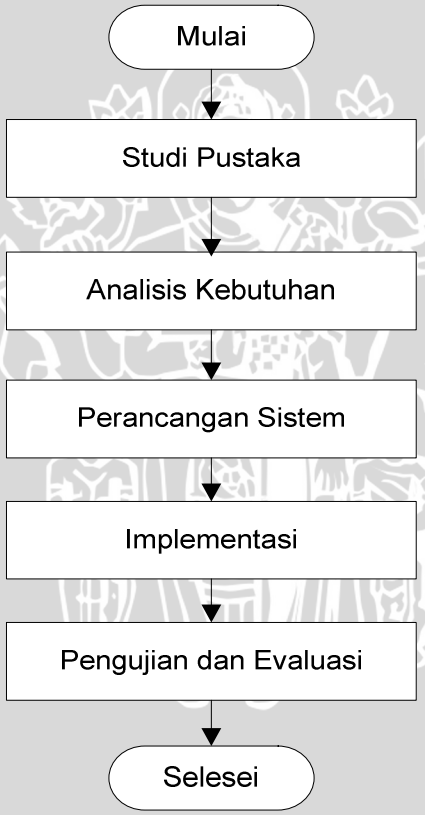
# BAB III
# METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini membahas tahapan penelitian, kebutuhan sistem, formulasi permasalahan yang dibahas, dan siklus penyelesaian optimasi distribusi barang dua tahap dengan menggunakan algoritma *evolution strategies*.

## 3.1 Tahapan Penelitian

Tahapan yang dilakukan untuk menyelesaikan penelitian ini dimulai dari studi pustaka, analisis kebutuhan sistem, perancangan sistem, implementasi, serta pengujian dan evaluasi sistem. Gambar 3.1 menunjukkan tahapan penelitian yang dilakukan.




Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan Gambar 3.1 penjabaran tahapan penelitian yang dilakukan adalah:

1. Studi Pustaka

   Mencari dan mempelajari literatur yang berkaitan dengan penerapan algoritma *evolution strategies* untuk optimasi distribusi barang dua tahap. Studi pustaka

dilakukan untuk meningkatkan pemahaman yang mendukung penyelesaian permasalahan dalam penelitian ini. Studi pustaka dilakukan dengan melakukan kajian teori dari berbagai sumber seperti jurnal, buku, dan internet.

2. Analisis Kebutuhan

   Melakukan analisis kebutuhan yang dibutuhkan untuk merancang sistem penerapan algoritma *evolution strategies* untuk optimasi distribusi barang dua tahap.

3. Perancangan

   Melakukan analisis dan merancang sistem penerapan algoritma *evolution strategies* untuk menyelesaikan kasus distribusi barang dua tahap.

4. Implementasi

   Menerapkan hasil analisis dan perancangan sistem penerapan algoritma *evolution strategies* untuk optimasi distribusi barang dua tahap ke dalam kode program.

5. Pengujian dan Evaluasi

   Melakukan pengujian terhadap parameter algoritma *evolution strategies* untuk menghasilkan solusi yang mendekati optimal pada kasus optimasi distribusi barang dua tahap dan melakukan evaluasi terhadap hasil pengujian.

## 3.2 Kebutuhan Sistem

Subbab kebutuhan sistem membahas mengenai kebutuhan yang digunakan dalam membangun sistem penerapan algoritma *evolution strategies* untuk optimasi distribusi barang dua tahap. Kebutuhan sistem penerapan algoritma *evolution strategies* untuk optimasi distribusi barang dua tahap meliputi kebutuhan perangkat keras dan kebutuhan perangkat lunak.

### 3.2.1 Kebutuhan Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam pengembangan sistem penerapan algoritma *evolution strategies* untuk optimasi distribusi barang dua tahap ini adalah sebagai berikut :

1. Processor intel (R) Core(TM) i7-2670QM CPU @ 2.20GHz 2.19GHz
2. RAM 4.00 GB
3. Monitor 14 inch

4. *Keyboard*
5. *Mouse*

### 3.2.2 Kebutuhan Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan dalam pengembangan sistem penerapan algoritma *evolution strategies* untuk optimasi distribusi barang dua tahap ini adalah sebagai berikut :

1. Sistem operasi Microsoft Windows 8.1 Pro 64-bit sebagai lingkungan kerja sistem.
2. Mozilla Firefox sebagai media untuk membuat dan *compile* program dengan menggunakan bahasa PHP.
3. XAMPP 1.8.1 sebagai *software* web *server* dan juga digunakan untuk mengembangkan *database* dengan menggunakan *database* mySQL.
4. PHPDesigner 8 sebagai *software* untuk penulisan kode program.

## 3.3 Formulasi Permasalahan Distribusi Barang Dua Tahap

Permasalahan distribusi barang dua tahap yang akan diselesaikan pada penelitian ini adalah distribusi barang dari produsen ke agen dan dari agen menuju sub agen menggunakan algoritma *evolution strategies*. Optimasi distribusi ini berkaitan dengan pemenuhan kebutuhan agen dan sub agen serta meminimalkan total biaya distribusi dari produsen ke agen dan dari agen ke sub agen.

Sistem penerapan algoritma *evolution strategies* untuk optimasi distribusi barang dua tahap akan menerima input berupa parameter ES dan parameter kasus. Input parameter ES terdiri dari ukuran populasi ($\mu$), ukuran *offspring* ($\lambda$), parameter *a, range* nilai sigma, jumlah generasi, dan perbandingan mutasi segmen. Sedangkan data input parameter kasus adalah jumlah produsen, agen, dan sub agen, biaya distribusi, kapasitas produsen, serta kebutuhan agen dan sub agen. Data input tersebut selanjutnya diproses menggunakan algoritma *evolution* strategies yang meliputi proses *generate* populasi awal, reproduksi, evaluasi dan seleksi. Sistem ini akan menghasilkan *output* berupa jalur distribusi yang optimal, biaya total distribusi yang diperoleh dari penjumlahan total biaya distribusi pada tahap pertama dan biaya distribusi pada tahap kedua, serta nilai *fitness* dari solusi tersebut.

Data parameter kasus yang digunakan adalah data *dummy* yang dibuat oleh peneliti sendiri yang disesuaikan dengan kasus yang nyata. Data tersebut berupa data kapasitas produsen, kebutuhan agen dan sub agen, serta biaya distribusi dari produsen menuju agen, serta biaya distribusi dari agen menuju sub agen. Tabel 3.1 merupakan tabel data kapasitas produsen, Tabel 3.2 adalah tabel kebutuhan agen, dan Tabel 3.3 adalah tabel kebutuhan sub agen. Tabel 3.4 menjelaskan tabel biaya distribusi tahap 1, yaitu dari produsen ke agen. Tabel 3.5 adalah tabel biaya distribusi tahap 2, yaitu dari agen ke sub agen.

