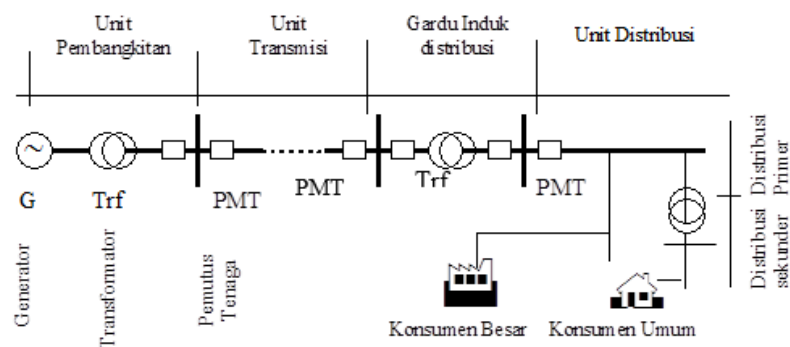


## BAB II

### Tinjauan Pustaka

#### 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik adalah salah satu sistem energi yang berpengaruh bagi kelangsungan hidup masyarakat luas. Penyediaan energi yang handal dan berkualitas tergantung pada keefisienan sistem tenaga listrik. Pembangkit listrik menghasilkan daya listrik yang dibutuhkan oleh konsumen, yaitu terdiri dari daya listrik aktif yang berasal dari turbin sebagai *primer mover* (penggerak mula), dan daya listrik reaktif yang dihasilkan oleh generator yang tereksitasi. Daya listrik ini kemudian dialirkan melalui unit pengawasan dan transformator untuk meningkatkan tegangan sebelum disalurkan melalui saluran transmisi dan distribusi hingga mencapai konsumen. Karena jarak yang jauh antara pembangkit dan konsumen, terdapat kerugian dan penurunan tegangan dalam saluran transmisi. Selain itu, perubahan beban yang tiba-tiba juga merupakan faktor kunci yang memengaruhi kualitas penyediaan daya listrik. Pada umumnya, sistem tenaga listrik terdiri atas tiga elemen utama, yakni pembangkit, jaringan transmisi, dan jaringan distribusi. [9]



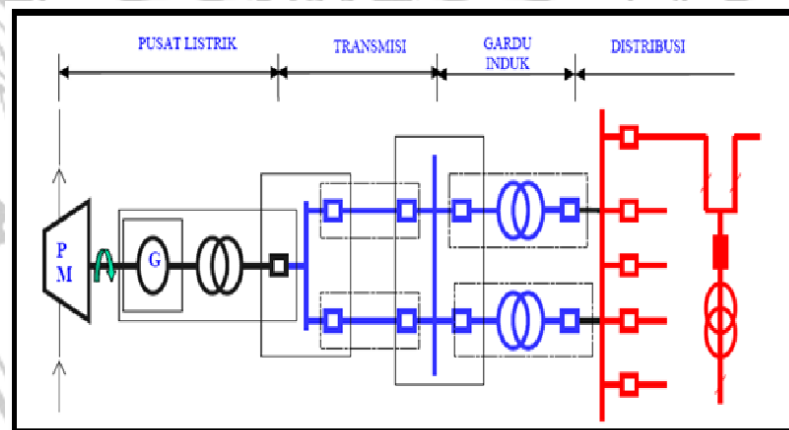
**Gambar 2.1 Sistem Daya Listrik**

Jaringan listrik merupakan jalur akhir aliran listrik dari saluran transmisi hingga ke konsumen. Bagian sistem kelistrikan yang paling dekat dengan pengguna. Saluran distribusi tenaga listrik mempunyai dua jenis

klasifikasi yakni sistem distribusi utama dan sistem distribusi cadangan. sistem distribusi utama atau jaringan tegangan menengah (JTM) menghubungkan stasiun induk dan gardu distribusi. Tegangan distribusi yang umum digunakan adalah 6 kV, 7 kV, 12 kV, dan 20 kV. Sirkuit distribusi utama (JTM) biasanya tiga fase. Sedangkan rangkaian sistem distribusi sekunder atau jaringan tegangan rendah (JTR) berbentuk kabel empat fasa, satu fasa, dan tiga fasa. Jaringan listrik tegangan rendah di Indonesia biasanya menggunakan 380/220 volt. [9]

