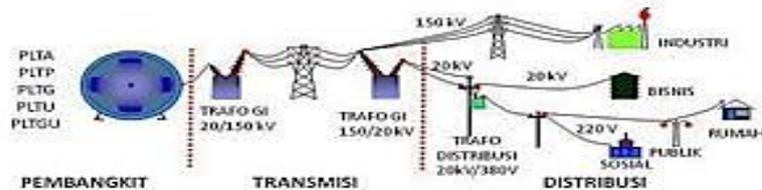


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jaringan Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Jaringan distribusi adalah penyaluran/pembagian energi listrik dari gardu induk sebesar 220V/380V ke konsumen.



Gambar 2.1 Ilustrasi Sistem Tenaga Listrik

Pada penyaluran energi listrik melalui sistem distribusi, perlu diperhatikan karakteristik beban dan jarak pada saluran distribusi. Sistem distribusi mengalami kerugian tegangan yang signifikan yang menyebabkan ketidakseimbangan daya dan tegangan. Sebagian tegangan hilang disebabkan oleh beberapa faktor termasuk peningkatan jumlah beban dan jarak yang jauh antara saluran distribusi. Untuk mencapai kualitas tegangan yang baik dan mengurangi kerugian daya, rekonfigurasi jaringan dapat dilakukan.

2.2 Kualitas Energi Listrik

Kualitas energi listrik yaitu faktor yang sangat penting untuk dipertimbangkan. Sistem tenaga listrik harus mampu menghasilkan energi listrik yang baik, khususnya untuk memenuhi kebutuhan peralatan kritis dan sensitif, melibatkan penanganan masalah terkait dengan stabilitas tegangan, arus, atau penyimpangan frekuensi yang dapat mengakibatkan kerusakan atau gangguan dalam fungsi peralatan listrik yang sedang digunakan. Oleh karena itu, diperlukan berbagai upaya untuk menjaga atau meningkatkan kualitas daya listrik [8].

2.3 Daya Listrik

Pada sistem tenaga listrik, daya adalah total energi yang digunakan untuk melakukan usaha atau kerja. Daya diukur pada satuan watt yang dapat diperoleh

dengan mengalikan tegangan dengan arus. Daya dengan simbol P, Tegangan V lalu Arus dinyatakan dalam I [9]. Terdapat tiga macam daya listrik, diantaranya :

2.3.1 Daya Aktif (P)

Daya aktif yaitu daya sebenarnya yang digunakan serta dapat diukur dalam suatu beban [10]. Secara statistik ditulis sebagai berikut :

$$\text{Untuk 1 fasa : } P = V \cdot I \cdot \text{Cos } \varphi \quad (2.1)$$

$$\text{Untuk 3 fasa : } P = V \cdot I \cdot \text{Cos } \varphi \cdot \sqrt{3} \quad (2.2)$$

Keterangan :

I = Arus (Amper)

V = Tegangan (Volt)

Cos φ = Faktor Daya

P = Daya aktif (Watt)

2.3.2 Daya Reaktif

Daya reaktif merupakan istilah yang digunakan untuk menggambarkan daya yang diperoleh oleh peralatan listrik, seperti yang terjadi pada motor listrik. Daya reaktif dihitung dengan mengalikan arus dan tegangan dengan menggunakan vektor daya [10]. Secara statistic dituliskan sebagai berikut :

$$\text{Untuk 1 fasa : } Q = V \cdot I \cdot \text{Sin } \varphi \quad (2.3)$$

$$\text{Untuk 3 fasa : } Q = V \cdot I \cdot \text{Sin } \varphi \cdot \sqrt{3} \quad (2.4)$$

Keterangan :

I = Arus (A)

V = Tegangan (V)

Q = Daya Reaktif (VAR)

