

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini membahas metodologi yang digunakan untuk menyelesaikan masalah optimisasi jaringan distribusi SPAM yang meliputi deskripsi masalah, tahapan penelitian, metode penyelesaian, dan contoh kasus dan penyelesaiannya.

#### **3.1. Deskripsi Masalah**

Penelitian ini membahas masalah optimisasi jaringan distribusi SPAM di PDAM Tirta Raharja Kabupaten Bandung. Pembahasan dilakukan untuk menentukan diameter pipa optimal pada jaringan distribusi SPAM di PDAM Tirta Raharja Kabupaten Bandung dengan tata letak yang telah ditentukan sehingga memenuhi kebutuhan air sesuai kriteria teknis (tekanan aliran) dengan biaya yang minimum. Jaringan distribusi SPAM merupakan jaringan yang dihubungkan oleh pipa-pipa bertujuan untuk mengalirkan air dari unit pengolahan atau penampungan kepada masyarakat. Jaringan pipa terdiri dari diameter yang berbeda-beda disesuaikan dengan kebutuhan debit pengaliran. Untuk debit air yang sama, semakin besar diameter pipa, maka tekanannya akan mengecil. Kebutuhan diameter yang besar membutuhkan biaya yang besar juga. Oleh karena itu, diperlukan optimisasi untuk memperkecil biaya (hemat biaya) dan memenuhi kendala (tekanan dan permintaan air) dengan menggunakan GA.

#### **3.2. Tahapan Penelitian**

Tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Studi Pustaka

Pada tahapan ini dilakukan studi pustaka dengan mempelajari teori-teori terkait masalah optimisasi *single-objective* dan algoritma genetik (GA) dari buku dan jurnal.

2. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang berhubungan dengan jaringan distribusi SPAM di PDAM Tirta Raharja Kabupaten Bandung.

### 3. Pembangunan Model Optimisasi

Pada tahapan ini akan dibangun model optimisasi *linear integer programming* dengan terlebih dahulu mendefinisikan asumsi-asumsi.

### 4. Penyelesaian Masalah

Pada tahapan ini akan dibangun model masalah optimisasi jaringan distribusi SPAM akan diselesaikan dengan menggunakan algoritma genetik (GA).

### 5. Validasi

Model dan teknik penyelesaian akan divalidasi dengan cara membandingkan hasil dari perhitungan manual dengan komputerisasi pada contoh kasus. Jika hasilnya belum valid, maka tahapan akan diulang dari langkah pemodelan. Jika hasilnya valid, maka akan dilanjutkan ke tahapan implementasi.

### 6. Implementasi

Model dan teknik akan diimplementasikan pada permasalahan optimisasi jaringan distribusi SPAM di PDAM Tirta Raharja Kabupaten Bandung dengan menggunakan algoritma genetik (GA).

### 7. Penarikan Kesimpulan

Pada tahapan ini akan dilakukan penarikan kesimpulan berdasarkan hasil implementasi algoritma genetik (GA).

## 3.3. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang berhubungan dengan jaringan distribusi SPAM di PDAM Tirta Raharja Kabupaten Bandung. Data-data tersebut terdiri dari:

#### 1. Desain Jaringan (Skematik Jaringan)

Desain jaringan yang digunakan yaitu berupa graf yang simpulnya merepresentasikan tempat penampungan air sementara (*reservoir*) atau area pelayanan, sedangkan garisnya merepresentasikan pipa. Desain jaringan ini biasanya tersedia dalam format EPANET.

#### 2. Data Kebutuhan Air

Data kebutuhan air untuk satu sistem tinjauan yaitu debit aliran atau debit air yang didistribusikan dari unit pengolahan atau tempat penampungan air menuju pelayanan. Data debit aliran biasa dinyatakan dalam satuan liter per detik (L/d).

### 3. Data Pipa

Data pipa yang dibutuhkan yaitu panjang pipa, jenis pipa, biaya pemasangan pipa, dan diameter pipa yang terpasang saat ini.