## 2.2 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem distribusi tenaga listrik adalah komponen penting dalam sistem tenaga listrik. Fungsi utama suatu sistem distribusi tenaga listrik ialah mengalirkan listrik kepada pelanggan. Umumnya tingkat gangguan sistem distribusi tenaga listrik lebih tinggi dibandingkan dengan tingkat gangguan pada sistem transmisi. Jaringan distribusi listrik terbagi menjadi dua bagian yaitu jaringan distribusi listrik primer dan jaringan distribusi tenaga listrik sekunder. [10]



Gaambar 2.2 Sistem Distribusi Listrik Secara Umum

### 2.2.1 Jaringan Distribusi Primer

Jaringan distribusi primer adalah jaringan distribusi yang mengalirkan daya listrik gardu induk kepada pelanggan. Dan dalam sistem ini terdapat beberapa bagian yang dijelaskan sebagai berikut:

#### 1. Sistem radial

Sistem radial adalah sistem yang mana jaringan tersebut memiliki satu jalur tunggal dari sumber ke titik beban tanpa adanya alternatif jalur lain. Jaringan radial ini merupakan yang paling umum digunakan karena bentuknya yang sederhana. Namun, kehandalan jaringan ini sangatlah rendah

#### 2. Jaringan hantaran terhubung (Tie Line)

Tie Line adalah suatu sistem yang terdiri atas dua pengumpan yang dilengkapi dengan saklar otomatis, serta perlengkapan listrik pelanggan. Dalam situasi di mana terdapat gangguan dalam salah satu pengumpan, daya listrik akan disalurkan dari sumber yang lain.

#### 3. Jaringan lingkaran (Loop)

Ini adalah konfigurasi dimana rangkaian penyulang membentuk suatu lingkaran, yang dikenal sebagai jaringan lingkaran. Dalam jaringan ini, kontinuitas pelayanan lebih terjamin dikarenakan titik beban dapat dioperasikan dari dua arah penyulang. Hal ini dapat mengurangi kerugian pada tegangan dan daya, yang pada akhirnya menghasilkan kualitas daya yang lebih baik.

#### 4. Jaringan spindle

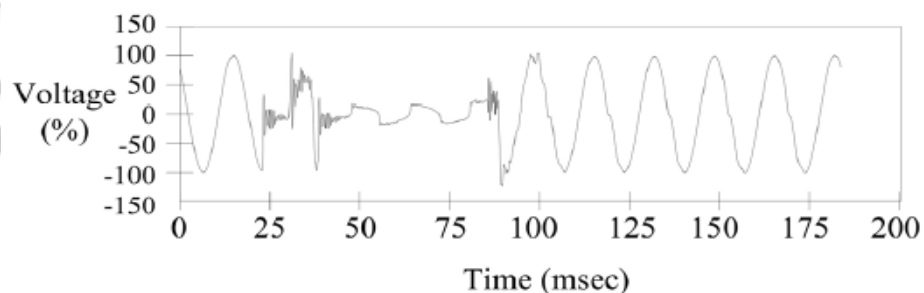
Merupakan gabungan dari pola jaringan radial dan jaringan loop. Spindel memiliki dua atau lebih penyulang yang menerima daya listrik dari gardu induk dan mengalirkannya ke sebuah gardu hubung.

## 2.2.2 Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder merupakan jaringan yang menggunakan tegangan 220 V sampai 380 V yang mana pengoperasian sistem tersebut langsung menyalurkan daya listrik ke KWh meter pelanggan.[10]

## 2.3 Voltage Sag

Gangguan pada tegangan adalah fenomena dimana terdapat ketidaksesuaian yang terjadi pada gelombang tegangan, baik itu berupa gelombang turun ataupun gelombang naik, pembagian gangguan ini terjadi disebabkan oleh beberapa factor salah satunya adalah voltage sag. Voltage Sag merupakan fenomena kelistrikan dimana tegangan efektif turun hingga 10% hingga 90% dari tegangan normal dalam 0,5 siklus hingga 1 menit. Fenomena jatuh tegangan ini sering terjadi akibat kesalahan pada sistem kelistrikan atau pada saat pengaktifan motor induksi berdaya tinggi. Hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada beban yang sensitive terhadap gangguan. Berikut gambar 2.3 yang merupakan gelombang saat terjadinya gangguan voltage sag. [11]



**Gambar 2.3 Voltage sag**

Voltage Sag mempunyai dua sifat yaitu sifat utama dan sifat khusus. Karakteristik penting termasuk besarnya penurunan tegangan. Pergeseran fasa relatif terhadap tegangan referensi. Karakteristiknya juga mencakup tingkat keparahan dan durasi gangguan. Besarnya jatuh tegangan dipengaruhi oleh jarak dari gangguan. Dan jangka waktunya tergantung pada waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki cacat tersebut.