$\sin \phi = \text{Besaran Vektor Daya}$

2.3.3 Daya Semu

Daya semu merupakan hasil dari perkalian antara tegangan dan arus yang mengalir melalui penghantar yang kemudian menghasilkan total energi listrik yang mengalir melalui penghantar tersebut [10]. Secara matematis dapat dituliskan :

$$\text{Pada 1 fasa : } S = V \cdot I \quad (2.5)$$

$$\text{Pada 3 fasa : } S = V \cdot I \cdot \sqrt{3} \quad (2.6)$$

Keterangan :

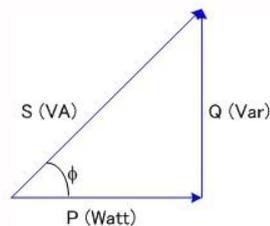
I = Arus (A)

V = Tegangan (V)

S = Daya Semu (VA)

2.4 Faktor Daya

Faktor daya adalah hasil membandingkan daya aktif (dalam watt) dengan daya semu atau daya total (dalam VA), yang juga dapat dijelaskan sebagai nilai kosinus sudut antara daya aktif dan daya semu atau daya total. Ketika daya reaktif tinggi, nilai kosinus sudut akan meningkat, yang berarti faktor daya akan menjadi lebih rendah. Faktor daya akan berada pada kisaran lebih kecil dari atau sama dengan satu [11].



Gambar 2.2 Diagram Segitiga Daya

$$\text{Factor Daya} = \frac{\text{Daya Aktif (P)}}{\text{Daya Semu (S)}} \quad (2.7)$$

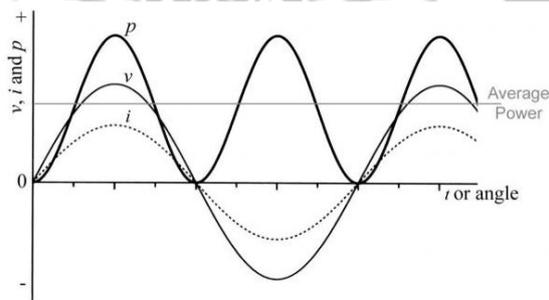
$$\begin{aligned}
&= \frac{kW}{kVa} \\
&= \frac{V \times I \times \cos \varphi}{V \times I} \\
&= \cos \varphi
\end{aligned}$$

2.5 Jenis- Jenis Beban Listrik

Beban Listrik adalah segala sesuatu yang memerlukan energi listrik. Beban dapat ditentukan oleh impedansi [11]. Secara teoritis beban terdapat tiga macam diantaranya :

2.5.1 Beban Resistif

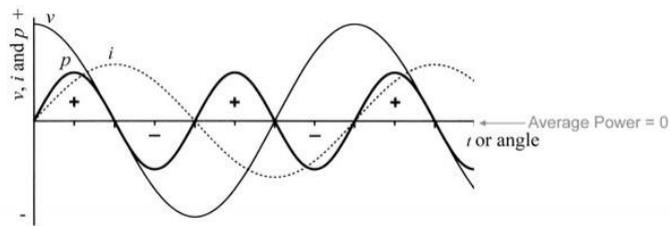
Beban resistif merupakan jenis beban yang terdiri dari komponen tahanan ohm atau resistor murni. Resistor tidak memicu pergeseran fase diantara arus dan tegangan pada rangkaian AC [12]. Jika di suatu resistor diterapkan tegangan bolak-balik maka arus dan tegangan sefasa yang ditunjukkan pada Gambar dibawah ini :



Gambar 2.3 Bentuk Gelombang Beban Resistif

2.5.2 Beban Induktif

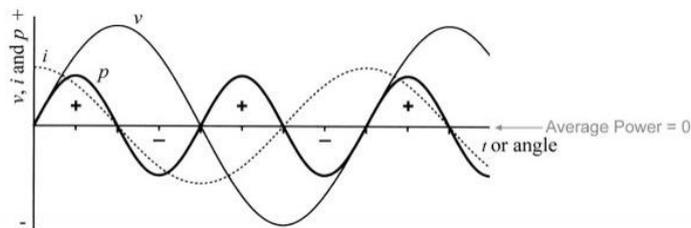
Beban induktif merujuk pada jenis beban yang terdiri dari inti yang dililit oleh kawat, seperti solenoida, coil, dan transformator. Beban ini mengakibatkan pergeseran fasa (*phase shift*) terhadap arus sehingga menjadi lagging. Pergeseran ini terjadi karena adanya energi yang disimpan dalam bentuk medan magnetik yang mengakibatkan arus tergeser fasa. Beban induktif dapat menyerap daya reaktif dan daya aktif [12].