### 4. Data Tekanan Aliran

Data tekanan aliran merupakan standar minimal dan maksimal yang telah ditetapkan pada perencanaan jaringan distribusi SPAM melalui Peraturan Menteri PUPR No. 27 tahun 2016. Kriteria standar tekanan aliran terdapat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Kriteria Standar Tekanan Aliran.

Parameter	Simbol	Nilai Satuan
Tekanan air dalam pipa a. Tekanan minimum	h min	0.5—1.0 atm, pada titik jangkauan pelayanan terjauh
b. Tekanan maksimim		
Pipa PVC atau ACP	h max	6—8 atm
Pipa baja atau DCIP	h max	10 atm
Pipa PE 100	h max	12.4 MPa
Pipa PE 80	h max	9.0 MPa

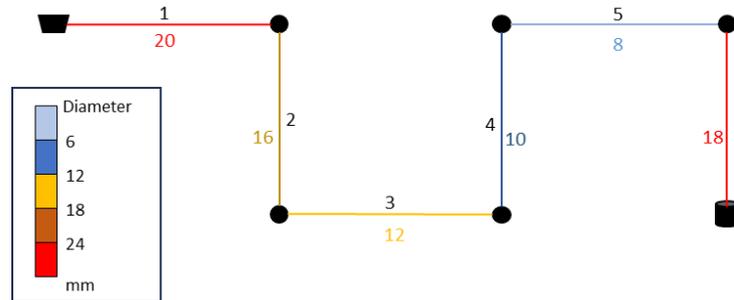
### 3.4. Model Optimisasi

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimisasi jaringan pipa distribusi SPAM yang menghubungkan salah satu sistem yang berada di PDAM Tirta Raharja Kab. Bandung dengan cara menentukan diameter pipa yang ideal pada jaringan tersebut. Jaringan pipa distribusi SPAM dapat dipandang sebagai masalah jaringan dan aliran dalam graf berarah. *Node* merepresentasikan lokasi penampungan air dan busur mewakili pipa.

Pada bagian ini diturunkan model optimisasi jaringan distribusi SPAM. Adapun asumsi-asumsi yang diambil pada pemodelan ini adalah sebagai berikut:

1. Struktur tanah pada penelitian ini diasumsikan rata.
2. Kedalaman galian tidak diperhitungkan.
3. Aksesoris pipa dan belokan tidak dipertimbangkan.
4. Tekanan 1 bar sama dengan 10 meter.
5. Jenis pipa yang digunakan merupakan pipa HDPE.

Contoh jaringan distribusi SPAM terdapat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Contoh Jaringan Distribusi SPAM.

Untuk menurunkan model optimisasi jaringan distribusi SPAM, terlebih dahulu didefinisikan himpunan-himpunan yang digunakan oleh model sebagai berikut:

- $DS$  : Himpunan diameter solusi
- $M$  : Himpunan *node*
- $N$  : Himpunan pipa
- $K$  : Jumlah kromosom dalam populasi
- $h_f$  : *Head loss*
- $q$  : Laju aliran air
- $C$  : Koefisien Hazen-Williams
- $D_i$  : Diameter pipa ke  $i$
- $L_i$  : Panjang pipa ke- $i$
- $C_T$  : Total biaya jaringan pipa
- $C_i(D_i)$  : Biaya satuan panjang pipa ke- $i$  berdasarkan diameter pipa  $D_i$  yang dipilih
- $h_m$  : *Head* pada *node*  $m$
- $h_r$  : *Head* pada *node reservoir*
- $\sum_{n=NHR}^N h_{fn}$  : Jumlah *head-loss* dalam pipa  $n$  yang dimulai dari *reservoir* dan berakhir di *node*  $m$