### 2.3.1 Faktor Awal Terjadinya Voltage Sag

Berikut merupakan faktor yang mengakibatkan terjadinya voltage sag secara umum :

1. Start motor induksi berkapasitas besar.

Pada kondisi ini, daya start motor induksi lebih tinggi 5-6 kali dari pada saat motor induksi sudah dalam kondisi beroperasi secara normal.

2. Short Circuit

Hubungan pendek atau short circuit ialah gangguan yang terjadi apabila terjadi kesalahan antar komponen yang tegangannya berbeda. Kesalahan tersebut dapat mengakibatkan lonjakan current yang sangat besar dan berpotensi merusak peralatan listrik yang berada di area titik gangguan. Short circuit ini dapat menyebabkan tegangan turun.

### 2.3.2 Pengaruh Terjadinya Voltage Sag

Berikut ialah akibat dari *voltage sag* yang disebabkan gangguan short circuit :

- Apabila *voltage sag* sampai kurang dari 50% di komputer dan bentuk lainnya dari perangkat elektronik maka hilangnya penyimpanan dan memakan waktu saat melakukan *restart*.
- Proses produksi pada industri akan terhenti dan penerangan juga akan berkedip jika *voltage sag* mencapai 65%.

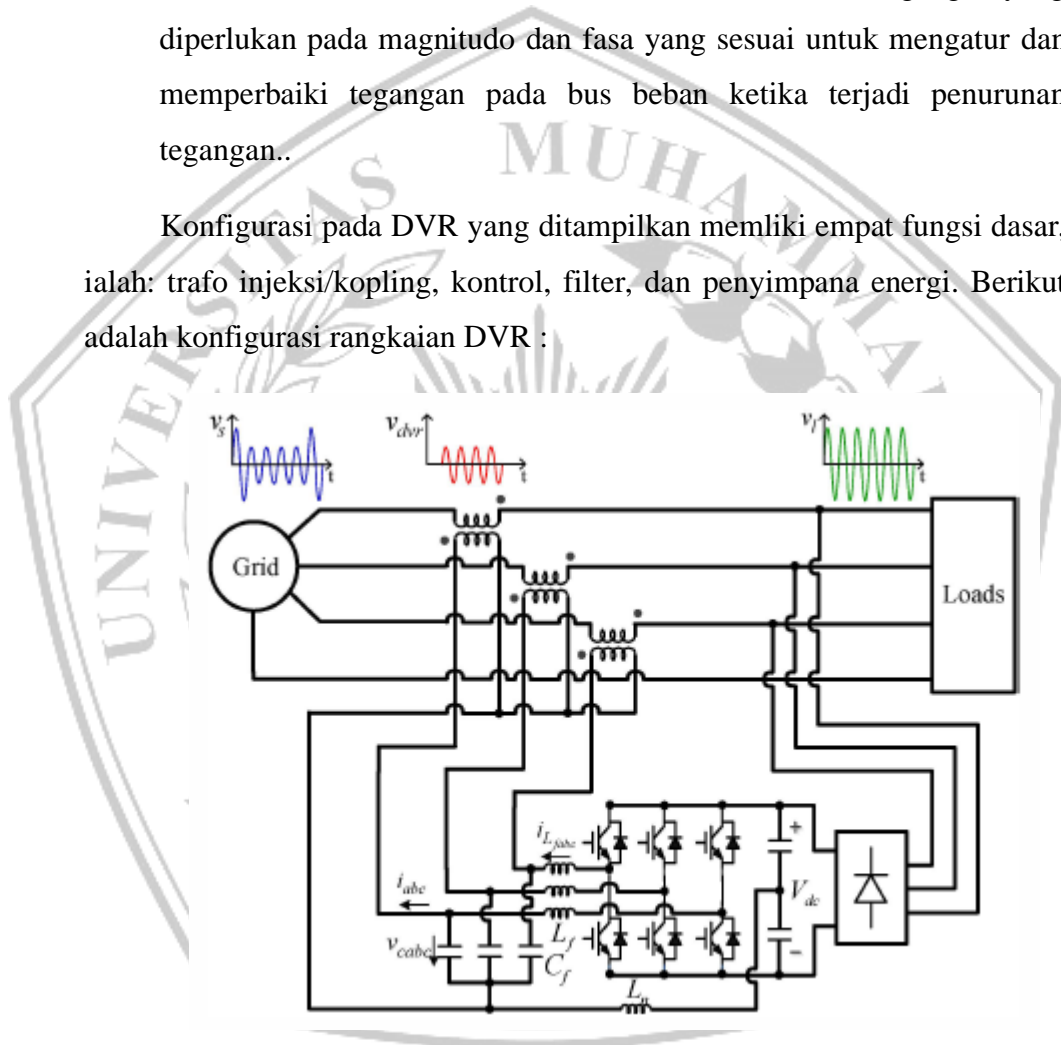
## 2.4 Dynamic Voltage Restorer (DVR)