Tabel 3.1 Tabel Kapasitas Produsen

| No | Nama Produsen | Kapasitas Produksi |
|---|---|---|
| 1 | Produsen 1 | 900 unit |
| 2 | Produsen 2 | 1000 unit |
| Total produksi | | 1900 unit |

Tabel 3.2 Tabel Kebutuhan Agen

| No | Nama Agen | Permintaan Agen |
|---|---|---|
| 1 | Agen 1 | 550 unit |
| 2 | Agen 2 | 750 unit |
| 3 | Agen 3 | 600 unit |
| Total permintaan agen | | 1900 unit |

Tabel 3.3 Tabel Kebutuhan Sub Agen

| No | Nama Sub Agen | Permintaan Sub Agen |
|---|---|---|
| 1 | Sub Agen 1 | 225 unit |
| 2 | Sub Agen 2 | 275 unit |
| 3 | Sub Agen 3 | 400 unit |
| 4 | Sub Agen 4 | 310 unit |
| Total permintaan sub agen | | 1210 unit |

Tabel 3.4 Tabel Biaya Distribusi Tahap 1 (Per Unit)

| | Agen1 | Agen2 | Agen3 |
|---|---|---|---|
| **Produsen1** | 4000 | 800 | 2700 |
| **Produsen2** | 2100 | 1200 | 700 |

Tabel 3.5 Tabel Biaya Distribusi Tahap 2 (Per Unit)

| | Sub1 | Sub2 | Sub3 | Sub4 |
|---|---|---|---|---|
| **Agen1** | 500 | 1300 | 2500 | 2000 |
| **Agen2** | 1500 | 3000 | 900 | 1300 |
| **Agen3** | 700 | 1800 | 1700 | 600 |

Sedangkan untuk data parameter ES yang digunakan untuk perhitungan manual ditetapkan sebagai berikut:

1. Jumlah produsen, agen, dan sub agen = 2, 3, dan 4
2. Ukuran populasi = 5
3. Ukuran *offspring* = $2\mu$
4. Parameter *a* = 0,85
5. Sigma (σ) = [1-3]
6. Jumlah generasi = 1
7. Perbandingan mutasi segmen = 50 : 30 : 20

## 3.4 Siklus Penyelesaian Optimasi Distribusi Barang Dua Tahap

Subbab ini menjelaskan siklus penyelesaian optimasi distribusi barang dua tahap. Pencarian solusi untuk permasalahan distribusi barang dua tahap dapat dilakukan dengan menggunakan algoritma *brute force*. Algoritma brute force menghasilkan solusi dengan menghitung seluruh kombinasi kromosom. Misalkan sebuah perusahaan memiliki 2 produsen, 2 agen, dan 3 sub agen. Maka jumlah seluruh kromosom yang dihasilkan dari kasus distribusi barang dua tahap sebanyak 17280 kombinasi kromosom. Jumlah ini diperoleh dari kali kemungkinan kombinasi kromosom segmen dan kemungkinan kombinasi kromosom segmen 2, yaitu 4!x6!. Berikut ini adalah rincian solusi terbaik yang dihasilkan:

Kromosom segmen 1 : 2-1-3-4

Kromosom segmen 2 : 3-1-2-4-5-6

Total biaya distribusi : 2570250

*Fitness* : 0,3890672113075

Pada contoh kasus distribusi dari 2 produsen, 2 agen, dan 3 sub agen perhitungan secara *brute force* menghasilkan solusi relatif lebih lama dibandingkan dengan algoritma *evolution strategies.* Selain itu perhitungan *brute force* tidak dapat diterapkan pada kasus yang lebih besar karena kemungkinan solusi yang dibangkitkan terlalu banyak, sedangkan kapasitas memori komputer yang digunakan terbatas.

Oleh karena itu dalam memperoleh solusi untuk permasalahan distribusi barang dua tahap digunakan algoritma *evolution strategies.* Algoritma ini dapat menghasilkan solusi pada ruang solusi yang luas. Tahapan algoritma *evolution strategies* adalah:

1. Inisialisasi populasi awal

   Membangkitkan individu sebanyak ukuran populasi ($\mu$) sesuai dengan input dari *user.* Individu dibangkitkan disertai dengan nilai *strategy parameter* sesuai dengan *range* nilai sigma yang ditentukan
2. Menghitung *fitness*

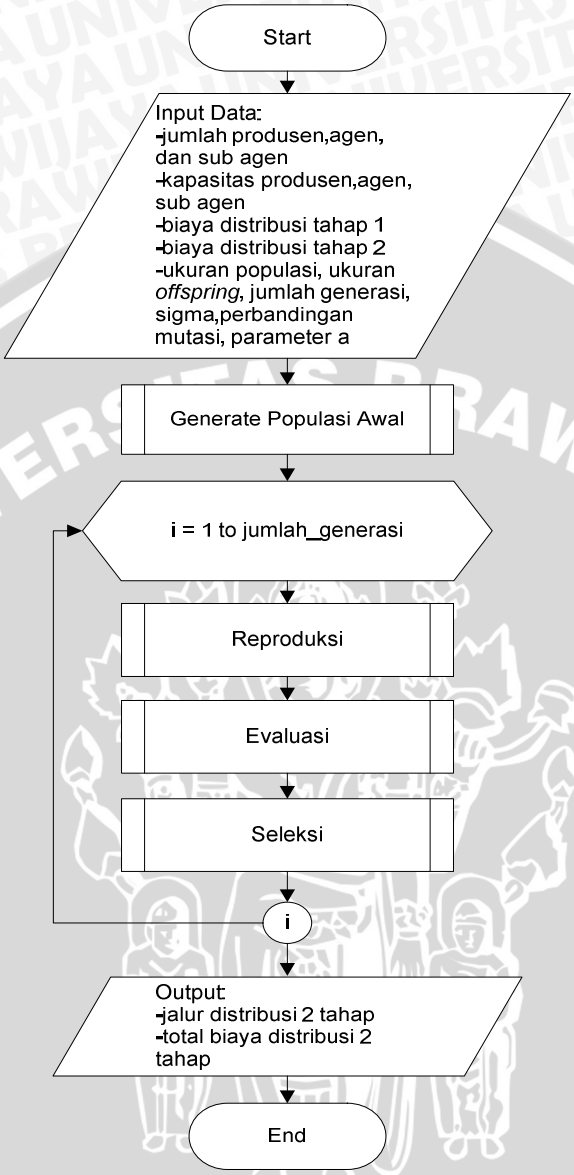
   Menghitung kebaikan solusi yang dibawa oleh individu *parent*.
3. Reproduksi

   Pada algoritma *evolution strategies* reproduksi menggunakan mutasi untuk menghasilkan *offspring. Offspring* yang dihasilkan sebanyak ukuran *offspring* yang ditentukan.
4. Evaluasi

   Menghitung *fitness* dari *offspring* yang dihasilkan untuk mengetahui seberapa solusi yang dibawa oleh setiap individu dalam *offspring.*
5. Seleksi.