*Head loss* adalah penurunan tekanan pada fluida yang mengalir dalam pipa. Penurunan tekanan ini disebabkan oleh gesekan antar fluida yang mengalir dengan

dinding pipa (*head loss* gesekan) dan oleh beberapa faktor lain seperti aliran masuk fluida ke dalam pipa, aliran keluar fluida dari pipa, sambungan pipa, dan katup (*head loss* lokal). *Head loss* dapat dihitung menggunakan berbagai rumus, dalam penelitian ini persamaan yang digunakan untuk menghitung *head loss* adalah persamaan Hazen-Williams. Persamaan ini merupakan persamaan empiris yang menghubungkan aliran air dalam pipa dengan sifat fisik pipa dan kehilangan energi akibat gesekan. Koefisien Hazen-Williams adalah bilangan tak berdimensi yang digunakan dalam persamaan Hazen-Williams. Persamaannya dapat digunakan untuk menghitung *head loss* pipa ke  $i$  adalah sebagai berikut:

$$h_{fi} = 10,67 C^{-1,85} q^{1,85} D_i^{-4,87} L \quad (3.1)$$

Pada penelitian ini akan dicari diameter optimal pipa yang memenuhi kendala tekanan sehingga didapatkan biaya minimum. Diasumsikan biaya per satuan panjang pipa tidak terkait secara linier dengan diameternya dan persamaan tunggal dapat diterapkan untuk semua ukuran. Dengan demikian, biaya jaringan pipa (termasuk biaya pemasangan) dapat dinyatakan sebagai fungsi tujuan berikut:

$$\text{Meminimumkan: } C_T = \sum_{i=1}^N L_i \cdot C_i(D_i) \quad (3.2)$$

Adapun kendala-kendala dari model jaringan distribusi SPAM adalah sebagai berikut:

1. Setiap cabang (pipa) dalam jaringan harus mempertimbangkan semua ukuran pipa yang tersedia di pasaran, dan solusi akhir harus memilih hanya satu ukuran pipa untuk setiap cabang. Kendala ini direpresentasikan oleh persamaan:

$$\sum_{i=1}^N D_i = 1 \quad (3.3)$$

2. Batasan tekanan berdasarkan persamaan energi, yang dapat dirumuskan dalam persamaan berikut:

$$H_m = h_r - \sum_{n=NHR}^N h_{fn} \quad (3.4)$$

3. Batasan untuk setiap *node m* adalah total *head loss* yang digunakan oleh pipa-pipa yang terlibat dalam jalur pasokan air dari *node* sumber (*reservoir*) *r* ke *node m* harus lebih kecil dari nilai *head* di *node* sumber dikurangi kebutuhan *head* di *node m* untuk setiap kasus beban permintaan. Kendala ini dituliskan dalam persamaan berikut:

$$H_m \geq H_m^{(min)} \quad (3.5)$$

Substitusi persamaan (3.4) ke persamaan (3.5), diperoleh:

$$h_r - \sum_{n=NHR}^N h_{fn} \geq H_m^{(min)} \quad (3.6)$$

4. Batasan variabel model menyatakan bahwa variabel  $D_i$  bernilai integer non negatif. Batasan ini dituliskan sebagai berikut:

$$D_i \geq 0, D_i \in \mathbb{Z} \quad (3.7)$$

Pada sub bab selanjutnya akan dijelaskan penyelesaian model di atas dengan menggunakan algoritma genetik.

### 3.5. Penyelesaian Model dengan Algoritma Genetik (GA)

Pada bagian ini akan dilakukan penyelesaian masalah optimisasi jaringan distribusi SPAM dengan menggunakan Algoritma Genetik (GA) yang terbagi menjadi enam tahap yaitu representasi kromosom, pembentukan populasi awal, *fitness*, seleksi, *crossover*, dan mutasi.