Gambar 2.4 Bentuk Gelombang Beban Induktif

2.5.3 Beban Kapasitif

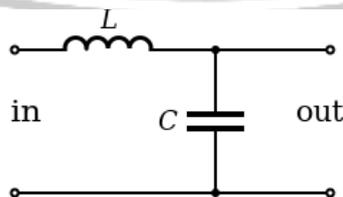
Beban kapasitif adalah jenis beban yang mempunyai kapasitansi besar, sehingga mampu menyimpan energi dari pengisian listrik pada sirkuit. Komponen ini mengakibatkan arus leading yang mendahului tegangan. Beban kapasitif dapat menghasilkan daya reaktif dan menyerap daya aktif [12].



Gambar 2.5 Bentuk Gelombang Beban Kapasitif

2.6 Filter Pasif LC

Filter LC adalah jenis *filter* yang terdiri dari komponen pasif seperti kapasitor dan inductor. Dalam mendesain *filter* LC, penting untuk menetapkan nilai kapasitor yang tepat dengan faktor daya yang dibutuhkan, serta menentukan nilai induktor yang tepat [13].



Gambar 2.6 Rangkaian Filter LC

Proses yang harus dilakukan dalam mendesain *Filter* LC sebagai berikut :

a. Menghitung Nilai Kapasitor (C)

- Untuk memperbaiki faktor daya, diperlukan penentuan kapasitas kapasitor Q_c disesuaikan dengan kebutuhan daya reaktif.. Daya reaktif kapasitor (Q_c) adalah :

$$Q_c = P(\tan(\cos^{-1} \theta_{awal}) - (\tan (\cos^{-1} \theta_{akhir})) \quad (2.8)$$

- Menentukan reaktansi kapasitor (X_c) :

$$X_c = \frac{V^2}{Q_c} \quad (2.9)$$

Dimana :

Q_c : daya reaktif kapasitor (VAR)

V : Tegangan RMS

X_c : Reaktansi kapasitif (Ω)

Menentukan kapasitas dari kapasitor (C)

$$C = \frac{1}{2\pi f_0 X_c} \quad (2.10)$$

Dimana :

f_0 : Frekuensi fundamental (Hz).

C : Kapasitansi kapasitor (Farad)

b. Menghitung nilai inductor (L)

- Menentukan nilai impedansi Z inductor

$$Z = \frac{V_s}{I} \quad (2.11)$$

- Menentukan reaktansi induktif pada inductor

$$X_L = \frac{X_c}{h_n^2} \quad (2.12)$$

- Menentukan reaktansi karakteristik pada filter dari orde tuning

$$x_n = h_n x_L \quad (2.13)$$

- Menentukan tahanan (R) pada inductor

$$R = \frac{X_n}{Q} \quad (2.14)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2} \quad (2.15)$$

$$Z^2 = R^2 + (\omega L)^2 \quad (2.16)$$

$$\omega L = \sqrt{Z^2 - R^2} \quad (2.17)$$

Dimana :

Z : Impedansi inductor (Ω)

V_s : daya sumber (Volt)

I : Arus sumber (A)