   *Offspring* yang dihasilkan kemudian melewati proses seleksi hingga akhirnya terbentuk populasi baru yang akan melanjutkan proses pada generasi berikutnya.

Siklus penyelesaian masalah optimasi distribusi barang dua tahap mengunakan algoritma *evolution strategies* digambarkan pada Gambar 3.2.




Gambar 3.2 Siklus Penyelesaian Optimasi Distribusi Barang Dua Tahap dengan Algoritma *Evolution Strategies*

### 3.4.1 Representasi Kromosom

Representasi kromosom yang digunakan untuk merepresentasikan solusi optimasi distribusi barang dua tahap adalah representasi permutasi. Angka permutasi dalam kromosom merepresentasikan jalur distribusi. Setiap kromosom terdiri dari dua segmen. Panjang kromosom ditentukan dari jumlah produsen, agen, dan sub agen. Panjang kromosom segmen pertama adalah hasil perkalian jumlah

produsen dan agen, sehingga terbentuk 6 gen pada segmen pertama untuk merepresentasikan jalur distribusi tahap 1, yaitu distribusi dari produsen ke agen. Panjang kromosom segmen kedua adalah hasil perkalian dari jumlah agen dan sub agen, sehingga segmen kedua terdiri 12 gen yang merepresentasikan jalur distribusi tahap 2, yaitu distribusi dari agen ke sub agen. Posisi gen pada kromosom segmen 1 dan segmen 2 ditunjukkan pada Gambar 3.3 dan Gambar 3.4.

| | **Agen1** | **Agen2** | **Agen3** |
|---|---|---|---|
| **Produsen1** | 1 | 2 | 3 |
| **Produsen2** | 4 | 5 | 6 |

Gambar 3.3 Posisi Gen pada Kromosom Segmen 1

| | **Sub1** | **Sub2** | **Sub3** | **Sub4** |
|---|---|---|---|---|
| **Agen1** | 1 | 2 | 3 | 4 |
| **Agen2** | 5 | 6 | 7 | 8 |
| **Agen3** | 9 | 10 | 11 | 12 |

Gambar 3.4 Posisi Gen pada Kromosom Segmen 2

Inisalisasi kromosom dibentuk dengan menyusun posisi gen secara *random*. Setiap gen pada kromosom menyatakan jalur distribusi sesuai dengan matriks posisi gen pada Gambar 3.3 dan 3.4. Contoh representasi kromosom untuk solusi permasalahan optimasi distribusi barang dua tahap ditunjukkan pada Gambar 3.5.

| | Segmen 1 | | | | | | Segmen 2 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Posisi | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Kromosom | 2 | 4 | 1 | 3 | 6 | 5 | 3 | 1 | 10 | 12 | 2 | 5 | 7 | 8 | 4 | 9 | 11 | 6 |

Gambar 3.5 Representasi Kromosom

Setiap kromosom yang dibangkitkan memiliki nilai *fitness* yang menyatakan kebaikan dari solusi yang dibawa kromosom tersebut. Berikut ini adalah tahapan perhitungan *fitness* kromosom pada Gambar 3.5:

1. Pelacakan dimulai dari kromosom segmen pertama yang merepresentasikan

distribusi tahap 1. Kapasitas produksi yang dimiliki produsen 1 sebesar 900 unit dan produsen2 sebesar 1000 unit. Sedangkan permintaan yang dimiliki oleh agen 1 adalah 550 unit, agen 2 adalah 750 unit, dan agen 3 adalah 600 unit. Kromosom segmen pertama untuk penyelesaian optimasi distribusi barang dua tahap dapat digambarkan menjadi matriks 2x3 sesuai dengan jumlah produsen dan agen. Jalur distribusi berawal dari gen 2 yang menyatakan *node* jalur distribusi dari produsen 1 ke agen 2, dengan 750 unit barang yang didistribusikan. Tabel 3.6 menjelaskan alokasi distribusi yang direpresentasikan gen 2. $a'_i$ dan $b'_j$ merupakan total baris dan kolom sementara untuk persediaan setiap produsen dan permintaan dari setiap agen.

Tabel 3.6 Distribusi Gen 2

| | Agen1 | Agen2 | Agen3 | $a'_i$ |
|---|---|---|---|---|
| Produsen1 | 1 | 2 750 | 3 | **900** |
| Produsen2 | 4 | 5 0 | 6 | 1000 |
| $b'_j$ | 550 | **750** | 600 | |

2. Berdasarkan Tabel 3.6 permintaan agen 2 sudah terpenuhi dan sisa persediaan produsen 1 sebanyak 150 unit. Jalur distribusi berikutnya adalah gen 4 yang menyatakan jalur distribusi dari produsen 2 ke agen 1 dengan 550 unit barang yang didistribusikan. Tabel 3.7 menggambarkan proses distribusi yang representasikan gen 4.

Tabel 3.7 Distribusi Gen 4

| | Agen1 | Agen2 | Agen3 | $a'_i$ |
|---|---|---|---|---|
| Produsen1 | 1 0 | 2 750 | 3 | 150 |
| Produsen2 | 4 550 | 5 0 | 6 | **1000** |
| $b'_j$ | **550** | **0** | 600 | |

3. Berdasarkan Tabel 3.7 permintaan agen 1 telah terpenuhi dan sisa persediaan produsen 2 sebanyak 450 unit. Gen 1 tidak dilakukan proses distribusi karena permintaan agen 1 telah terpenuhi, sehingga distribusi dilanjutkan pada gen 3 yang menyatakan jalur distribusi dari produsen 1 ke agen 3 dengan 150 unit barang yang didistribusikan. Tabel 3.8 menggambarkan proses distribusi yang representasikan gen 3

Tabel 3.8 Distribusi Gen 3

| | Agen1 | Agen2 | Agen3 | a'i |
|---|---|---|---|---|
| Produsen1 | 1 0 | 2 750 | 3 150 | **150** |
| Produsen2 | 4 550 | 5 0 | 6 450 | 450 |
| b'j | 0 | 0 | **600** | |

4. Pada Tabel 3.8 terlihat bahwa kebutuhan agen 3 yang telah dipehuni oleh produsen 1 sebanyak 150 unit. Sisanya sebanyak 450 unit permintaan agen 3 akan dipenuhi oleh produsen 2. Hal ini dinyatakan dalam jalur distribusi yang direpresentasikan oleh gen 6, yaitu distribusi dari produsen 2 ke agen 3. Tabel 3.9 menjelaskan proses distribusi yang direpresentasikan gen 6.