#### 1. Representasi Kromosom

Dalam GA, calon solusi diwakili oleh kromosom. Sejumlah kromosom disebut populasi. Dalam penelitian ini kromosom direpresentasikan dalam bentuk *value encoding*. Kromosom dari *value encoding* adalah kromosom yang dibentuk dari bilangan cacah yang merepresentasikan suatu diameter solusi dalam satu segmen pipa. Misal terdapat 4 ukuran diameter pipa berbeda yang akan menjadi

calon solusi dinotasikan dengan 0,1,2,3. Panjang kromosom ditentukan oleh banyaknya pipa dalam jaringan distribusi. Salah satu contoh kromosom dari permasalahan jaringan distribusi yang terdiri dari 3 pipa adalah 0 3 3. Contoh kasus pengkodean diameter solusi terdapat pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Contoh Kasus Pengkodean Diameter Solusi.

<b>Diameter (mm)</b>	<b>Biaya (Rp/m)</b>	<b>Value Encoding</b>
100	1650	0
150	1790	1
200	2950	2
250	4000	3

## 2. Pembentukan populasi awal

GA secara acak akan menghasilkan populasi awal dalam bentuk bilangan cacah yang mewakili solusi jaringan pipa distribusi sebanyak  $K$  kromosom. Misalkan dibangkitkan 3 kromosom dengan panjang kromosom adalah 3 sebagai populasi awal dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Contoh Kasus Populasi Awal.

<b>Kromosom</b>	<b>Pipa 1</b>	<b>Pipa 2</b>	<b>Pipa 3</b>
Kromosom 1	1	0	2
Kromosom 2	3	0	0
Kromosom 3	3	3	0

Setelah populasi awal dihasilkan, GA akan menerjemahkan setiap gen ke dalam variabel yang sesuai, yaitu ukuran pipa dan menghitung fungsi tujuan yaitu biaya total. Setelah fungsi tujuan tercapai, kemudian akan dilakukan analisis untuk setiap kromosom populasi dan defisiensi kinerja akan dilakukan. Defisiensi didefinisikan pada tahap set up masalah. Misalnya, memperoleh tekanan yang dapat diterima pada titik-titik dalam interval tekanan yang ditentukan atau memperoleh kecepatan yang dapat diterima pada pipa dalam rentang kecepatan yang ditentukan tidak akan berpengaruh pada total biaya. Biaya total dihitung dengan menambahkan biaya pipa dan biaya lainnya. GA akan menghitung tingkat *fitness* untuk setiap solusi dalam populasi berdasarkan beberapa fungsi dari total biaya solusi.

### 3. Menghitung nilai *fitness*

Nilai *fitness* adalah nilai yang menyatakan baik atau tidaknya suatu individu menjadi solusi. Nilai *fitness* ini dijadikan acuan dalam mencapai nilai optimal. Nilai *fitness* merepresentasikan kualitas sebuah kromosom sebagai solusi. Sehingga semakin kecil biayanya nilai *fitness*-nya semakin kecil dan sebaliknya. Fungsi *fitness* yang digunakan adalah

$$f = C_T$$

Pada contoh kasus ini, diketahui panjang pipa dan biaya instalasi untuk setiap ukuran diameter yang terdapat dalam Tabel 3.2 dan Tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Panjang Pipa untuk Setiap Segmen Pipa.

Segmen	Panjang (meter)
Pipa ke- 1	1500
Pipa ke- 2	800
Pipa ke- 3	1200

Substitusi panjang pipa ke-*i* dan biaya satuan panjang pipa ke-*i* berdasarkan diameter pipa  $D_i$  yang dipilih ke Persamaan 3.4.

Perhitungan nilai *fitness*:

#### 1. Kromosom 1 ( 1 0 2 )

$$C_{T_1} = 1500 C(150) + 800 C(100) + 1200 C(200)$$

$$C_{T_1} = 1500 \times 1790 + 800 \times 1650 + 1200 \times 2950$$

$$C_{T_1} = 2.685.000 + 1.320.000 + 3.540.000$$

$$C_{T_1} = 7.420.500$$

#### 2. Kromosom 2 ( 3 0 0 )

$$C_{T_2} = 1500 C(250) + 800 C(100) + 1200 C(100)$$

$$C_{T_2} = 1500 \times 4000 + 800 \times 1650 + 1200 \times 1650$$

$$C_{T_2} = 6.000.000 + 1.320.000 + 1.980.000$$

$$C_{T_2} = 9.300.000$$

#### 3. Kromosom 3 ( 3 3 0 )

$$C_{T_3} = 1500 C(250) + 800 C(250) + 1200 C(100)$$

$$C_{T_3} = 1500 \times 4000 + 800 \times 4000 + 1200 \times 1650$$

$$C_{T_3} = 6.000.000 + 3.200.000 + 1.980.000$$

$$C_{T_3} = 11.180.000$$

#### 4. Seleksi

Langkah selanjutnya melakukan proses seleksi, pilih sebanyak  $k$  kromosom dari  $K$  jumlah kromosom dimana  $k$  adalah bilangan positif yang lebih kecil dari  $K$ . Kromosom tersebut dipilih melalui seleksi dengan metode *ranking*. Seleksi *ranking* merupakan suatu metode seleksi yang dilakukan dengan memberi urutan pada populasi sesuai dengan nilai *fitness*-nya, nilai *fitness* terkecil diberi nilai 1, yang terkecil kedua diberi nilai 2 dan seterusnya sampai yang terakhir diberi nilai  $K$  (jumlah kromosom dalam populasi) seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3. 5 *Ranking* Kromosom Berdasarkan *Fitness*.

<b>Kromosom</b>	<b><i>Fitness</i></b>	<b><i>Ranking</i></b>
Kromosom 1	7.420.500	1
Kromosom 2	9.300.000	2
Kromosom 3	11.180.000	3

Pada contoh kasus ini, akan dipilih  $k$  sebanyak 2 kromosom dari populasi awal yang akan lolos seleksi dan selanjutnya masuk ke proses *crossover*. Berdasarkan data pada Tabel 3.6 kromosom yang lolos seleksi dan masuk ke proses *crossover* adalah Kromosom 1 dan Kromosom 2.

#### 5. Prosedur Penyilangan (*Crossover*)

Selanjutnya akan dilakukan pemilihan pasangan dari kromosom yang telah lolos proses seleksi secara acak sebelum dilakukan *crossover*. *Crossover* adalah proses untuk menyilangkan dua kromosom sehingga membentuk kromosom baru yang harapannya lebih baik dari pada induknya. Proses *crossover* dilakukan pada kromosom yang telah lolos dalam seleksi metode *rank* dengan menggunakan metode *single point crossover*. Pada *crossover* terdapat parameter probabilitas *crossover* ( $P_c$ ), di mana nilai  $P_c$  antara 0 sampai 1. Kemudian pilih sebuah bilangan acak antara 0 sampai 1. Jika bilangan acak yang dipilih kurang dari  $P_c$  maka

dilakukan *crossover*. Jika bilangan acak yang dipilih lebih dari  $P_c$  maka tidak terjadi *crossover*. Langkah-langkah *single point crossover* adalah sebagai berikut:

- a. Pilih dua kromosom dari populasi secara acak.
- b. Tentukan titik *crossover* dengan cara memilih satu posisi diantara gen-gen kromosom yang akan dilakukan *crossover*.
- c. Gen-gen yang berada di luar titik *crossover* ditukar antara dua kromosom induk membentuk dua anak.
- d. Setelah proses *crossover*, hasilnya terdapat dua anak baru yang kemudian menjadi bagian dari populasi berikutnya.