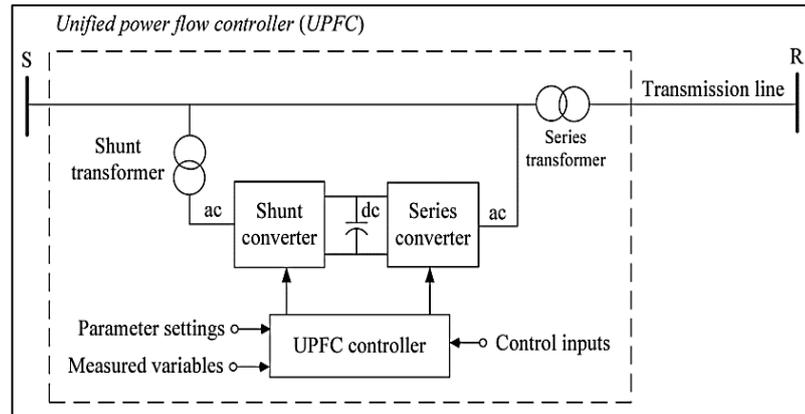
L : Induktansi (H)

2.7 *Unified Power Flow Controller (UPFC)*

UPFC ialah salah satu perangkat terbaru dalam teknologi *FACTS* yang telah diterapkan dalam sistem tenaga. Perangkat UPFC mengintegrasikan fungsi dari STATCOM dan SSSC, sehingga memungkinkan pengendalian tegangan dan aliran daya secara efektif guna mencapai operasi sistem yang efisien [14].

2.7.1 Prinsip Kerja UPFC

UPFC terdapat dua switching converter yaitu seri dan *shunt converter*. Rangkaian ini berfungsi sebagai *converter* daya AC ke AC ideal, yang dihubungkan bersama link dc umum. SSSC atau Seri Converter digunakan untuk meningkatkan nilai tegangan . sedangkan Shunt Converter atau STATCOM diterapkan sebagai memasok daya reaktif ke sistem AC [15].



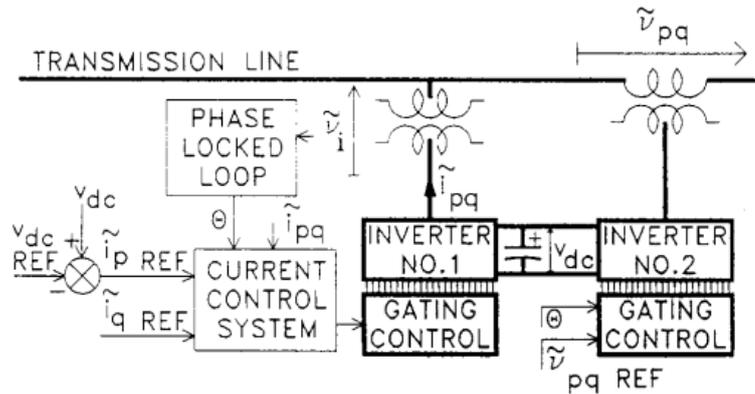
Gambar 2.7 Diagram Blok UPFC

2.7.2 Sistem Kontrol UPFC

Sistem Kontrol pada UPFC dilengkapi dengan *Phase Locked Loop* (PLL) yang berfungsi untuk mengatur sejajar unsur-unsur dari tegangan primer tiga fase. Hasil keluaran yang diperoleh berupa $\theta = \omega t$, yang berguna untuk melakukan perhitungan dari tegangan dan arus AC tiga fasa (V_d, V_q , atau I_q). Komponen d dan q dimanfaatkan untuk mengukur tegangan

Arus yang mengalir melewati jaringan distribusi ini akan menyebabkan adanya pertukaran daya reaktif antara system AC dan sumber tegangan. Daya aktif akan diubah menjadi daya DC. Daya DC ini muncul pada DC link. Daya reaktif yang ditukarkan di terminal AC dihasilkan oleh inverter.