Tabel 3.9 Distribusi Gen 6

| | Agen1 | Agen2 | Agen3 | a'i |
|---|---|---|---|---|
| Produsen1 | 1 0 | 2 750 | 3 150 | 0 |
| Produsen2 | 4 550 | 5 0 | 6 450 | **450** |
| b'j | 0 | 0 | **450** | |

5. Pada tabel 3.9 sisa permintaan agen 3 sebanyak 450 unit telah dipenuhi oleh produsen 2.
6. Pelacakan selanjutnya dilakukan pada kromosom segmen kedua. Kromosom segmen kedua pertama untuk penyelesaian optimasi distribusi barang dua tahap dapat digambarkan menjadi matriks 3x4 sesuai dengan jumlah agen dan sub agen. Tabel 3.10 menjelaskan tentang distribusi yang dilakukan sesuai dengan urutan gen yang menyusun kromosom.

Tabel 3.10 Distribusi Tahap 2

| | SubAgen1 | SubAgen2 | SubAgen3 | Subagen4 | a'i |
|---|---|---|---|---|---|
| Agen1 | 1 150 | 2 0 | 3 400 | 4 0 | 550 |
| Agen2 | 5 75 | 6 0 | 7 0 | 8 0 | 750 |
| Agen3 | 9 0 | 10 275 | 11 0 | 12 310 | 600 |
| b'j | 225 | 275 | 400 | 310 | |

7. Dari hasil pelacakan alokasi barang yang didistribusikan, perhitungan biaya distribusi tahap 1 dan tahap 2 dijelaskan pada Tabel 3.11 dan 3.12.

Tabel 3.11 Perhitungan Biaya Distribusi Tahap 1

| Jalur Distribusi | Jumlah Barang yang didistribusikan | Biaya Distribusi | Sub Total |
|---|---|---|---|
| [1,2] | 750 | 800 | 600000 |
| [2,1] | 550 | 2100 | 1155000 |
| [1,3] | 150 | 2700 | 405000 |
| [2,3] | 450 | 700 | 315000 |
| Total | | | 2475000 |

Tabel 3.12 Perhitungan Biaya Distribusi Tahap 2

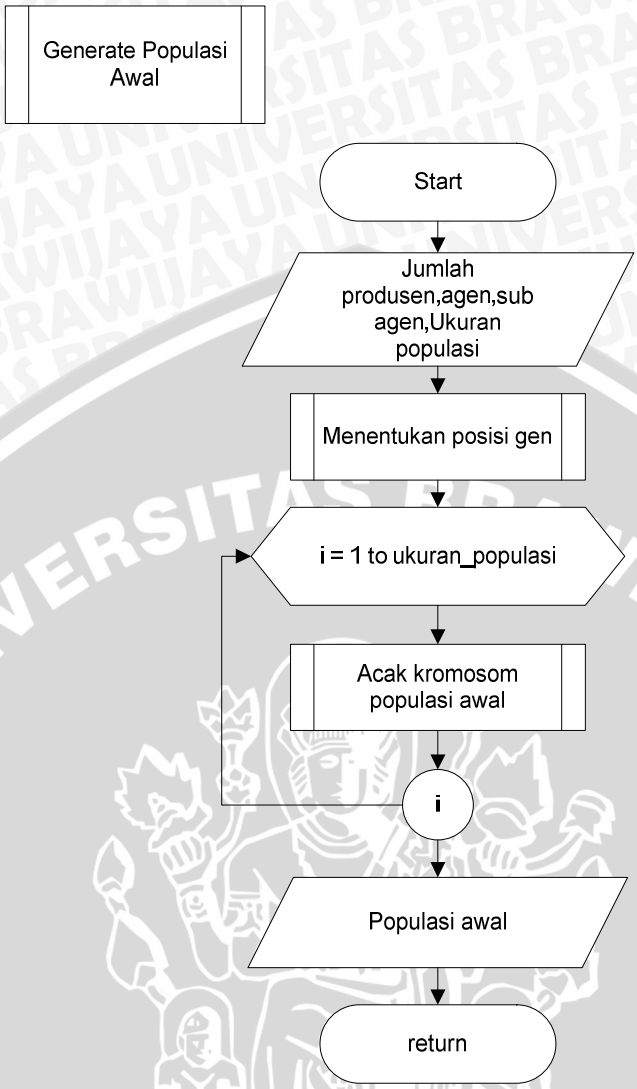
| Jalur Distribusi | Jumlah Barang yang didistribusikan | Biaya Distribusi | Sub Total |
|---|---|---|---|
| [1,3] | 400 | 2500 | 1000000 |
| [1,1] | 150 | 500 | 75000 |
| [3,2] | 275 | 1800 | 495000 |
| [3,4] | 310 | 600 | 186000 |
| [2,1] | 75 | 1500 | 112500 |
| Total | | | 1868500 |

8. Total biaya distribusi tahap 1 dan tahap 2 yang dijelaskan pada Tabel 3.11 dan Tabel 3.12, yaitu sebesar 2475000 untuk biaya distribusi tahap 1 dan 1868500 untuk biaya distribusi tahap 2. Selanjutnya dapat dihitung nilai *fitness* tersebut sesuai dengan persamaan 2.9 pada Bab II. *Constanta* yang digunakan adalah 1000000. Nilai *fitness* untuk kromosom pada Gambar 3.5 adalah:

$$Fitness = \frac{1000000}{2475000 + 1868500} = 0{,}2302$$

### 3.4.2 *Generate* Populasi Awal

Pada proses ini akan dibuat beberapa individu yang menjadi populasi awal secara acak. Setiap individu akan dibentuk dengan representasi permutasi dua segmen disertai nilai *fitness* dan nilai *strategy parameter*. Proses *generate* populasi awal ditunjukkan pada Gambar 3.6.




Gambar 3.6 Diagram Alir Generate Populasi Awal

Berdasarkan Gambar 3.6 dapat dijelaskan langkah-langkah dalam pembuatan populasi awal adalah sebagai berikut:

1. Input berupa jumlah produsen, agen, sub agen, dan ukuran populasi.
2. Menentukan panjang kromosom dan posisi gen sesuai dengan jumlah produsen,agen,dan sub agen.
3. Melakukan proses *random* untuk membuat individu sebanyak ukuran populasi yang ditentukan. Individu yang dibangkitkan disertai dengan nilai *fitness* dan nilai *strategy parameter.*
4. Proses ini menghasilkan populasi awal (μ) yang akan digunakan pada proses selanjutnya.

Individu yang dibangkitkan dalam populasi sebanyak nilai *miu* (μ) yang diinputkan oleh *user*. Kromosom individu yang dibangkitkan berupa jalur distribusi, nilai *fitness* solusi, dan nilai *strategy parameter*. Tabel 3.13 adalah tabel populasi awal yang dibangkitkan.

