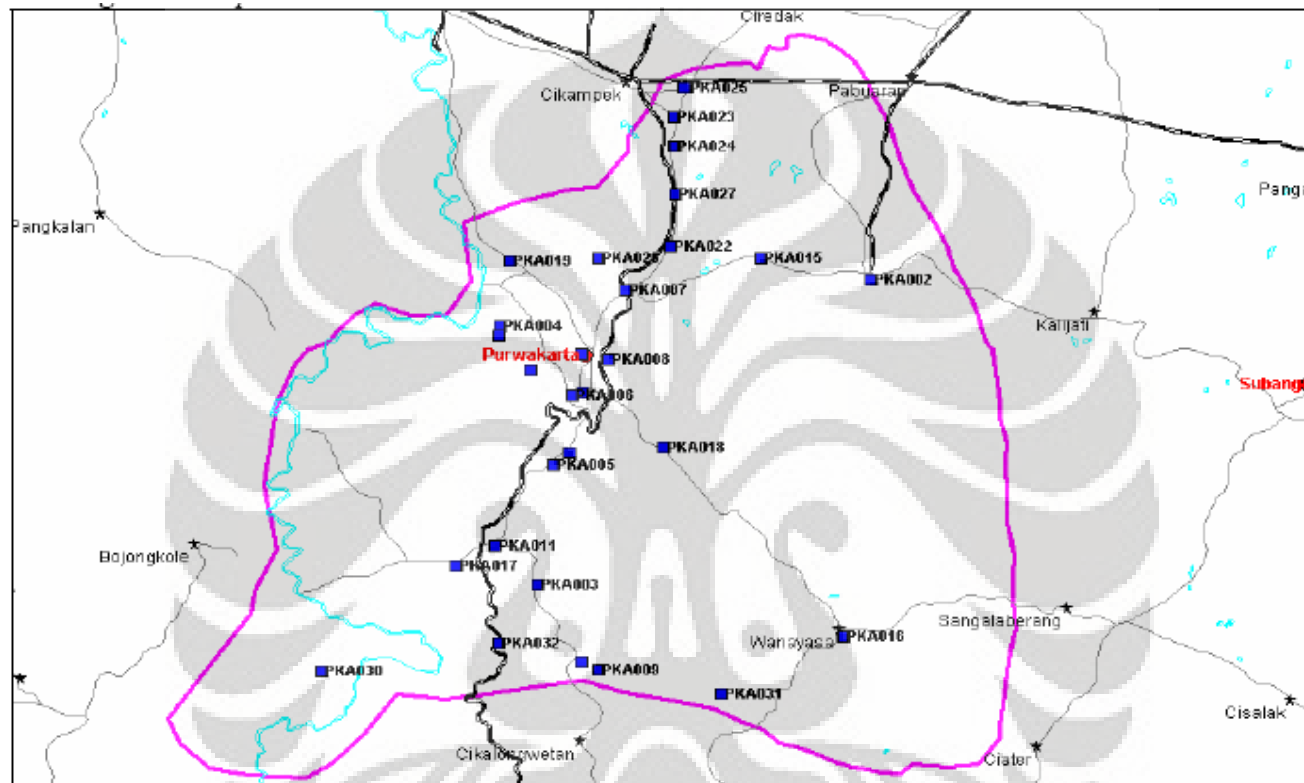
(Sumber: PT SK)

Tabel 3.4 Koordinat yang Mungkin Dipasang BTS Baru

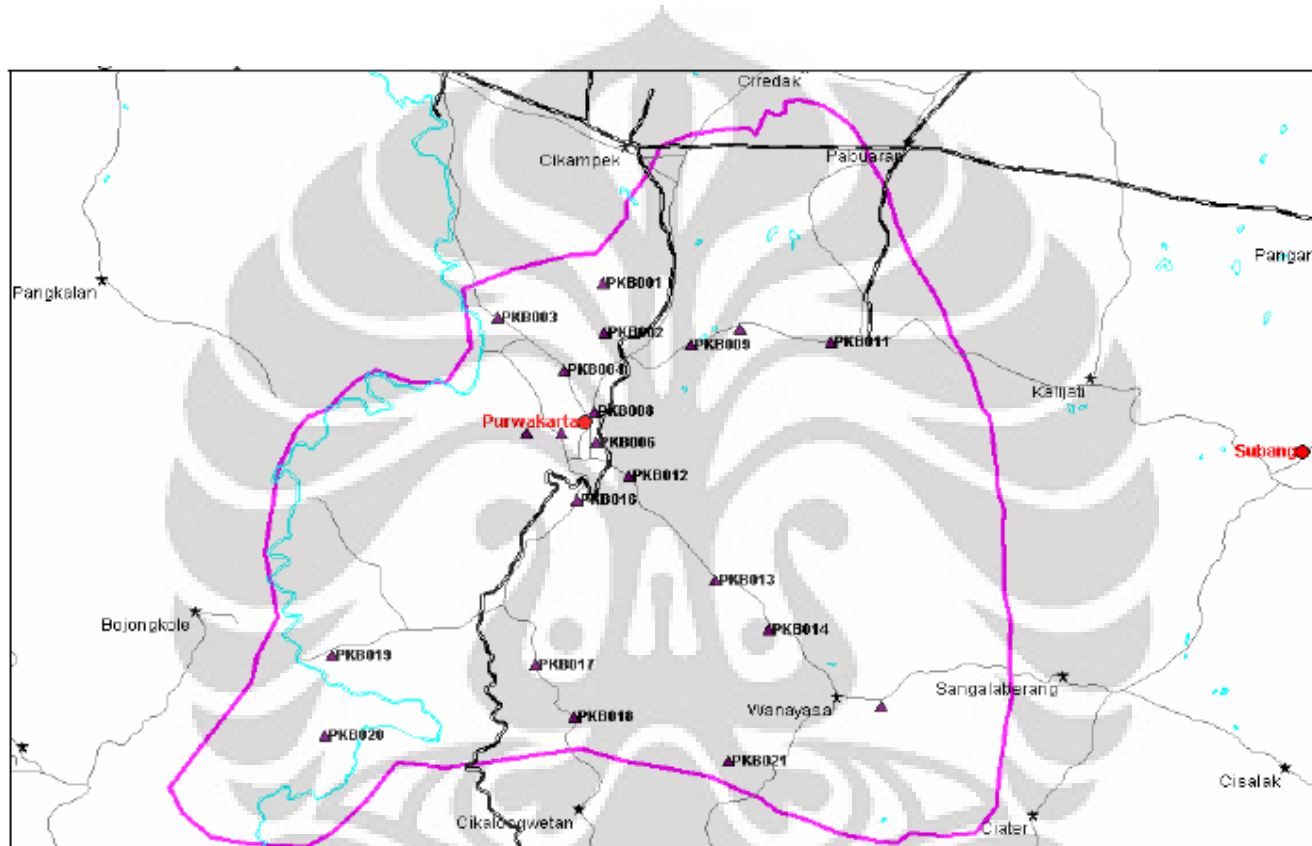
No	Site ID	Longitude	Latitude	Keterangan
1	PKT001	107.4826	-6.4186	Desa Cikopo, pinggir jalan pantura
2	PKT002	107.4792	-6.4365	Desa Cikopo, pinggir jalan pantura
3	PKT003	107.4801	-6.4630	Desa Cibungur, sebelah rel KA
4	PKT004	107.4781	-6.4875	Desa Bungursari
5	PKT005	107.4592	-6.5102	Desa Ciwangi
6	PKT006	107.4467	-6.5434	Kota Purwakarta, sebelah rel KA
7	PKT007	107.4372	-6.5518	Kel. Cipaisan Kota Purwakarta
8	PKT008	107.4382	-6.5606	Kel. Sindangkasih Kota Purwakarta
9	PKT009	107.4142	-6.5505	Kel. Kembangkuning
10	PKT010	107.3988	-6.5321	Desa Jatiluhur
11	PKT011	107.4326	-6.5199	Desa Maracang
12	PKT012	107.4102	-6.4984	Desa Hegarmanah
13	PKT013	107.4449	-6.4939	Desa Cigelam, dekat gerbang tol sadang
14	PKT014	107.4471	-6.4725	Desa Cigelam, pinggir jalan tol cipularang
15	PKT015	107.5090	-6.4958	Desa Cikumpay, pinggir jalan arah Subang
16	PKT016	107.5661	-6.5034	Desa Cipeundeuy, pinggir jalan arah Subang
17	PKT017	107.6021	-6.5015	Desa Wantilan, pinggir jalan arah Subang
18	PKT018	107.5750	-6.4655	Desa Karangmukti, dekat STT Texmaco
19	PKT019	107.4341	-6.5857	Desa Cijantung, pinggir jalan arah Bandung
20	PKT020	107.4127	-6.6040	Desa Sukatani,
21	PKT021	107.4004	-6.6348	Desa Anjun, di atas bukit dekat pasar
22	PKT022	107.3770	-6.6452	Desa Sindangsari
23	PKT023	107.3391	-6.6503	Desa Tegal Sari, daerah pemukiman warga
24	PKT024	107.4157	-6.6619	Desa Gununghejo
25	PKT025	107.4371	-6.6929	Desa Sawit, dekat pertigaan sawit
26	PKT026	107.4770	-6.5924	Desa Pasawahan, pinggir jalan dekat sawah
27	PKT027	107.5215	-6.6333	Desa Tarigul Tonggoh, areapersawahan
28	PKT028	107.5554	-6.6777	Desa Wanayasa, dekat waduk wanayasa
29	PKT029	107.3199	-6.6945	Desa Citamiang, dekat kantor Kec Maniis
30	PKT030	107.4992	-6.7082	Desa Sukamanah, dekat pasar bojong
31	PKT031	107.6066	-6.6637	Desa Panggang Kec. Sagalaherang
32	PKT032	107.3981	-6.6862	Desa Depok, dekat Stasiun Cisomang

(Sumber: PT SK)



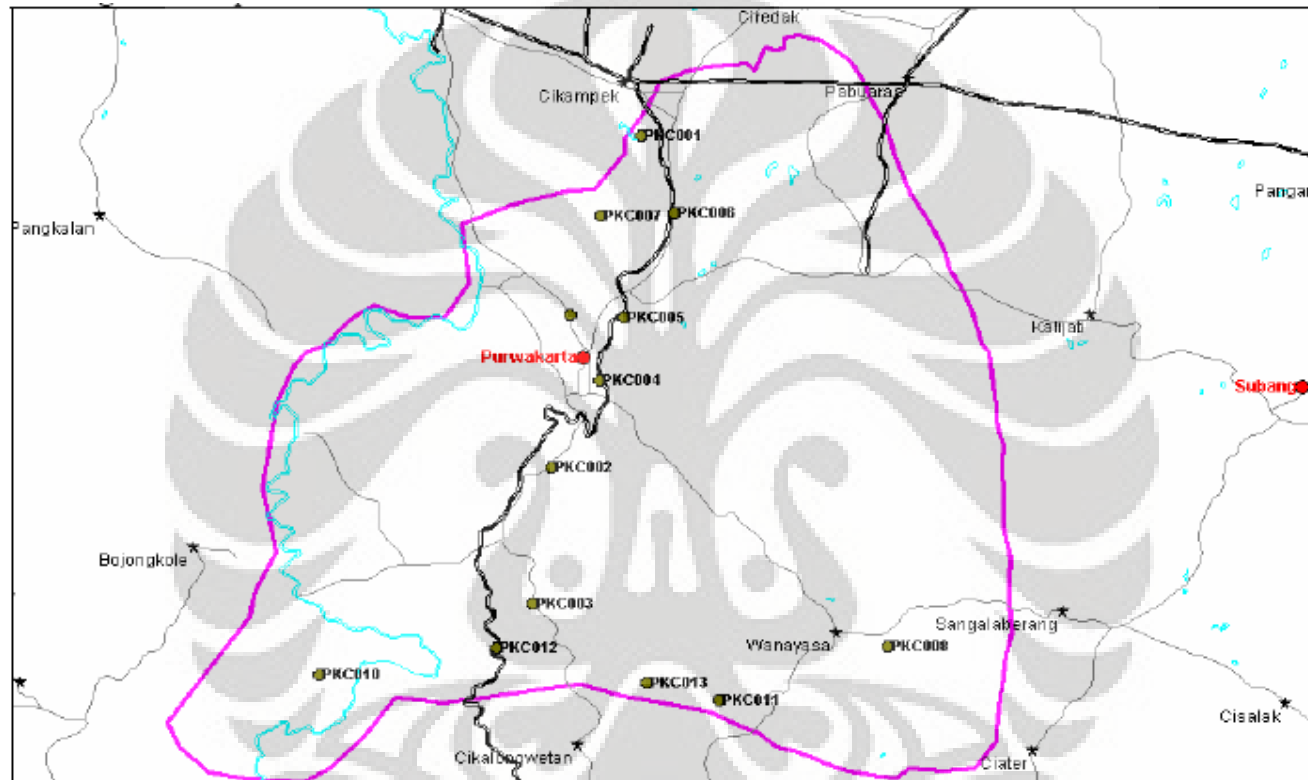


Gambar 3.2 Posisi BTS Operator A  
(Sumber: PT SK)