Pada contoh kasus ini, diperoleh 2 kromosom yang akan melakukan *crossover* diantaranya Kromosom 1 dan Kromosom 2.  $P_c$  yang digunakan adalah 0,7 dan misalkan bilangan acak yang dipilih untuk pasangan Kromosom 1 dengan Kromosom 2 adalah 0,35, akibatnya dilakukan *crossover* dengan metode *single point crossover* adalah sebagai berikut:

1. Menentukan titik *crossover* pada induk, misal dipilih titik *crossover* pada posisi kedua.

Kromosom 1 = 1 0 | 2

Kromosom 2 = 3 0 | 0

2. Gen-gen yang berada di luar titik *crossover* ditukar antara dua kromosom induk membentuk dua kromosom anak.

Anak 1 = 1 0 | 0

Anak 2 = 3 0 | 2

Kromosom baru atau kromosom anak hasil *crossover* antara Kromosom 1 dan Kromosom 2 adalah

Anak 1 = 1 0 0

Anak 2 = 3 0 2

Kromosom baru tersebut akan menjadi kromosom yang baru untuk generasi berikutnya dalam GA.

## 6. Prosedur Mutasi

Setelah *crossover*, kromosom-kromosom tersebut akan dilakukan mutasi berdasarkan parameter probabilitas mutasi ( $P_m$ ). Probabilitas mutasi ini menentukan seberapa sering mutasi akan terjadi pada kromosom. Mutasi dilakukan

untuk mencegah algoritma terjebak pada hasil optimum lokal (konvergensi prematur dari algoritma genetik). Berikut adalah langkah-langkah mutasi dalam GA:

1. Pilih satu kromosom untuk dimutasi.
2. Pilih satu gen dalam kromosom yang akan dimutasi. Pemilihan gen dapat dilakukan secara acak.
3. Hasilkan nilai acak antara 0 dan 1. Jika nilai acak kurang dari nilai  $P_m$ , maka terjadi mutasi. Jika nilai acak lebih dari nilai  $P_m$ , maka tidak terjadi mutasi.
4. Hasilkan nilai acak antara bilangan cacah 0 dan  $K - 1$ . Ubah nilai gen yang dipilih dengan nilai acak yang dihasilkan.
5. Kromosom yang telah dimutasi akan dimasukkan kembali ke dalam populasi.
6. Ulangi langkah 1 hingga 4 untuk kromosom lain dalam populasi

Pada contoh kasus ini mutasi akan dilakukan pada kromosom-kromosom dengan probabilitas mutasi sebesar 0,6. Berikut adalah langkah-langkah mutasi untuk masing-masing kromosom.

Misalkan untuk kromosom 1, yaitu ( 1 0 2 ) diperoleh bilangan acak 0,32. Maka terjadi mutasi pada kromosom 1. Misalkan dipilih gen kedua ( 0 ) yang akan dimutasi dan satu bilangan acak yang diperoleh adalah 2 maka gen kedua akan diubah nilai gen-nya.

$$\text{Kromosom 1} = 1 \mathbf{0} 2$$

$$\text{Kromosom 1} = 1 \mathbf{2} 2$$

Misalkan untuk kromosom 2 ( 3 0 0 ) diperoleh bilangan acak 0,68. Maka pada kromosom 2 tidak terjadi mutasi.

$$\text{Kromosom 2} = 3 \mathbf{0} 0$$

Misalkan untuk kromosom anak 1 ( 1 0 0 ) diperoleh bilangan acak 0,88. Maka pada kromosom anak 1 tidak terjadi mutasi.

$$\text{Anak 1} = 1 \mathbf{0} 0$$

Misalkan untuk kromosom anak 2 ( 3 0 2 ) diperoleh bilangan acak 0,49. Maka terjadi mutasi pada kromosom 1. Misalkan dipilih gen pertama ( 3 ) yang akan dimutasi dan satu bilangan acak yang diperoleh adalah 2 maka gen pertama akan diubah nilai gen-nya.

$$\text{Anak 2} = \mathbf{3} 0 2$$

$$\text{Anak 2} = 2\ 0\ 2$$

Setelah melakukan mutasi pada semua kromosom, akan didapatkan individu baru yang telah dimutasi seperti yang dituliskan pada Tabel 3.6.

Tabel 3. 6 Individu Baru Hasil Mutasi.