Dynamic Voltage Restorer (DVR) merupakan alat elektronika daya dapat berfungsi menahan kerusakan beban kepada gangguan yang disebabkan oleh *voltage sag*. Fungsi dari DVR yaitu sebagai mengkompensasi tegangan apabila terjadinya gangguan, didalam DVR terdapat transformator berurutan

diantara pengumpan dan sensitif beban. DVR mempunyai dua status pengoprasian yaitu:

- a. *Standby* atau juga dikenal dengan *short circuit operation* (SCO) merupakan situasi di mana tidak ada penurunan tegangan (*voltage sag*) dan tegangan yang diinjeksikan mempunyai magnitudo nol (*magnitude zero*).
- b. *Boost* adalah suatu kondisi dimana DVR memberikan tegangan yang diperlukan pada magnitudo dan fasa yang sesuai untuk mengatur dan memperbaiki tegangan pada bus beban ketika terjadi penurunan tegangan..

Konfigurasi pada DVR yang ditampilkan memiliki empat fungsi dasar, ialah: trafo injeksi/kopling, kontrol, filter, dan penyimpana energi. Berikut adalah konfigurasi rangkaian DVR :



**Gambar 2.4** Konfigurasi DVR Pada Sistem Distribusi [12]

### 2.4.1 Transformator Injeksi/Koupling

Trafo satu fasa digunakan secara seri satu daya distribusi bersamaan dengan inverter sumber tegangan (VSI) untuk tingkat tegangan distribusi tinggi. Transformator satu fasa dapat dihubungkan dalam konfigurasi bintang/terbuka atau delta/terbuka.

Fungsi dasar dari *injection/coupling transformer* ialah sebagai pengisolasi listrik dan juga untuk menambah pasokan tegangan AC yang rendah yang dihasilkan VSI agar mencapai tingkat tegangan yang diinginkan. Perhatikan bahwa injeksi tegangan urutan nol tidak terjadi saat menggunakan sambungan delta/rangkaian terbuka. Pilihan belitan trafo injeksi ditentukan oleh koneksi trafo step-down yang menyuplai daya ke beban. Jika trafo dihubungkan secara delta/rangkaian terbuka. Kompensasi tegangan fase nol tidak diperlukan. Namun jika sambungannya bintang/rangkaian terbuka dan titik netralnya di-ground. Tegangan urutan nol harus dikompensasi.

#### **2.4.2 Voltage Source Inverter (VSI)**

VSI merupakan perangkat elektronik daya yang menghasilkan tegangan sinusoidal dengan amplitudo, frekuensi, dan sudut fasa yang diperlukan. Penelitian ini menggunakan inverter sumber tegangan termodulasi lebar pulsa (PWM-VSI) dengan penggunaan sakelar yaitu transistor bipolar gerbang terisolasi (IGBTs).

Fungsi utama VSI adalah merubah tegangan DC yang dihasilkan perangkat penyimpan energi menjadi tegangan AC yang dibutuhkan oleh trafo injeksi/kopling untuk mensuplai tegangan ke beban sensitif.