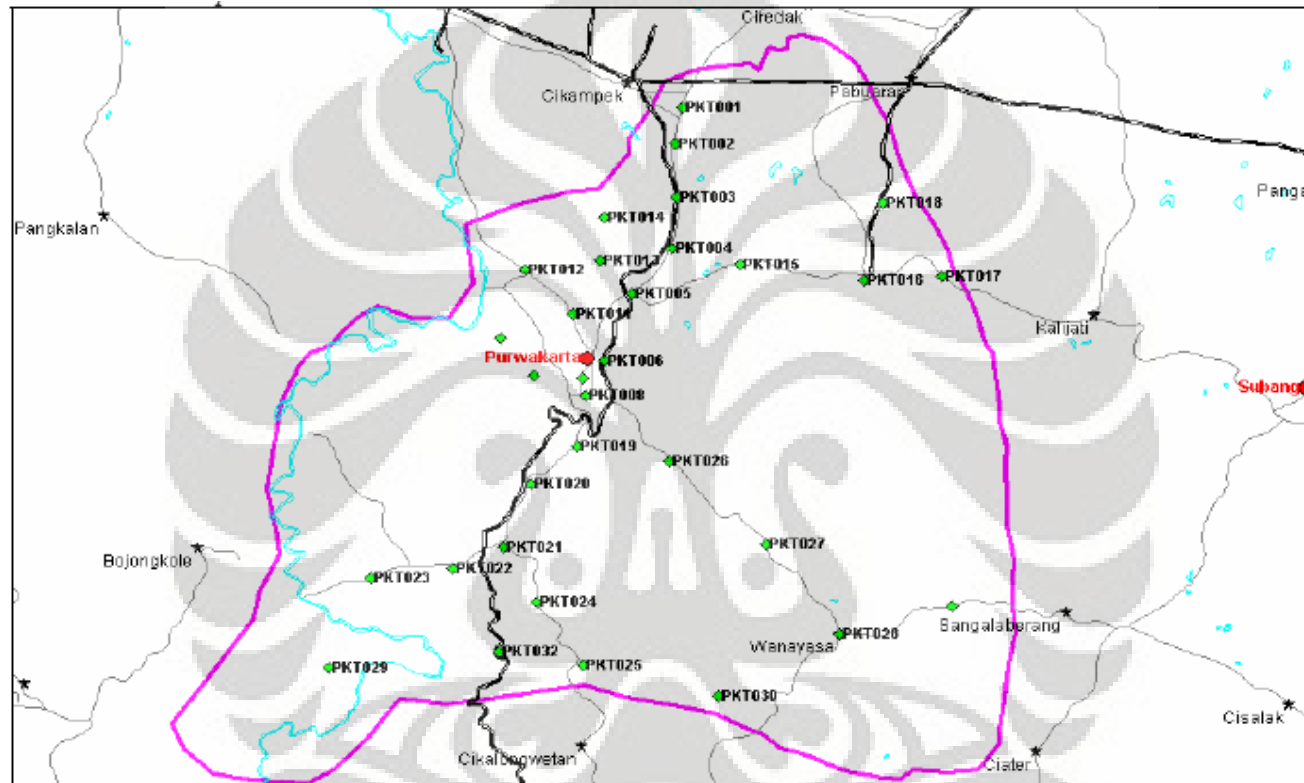
Gambar 3.3 Posisi BTS Operator B

(Sumber: PT SK)



Gambar 3.4 Posisi BTS Operator C

(Sumber: PT SK)



Gambar 3.5 Posisi untuk Dibangun BTS Baru  
(Sumber: PT SK)



### 3.2.2 Radius Sel BTS

Selain data koordinat letak BTS, diperlukan juga data radius dari jangkauan sinyal yang dipancarkan oleh BTS, atau biasa disebut dengan radius sel, ada beberapa formula yang dapat digunakan untuk menentukan radius sel, dimana radius sel memiliki nilai yang berbeda-beda tergantung lokasinya. Lokasi *urban* seperti Jakarta memiliki radius sel yang lebih kecil jika dibandingkan daerah *sub-urban* yang memiliki jumlah gedung-gedung tinggi dan penduduk yang relatif sedikit. Formula yang digunakan untuk menentukan radius sel diantaranya adalah formula Okumura-Hata, Walfish-Ikegami, Urban formula, dan lain-lain. Formula OH cukup akurat untuk area *mean-urban*, *sub-urban*, pedesaan maupun daerah terbuka. Sedangkan untuk area *Dense Urban* dan *Urban*, formula Walfish-Ikegami lebih akurat dibandingkan dengan formula OH (Walfish Ikegami lebih akurat untuk radius sel kurang dari 1 km)<sup>30</sup>. Oleh karena itu, penentuan radius sel untuk daerah *sub-urban* seperti Kabupaten Purwakarta adalah sebagai berikut:

$$R = 10^\alpha \quad (3.1)$$

dimana:

$$\alpha = \{L_{patimax} - A + 13.82 \log HB + \alpha(HM)\} / \{49.9 - 6.55 \log HB\}$$

$$\alpha = \{127 - 136.9 + 13.82 \log(50) + 0\} / \{44.9 - 6.55 \log(50)\}$$

$$\alpha = 0.402$$

Sehingga:

$$R = 10^{0.402}$$

$$R = 2.52$$

<sup>30</sup> Proposal Relokasi dan Penempatan Tower Baru di Purwakarta. (2008). PT. SK

## 4. PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS

### 4.1 Input Data

Data yang digunakan dalam penyelesaian permasalahan ini adalah data titik koordinat yang tersedia untuk dilakukan relokasi BTS dan radius sinyal yang dapat dijangkau oleh BTS. Seperti yang telah dijelaskan pada Bab 3, jumlah total titik koordinat yang tersedia ada 98 titik yang terdiri atas 32 titik milik Operator A, 21 titik milik Operator B, 13 titik milik Operator C, dan 32 titik baru dengan radius sel (jangkauan BTS) yang diperoleh dengan rumus Okumura-Hata sebesar 2.542 km.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan peletakan yang optimal sekaligus meningkatkan *coverage* (area layanan) dari BTS-BTS yang ada di Kabupaten Purwakarta yang merupakan milik Operator A, Operator B, dan Operator C. Oleh karena itu, area layanan yang baru harus lebih besar atau sama dengan area layanan yang lama, dimana area layanan sebelumnya untuk Operator A adalah 393.5 km<sup>2</sup>, area layanan untuk Operator B adalah 332 km<sup>2</sup>, dan area layanan untuk Operator C adalah 239 km<sup>2</sup>.

### 4.2 Langkah-langkah dalam Proses Pencarian Solusi Optimal Penelitian

Model penyelesaian dari permasalahan optimasi peletakan BTS di Kabupaten Purwakarta dengan algoritma *Differential Evolution* dibuat dengan membuat program komputer dengan bantuan perangkat lunak MATLAB R2008a. Untuk *source code* MATLAB dapat dilihat pada Lampiran 1.

MATLAB merupakan bahasa pemrograman dengan kemampuan tinggi dalam bidang komputasi. MATLAB memiliki kemampuan mengintegrasikan komputasi, visualisasi, dan pemrograman. Dalam memvisualisasi sebuah obyek, MATLAB memiliki kemampuan merotasi obyek tanpa mengubah programnya. Konstruksi penyelesaian komputasi teknis dengan MATLAB dapat dilakukan lebih cepat dibandingkan dengan bahasa pemrograman tradisional seperti C, C++, dan Fortran. MATLAB juga menyediakan fungsi-fungsi matematis yang sangat lengkap untuk permasalahan statistic, optimasi, dan lain-lain. Selain itu, MATLAB

juga menyediakan fitur-fitur dokumentasi dan integrasi algoritma berbasis MATLAB dengan bahasa dan aplikasi lain, seperti C, C++, Fortran, Java, COM, dan Ms Excel. Bahasa MATLAB memudahkan operasi-operasi vektor dan matriks yang merupakan dasar bagi permasalahan di bidang teknik dan sains<sup>31</sup>.

Langkah-langkah dalam penyusunan algoritma DE dalam penelitian optimasi peletakan BTS di Kabupaten Purwakarta adalah seperti pada penjelasan berikut ini dan diagram alir pada Gambar 4.2:

1. Menentukan dimensi populasi:

Dimensi populasi yang digunakan dalam menyusun algoritma ini merupakan jumlah BTS yang terdapat di Kabupaten Purwakarta secara keseluruhan. Oleh karena itu populasi dari algoritma ini memiliki dimensi sebesar 98. Karena permasalahan optimasi ini merupakan permasalahan kombinatorial dengan nilai integer, maka tiap dimensi dari populasi tersebut dapat bernilai 0 atau 1, dimana nilai 0 pada suatu dimensi menunjukkan bahwa BTS pada dimensi tersebut tidak digunakan, sedangkan nilai 1 pada suatu dimensi menunjukkan bahwa BTS pada dimensi tersebut digunakan. Nilai dari tiap dimensi vektor akhir yang merupakan solusi penyelesaian permasalahan ini kemudian akan dijumlahkan untuk mendapatkan kombinasi dari peletakan BTS di Kabupaten Purwakarta.

