

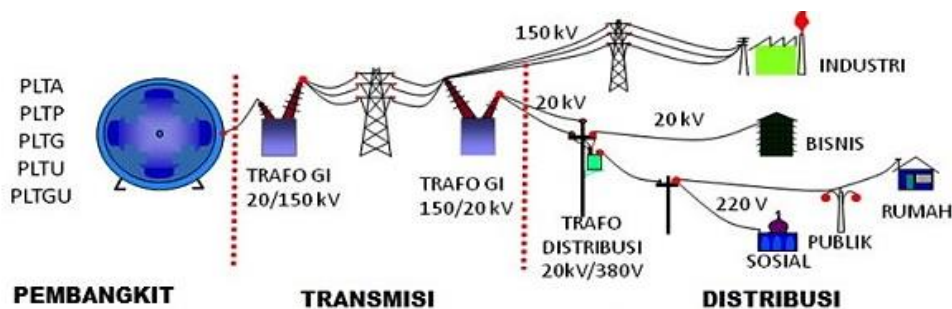
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Peran serta kebutuhan akan suatu energi listrik sudah menjadi hal yang tidak dapat dipisahkan dalam kehidupan sehari-hari, dimulai dari kebutuhan energi listrik untuk taraf domestik hingga kebutuhan energi listrik untuk taraf industri. Seiring dengan kebutuhan energi listrik yang semakin hari semakin bertambah, maka pengembangan ketenagalistrikan pun senantiasa dilakukan dengan tujuan agar sistem pembangkitan hingga pendistribusiannya ke konsumen dapat terwujud secara optimal.

Salah satu bagian dari kelistrikan yang dikembangkan serta dipelihara secara berkelanjutan untuk penyaluran tenaga listrik itu sendiri ialah sistem tenaga listrik. Sistem tenaga listrik merupakan suatu kesatuan yang terintegrasi mulai dari unit pembangkit listrik, unit transmisi listrik, sampai unit distribusi listrik dalam upaya menyalurkan listrik dari produsen kepada konsumen dengan dilengkapi sistem proteksi pada kesatuan tersebut.<sup>1</sup> Rangkaian kesatuan sebuah sistem tenaga listrik tersebut dapat direpresentasikan pada gambar berikut:



Gambar 2.1 Rangkaian Sistem Tenaga Listrik

(Sumber: <https://www.warriornux.com>)

<sup>1</sup> Adib Gustian Nigara, Skripsi: "Analisis Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik Pada Bagian Texturizing di PT Asia Pasific Fibers Tbk Kendal Menggunakan Software ETAP Power Station 4.0 (Semarang: UNNES, 2015), Hal. 6



Pada Gambar 2.1 tersebut, diilustrasikan bahwa tenaga listrik yang dihasilkan dari pusat pembangkit disalurkan ke gardu induk melalui jaringan transmisi, lalu setelahnya didistribusikan ke konsumen melalui jaringan distribusi. Sehingga secara umum, pembangkit tenaga listrik, sistem transmisi dan sistem distribusi menjadi tiga hal pokok dari suatu sistem tenaga listrik. Adapun penjelasan untuk ketiga hal pokok tersebut adalah sebagai berikut:

1. Pusat Pembangkit Listrik (*Power Plant*)

Pusat pembangkit listrik dapat diartikan sebagai tempat awal di mana bentuk dari energi lain dikonversi menjadi energi listrik oleh generator yang digerakkan oleh beberapa jenis energi atau tenaga penggerak seperti panas bumi, angin, air, batu bara, dan lain-lain. Umumnya, pada pusat pembangkit listrik, tegangan yang digunakan untuk proses pembangkitan disesuaikan dengan generator pembangkit yang digunakan.

2. Transmisi Tenaga Listrik

Transmisi dalam hal ini dapat diartikan sebagai suatu proses atau sistem penyaluran listrik yang berasal dari pembangkit hingga ke pusat beban atau konsumen, di mana pada sistem transmisi ini efisiensi penyaluran tenaga listrik sangat diperhitungkan sehingga tegangan yang dipilih pun lebih tinggi guna mengurangi rugi-rugi dan turun tegangan.

3. Distribusi Tenaga Listrik

Distribusi tenaga listrik merupakan bagian dari sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan tenaga listrik langsung kepada konsumen atau beban listrik. Sub sistem distribusi ini terbagi menjadi: pusat pengatur atau gardu induk, gardu hubung, saluran tegangan menengah atau jaringan primer (6 kV dan 20 kV) yang berupa saluran udara atau kabel bawah tanah, saluran tegangan rendah atau jaringan sekunder (380 V dan 220 V), gardu distribusi tegangan yang terdiri dari panel-panel pengatur tegangan baik tegangan menengah ataupun tegangan rendah, dan trafo.