#### **2.4.3 Energy Storage**

Unit penyimpan energi berperan menghasilkan daya aktif untuk menyediakan daya pengisian ketika tegangan turun. Berbagai jenis perangkat seperti baterai, baterai asam timbal, roda gila, atau penyimpanan energi magnetik superkonduktor (SMES) dapat difungsikan sebagai penyimpan energi.

#### **2.4.4 Beban Non Linier**

Beban *nonlinear* adalah beban yang mempunyai impedansi yang bervariasi atau tidak stabil dalam setiap periode tegangan input. Dengan impedansinya yang tidak konstan, Karena impedansinya tidak stabil, maka arus yang diperoleh beban non linier tidak sebanding dengan tegangan

yang diberikan, artinya beban ini tidak mematuhi hukum Ohm yang menyatakan bahwa arus sebanding dengan tegangan.

Bentuk gelombang arus dari beban *nonlinear* tidak serupa dengan bentuk gelombang tegangan masukan sehingga terjadi cacat (*distorsi*). Dengan peningkatan penggunaan beban *nonlinear*, gelombang sinusoidal dapat mengalami *distorsi*.

Penggunaan berbagai beban elektronik dapat menimbulkan masalah yang sudah tidak dapat dihindari bila digunakan secara luas. Hal ini berbeda dengan beban listrik yang menghasilkan arus sinusoidal. Beban elektronik menghasilkan daya dalam pola non-sinusoidal. Meskipun digerakkan oleh tegangan sinusoidal. Jenis beban ini disebut beban nonlinier.

Beban nonlinier adalah perangkat yang menghasilkan arus sinusoidal frekuensi tinggi yang disebut arus harmonik. Arus harmonik ini mempunyai banyak implikasi pada perangkat sistem tenaga. Misalnya rugi-rugi jaringan akan meningkat, kapasitor, trafo, dan mesin listrik berputar akan meningkat, begitu pula kesalahan pembacaan alat ukur.

## 2.5 Sistem Kendali PI

Pengendali PI umumnya digunakan di berbagai industri. Pengontrol API telah berkembang pesat dari zaman sistem analog hingga zaman komputer digital. Namun, kemajuan teknologi digital dan perangkat lunak telah membawa kemajuan signifikan dalam penelitian.

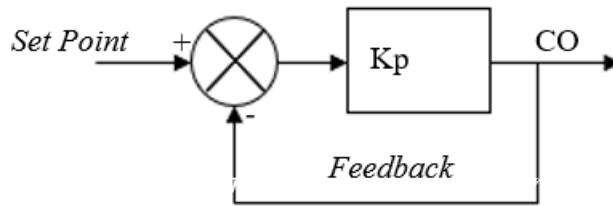
### 2.5.1 Pengendali Proportional (P)

Pengendali proporsional menghasilkan respon output yang berbanding lurus dengan sinyal *error* yang dihasilkan dan dapat memperbaiki respon transien, seperti yang dijelaskan dalam persamaan P

$$CO(t) = K_p e(t) \quad (2-1)$$

Respon proporsional dapat diatur dengan mengalikan sinyal error dengan  $K_p$  atau yang dikenal sebagai proporsional gain.





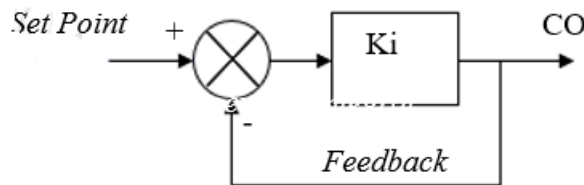
**Gambar 2.5** Diagram Blok Pengendali Proportional

### 2.5.2 Pengendali Integral (I)

Pengendali *integral* digunakan untuk mengkompensasi *error steady state (offset)* dalam kondisi tunak. Biasanya, *Offset* terjadi pada *plant* yang tidak memiliki factor integrase ( $1/s$ ), ini sesuai dengan persamaan berikut

$$CO(t) = K_i \int e(t) dt \quad (2-2)$$

Selain mengatasi sinyal *error* dan *offset*, pengendali *integral* juga berpotensi menyebabkan respon yang berosilasi dengan amplitude yang perlahan mengecil atau membesar.