2. Menentukan fungsi objektif:

Untuk mendefinisikan apakah peletakan BTS di Kabupaten Purwakarta mendekati optimal atau tidak, pada penelitian ini didefinisikan dua fungsi objektif sehingga permasalahan optimasi peletakan BTS pada Kabupaten Purwakarta ini merupakan permasalahan optimasi multi-objektif. Kedua fungsi objektif tersebut adalah sebagai berikut:

- Memaksimumkan area layanan keseluruhan BTS di Kabupaten Purwakarta. Area layanan ini merupakan jumlah luas dari keseluruhan BTS-BTS yang terpasang pada Kabupaten Purwakarta. Secara umum, fungsi memaksimumkan area layanan

<sup>31</sup> Away, Gunaidi Abdia, *The Shortcut of MATLAB Programming*, Informatika, Bandung, 2006

keseluruhan dapat diformulasikan seperti yang ditunjukkan oleh persamaan (4.1)

$$z_1 = \text{maximize } \sum_{i=1}^{98} A_i \quad (4.1)$$

dimana:

$A_i$  = luas area layanan BTS dengan nomor urut  $i$

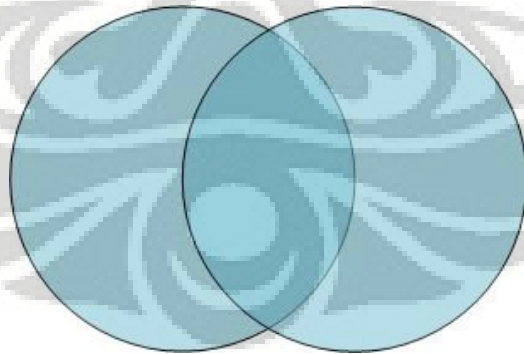
Jika radius sel sebesar 2.542 km dan diasumsikan bahwa bentuk daerah jangkauan sinyal yang dihasilkan oleh BTS berbentuk lingkaran, maka area layanan untuk satu buah BTS adalah sebesar:

$$A = \pi R^2 \quad (4.2)$$

$$A = 3.1415 \cdot (2.542)^2$$

$$A = 20.3 \text{ km}^2$$

Namun banyaknya BTS yang letaknya saling berdekatan menyebabkan banyak BTS yang memiliki daerah jangkauan yang saling bertumpuk seperti yang ditunjukkan Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Daerah irisan dua lingkaran

Oleh karena itu, untuk mencapai tingkat penggunaan yang optimum, area layanan secara keseluruhan harus dapat meminimumkan daerah irisan seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4.1 dengan meminimumkan jumlah penggunaan BTS yang sudah mendapatkan sinyal. Sehingga untuk dapat memperkecil daerah irisan tersebut, dibutuhkan fungsi objektif yang kedua.

- Agar diperoleh jumlah BTS yang minimum, didefinisikan fungsi objektif yang kedua sebagai fungsi yang memaksimumkan tingkat penggunaan BTS rata-rata dengan rumus:

$$z_2 = \text{maximize } (z_1 / \sum_{i=1}^{99} a_i) \quad (4.3)$$

$$a_i = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}$$

dimana:

$a_i = \text{BTS dengan nomor urut } i$  BTS dengan nomor urut  $i$  yang digunakan

Dari rumus diatas, terlihat bahwa cara untuk memaksimumkan nilai dari fungsi objektif tersebut, nilai dari penyebut pada fungsi objektif  $z_2$  harus diminimumkan.

Selain menggunakan fungsi objektif  $z_1$  dan  $z_2$ , untuk mencapai tujuan dari penelitian ini, ada kendala-kendala yang tidak dapat dilanggar dalam pencarian solusi optimal, kendala-kendala tersebut merupakan kendala berupa area layanan minimum. Area layanan minimum merupakan area layanan yang dimiliki oleh masing-masing Operator A, Operator B, dan Operator C. Oleh karena itu, kendala dari pencarian solusi optimal dari peletakan BTS pada Kabupaten Purwakarta ini adalah sebagai berikut:

**Universitas Indonesia**

$$z_1 \geq 393.5 \quad (4.4)$$

$$z_1 \geq 332$$

$$z_1 \geq 239$$

### 3. Konversi input data koordinat BTS:

Karena fungsi objektif pertama yang berupa area layanan keseluruhan dalam satuan kilometer persegi, maka data koordinat BTS harus dikonversi, dimana pada awalnya data koordinat tersebut berupa koordinat *latitude* dan *longitude* menjadi koordinat Cartesius (X,Y) dengan satuan kilometer, dimana *latitude* dikonversi menjadi Y dan *longitude* dikonversi menjadi X yang merupakan jarak relatif terhadap titik awal yang ditentukan kemudian. Oleh karena itu, ditentukan bahwa titik koordinat BTS dengan kode PKA001 sebagai titik awal dengan nomor urut 1 dengan koordinat (1,1). Ditetapkannya titik awal dengan koordinat (1,1) bukan dengan koordinat (0,0) karena pada perhitungan optimasi dengan menggunakan DE, titik (0,0) didefinisikan sebagai penanda bahwa BTS dengan kode yang memiliki koordinat tersebut tidak digunakan dimana radius dari jangkauan sinyal BTS tersebut bernilai 0 km. Setelah mengonversikan koordinat BTS dari (*longitude,latitude*) menjadi (X,Y) maka koordinat BTS pada Kabupaten Purwakarta adalah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2. Konversi dari koordinat berupa *latitude* dan *longitude* menjadi Cartesius dengan satuan kilometer dilakukan dengan menggunakan bantuan fitur *MappingToolbox* yang disediakan oleh perangkat lunak MATLAB.

### 4. Menentukan nilai parameter kontrol. Parameter kontrol yang dipergunakan dalam permasalahan optimasi peletakan BTS dengan menggunakan DE ini ditentukan berdasarkan hasil studi literatur, dimana parameter kontrol untuk optimasi peletakan BTS di Purwakarta ini adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 4.3.

5. Menentukan batas maksimum dan batas minimum dimensi yang sudah ditetapkan:

Batas maksimum dan minimum dari dimensi merupakan digunakan untuk mendefinisikan apakah BTS yang terdapat pada dimensi tersebut digunakan atau tidak. Dengan batas maksimum dan minimum tersebut, maka nilai dari tiap dimensi dari populasi vektor target dapat ditentukan dengan membangkitkan bilangan acak dengan batas-batas yang telah ditetapkan tersebut. Dalam penelitian ini, ditetapkan bahwa batas maksimum dari dimensi adalah 1 sedangkan batas minimum dari dimensi adalah -1. Untuk menentukan apakah BTS pada suatu dimensi digunakan atau tidak, ditetapkan bahwa nilai dimensi yang lebih kecil atau sama dengan 0 dikonversi menjadi 0, sehingga BTS pada dimensi tersebut tidak digunakan. Sedangkan nilai dimensi yang lebih besar dari nol akan dikonversikan menjadi 1, yang menandakan bahwa BTS pada dimensi tersebut digunakan

Tabel 4.1 Koordinat Relatif BTS di Kabupaten Purwakarta

No	Longitude	Latitude	No	Longitude	Latitude
1	1.0000	1.0000	27	2.0000	2.0000
2	18.4020	6.0260	28	19.4020	7.0260
3	1.4225	-10.7755	29	2.4225	-9.7755
4	-0.5345	3.4352	30	0.4655	4.4352
5	2.2009	-4.1706	31	3.2009	-3.1706
6	3.2128	-0.3455	32	4.2128	0.6545
7	5.9482	5.4367	33	6.9482	6.4367
8	5.0364	1.6116	34	6.0364	2.6116
9	4.4804	-15.4680	35	5.4804	-14.4680
10	3.7243	-0.2454	36	4.7243	0.7546
11	-0.7569	-8.6406	37	0.2431	-7.6406
12	3.6353	-15.0343	38	4.6353	-14.0343
13	-0.6234	2.9237	39	0.3766	3.9237
14	5.9371	5.4589	40	6.9371	6.4589
15	12.8200	7.1936	41	13.8200	8.1936
16	17.0232	-13.6666	42	18.0232	-12.6666
17	-2.7028	-9.7192	43	-1.7028	-8.7192
18	7.8274	-3.2254	44	8.8274	-2.2254
19	0.0326	7.0490	45	1.0326	8.0490
20	3.0126	-3.4923	46	4.0126	-2.4923
21	3.6353	1.9340	47	4.6353	2.9340
22	8.1721	7.8496	48	9.1721	8.8496
23	8.3611	14.9772	49	9.3611	15.9772
24	8.3611	13.3538	50	9.3611	14.3538
25	9.0394	16.6229	51	10.0394	17.6229
26	4.5360	7.1936	52	5.5360	8.1936



Tabel 4.2 Koordinat Relatif BTS di Kabupaten Purwakarta (sambungan)

No	Longitude	Latitude	No	Longitude	Latitude
53	3.0000	3.0000	79	4.0000	4.0000
54	20.4020	8.0260	80	21.4020	9.0260
55	3.4225	-8.7755	81	4.4225	-7.7755
56	1.4655	5.4352	82	2.4655	6.4352
57	4.2009	-2.1706	83	5.2009	-1.1706
58	5.2128	1.6545	84	6.2128	2.6545
59	7.9482	7.4367	85	8.9482	8.4367
60	7.0364	3.6116	86	8.0364	4.6116
61	6.4804	-13.4680	87	7.4804	-12.4680
62	5.7243	1.7546	88	6.7243	2.7546
63	1.2431	-6.6406	89	2.2431	-5.6406
64	5.6353	-13.0343	90	6.6353	-12.0343
65	1.3766	4.9237	91	2.3766	5.9237
66	7.9371	7.4589	92	8.9371	8.4589
67	14.8200	9.1936	93	15.8200	10.1936
68	19.0232	-11.6666	94	20.0232	-10.6666
69	-0.7028	-7.7192	95	0.2972	-6.7192
70	9.8274	-1.2254	96	10.8274	-0.2254
71	2.0326	9.0490	97	3.0326	10.0490
72	5.0126	-1.4923	98	6.0126	-0.4923
73	5.6353	3.9340			
74	10.1721	9.8496			
75	10.3611	16.9772			
76	10.3611	15.3538			
77	11.0394	18.6229			
78	6.5360	9.1936			

Tabel 4.3 Parameter Kontrol dan Jumlah Iterasi Maksimum pada Penelitian Ini

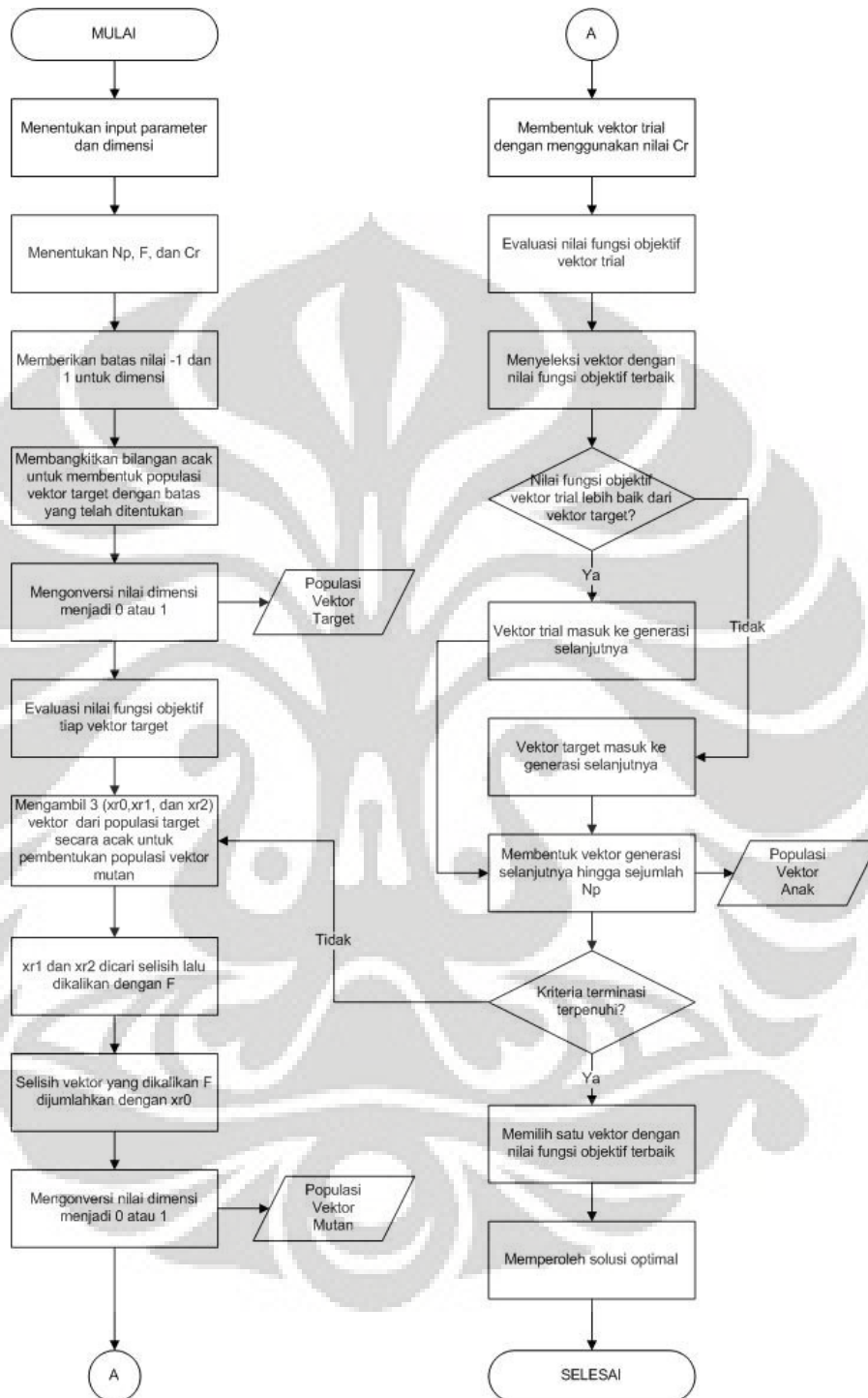
Parameter Kontrol	Nilai
Ukuran Populasi	10
Iterasi Maksimum	300
Parameter Kontrol Mutasi	0.6
Parameter Kontrol Pindah Silang	0.7