Tabel 3.13 Tabel Populasi Awal

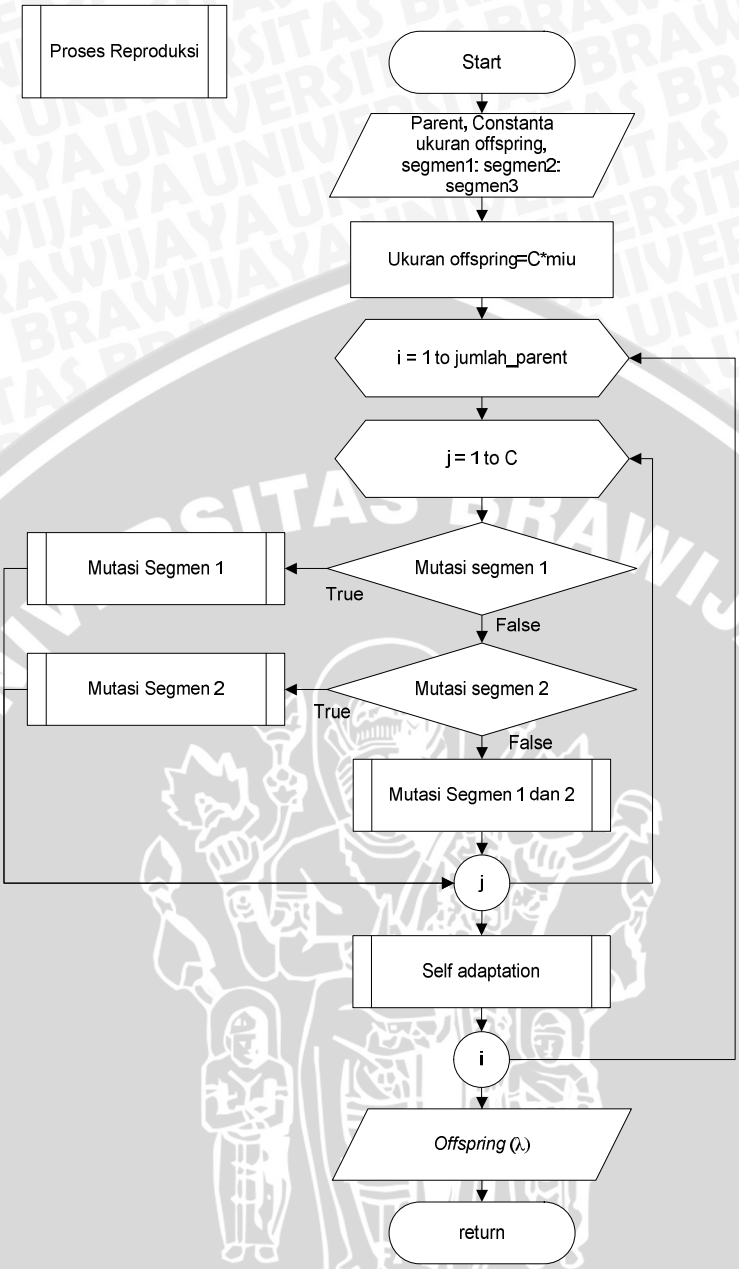
| P | Kromosom | | | | | | | | | | | | | | | | | | σ | Fitness |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tahap 1 | | | | | | Tahap 2 | | | | | | | | | | | | | |
| P1 | 2 | 4 | 1 | 3 | 6 | 5 | 3 | 1 | 10 | 12 | 2 | 5 | 7 | 8 | 4 | 9 | 11 | 6 | 2,3841 | 0,23023 |
| P2 | 3 | 1 | 6 | 4 | 5 | 2 | 1 | 11 | 7 | 5 | 4 | 8 | 9 | 12 | 2 | 3 | 6 | 10 | 1,2354 | 0,15487 |
| P3 | 6 | 5 | 1 | 3 | 2 | 4 | 2 | 7 | 1 | 11 | 12 | 9 | 3 | 4 | 5 | 6 | 10 | 8 | 2,2417 | 0,22748 |
| P4 | 2 | 5 | 1 | 3 | 4 | 6 | 4 | 9 | 3 | 7 | 5 | 1 | 10 | 2 | 8 | 12 | 11 | 6 | 1,3814 | 0,27499 |
| P5 | 5 | 4 | 6 | 1 | 2 | 3 | 5 | 10 | 6 | 4 | 12 | 11 | 3 | 2 | 7 | 8 | 9 | 1 | 1,1289 | 0,15009 |

### 3.4.3 Reproduksi

Setelah populasi awal (μ) terbentuk selanjutnya dilakukan proses reproduksi. Mutasi dilakukan untuk menghasilkan *offspring* (λ) dalam proses reproduksi. Jumlah *offspring* (λ) yang dihasilkan sesuai dengan persamaan 2.8. Langkah-langkah proses reproduksi adalah sebagi berikut:

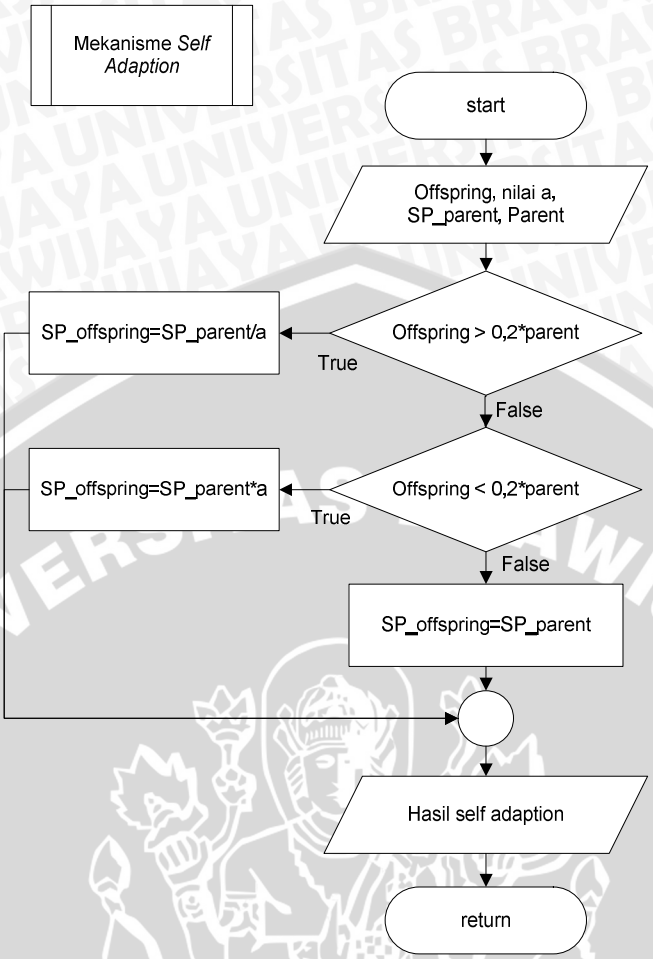
1. *Input* dalam proses reproduksi berupa kromosom *parent,* ukuran *offspring* dan perbandingan segmen yang akan dimutasi.
2. Sistem akan melakukan perulangan untuk menghasilkan *offspring* sesuai dengan jumlah *parent*.
3. Proses mutasi dilakukan pada segmen tertentu sesuai dengan perbandingan mutasi segmen yang ditentukan untuk menghasilkan *offspring* sebanyak C.
4. Mekanisme *self adaption* digunakan untuk mengganti nilai *strategy parameters* yang dimiliki oleh *offspring*.
5. Hasil dari mutasi adalah *offspring* yang selanjutnya akan diseleksi pada proses berikutnya.