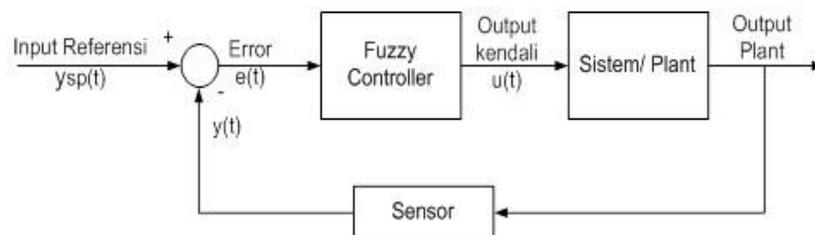
Inverter 1 untuk memasok daya aktif inverter 2 pada terminal common DC link. Inverter 2 dapat membangkitkan atau menyerap daya reaktif sehingga control yang tepat dapat menyediakan kompensasi daya reaktif pada jaringan distribusi.



Gambar 2.8 Control UPFC

2.8 Fuzzy Logic Controller (FLC)

FLC merupakan metode pemecahan masalah yang menggunakan aturan-aturan berbasis logika yang dapat mengolah berbagai input dan output yang masuk akal pada sistem yang kompleks dan non-linear. FLC sebuah konsep teori himpunan yang dikembangkan untuk menangani nilai-nilai yang terletak diantara kesalahan (*truth*) dan kebenaran (*false*). Dalam FLC logika nilai yang diperoleh bukan hanya ya (1) atau tidak (0) melainkan mencakup total rentang nilai antara 0 dan 1. Oleh sebab itu, FLC lebih banyak digunakan pada penelitian dalam mengontrol suatu sistem, dengan tujuan mencapai hasil yang maksimal [16].

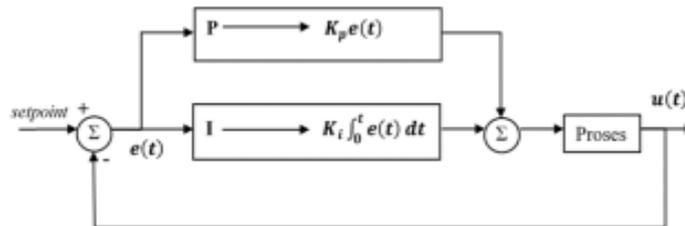


Gambar 2.9 Diagram Model FLC

2.9 PI Controller

Kontroler PI adalah hasil penggabungan antara kontrol *Proporsional* (P) dan *Integral* (I), dimana keduanya memiliki sifat yang berbeda. Kontroler PI

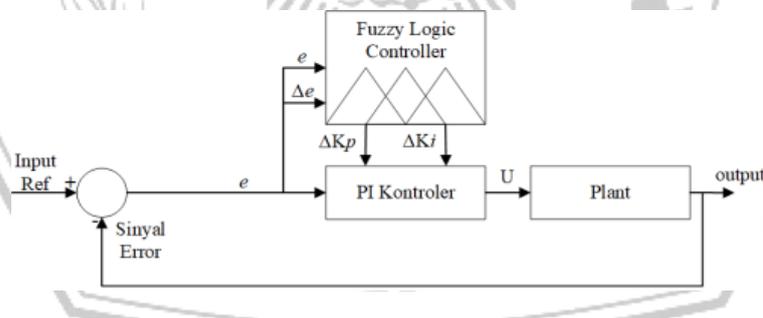
digunakan karena respons keluarannya akan sesuai dengan nilai setpoint tanpa terjadi pergeseran awal (*zero offset*). Secara umum, operasi kontroler PI bergantung pada perubahan langkah dalam pengukuran, sehingga menghasilkan respons proporsional terlebih dahulu diikuti oleh respons integral [17].



Gambar 2.10 Diagram Blok *Feedback* Sistem Pengendali PI

2.10 *Fuzzy PI-Controller*

Fuzzy PI adalah metode pengendalian sistem yang mengkombinasikan sistem kontrol PI dan sistem kontrol *fuzzy* tujuannya untuk meningkatkan kualitas keluaran sinyal dari sistem kontrol *fuzzy*. Dengan mengintegrasikan kontroler PI, hasil yang dihasilkan dapat ditingkatkan secara optimal. Kontroler ini menerima dua input yaitu *error* (e) dan *delta error* (Δe).



Gambar 2.11 Blok Diagram *Fuzzy PI-Controller*