6. Melakukan evaluasi fungsi objektif tiap vektor anggota populasi pada generasi ke-i:

Karena fungsi objektif pada penelitian ini ada dua buah, maka tiap nilai dari dimensi vektor akan dievaluasi nilai objektifnya dengan urutan evaluasi “Area Layanan Keseluruhan” ( $z_1$ ) kemudian akan dievaluasi dengan fungsi objektif “Tingkat Penggunaan Rata-rata” ( $z_2$ ).

7. Untuk membentuk vektor anak (vektor generasi selanjutnya), maka langkah awal yang harus dilakukan adalah menentukan populasi vektor mutan. Untuk membentuk satu vektor mutan, dilakukan pengambilan tiga vektor dari populasi target secara acak, dimana vektor pertama dan kedua akan dicari selisihnya. Nilai selisish tersebut kemudian akan dikalikan dengan parameter kontrol mutasi ( $F$ ). Hasil dari vektor selisih tersebut kemudian dijumlahkan dengan vektor yang ketiga. Setelah dijumlahkan, vektor tersebut akan dikonversikan menjadi nilai 1 atau 0 sebagaimana yang dilakukan terhadap vektor target sehingga diperoleh populasi vektor mutan.
8. Setelah diperoleh populasi vektor mutasi, maka tahap selanjutnya adalah proses pindah silang untuk memperoleh vektor *trial*. Pindah silang dilakukan dengan membandingkan nilai parameter kontrol pindah silang ( $Cr$ ) dengan bilangan acak yang dibangkitkan pada tiap dimensi pada tiap calon vektor *trial* . Jika nilai dari  $Cr$  lebih besar atau sama dengan bilangan acak, maka gen dari vektor mutan akan masuk ke vektor *trial*, sedangkan jika nilai  $Cr$  lebih kecil dari bilangan acak, maka gen dari vektor target akan masuk ke vektor *trial*.

9. Vektor *trial* yang diperoleh dari proses pindah silang kemudian akan dievaluasi seperti halnya vektor target.
10. Vektor target dan vektor *trial* yang telah dievaluasi tersebut kemudian akan dibandingkan pada tahap selanjutnya, yaitu tahap seleksi. Pada tahap seleksi ini, akan dipilih vektor-vektor dengan hasil evaluasi yang terbaik. Untuk permasalahan optimasi peletakan BTS di Kabupaten Purwakarta, vektor yang lolos ke generasi selanjutnya adalah vektor yang nilai objektif “Tingkat Penggunaan Rata-rata”-nya paling tinggi. Namun, jika diantara vektor target dan vektor *trial* tidak ada yang memenuhi kriteria kedua fungsi objektif, maka vektor anak akan diisi dengan nilai keadaan awal, dimana semua dimensi bernilai satu (semua BTS terpakai).
11. Jika proses langkah 7 hingga 10 selesai dilakukan, artinya telah terjadi satu kali iterasi. Iterasi akan terus diulang sampai batas iterasi maksimum.
12. Jika iterasi telah mencapai batas maksimum, maka dari 10 vektor pada populasi yang terakhir akan dipilih satu vektor dengan nilai objektif yang terbaik. Vektor inilah yang menjadi solusi akhir dari permasalahan.



Gambar 4.2 Diagram Alir Optimasi Peletakan BTS dengan DE

### 4.3 Verifikasi dan Validasi Program

Sebelum dilakukan penyelesaian optimasi peletakan BTS pada Kabupaten Purwakarta, maka terlebih dahulu harus dilakukan verifikasi dan validasi program. Tahap verifikasi merupakan tahap untuk mengetahui apakah program yang dirancang dalam penyelesaian permasalahan ini sesuai dengan konsep yang dimaksud. Program akan terverifikasi ketika program yang dirancang berjalan sesuai dengan konseptual model, sehingga ketika dilakukan perubahan pada nilai-nilai parameter akan berakibat pada output yang juga berubah. Setelah dilakukan verifikasi, maka dilakukan validasi dengan tujuan untuk dapat memastikan bahwa program berjalan sesuai dengan fungsinya. Tabel 4.4 dan Tabel 4.5 merupakan input data dan parameter kontrol yang digunakan untuk verifikasi dan validasi program.

Tabel 4.4 Data yang Digunakan untuk Validasi Program

No	X	Y
1	1	1
2	18.402	6.026
3	1.4225	-10.776
4	-0.535	3.4352
5	2.2009	-4.1706
6	3.2128	-0.3455
7	5.9482	5.4367
8	5.0364	1.6116
9	4.4804	-15.468

Tabel 4.5 Parameter Kontrol yang Digunakan pada Validasi Program

Parameter Kontrol	Nilai
Ukuran Populasi	10
Iterasi Maksimum	1
Parameter Kontrol Mutasi	0.6
Parameter Kontrol Pindah Silang	0.7

Tahapan yang dilakukan untuk memvalidasi program dengan cara perhitungan manual adalah:

1. Menginisialisasi populasi awal yaitu populasi pada generasi ke-0 secara acak dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB seperti yang terlihat pada Tabel 4.6. Dimensi satu sampai Sembilan adalah koordinat BTS dengan nomor urut 1 sampai 9. Hasil dari pembangkitan bilangan acak tersebut kemudian akan dikonversi menjadi nilai 1 atau 0 seperti yang ditunjukkan Tabel 4.7. Setelah dikonversi, tiap vektor akan dievaluasi nilai fungsi objektifnya.
2. Setelah diperoleh populasi awal, maka tahapan yang selanjutnya adalah menentukan populasi vektor mutasi. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, vektor mutasi diperoleh dengan cara mengambil tiga vektor secara acak, kemudian vektor-vektor tersebut akan dilakukan perhitungan yang terjadi ketika mutasi. Hasil dari populasi vektor mutasi adalah seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 4.8.

Tabel 4.6 Hasil Pembangkitan Bilangan Acak

No	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10
1	-0.3765	-0.4239	0.9354	0.2086	0.1207	0.9859	-0.8916	0.2513	-0.988	0.9198
2	-0.8894	-0.4993	0.7919	0.0329	0.2255	-0.675	0.2179	0.1503	0.6038	0.192
3	0.5076	-0.0232	-0.6199	-0.985	-0.3984	-0.7729	0.5545	0.502	0.0052	0.6171
4	-0.7361	0.4581	-0.9964	0.3779	0.5963	0.8258	0.0221	-0.693	0.0757	0.9691
5	-0.2882	-0.5948	0.4235	0.892	0.5913	-0.0367	-0.9445	-0.2864	0.7418	0.7718
6	-0.2083	-0.5674	0.7355	0.7471	0.5622	0.7036	0.9808	-0.7121	0.4457	0.5723
7	0.771	0.9527	-0.7634	-0.7734	-0.2978	0.6198	0.0019	0.7012	0.3362	0.9307
8	-0.9575	0.1865	-0.922	-0.2909	-0.8914	-0.6265	-0.336	-0.3243	0.6423	0.0978
9	0.6882	-0.3912	0.1964	-0.5161	0.4174	-0.5056	-0.6522	-0.4496	0.101	0.9724

Tabel 4.7 Populasi Vektor Target dan Hasil Evaluasi

No	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10
1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1
2	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
3	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1
4	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1
5	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1
6	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0
7	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0
8	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0
Area layanan	2192	1882	2864	2422	3152	2002	3652	2922	4072	3210

- Setelah diperoleh populasi vektor mutan, maka populasi dari vektor *trial* pun bias diperoleh dengan menggunakan proses pindah silang. Populasi vektor *trial* akan dievaluasi sebagaimana halnya vektor target. Populasi vektor *trial* dan hasil evaluasi nilai fungsi objektifnya adalah seperti yang ditunjukkan oleh Table 4.9.

Tabel 4.8 Populasi Vektor Mutan

No	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
7	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0

Tabel 4.9 Populasi Vektor *Trial* dan Hasil Evaluasi

No	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10
1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1
4	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
5	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1
6	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0
7	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Area layanan	3882	2480	2192	3940	2422	1750	3652	4670	3210	3940

Berdasarkan tabel-tabel yang telah ditunjukkan, terlihat bahwa perancangan program sudah sesuai dengan konsep yang diinginkan. Oleh karena itu, program dapat dikatakan sudah tervalidasi.