**Gambar 2.6** Diagram Blok Pengendali Integral

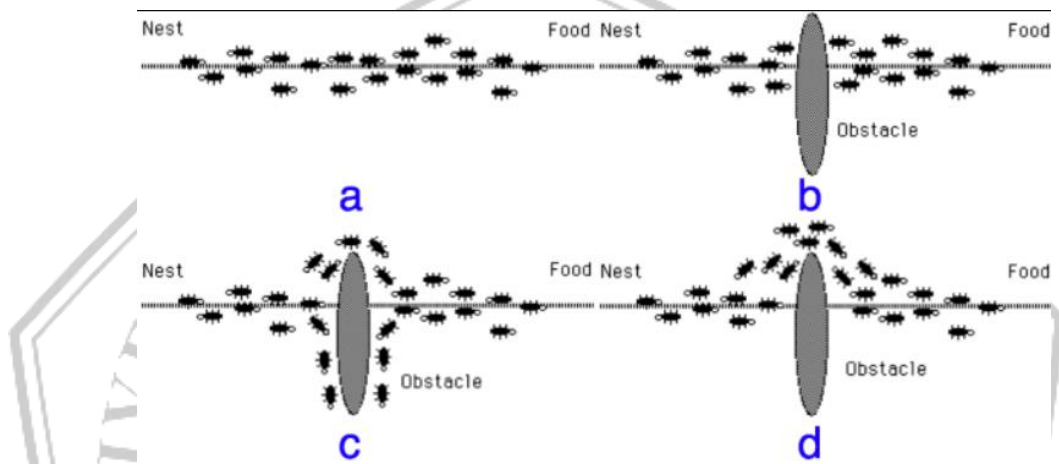
## 2.6 Ant Colony Optimization

Ant Colony Optimization (ACO) didasarkan pada prinsip perilaku koloni semut, yang juga dikenal sebagai sistem semut. Sistem ini memungkinkan semut menjelajahi lingkungan yang kompleks untuk mencari makanan. Semut kemudian kembali ke sarangnya, meninggalkan jejak feromon di jejak kaki semut tersebut. Pheromone merupakan semacam zat kimia dari kelenjar endokrin yang ditinggalkan setiap kawanannya semut pada jalur yang telah dilalui guna untuk mengetahui sesama jenis atau kelompok untuk proses reproduksi. Pheromone ini sebagai sinyal bagi kawanannya semut. Jadi, algoritma ini digunakan untuk menyelesaikan suatu permasalahan

komputasi dengan mencari jalur terpendek dan paling efisien. Penggunaan Ant Colony Optimization (ACO) sebagai metode tuning parameter PI dilakukan dengan tujuan mencari nilai  $K_p$  dan  $K_i$  yang optimal. Pada gambar 2.8 merupakan flowchart dari ACO.

### 2.6.1 Cara Kerja ACO Dalam Menentukan Rute Terpendek

Semut dapat menemukan jalur terpendek dari sarang ke lokasi sumber makanan yang ada secara alami.