Gambar 3.7 menggambarkan proses reproduksi.




Gambar 3.7 Diagram Alir Proses Reproduksi

Pada proses reproduksi juga melibatkan *self adaption* dimana nilai *strategy parameters* dari *offspring* (λ) akan berubah sesuai dengan nilai *fitness* yang dihasilkan. Diagram alir untuk mekanisme *self adaption* dijelaskan pada Gambar 3.8.

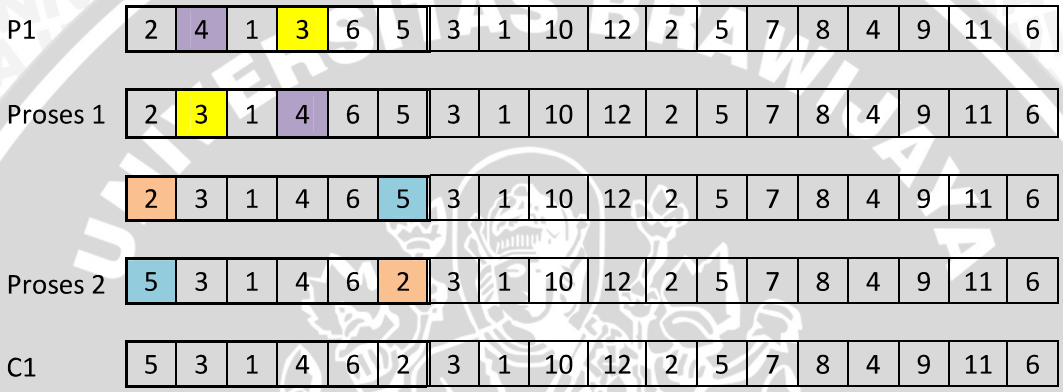



Gambar 3.8 Diagram Alir Mekanisme Self Adaption

Mekanisme *self adaption* yang ditunjukkan pada Gambar 3.8 adalah sebagai berikut:

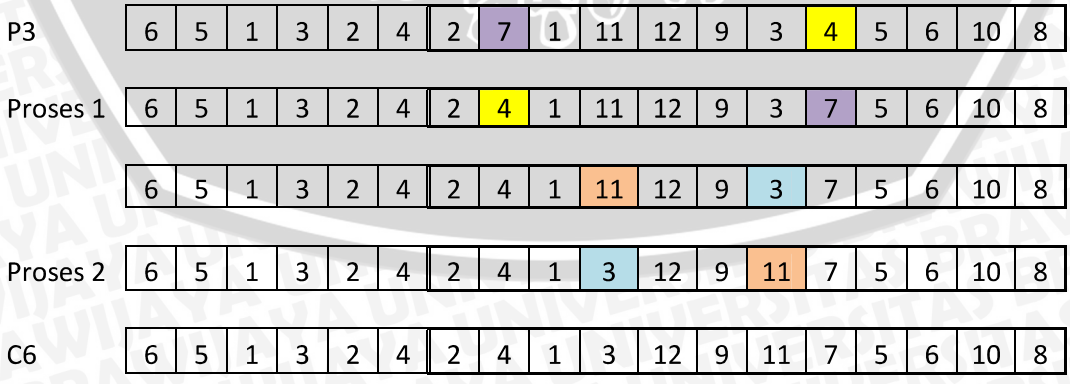
1. *Input* adalah *offpring*, nilai parameter *a*, nilai *strategy parameters* dari *parent*, dan *parent*.
2. Melakukan perkalian dari banyak *offspring* dikalikan dengan 0,2.
3. Melakukan pengecekan apakah aturan seperlima terpenuhi.
4. Jika aturan seperlima terpenuhi, maka *strategy parameters* dari *offspring* akan dinaikkan dengan membagi nilai *strategy paremeters parent* dengan nilai parameter *a.*
5. Jika aturan seperlima tidak terpenuhi, maka *strategy parameters* dari *offspring* akan diturunkan dengan mengalikan nilai *strategy paremeters parent* dengan nilai parameter *a.*

Dalam penelitian ini siklus ES yang digunakan adalah (μ+λ), sehingga pembentukan *offspring* menggunakan proses mutasi tanpa rekombinasi. Metode mutasi yang digunakan adalah *exchange mutation.* Mutasi dilakukan pada segmen 1, segmen 2, serta segmen 1 dan 2 dengan perbandingan 50:20:30. *Strategy parameter* menyatakan banyaknya proses mutasi yang dilakukan untuk menghasilkan satu *offspring*. Nilai *strategy parameter* akan dinaikkan atau diturunkan sesuai dengan persamaan 2.7 pada Bab II dengan nilai parameter *a*= 0.85. Gambar 3.9, 3.10, dan 3.11 menunjukkan proses mutasi P1, P3, dan P5 untuk menghasilkan *offspring* C1, C6, dan C9.



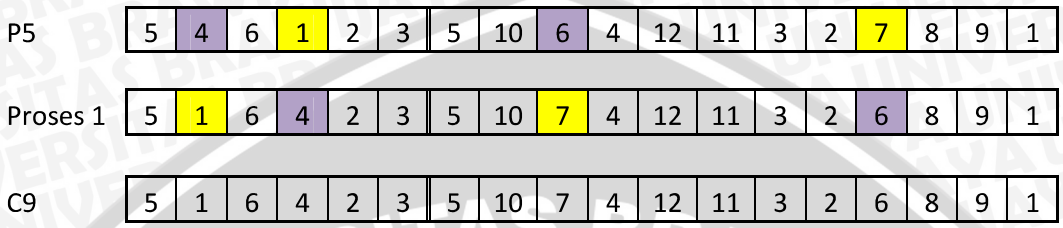

Gambar 3.9 Proses Mutasi P1 Menghasilkan C1

Pada Gambar 3.9 terlihat bahwa mutasi P1 dilakukan pada segmen 1 dengan *exchange mutation*, yaitu dengan menukarkan nilai pada 2 gen terpilih secara *random*. Nilai *strategy parameter* P1 pada Tabel 3.13 adalah 2.3841 atau dibulatkan menjadi 2. Hal ini berarti untuk menghasilkan C1, P1 harus melewati proses mutasi sebanyak 2 kali.




Gambar 3.10 Proses Mutasi P3 Menghasilkan C6

Pada Gambar 3.10 terlihat bahwa mutasi P3 dilakukan pada segmen 2 dengan *exchange mutation*, yaitu dengan menukarkan nilai pada 2 gen terpilih secara *random*. Nilai *strategy parameter* P1 pada Tabel 3.13 adalah 2.2417 atau dibulatkan menjadi 2. Hal ini berarti untuk menghasilkan C6, P3 harus melewati proses mutasi sebanyak 2 kali.