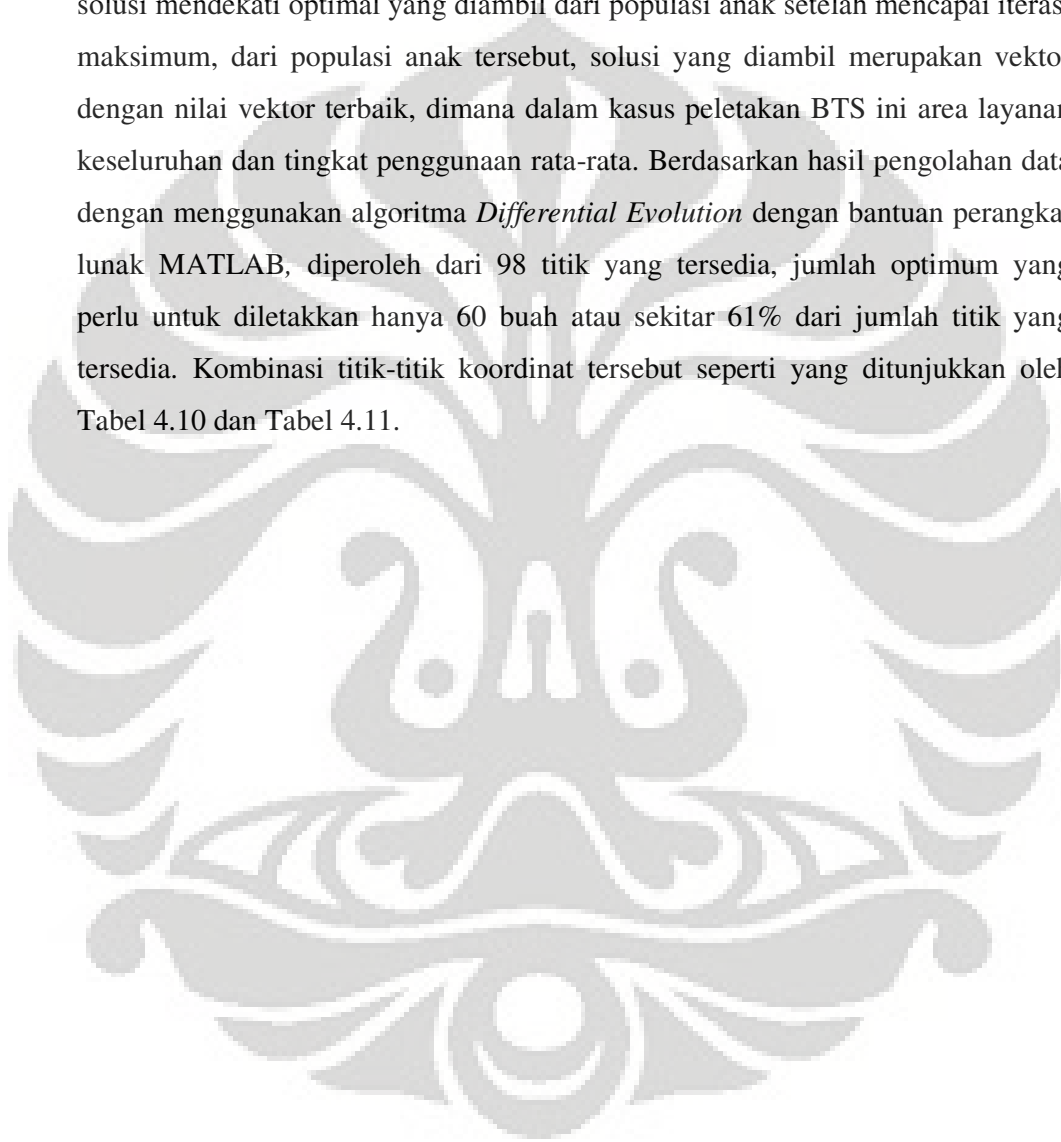
#### 4.4 Pengolahan Data dan Hasil

Pengolahan data dengan menggunakan algoritma *Differential Evolution* bertujuan untuk memperoleh kombinasi peletakan BTS yang optimum. Selain itu, dari perolehan hasil pengolahan data tersebut, dapat diketahui penghematan penggunaan lahan yang dapat dilakukan dalam menentukan letak menara bersama. Dari hasil pengolahan data tersebut juga dapat dilakukan perbandingan



pada jangkauan layanan yang sudah dioptimasi yang dialami oleh Operator A, Operator B, dan Operator C dengan area layanan yang ada sebelumnya.

Hasil yang diperoleh dari pengolahan data dari penelitian ini bertujuan agar dapat dibandingkan dengan efisiensi dari peletakan BTS di Kabupaten Purwakarta pada saat ini. Solusi akhir yang ditawarkan oleh DE merupakan solusi mendekati optimal yang diambil dari populasi anak setelah mencapai iterasi maksimum, dari populasi anak tersebut, solusi yang diambil merupakan vektor dengan nilai vektor terbaik, dimana dalam kasus peletakan BTS ini area layanan keseluruhan dan tingkat penggunaan rata-rata. Berdasarkan hasil pengolahan data dengan menggunakan algoritma *Differential Evolution* dengan bantuan perangkat lunak MATLAB, diperoleh dari 98 titik yang tersedia, jumlah optimum yang perlu untuk diletakkan hanya 60 buah atau sekitar 61% dari jumlah titik yang tersedia. Kombinasi titik-titik koordinat tersebut seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 4.10 dan Tabel 4.11.



Tabel 4.10 Kombinasi Peletakan BTS yang Optimum

Site ID	Longitude	Latitude	Keterangan
PKA001	107.4133	-6.5494	Desa Kembangkuning Kec. Jatiluhur
PKA002	107.5698	-6.5042	Desa Cipeundeuy
PKA006	107.4332	-6.5615	Kota Purwakarta
PKA007	107.4578	-6.5095	Desa Mulyamekar Kec. Babakancikao
PKA008	107.4496	-6.5439	Kota Purwakarta
PKA009	107.4446	-6.6975	Desa Sawit Kec. Darangdan
PKA012	107.4370	-6.6936	Desa Sawit Kec. Darangdan
PKA013	107.3987	-6.5321	Desa Jatiluhur Kec. Jatiluhur
PKA017	107.3800	-6.6458	Desa Plered Kec. Plered
PKA020	107.4314	-6.5898	Desa Cijantung Kec. Sukatani
PKA021	107.4370	-6.5410	Kota Purwakarta
PKA024	107.4795	-6.4383	Desa Cikopo Kec. Bungursari
PKA026	107.4451	-6.4937	Desa Cigelam Kec. Babakancikao
PKA027	107.4803	-6.4619	Desa Cibungur Kec. Bungursari
PKA028	107.4841	-6.4090	Desa Cikopo Kec. Bungursari
PKA029	107.4799	-6.4385	Desa Cikopo Kec. Bungursari
PKA030	107.3177	-6.6983	Desa Citamiang Kec. Maniis
PKA032	107.3989	-6.6844	Desa Depok Kec. Darangdan
PKB001	107.44720	-6.4730	Desa Cigelam Kec. Babakancikao
PKB004	107.42980	-6.5161	Desa Babakancikao Kec. Babakancikao
PKB005	107.41220	-6.5470	Desa Kembangkuning Kec. Jatiluhur
PKB006	107.44390	-6.5515	Kota Purwakarta
PKB009	107.48790	-6.5037	Desa Campaka Kec. Campaka
PKB010	107.51040	-6.4954	Desa Cijaya Kec. Campaka
PKB013	107.49900	-6.6200	Desa Salammulya Kec. Pondoksalam
PKB014	107.52400	-6.6439	Desa Sukadami Kec. Wanayasa
PKB015	107.57550	-6.6814	Desa Pusakamulya Kec. Kiarapedes
PKB020	107.31900	-6.6961	Desa Citamiang Kec. Maniis
PKC001	107.4654	-6.4323	Desa Cinangka Kec. Bungur Sari
PKC002	107.4240	-6.5957	Desa Cijantung Kec. Sukatani

Tabel 4.11 Kombinasi Peletakan BTS yang Optimum (sambungan)

Site ID	Longitude	Latitude	Keterangan
PKC004	107.4459	-6.5532	Kota Purwakarta
PKC005	107.4577	-6.5221	Kel. Cisereuh Kota Purwakarta
PKC008	107.5791	-6.6841	Desa Pusakamulya Kec. Kiarapedes
PKC010	107.3172	-6.6982	Desa Citamiang Kec. Maniis
PKC011	107.5015	-6.7108	Desa Bojong Barat Kec. Bojong
PKC012	107.3988	-6.6848	Desa Depok Kec. Darangdan
PKC013	107.4684	-6.7024	Desa Linggasari Kec. Darangdan
PKT002	107.4792	-6.4365	Desa Cikopo, pinggir jalan pantura
PKT004	107.4781	-6.4875	Desa Bungursari
PKT005	107.4592	-6.5102	Desa Ciwangi
PKT006	107.4467	-6.5434	Kota Purwakarta, sebelah rel KA
PKT007	107.4372	-6.5518	Kel. Cipaisan Kota Purwakarta
PKT010	107.3988	-6.5321	Desa Jatiluhur
PKT011	107.4326	-6.5199	Desa Maracang
PKT012	107.4102	-6.4984	Desa Hegarmanah
PKT014	107.4471	-6.4725	Desa Cigelam, pinggir jalan tol cipularang
PKT015	107.5090	-6.4958	Desa Cikumpay, pinggir jalan arah Subang
PKT017	107.6021	-6.5015	Desa Wantilan, pinggir jalan arah Subang
PKT018	107.5750	-6.4655	Desa Karangmukti, dekat STT Texmaco
PKT019	107.4341	-6.5857	Desa Cijantung, pinggir jalan arah Bandung
PKT020	107.4127	-6.6040	Desa Sukatani, dekat perumahan+sawah
PKT021	107.4004	-6.6348	Desa Anjun, di atas bukit dekat pasar
PKT023	107.3391	-6.6503	Desa Tegal Sari, daerah pemukiman warga
PKT025	107.4371	-6.6929	Desa Sawit, dekat pertigaan sawit
PKT026	107.4770	-6.5924	Desa Pasawahan, pinggir jalan dekat sawah
PKT027	107.5215	-6.6333	Desa Tarigul Tonggoh, areapersawahan
PKT028	107.5554	-6.6777	Desa Wanayasa, dekat waduk wanayasa
PKT029	107.3199	-6.6945	Desa Citamiang, dekat kantor Kec Maniis
PKT030	107.4992	-6.7082	Desa Sukamanah, dekat pasar bojong
PKT032	107.3981	-6.6862	Desa Depok, dekat Stasiun Cisomang

## 4.5 Analisis

Permasalahan dalam penelitian ini adalah menentukan kombinasi optimum dari peletakan BTS di Kabupaten Purwakarta. Metode yang digunakan adalah algoritma *Differential Evolution*. Fungsi tujuan (*fitness function*) dari permasalahan peletakan BTS ini adalah “Area Layanan Keseluruhan” dan “Tingkat Penggunaan BTS Rata-rata”. Analisis dari hasil pengolahan data dibagi menjadi tiga, diantaranya adalah analisis metode dan analisis hasil.

### 4.5.1 Analisis Metode

Algoritma *Differential Evolution* merupakan salah satu jenis algoritma evolusioner (EA), dimana algoritma jenis ini menggunakan konsep evolusi biologi sebagai cara bekerjanya, dimana pada algoritma jenis ini individu (dalam kasus ini vektor) yang kuat akan bertahan dan maju ke generasi selanjutnya dan individu yang lemah akan musnah.

Metode DE ini merupakan metode dengan teknik pencarian yang rakus. Kemungkinan buruk yang dapat terjadi adalah terjadinya konvergensi prematur (solusi yang diperoleh belum optimal), namun hal ini dapat diantisipasi dengan menjalankan banyak vektor secara bersamaan, yaitu dengan membentuk populasi vektor. Selain itu, solusi akhir yang ditawarkan oleh DE dapat berbeda, hal ini disebabkan oleh pembangkitan bilangan acak yang dilakukan terhadap pembentukan vektor target, pembentuk vektor selisih, dan vektor mutasi.

Pada proses seleksi, akan terjadi kompetisi antara vektor target dan vektor *trial*. Ketika nilai hasil evaluasi dari vektor anak lebih baik dibandingkan nilai vektor target, maka vektor anak akan menjadi vektor target baru untuk generasi yang berikutnya dan menggantikan peranan vektor target pada generasi itu. Cara kerja seperti inilah yang akan membuat vektor target pada generasi yang baru akan memberikan kesempatan yang lebih besar dalam membuat solusi yang lebih baik sehingga tidak perlu menunggu berkontribusi di generasi selanjutnya.

DE relatif lebih tangguh jika dibandingkan dengan algoritma evolusioner lainnya dan dapat memproduksi hasil yang sama secara konsisten untuk banyak percobaan jika telah mencapai keadaan konvergen. Selain itu, karena strukturnya

yang cukup sederhana dan penggunaan parameter kontrol yang lebih sedikit, DE juga memiliki waktu yang relatif lebih singkat dalam mencari solusi optimal jika dibandingkan dengan teknik algoritma yang lainnya.