**Gambar 2.7** Perjalanan Semut Menuju Sumber Makanan

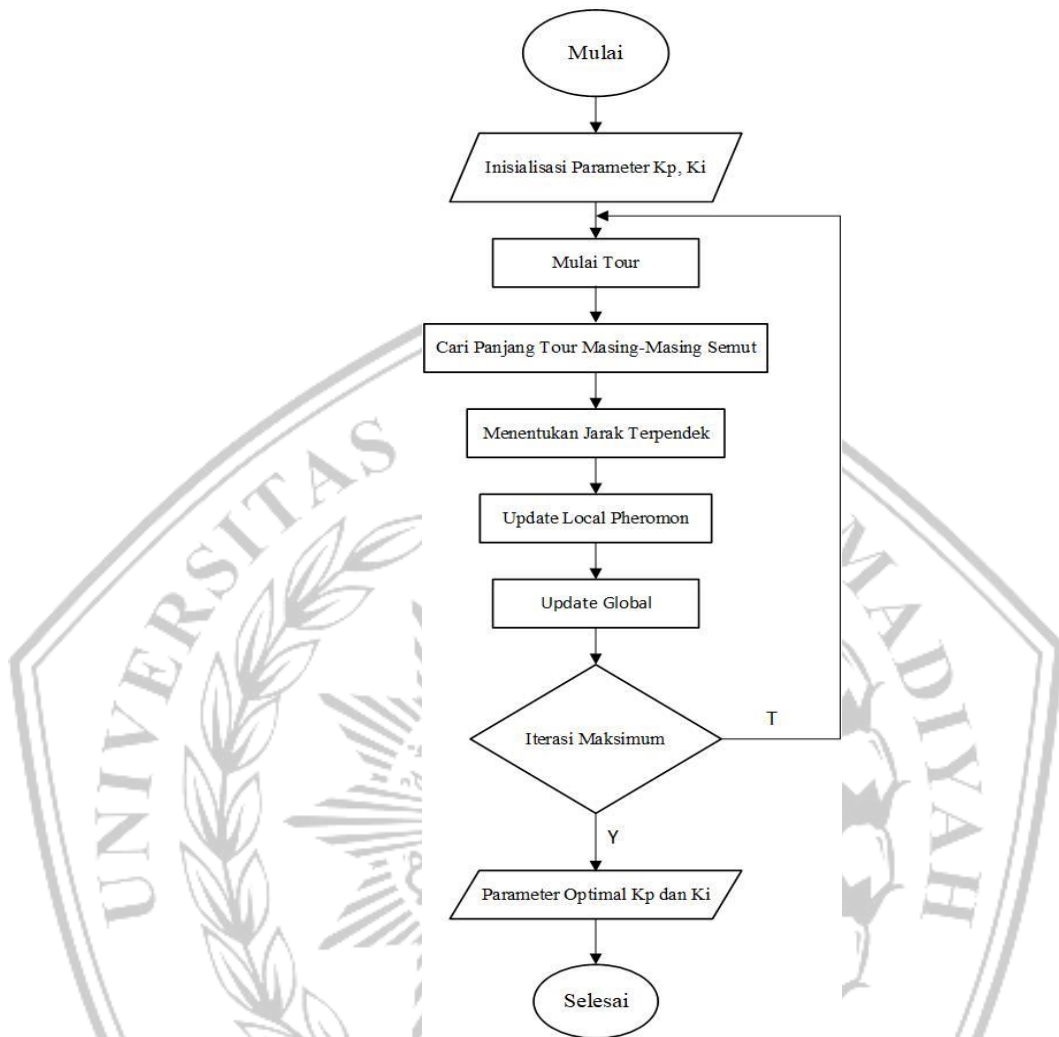
Pada gambar 2.5 merupakan proses perjalanan semut menuju sumber makanan, jadi cara kerja untuk menemukan rute terpendek dalam metode ant colony optimization (ACO) adalah sebagai berikut :

1. Yang pertama, semut bergerak secara acak.
2. Saat kawanan semut menemui persimpangan, mereka mulai mengeksplorasi berbagai jalur yang berbeda secara acak.
3. Beberapa semut memilih untuk bergerak ke bawah, sementara yang lain memilih untuk bergerak ke atas.
4. Setelah kawanan semut menemukan sumber makanan, mereka kembali ke koloninya dengan meninggalkan jejak pheromone sebagai petunjuk.
5. Kemudian kawanan semut memilih untuk mengikuti jalur terpendek yang telah dilewati banyak kawanan semut sebelumnya.

6. Pheromone yang ditinggalkan oleh kawanan semut pada jalur yang lebih pendek memiliki aroma yang lebih kuat dibandingkan dengan jalur yang lebih panjang.
7. Oleh karena itu, kawanan semut lebih tertarik untuk mengikuti jalur yang lebih pendek.



Pada Gambar 2.8 dibawah merupakan Flowchart ACO dalam mengoptimasi parameter PI.



**Gambar 2.8 Flowchart PI Ant Colony Optimization (ACO)**

Flowchart ACO diatas tedapat beberapa tahapan yang dilakukan. Langkah 1 dilakukan inisialisasi parameter  $K_p$  dan  $K_i$ . Langkah 2 memulai tour. Langkah 3 Mencari panjang tour dari masing masing semut. Langkah 3 menentukan jarak terpendek dari semut-semut tersebut. Langkah 4 melakukan update pheromon. Langkah 5 melakukan update Global . Langkah 5 jika pada iterasi maksimum belum memenuhi kriterian maka akan di feedback ke Langkah 2 untuk memulai tour kembali sampai didapatkan nilai  $K_p$  dan  $K_i$  yang tepat.