Gambar 3.11 Proses Mutasi P5 Menghasilkan C9

Pada Gambar 3.11 terlihat bahwa mutasi P5 dilakukan pada segmen 1 dan 2 dengan *exchange mutation*, yaitu dengan menukarkan nilai pada 2 gen terpilih secara *random*. Nilai *strategy parameter* P5 pada Tabel 3.13 adalah 1.1289 atau dibulatkan menjadi 1. Hal ini berarti untuk menghasilkan C9, P5 harus melewati proses mutasi sebanyak 1 kali. Pada perhitungan manual ini ditentukan $\lambda=2\mu$, sehingga akan dihasilkan 10 *offspring*. Tabel 3.14 menunjukkan *offspring*, nilai *fitness*, dan *strategy parameters* yang dihasilkan dari proses mutasi.

Tabel 3.14 Hasil *Offspring*

| Asal | C | Kromosom | | | | | | | | | | | | | | | | | | σ | Fitness |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Tahap 1 | | | | | | Tahap 2 | | | | | | | | | | | | | |
| P1 | C1 | 5 | 3 | 1 | 4 | 6 | 2 | 3 | 1 | 10 | 12 | 2 | 5 | 7 | 8 | 4 | 9 | 11 | 6 | 2,80482 | 0,16357 |
| | C2 | 2 | 4 | 5 | 6 | 3 | 1 | 3 | 1 | 10 | 12 | 2 | 5 | 7 | 8 | 4 | 9 | 11 | 6 | 2,80482 | 0,23023 |
| P2 | C3 | 6 | 1 | 3 | 4 | 5 | 2 | 1 | 11 | 7 | 5 | 4 | 8 | 9 | 12 | 2 | 3 | 6 | 10 | 1,45341 | 0,17883 |
| | C4 | 6 | 1 | 3 | 2 | 5 | 4 | 1 | 11 | 7 | 5 | 4 | 8 | 9 | 12 | 2 | 3 | 6 | 10 | 1,45341 | 0,17883 |
| P3 | C5 | 6 | 1 | 2 | 3 | 5 | 4 | 2 | 7 | 1 | 11 | 12 | 9 | 3 | 4 | 5 | 6 | 10 | 8 | 2,63729 | 0,22748 |
| | C6 | 6 | 5 | 1 | 3 | 2 | 4 | 2 | 4 | 1 | 3 | 12 | 9 | 11 | 7 | 5 | 6 | 10 | 8 | 2,63729 | 0,19616 |
| P4 | C7 | 2 | 5 | 1 | 2 | 4 | 6 | 4 | 9 | 12 | 7 | 5 | 1 | 10 | 2 | 8 | 3 | 11 | 6 | 1,17419 | 0,24435 |
| | C8 | 2 | 5 | 1 | 2 | 4 | 6 | 4 | 1 | 3 | 7 | 5 | 9 | 10 | 2 | 8 | 12 | 11 | 6 | 1,17419 | 0,24561 |
| P5 | C9 | 5 | 1 | 6 | 4 | 2 | 3 | 5 | 10 | 7 | 4 | 12 | 11 | 3 | 2 | 6 | 8 | 9 | 1 | 1,32812 | 0,16577 |
| | C10 | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 | 5 | 10 | 6 | 4 | 12 | 11 | 3 | 2 | 7 | 8 | 1 | 9 | 1,32812 | 0,18631 |

Dari Tabel 3.14 dapat terlihat nilai *strategy parameter* C7 dan C8 diturunkan. Nilai *strategy parameter* diturunkan dengan mengalikan nilai *strategy parameter* induk dengan nilai parameter $a$=0,85, karena *offspring* yang memiliki *fitness* lebih baik dari induknya kurang dari 1/5 atau 20 persen. Sedangkan nilai

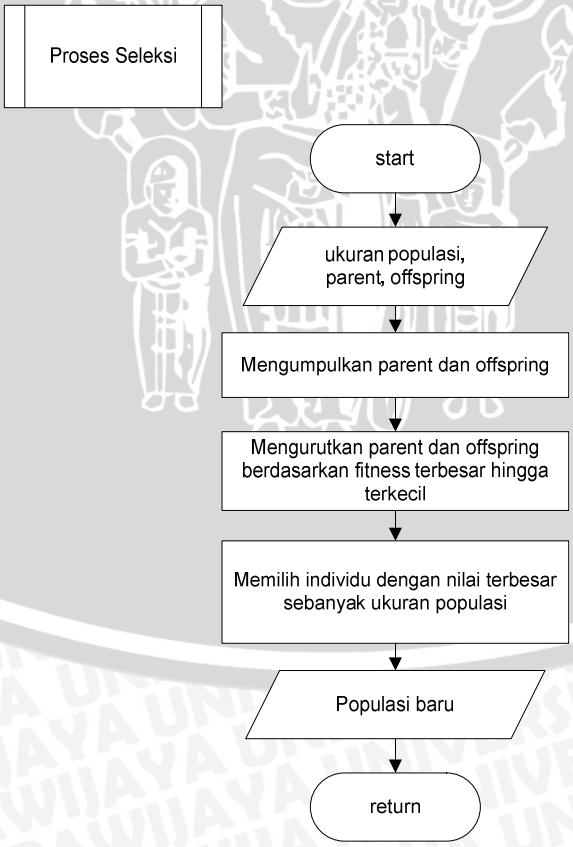
*strategy parameter* untuk *offspring* lainnya dinaikkan dengan membagi nilai *strategy parameter* induk dengan nilai parameter $a$=0,85.

### 3.4.4 Seleksi

Proses seleksi merupakan proses terakhir dalam satu generasi, dimana pada proses ini sistem menghasilkan populasi baru yang akan bereproduksi pada generasi berikutnya. Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses seleksi adalah sebagai berikut:

1. *Input* dalam proses seleksi adalah jumlah populasi, *parent,* dan *offspring.*
2. Menggunakan *elitism selection* sehinga proses seleksi melibatkan *parent* ($\mu$) dan *offspring* ($\lambda$).
3. Mengurutkan nilai *fitness parent* dan *offspring* dari yang terbesar hingga terkecil.
4. Memilih individu dengan nilai *fitness* terbesar sejumlah populasi yang dibangkitkan.

Gambar 3.12 menunjukkan bagaimana alur proses seleksi.




Gambar 3.12 Diagram Alir Proses Seleksi

Proses seleksi diawali dengan mengumpukan kromosom *parent* dan *offspring,* kemudian mengurutkan kromosom *parent* dan *offspring* berdasarkan nilai *fitness* secara *descending.* Populasi baru diperoleh dengan memilih individu dengan nilai *fitness* tertinggi sebanyak jumlah populasi awal. Tabel 3.15 menunjukkan hasil pengurutan kromosom *parent* dan *offspring* berdasarkan nilai *fitness* terbesar hingga terkecil.