Untuk permasalahan kombinatorial seperti pada penelitian optimasi peletakan BTS ini, penggunaan teknik-teknik optimasi konvensional seperti *Integer Linear Programming* dapat dikatakan hampir tidak mungkin untuk dilakukan, hal ini disebabkan karena permasalahan kombinatorial seperti pada penelitian ini melibatkan sangat banyak variabel dan hasil yang non-deterministik, sehingga pengerjaannya akan menjadi sangat sulit dan memakan waktu yang sangat lama, sedangkan penggunaan DE dalam menyelesaikan permasalahan kombinatorial seperti peletakan BTS di Kabupaten Purwakarta ini dapat menghasilkan solusi yang mendekati optimal, hal ini disebabkan oleh cara kerja DE yang akan membandingkan kombinasi sekarang (vektor target) dengan kombinasi yang ditawarkan selanjutnya (vektor *trial*) sehingga kombinasi yang terbaik akan maju terus dan akan menyingkirkan kombinasi yang kurang optimal. Namun, karena penggunaan bilangan acak dalam menentukan vektor-vektornya, maka solusi akhir berupa kombinasi BTS optimal yang ditawarkan oleh DE akan berbeda jika dilakukan *re-run* program, walaupun hasil solusi yang ditawarkan tersebut tidak akan jauh berbeda dengan yang ada sebelumnya.

#### 4.5.2 Analisis Hasil

##### 4.5.2.1 Analisis Usulan Kombinasi BTS

Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan algoritma *Differential Evolution*, dari jumlah titik koordinat yang tersedia sebanyak 98 buah, cukup 60 titik saja yang digunakan untuk meletakkan BTS. Pada peletakan BTS yang diusulkan tersebut, terjadi relokasi Operator BTS dimana dari penggunaan BTS yang pada awalnya hanya untuk satu Operator menjadi tiga Operator. Oleh karena itu, dari keseluruhan 66 titik koordinat yang sudah diletakkan BTS milik Operator A, Operator B, dan Operator C, ada sebagian titik koordinat yang sudah tidak digunakan lagi setelah dilakukan optimasi. Hasil dari pengolahan data menunjukkan bahwa area layanan keseluruhan dari peletakan BTS yang optimum tidak sama dengan area layanan keseluruhan, namun lebih kecil dari area layanan

keseluruhan jika semua titik koordinat digunakan (diletakkan 98 buah BTS) dimana untuk pemasangan BTS sebanyak 98 buah, area layanan secara keseluruhan adalah  $592.1 \text{ km}^2$  sedangkan area layanan yang optimal adalah sebesar  $525.5 \text{ km}^2$ . Hal ini disebabkan oleh kendala waktu dalam proses pengolahan data dimana pada prosesnya, waktu yang dibutuhkan untuk melakukan iterasi sebanyak 200 kali dibutuhkan waktu sekitar satu setengah jam. Hal ini disebabkan oleh penggunaan fungsi yang cukup berat pada perangkat lunak MATLAB yang penghitungannya banyak memakan waktu. Fungsi tersebut merupakan fungsi yang digunakan untuk menghitung area layanan secara keseluruhan. Walaupun terjadi penurunan, penurunan tersebut tidak signifikan jika dibandingkan dengan peningkatan efisiensi (tingkat penggunaan rata-rata BTS). Perbedaan area layanan yang terjadi adalah sekitar  $66 \text{ km}^2$  atau sekitar 11% dari area layanan jika ke-98 titik dipasangi BTS. Namun tingkat penggunaan rata-rata pada peletakan optimal adalah  $8.75 \text{ km}^2/\text{BTS}$  dimana tingkat penggunaan rata-rata jika ke-98 titik digunakan adalah  $6 \text{ km}^2/\text{BTS}$ . Oleh karena itu, untuk mengisi kekurangan dari area layanan wilayah, PT SK dapat melakukan kebijakan dengan menambahkan jumlah BTS dengan meletakkan BTS-BTS baru tersebut pada wilayah yang belum mendapatkan layanan telepon seluler di Kabupaten Purwakarta. Jika area layanan maksimum pada BTS tersebut sebesar  $20.3 \text{ km}^2$ , maka PT SK dapat menambahkan jumlah BTS sebanyak 4 atau 5 buah.

#### 4.5.2.2 Analisis Perbandingan Usulan Kombinasi BTS dengan Peletakan BTS Awal untuk Tiap Operator

Berdasarkan subbab diatas, telah dijelaskan bahwa jumlah BTS peletakan BTS yang optimal pada Kabupaten Purwakarta adalah sebanyak 60 buah dari 98 titik yang tersedia, sedangkan pada subbab ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan antara usulan peletakan BTS yang baru dengan peletakan BTS yang lama untuk tiap operator, yaitu Operator A, Operator B, dan Operator C. Pada Operator A, pemasangan BTS pada Kabupaten Purwakarta membutuhkan penambahan BTS sebanyak 28 buah dari jumlah semula sebanyak 32 buah. Peningkatan area layanan pada Operator A adalah sebesar 41% dari area layanan awal sebesar  $393.5 \text{ km}^2$  menjadi  $525 \text{ km}^2$ . Selain itu, dari 32 titik yang



sebelumnya digunakan untuk BTS Operator A, jumlah titik yang tidak dipergunakan setelah dilakukan optimasi adalah sebanyak 15 buah. Titik-titik koordinat tersebut diantaranya adalah seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Titik Koordinat BTS Operator A yang Tidak Digunakan Lagi

Site ID	Longitude	Latitude	Keterangan
PKA003	107.4171	-6.6553	Desa Nagrak Kec. Darangdan
PKA004	107.3995	-6.5275	Desa Jatiluhur Kec. Jatiluhur
PKA005	107.4241	-6.5959	Desa Sukajaya Kec. Sukatani
PKA010	107.4378	-6.5606	Kota Purwakarta
PKA011	107.3975	-6.6361	Desa Anjun Kec. Plered
PKA014	107.4577	-6.5093	Desa Mulyamekar Kec. Babakancikao
PKA015	107.5196	-6.4937	Desa Cilandak Kec. Cibatu
PKA016	107.5574	-6.6813	Desa Wanayasa Kec. Wanayasa
PKA018	107.4747	-6.5874	Desa Pasawahankidul Kec. Pasawahan
PKA019	107.4046	-6.4950	Desa Cicadas Kec. Babakancikao
PKA022	107.4778	-6.4878	Desa Bungursari Kec. Bungursari
PKA023	107.4795	-6.4237	Desa Cikopo Kec. Bungursari
PKA024	107.4795	-6.4383	Desa Cikopo Kec. Bungursari
PKA025	107.4856	-6.4089	Desa Cikopo Kec. Bungursari
PKA031	107.5010	-6.7097	Desa Bojongbarat Kec. Bojong

Sedangkan untuk Operator B, jumlah peningkatan area layanan Operator B adalah sebesar 58% dari 332 km<sup>2</sup> menjadi 525 km<sup>2</sup> dengan penambahan jumlah BTS dari 21 buah menjadi 60 buah. Selain itu, titik koordinat yang pada awalnya merupakan lokasi BTS Operator B yang tidak digunakan lagi setelah dilakukan Optimasi ada sebanyak 11 buah. Titik-titik yang tidak dipergunakan lagi diantaranya adalah seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Titik Koordinat BTS Operator B yang Tidak Digunakan Lagi

Site ID	Longitude	Latitude	Keterangan
PKB002	107.44830	-6.4979	Desa Mulyamekar Kec. Babakancikao
PKB003	107.39920	-6.4903	Desa Cicadas Kec. Babakancikao
PKB007	107.42820	-6.5469	Kota Purwakarta
PKB008	107.44320	-6.5366	Kel. Nagri Kaler Kota Purwakarta
PKB011	107.55220	-6.5023	Desa Ciparungsari Kec. Cibatu
PKB012	107.45970	-6.5683	Desa Lebakanyar Kec. Pasawahan
PKB016	107.43580	-6.5802	Desa Cijantung Kec. Sukatani
PKB017	107.41600	-6.6613	Desa Gununghejo Kec. Darangdan
PKB018	107.43440	-6.6872	Desa Darangdan Kec. Darangdan
PKB019	107.32230	-6.6567	Desa Warungjeruk Kec. Tegalwaru
PKB021	107.50500	-6.7089	Desa Bojongbarat Kec. Bojong

Untuk Operator C, jumlah peningkatan area layanan adalah sebesar 120% dari 239 km<sup>2</sup> menjadi 525 km<sup>2</sup> dengan penambahan jumlah BTS sebanyak 47 buah dari 13 buah. Selain itu, dari 13 titik koordinat BTS milik Operator C ada 4 titik yang tidak dipergunakan lagi, dimana titik-titik yang tidak dipergunakan lagi diantaranya adalah sebagaimana ditunjukkan Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Titik Koordinat BTS Operator C yang Tidak Digunakan Lagi

Site ID	Longitude	Latitude	Keterangan
PKC003	107.4157	-6.6630	Desa Gununghejo Kec Darangdan
PKC006	107.4805	-6.4707	Desa Cibungur Kec. Bungur Sari
PKC007	107.4470	-6.4722	Desa Cigelam Kec. Babakancikao
PKC009	107.4331	-6.5208	Desa Maracang Kec. Babakancikao

Selain titik-titik yang sebelumnya merupakan lokasi BTS milik masing-masing operator, PT SK juga menentukan sejumlah titik baru sebanyak 32 buah yang disediakan untuk dibangun menara baru jika dilakukan relokasi pada BTS-BTS milik Operator, A, Operator B, dan Operator C. Penambahan lokasi-lokasi ini bertujuan untuk memindahkan BTS yang peletakan awalnya tidak optimal. Selain itu, dengan adanya titik-titik baru tersebut, maka tiap operator dapat memperluas area layanannya dimana pada titik baru tersebut mungkin



belum terlayani. Dari 32 buah titik baru tersebut, jumlah titik yang diperlukan untuk dibangun BTS baru ada sebanyak 21 buah. Titik-titik yang perlu untuk dibangun BTS baru diantaranya adalah seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 4.15. Berdasarkan Tabel 4.15 terlihat bahwa ada dua wilayah yang sebelumnya belum mendapatkan layanan dari Operator A, Operator B, maupun Operator C. Titik-titik tersebut adalah titik dengan *Site ID* PKT018 yang berlokasi di Desa Karangmukti dan PKT027 yang berlokasi di Desa Tarigul Tonggoh.