Kromosom	Pipa 1	Pipa 2	Pipa 3
Kromosom 1	1	2	2
Kromosom 2	3	0	0
Anak 1	1	0	0
Anak 2	2	0	2

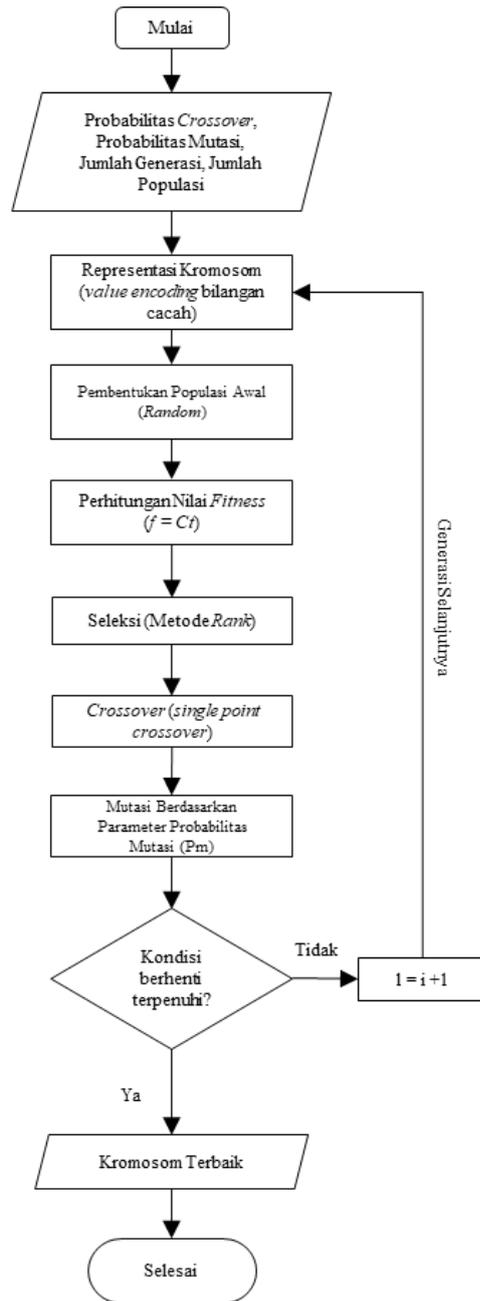
Masing-masing kromosom baru dihitung nilai *fitness*-nya seperti pada tahap sebelumnya, sehingga diperoleh nilai *fitness* pada kromosom baru dituliskan pada Tabel 3.7.

Tabel 3. 7 Nilai *Fitness* dari Kromosom Baru.

Kromosom	Pipa 1	Biaya Pipa 1	Pipa 2	Biaya Pipa 2	Pipa 3	Biaya Pipa 3	Fungsi <i>Fitness</i>
Kromosom 1	1	2.685.000	2	2.360.000	2	3.540.000	8.585.000
Kromosom 2	3	6.000.000	0	1.320.000	0	1.980.000	9.300.000
Anak 1	1	2.685.000	0	1.320.000	0	1.980.000	5.985.000
Anak 2	2	4.425.000	0	1.320.000	2	3.540.000	9.285.000

Urutkan *fitness* dari kromosom baru dan kromosom pada populasi generasi sekarang, pilih kromosom terbaik untuk menuju generasi selanjutnya. Ulangi Langkah 3 sampai Langkah 6 hingga mencapai generasi maksimum sehingga diperoleh solusi terbaik GA. Misalkan untuk contoh kasus di atas, solusi terbaik adalah Anak 1 adalah 1 0 0. Dengan kata lain diameter optimalnya untuk pipa 1 adalah 150 mm, untuk pipa 2 adalah 100 mm, dan pipa 3 adalah 100 mm dengan nilai *fitness* atau total biaya jaringan distribusi adalah Rp5.985.000,00.

Tahapan-tahapan GA untuk menentukan diameter pipa yang optimal digambarkan pada *flowchat* pada Gambar 3.2



Gambar 3. 2 Flowchart Tahapan GA untuk Menentukan Diameter Optimal Pipa.