Tabel 3.15 Hasil Pengurutan Kromosom Individu Berdasarkan Nilai *Fitness*

| P(t+1) | Kromosom | | | | | | | | | | | | | | | | | | σ | Fitness |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tahap 1 | | | | | | Tahap 2 | | | | | | | | | | | | | |
| P4 | 2 | 5 | 1 | 3 | 4 | 6 | 4 | 9 | 3 | 7 | 5 | 1 | 10 | 2 | 8 | 12 | 11 | 6 | 1,3814 | 0,27499 |
| C8 | 2 | 5 | 1 | 2 | 4 | 6 | 4 | 1 | 3 | 7 | 5 | 9 | 10 | 2 | 8 | 12 | 11 | 6 | 1,1742 | 0,24561 |
| C7 | 2 | 5 | 1 | 2 | 4 | 6 | 4 | 9 | 12 | 7 | 5 | 1 | 10 | 2 | 8 | 3 | 11 | 6 | 1,1742 | 0,24435 |
| C2 | 2 | 4 | 5 | 6 | 3 | 1 | 3 | 1 | 10 | 12 | 2 | 5 | 7 | 8 | 4 | 9 | 11 | 6 | 2,80482 | 0,23023 |
| P1 | 2 | 4 | 1 | 3 | 6 | 5 | 3 | 1 | 10 | 12 | 2 | 5 | 7 | 8 | 4 | 9 | 11 | 6 | 2,3841 | 0,23023 |
| C5 | 6 | 1 | 2 | 3 | 5 | 4 | 2 | 7 | 1 | 11 | 12 | 9 | 3 | 4 | 5 | 6 | 10 | 8 | 2,63729 | 0,22748 |
| P3 | 6 | 5 | 1 | 3 | 2 | 4 | 2 | 7 | 1 | 11 | 12 | 9 | 3 | 4 | 5 | 6 | 10 | 8 | 2,5417 | 0,22748 |
| C6 | 6 | 5 | 1 | 3 | 2 | 4 | 2 | 4 | 1 | 3 | 12 | 9 | 11 | 7 | 5 | 6 | 10 | 8 | 2,63729 | 0,19616 |
| C10 | 4 | 5 | 6 | 1 | 2 | 3 | 5 | 10 | 6 | 4 | 12 | 11 | 3 | 2 | 7 | 8 | 1 | 9 | 1,32812 | 0,18631 |
| C3 | 6 | 1 | 3 | 4 | 5 | 2 | 1 | 11 | 7 | 5 | 4 | 8 | 9 | 12 | 2 | 3 | 6 | 10 | 1,45341 | 0,17883 |
| C4 | 6 | 1 | 3 | 2 | 5 | 4 | 1 | 11 | 7 | 5 | 4 | 8 | 9 | 12 | 2 | 3 | 6 | 10 | 1,45341 | 0,17883 |
| C9 | 5 | 1 | 6 | 4 | 2 | 3 | 5 | 10 | 7 | 4 | 12 | 11 | 3 | 2 | 6 | 8 | 9 | 1 | 1,32812 | 0,16577 |
| C1 | 5 | 3 | 1 | 4 | 6 | 2 | 3 | 1 | 10 | 12 | 2 | 5 | 7 | 8 | 4 | 9 | 11 | 6 | 2,80482 | 0,16357 |
| P2 | 3 | 1 | 6 | 4 | 5 | 2 | 1 | 11 | 7 | 5 | 4 | 8 | 9 | 12 | 2 | 3 | 6 | 10 | 1,2354 | 0,15487 |
| P5 | 5 | 4 | 6 | 1 | 2 | 3 | 5 | 10 | 6 | 4 | 12 | 11 | 3 | 2 | 7 | 8 | 9 | 1 | 1,1289 | 0,15009 |

Populasi awal yang dibangkitkan sebanyak 5 individu, sehingga individu yang terpilih untuk bereproduksi pada generasi selanjutnya ditunjukkan pada Tabel 3.16.

Tabel 3.16 Tabel Hasil Seleksi

| P(t+1) | Kromosom | | | | | | | | | | | | | | | | | | σ | Fitness |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Tahap 1 | | | | | | Tahap 2 | | | | | | | | | | | | | |
| P4 | 2 | 5 | 1 | 3 | 4 | 6 | 4 | 9 | 3 | 7 | 5 | 1 | 10 | 2 | 8 | 12 | 11 | 6 | 1,3814 | 0,27499 |
| C8 | 2 | 5 | 1 | 2 | 4 | 6 | 4 | 1 | 3 | 7 | 5 | 9 | 10 | 2 | 8 | 12 | 11 | 6 | 1,1742 | 0,24561 |
| C7 | 2 | 5 | 1 | 2 | 4 | 6 | 4 | 9 | 12 | 7 | 5 | 1 | 10 | 2 | 8 | 3 | 11 | 6 | 1,1742 | 0,24435 |
| C2 | 2 | 4 | 5 | 6 | 3 | 1 | 3 | 1 | 10 | 12 | 2 | 5 | 7 | 8 | 4 | 9 | 11 | 6 | 2,80482 | 0,23023 |
| P1 | 2 | 4 | 1 | 3 | 6 | 5 | 3 | 1 | 10 | 12 | 2 | 5 | 7 | 8 | 4 | 9 | 11 | 6 | 2,3841 | 0,23023 |

Berdasarkan hasil seleksi yang ditunjukkan pada Tabel 3.16 individu dengan nilai *fitness* terbaik adalah P4. Individu dengan nilai *fitness* tertinggi merepresentasikan solusi yang paling mendekati optimal dalam permasalahan distribusi barang dua tahap. Jalur distribusi yang optimal yang direpresentasikan kromosom P4 adalah:

Tahap 1

Produsen 1 ke Agen 2 kebutuhan 750 unit, dengan biaya distribusi 600000
Produsen 1 ke Agen 1 kebutuhan 550 unit, dengan biaya distribusi 600000
Produsen 2 ke Agen 3 kebutuhan 600 unit, dengan biaya distribusi 420000
Tahap 2
Agen 1 ke Sub Agen 4 kebutuhan 310 unit, dengan biaya distribusi 620000
Agen 3 ke Sub Agen 1 kebutuhan 225 unit, dengan biaya distribusi 157500
Agen 1 ke Sub Agen 3 kebutuhan 240 unit, dengan biaya distribusi 600000
Agen 2 ke Sub Agen 3 kebutuhan 160 unit, dengan biaya distribusi 144000
Agen 3 ke Sub Agen 2 kebutuhan 275 unit, dengan biaya distribusi 495000
Nilai *fitness* yang dihasilkan dari kromosom P4 adalah sebesar 0,2749897.