Tabel 4.15 Titik-titik Koordinat untuk Dibangun BTS Baru

Site ID	Longitude	Latitude	Keterangan	Operator dari BTS yang terdekat
PKT002	107.4792	-6.4365	Desa Cikopo, pinggir jalan pantura	Opt. A
PKT004	107.4781	-6.4875	Desa Bungursari	Opt. A & Opt. B
PKT005	107.4592	-6.5102	Desa Ciwangi	Opt. A & Opt. C
PKT006	107.4467	-6.5434	Kota Purwakarta, sebelah rel KA	Opt. A, Opt. B & Opt. C
PKT007	107.4372	-6.5518	Kel. Cipaisan Kota Purwakarta	Opt. A, Opt. B & Opt. C
PKT010	107.3988	-6.5321	Desa Jatiluhur	Opt. A & Opt. B
PKT011	107.4326	-6.5199	Desa Maracang	Opt. A
PKT012	107.4102	-6.4984	Desa Hegarmanah, pinggir jalan arah Karawang	Opt. B & Opt. C
PKT014	107.4471	-6.4725	Desa Cigelam, pinggir jalan tol cipularang	Opt. A & Opt. B
PKT015	107.5090	-6.4958	Desa Cikumpay, pinggir jalan arah Subang	Opt. A & Opt. B
PKT017	107.6021	-6.5015	Desa Wantilan, pinggir jalan arah Subang	Opt. A
PKT018	107.5750	-6.4655	Desa Karangmukti, dekat STT Texmaco	-
PKT019	107.4341	-6.5857	Desa Cijantung, pinggir jalan arah Bandung	Opt. A & Opt. B
PKT020	107.4127	-6.6040	Desa Sukatani, dekat perumahan+sawah	Opt. A
PKT021	107.4004	-6.6348	Desa Anjun, di atas bukit dekat pasar	Opt. A
PKT026	107.4770	-6.5924	Desa Pasawahan, pinggir jalan dekat sawah	Opt. A & Opt. B
PKT027	107.5215	-6.6333	Desa Tarigul Tonggoh, areapersawahan	-
PKT028	107.5554	-6.6777	Desa Wanayasa, dekat waduk wanayasa	Opt. A, Opt. B & Opt. C
PKT029	107.3199	-6.6945	Desa Citamiang, dekat kantor Kec Maniis	Opt. A & Opt. B
PKT030	107.4992	-6.7082	Desa Sukamanah, dekat pasar bojong	Opt. A & Opt. B
PKT032	107.3981	-6.6862	Desa Depok, dekat Stasiun Cisomang	Opt. A

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dari permasalahan optimasi peletakan *Base Transceiver Station* pada Kabupaten Purwakarta dengan algoritma *Differential Evolution*, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari 98 lokasi yang tersedia di Kabupaten Purwakarta, lokasi yang digunakan untuk peletakan BTS hanya sebanyak 60 buah.
2. Area layanan yang dapat dipenuhi dengan kombinasi optimal dari peletakan BTS di Kabupaten Purwakarta adalah 525.5 km<sup>2</sup>.
3. Jika dibandingkan dengan lokasi BTS milik masing-masing operator sebelumnya, maka peningkatkan area layanan untuk operator A, B, dan C secara berurutan adalah 41%, 58%, dan 120%.
4. Rata-rata waktu *run* program untuk memperoleh kombinasi peletakan BTS yang optimal adalah sekitar 1,5 jam.
5. Algoritma *Differential Evolution* dapat digunakan untuk menentukan peletakan optimal BTS pada suatu wilayah.

## DAFTAR REFERENSI

Away, Gunaidi Abdia. (2006). *The Shortcut of MATLAB Programming*. Bandung: Informatika 2006.

Chase, Richard, F. Robert Jacobs, Nicholas J. Aquilano. (2004). *Operations Management for Competitive Advantage* (10th ed.). New York: McGraw-Hill.

Mendes, Silvio Priem, Juan A. Gomez Pulido, Miguel A. Vega Rodriguez, Maria D. Jaraiz Simon, Juan M. Sanchez Perez. (2008). *A Differential Evolution Based Algorithm to Optimize the Radio Network Design Problem*, Polytechnic Institute of Leiria, High School of Technology, Leiria, Portugal, University of Extremadura, Polytechnic School, Caceres, Spain, 2008.

Price, Kenneth V, Rainer M. Storn, Jouni A. Lampinen. (2005). *Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization*. Germany: Springer.

**LAMPIRAN**  
***SOURCE CODE* MATLAB PROGRAM MATLAB PENGOLAHAN DATA**



**Universitas Indonesia**

```
clear
```

```
clear all
```

```
clc
```

```
tic
```

```
%-----Kode MATLAB-----
```

```
jumlah_titik=98;
```

```
jumlah_baris=jumlah_titik;
```

```
jumlah_populasi=10;
```

```
jumlah_kolom=jumlah_populasi; %Ukuran Populasi
```

```
batas_bawah=-1;
```

```
batas_atas=1;
```

```
F=0.6; % parameter kontrol mutasi
```

```
Cr=0.7; % parameter kontrol pindah silang
```

```
iterasi_max=200;
```

```
computation_time=5200;
```

```
%-----Data Koordinat BTS-----
```

```
%Untuk menunjukkan posisi BTS dengan gambar (satuan km):
```

```
rad_sel=2.542;

radius_sel=[ones(jumlah_baris,1).*rad_sel];

no_urut=[1:1:jumlah_baris];

kode_bts=no_urut';

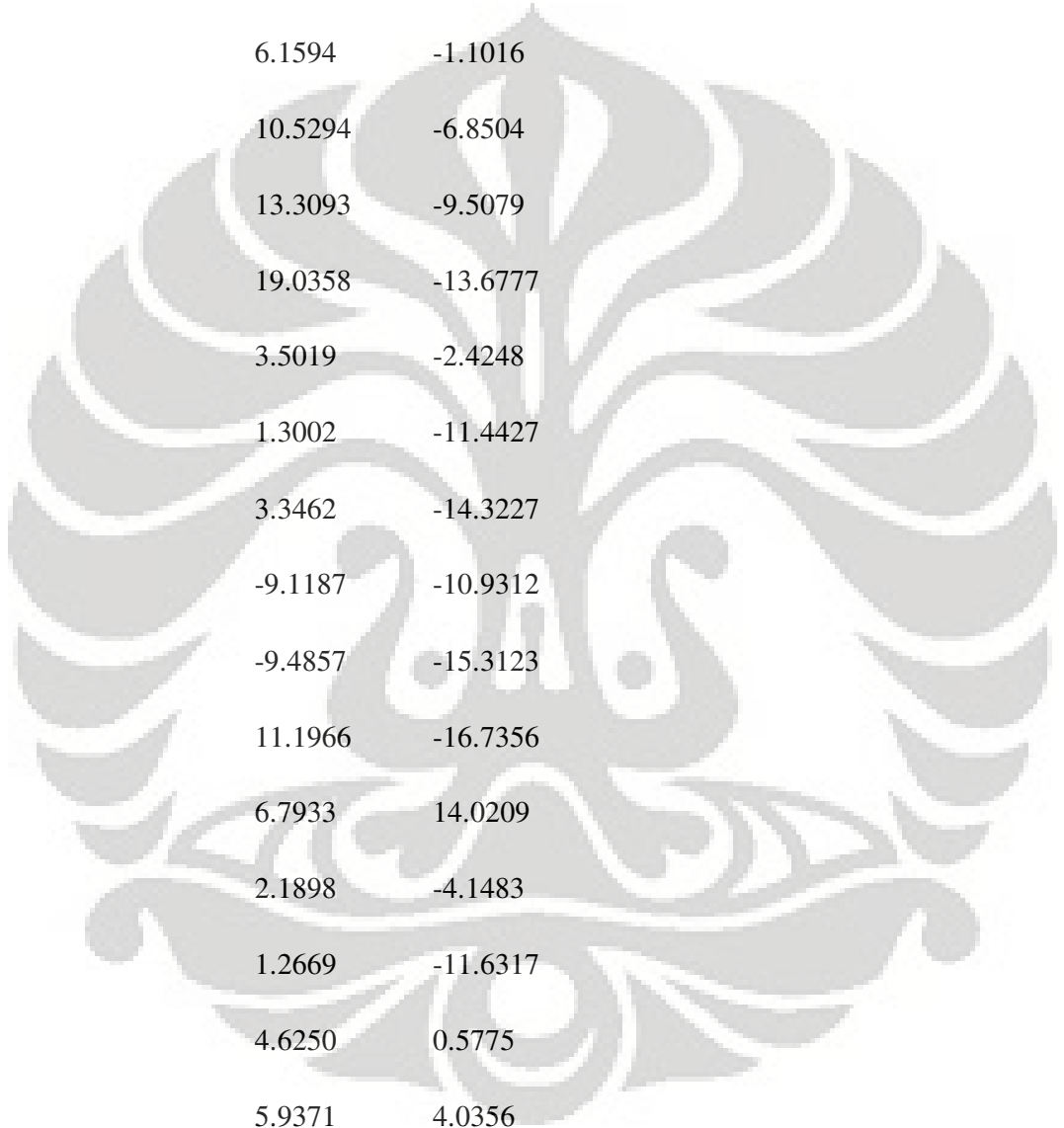
bts_tersedia=ones(jumlah_baris,1);

koord_rel=[ 1.0000    1.0000
            18.4020    6.0260
            1.4225   -10.7755
           -0.5345    3.4352
            2.2009   -4.1706
            3.2128   -0.3455
            5.9482    5.4367
            5.0364    1.6116
            4.4804   -15.4680
            3.7243   -0.2454
           -0.7569   -8.6406
            3.6353   -15.0343
           -0.6234    2.9237
            5.9371    5.4589
           12.8200    7.1936
           17.0232   -13.6666
           -2.7028   -9.7192
```





7.8274	-3.2254
0.0326	7.0490
3.0126	-3.4923
3.6353	1.9340
8.1721	.8496
8.3611	14.9772
8.3611	13.3538
9.0394	16.6229
4.5360	7.1936
8.4501	10.7296
8.8726	16.6118
8.4056	13.3315
-9.6302	-15.5569
10.7518	-16.8245
-0.6012	-14.0113
4.7695	9.4953
4.8918	6.7265
-0.5678	7.5716
2.8347	4.7028
0.8777	1.2669
4.4026	0.7665
2.6568	1.2780



4.3247	2.4233
9.2951	6.0816
11.7970	7.0045
16.4450	6.2373
6.1594	-1.1016
10.5294	-6.8504
13.3093	-9.5079
19.0358	-13.6777
3.5019	-2.4248
1.3002	-11.4427
3.3462	-14.3227
-9.1187	-10.9312
-9.4857	-15.3123
11.1966	-16.7356
6.7933	14.0209
2.1898	-4.1483
1.2669	-11.6317
4.6250	0.5775
5.9371	4.0356
8.4723	9.7510
4.7473	9.5842
19.4361	-13.9780

3.2017	4.1802
-9.6858	-15.5458
10.8074	-16.9469
-0.6123	-14.0558
7.1268	-16.0128
8.7058	15.5443
8.3277	13.5539
8.4278	10.6072
8.2054	7.8830
6.1038	5.3588
4.7139	1.6672
3.6576	0.7331
3.7688	-0.2454
1.1001	0.8777
-0.6123	2.9237
3.1461	4.2803
0.6553	6.6709
4.5138	7.1713
4.7584	9.5509
11.6414	6.9600
17.9906	6.1150
21.9936	6.3262

18.9802 10.3293

3.3129 -3.0364

0.9333 -5.0712

-0.4344 -8.4960

-3.0364 -9.6525

-7.2507 -10.2196

1.2669 -11.5094

3.6464 -14.9565

8.0831 -3.7814

13.0313 -8.3293

16.8008 -13.2663

-9.3856 -15.1344

10.5516 -16.6578

22.4940 -11.7096

-0.6902 -14.2115]; %Dalam diagram Cartesian (x,y) dengan  
satuan km

koord\_dan\_radius=[koord\_rel radius\_sel]

%Luas Keseluruhan

Letak\_bts=Circles\_Intersection(koord\_dan\_radius);

f=arcs2region(Letak\_bts,1,1);

h=reg\_patch(f);

luas\_keseluruhan=bwarea(f) %Luas daerah yang terjangkau ketika semua dipasang (dalam pixel)

utilisasi\_keseluruhan=luas\_keseluruhan/sum(bts\_tersedia) %Luas daerah yang terjangkau sinyal BTS / BTS yang terpakai

luas\_maks=luas\_keseluruhan;

luas\_maksimum=ones(1,10).\*luas\_maks

utilisasi\_min=utilisasi\_keseluruhan;

tingkat\_penggunaan=ones(jumlah\_baris,10).\*utilisasi\_min;

%-----Mencari Kromosom Awal-----

mpt=batas\_bawah+(batas\_atas-batas\_bawah)\*rand(jumlah\_baris,jumlah\_kolom)

%titik terpakai bernilai >0, tidak terpakai bernilai <=0

kromosom\_awal=[mpt>0] % titik terpakai bernilai 1, tidak terpakai bernilai 0

%-----Evaluasi Fitness Function Populasi Target-----

Luas=[ones(jumlah\_baris,1);luas\_maks;sum(ones(jumlah\_baris,1))];

Data1=[luas\_maks;utilisasi\_min];

%-----

```
Letak_bts1=Circles_Intersection([koord_dan_radius(:,1).*kromosom_awal(:,1)
koord_dan_radius(:,2).*kromosom_awal(:,1)
koord_dan_radius(:,3).*kromosom_awal(:,1)]);

f1=arcs2region(Letak_bts1,1,1);
```

```
Letak_bts2=Circles_Intersection([koord_dan_radius(:,1).*kromosom_awal(:,2)
koord_dan_radius(:,2).*kromosom_awal(:,2)
koord_dan_radius(:,3).*kromosom_awal(:,2)]);

f2=arcs2region(Letak_bts2,1,1);
```

```
Letak_bts3=Circles_Intersection([koord_dan_radius(:,1).*kromosom_awal(:,3)
koord_dan_radius(:,2).*kromosom_awal(:,3)
koord_dan_radius(:,3).*kromosom_awal(:,3)]);

f3=arcs2region(Letak_bts3,1,1);
```

```
Letak_bts4=Circles_Intersection([koord_dan_radius(:,1).*kromosom_awal(:,4)
koord_dan_radius(:,2).*kromosom_awal(:,4)
koord_dan_radius(:,3).*kromosom_awal(:,4)]);

f4=arcs2region(Letak_bts4,1,1);
```

```
Letak_bts5=Circles_Intersection([koord_dan_radius(:,1).*kromosom_awal(:,5)
koord_dan_radius(:,2).*kromosom_awal(:,5)
koord_dan_radius(:,3).*kromosom_awal(:,5)]);
```

```
f5=arcs2region(Letak_bts5,1,1);
```

```
Letak_bts6=Circles_Intersection([koord_dan_radius(:,1).*kromosom_awal(:,6)  
koord_dan_radius(:,2).*kromosom_awal(:,6)  
koord_dan_radius(:,3).*kromosom_awal(:,6)]);
```

```
f6=arcs2region(Letak_bts6,1,1);
```

```
Letak_bts7=Circles_Intersection([koord_dan_radius(:,1).*kromosom_awal(:,7)  
koord_dan_radius(:,2).*kromosom_awal(:,7)  
koord_dan_radius(:,3).*kromosom_awal(:,7)]);
```

```
f7=arcs2region(Letak_bts7,1,1);
```

```
Letak_bts8=Circles_Intersection([koord_dan_radius(:,1).*kromosom_awal(:,8)  
koord_dan_radius(:,2).*kromosom_awal(:,8)  
koord_dan_radius(:,3).*kromosom_awal(:,8)]);
```

```
f8=arcs2region(Letak_bts8,1,1);
```

```
Letak_bts9=Circles_Intersection([koord_dan_radius(:,1).*kromosom_awal(:,9)  
koord_dan_radius(:,2).*kromosom_awal(:,9)  
koord_dan_radius(:,3).*kromosom_awal(:,9)]);
```

```
f9=arcs2region(Letak_bts9,1,1);
```

```
Letak_bts10=Circles_Intersection([koord_dan_radius(:,1).*kromosom_awal(:,10)  
koord_dan_radius(:,2).*kromosom_awal(:,10)  
koord_dan_radius(:,3).*kromosom_awal(:,10)]);
```

```
f10=arcs2region(Letak_bts10,1,1);
```

```
f_total=[f1 f2 f3 f4 f5 f6 f7 f8 f9 f10];
```

```
Luas1=[bwarea(f1) bwarea(f2) bwarea(f3) bwarea(f4) bwarea(f5) bwarea(f6)  
bwarea(f7) bwarea(f8) bwarea(f9) bwarea(f10)];
```

```
Luas_dan_kombinasi_bts=[kromosom_awal;Luas1;sum(kromosom_awal)]
```

```
nilai_ob=Luas_dan_kombinasi_bts(jumlah_baris+1,:)/sum(kromosom_awal)
```

```
%-----Mulai Iterasi-----
```

```
proses=0;
```

```
iterasi=0;
```

```
while(proses==0)
```

```
    iterasi=(iterasi+1);
```

```
    if iterasi==iterasi_maxltoc>=computation_time
```

```
        proses=1;
```

```
    end
```

```
%-----Mencari Vektor Target-----
```

```
%memilih vektor target dengan kriteria terbaik
```

```
for i=1:jumlah_kolom
```



```

[nilai_ob_awal,indeks_vektor_target]=max(nilai_ob);

vektor_target=Luas_dan_kombinasi_bts(1:jumlah_baris,i);

    end

for i=2:jumlah_kolom

    vektor_target(:,i)=vektor_target(:,i-1);

end

%-----Mencari Populasi Mutan-----

for i=1:jumlah_populasi

    %memilih dua vektor secara random

    indeks_vektor_random1=1;

    indeks_vektor_random2=1;

    while((indeks_vektor_random1==indeks_vektor_random2)|(indeks_vektor_random1==indeks_vektor_target)|(indeks_vektor_random2==indeks_vektor_target))

        indeks_vektor_random1=randint(1,1,jumlah_populasi)+1;

        indeks_vektor_random2=randint(1,1,jumlah_populasi)+1;

    end

    vektor_random1(:,i)=Luas_dan_kombinasi_bts(1:jumlah_baris,indeks_vektor_random1);

```

```
vektor_random2(:,i)=Luas_dan_kombinasi_bts(1:jumlah_baris,indeks_vektor_ran  
dom2);
```

```
end
```

```
populasi_mutan=(vektor_random1-vektor_random2)*F+vektor_target;
```

```
populasi_mutan=[populasi_mutan>0]
```

```
%----- Mencari Populasi Trial
```

```
for i=1:jumlah_baris
```

```
    for j=1:jumlah_kolom
```

```
        if (rand()<=Cr)
```

```
            populasi_trial(i,j)=populasi_mutan(i,j);
```

```
        else
```

```
            if (i==randint(1,jumlah_baris(1,1)))
```

```
                populasi_trial(i,j)=populasi_mutan(i,j);
```

```
            else
```

```
                populasi_trial(i,j)=Luas_dan_kombinasi_bts(i,j);
```

```
            end
```

```
        end
```

```
    end
```

```
end
```

%-----Evaluasi Fitness Function Populasi Trial

```
Letak_bts11=Circles_Intersection([koord_dan_radius(:,1).*populasi_trial(:,1)  
koord_dan_radius(:,2).*populasi_trial(:,1)  
koord_dan_radius(:,3).*populasi_trial(:,1)]);
```

```
f11=arcs2region(Letak_bts11,1,1);
```

```
Letak_bts21=Circles_Intersection([koord_dan_radius(:,1).*populasi_trial(:,2)  
koord_dan_radius(:,2).*populasi_trial(:,2)  
koord_dan_radius(:,3).*populasi_trial(:,2)]);
```

```
f21=arcs2region(Letak_bts21,1,1);
```

```
Letak_bts31=Circles_Intersection([koord_dan_radius(:,1).*populasi_trial(:,3)  
koord_dan_radius(:,2).*populasi_trial(:,3)  
koord_dan_radius(:,3).*populasi_trial(:,3)]);
```

```
f31=arcs2region(Letak_bts31,1,1);
```

```
Letak_bts41=Circles_Intersection([koord_dan_radius(:,1).*populasi_trial(:,4)  
koord_dan_radius(:,2).*populasi_trial(:,4)  
koord_dan_radius(:,3).*populasi_trial(:,4)]);
```

```
f41=arcs2region(Letak_bts41,1,1);
```

```
Letak_bts51=Circles_Intersection([koord_dan_radius(:,1).*populasi_trial(:,5)  
koord_dan_radius(:,2).*populasi_trial(:,5)  
koord_dan_radius(:,3).*populasi_trial(:,5)]);
```

```
f51=arcs2region(Letak_bts51,1,1);
```

```
Letak_bts61=Circles_Intersection([koord_dan_radius(:,1).*populasi_trial(:,6)  
koord_dan_radius(:,2).*populasi_trial(:,6)  
koord_dan_radius(:,3).*populasi_trial(:,6)]);
```

```
f61=arcs2region(Letak_bts61,1,1);
```

```
Letak_bts71=Circles_Intersection([koord_dan_radius(:,1).*populasi_trial(:,7)  
koord_dan_radius(:,2).*populasi_trial(:,7)  
koord_dan_radius(:,3).*populasi_trial(:,7)]);
```

```
f71=arcs2region(Letak_bts71,1,1);
```

```
Letak_bts81=Circles_Intersection([koord_dan_radius(:,1).*populasi_trial(:,8)  
koord_dan_radius(:,2).*populasi_trial(:,8)  
koord_dan_radius(:,3).*populasi_trial(:,8)]);
```

```
f81=arcs2region(Letak_bts81,1,1);
```

```
Letak_bts91=Circles_Intersection([koord_dan_radius(:,1).*populasi_trial(:,9)  
koord_dan_radius(:,2).*populasi_trial(:,9)  
koord_dan_radius(:,3).*populasi_trial(:,9)]);
```

```
f91=arcs2region(Letak_bts91,1,1);
```

```
Letak_bts101=Circles_Intersection([koord_dan_radius(:,1).*populasi_trial(:,10)  
koord_dan_radius(:,2).*populasi_trial(:,10)  
koord_dan_radius(:,3).*populasi_trial(:,10)]);
```

```
f101=arcs2region(Letak_bts101,1,1);
```

```
f_total1=[f11 f21 f31 f41 f51 f61 f71 f81 f91 f101];
```

```
Luas11=[bwarea(f11) bwarea(f21) bwarea(f31) bwarea(f41) bwarea(f51)  
bwarea(f61) bwarea(f71) bwarea(f81) bwarea(f91) bwarea(f101)];
```

```
Luas_dan_kombinasi_bts1=[populasi_trial;Luas1;sum(populasi_trial)]
```

```
nilai_ob1=Luas_dan_kombinasi_bts1(jumlah_baris+1,:)/sum(populasi_trial)
```

```
%-----Pilih Vektor Anak atau Induk?
```

```
for i=1:jumlah_kolom
```

```
if
```

```
Luas11(i)>=0.95.*luas_maksimum(i)&nilai_ob(i)<nilai_ob1(i)&Luas11(i)<=1.05  
.*luas_maksimum(i)&nilai_ob(i)<nilai_ob1(i);
```

```
kromosom_awal(:,i)=populasi_trial(:,i);
```

```
nilai_ob(i)=nilai_ob1(i)
```

```
elseif
```

```
Luas11(i)>=0.95.*luas_maksimum(i)&nilai_ob(i)>nilai_ob1(i)&Luas11(i)<=1.05  
.*luas_maksimum(i)&nilai_ob(i)>nilai_ob1(i);
```

```
kromosom_awal(:,i)=kromosom_awal(:,i);
```

```
nilai_ob(i)=nilai_ob(i)
```

```
else kromosom_awal(:,i)=ones(jumlah_baris,1)
```

```
nilai_ob(i)=tingkat_penggunaan(i);
```

```
end
```

```
end
```

```
end
```

```
kombinasi_akhir=[kromosom_awal;nilai_ob]
```