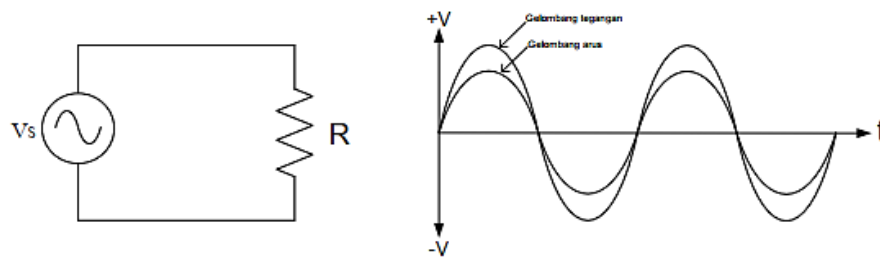
## 2.2 Beban Listrik

Dalam suatu sistem kelistrikan itu sendiri, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan, salah satunya adalah karakteristik beban yang terdapat pada jaringan distribusi tenaga listrik. Pada sistem arus bolak balik, terdapat tiga karakteristik beban listrik, yaitu beban listrik yang bersifat resistif, beban listrik yang bersifat induktif dan beban listrik yang bersifat kapasitif. Karakteristik-karakteristik beban inilah yang menyebabkan adanya jenis impedansi yang berbeda-beda pada sistem arus bolak balik.

Impedansi listrik atau yang lebih dikenal sebagai Impedansi ( $Z$ ) merupakan ukuran hambatan listrik yang terdapat pada sumber arus bolak-balik (AC) yang dinyatakan dalam satuan Ohm. Berbeda dengan sumber arus searah (DC) yang mana beban yang menghambat aliran arus hanya terdapat pada beban yang memiliki sifat resistif saja, pada arus bolak-balik, beban-beban yang bersifat induktif dan kapasitif seperti yang telah disebutkan sebelumnya, juga menjadi pembatas atau penentu aliran arus yang mengalir. Pada sumber arus searah (DC), kemampuan sebuah resistor untuk menahan arus listrik disebut dengan *resistansi* ( $R$ ), sedangkan pada sumber arus bolak-balik, kemampuan sebuah induktor dan kapasitor untuk menahan arus listrik disebut dengan *reaktansi* ( $X$ ). Sehingga, impedansi merupakan hambatan listrik pada arus bolak-balik yang berasal dari resistansi dan reaktansi bebannya. Impedansi dinyatakan dalam rumus:

$$Z^2 = R^2 + X^2 \text{ atau } Z = \sqrt{(R^2 + X^2)} \dots\dots\dots \text{(persamaan 2.1)}$$

Apabila sifat impedansi beban adalah murni resistif, maka gelombang arus akan sefasa dengan gelombang tegangannya. Hal ini dapat dijelaskan pada gambar berikut:



Gambar 2.2 Rangkaian resistor dengan penyajian bentuk gelombang tegangan dan arusnya

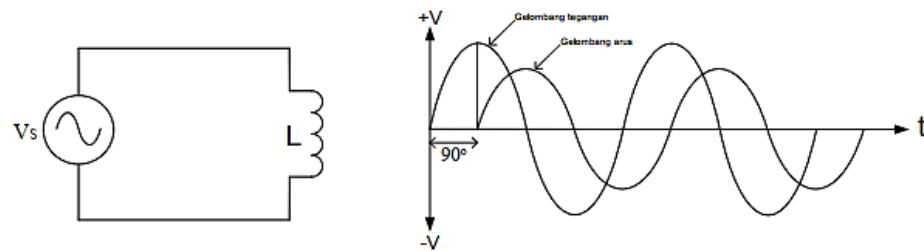
(Sumber: Training Panel Lengkap PT Trias Indra Saputra)

Induktor merupakan komponen beban yang memiliki sifat menahan aliran arus listrik pada sumber arus bolak-balik, di mana kemampuan menahan arus ini dinamakan dengan reaktansi induktif ( $X_L$ ) yang dinyatakan dalam satuan Ohm. Nilai reaktansi induktif sebuah induktor dinyatakan dalam persamaan:

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \text{ atau } X_L = \omega \cdot L \dots\dots\dots (\text{persamaan 2.2})$$

Melalui persamaan ini dapat diketahui bahwa semakin besar nilai frekuensi dari tegangan sumber atau arus yang mengalir pada rangkaian maka akan semakin besar juga nilai reaktansi induktif beban induktor tersebut.

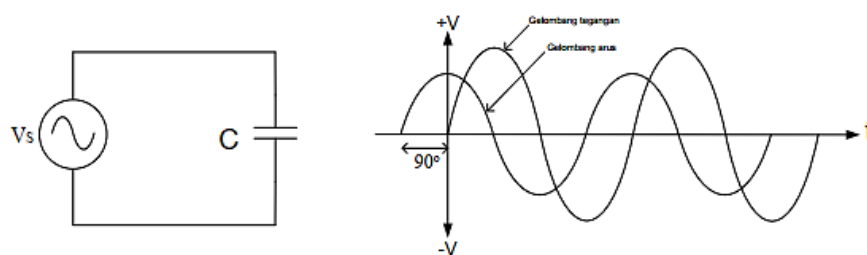
Apabila dalam suatu rangkaian terdapat beban induktor, maka dapat dikatakan bahwa sifat impedansi beban tersebut adalah induktif, sehingga gelombang arus akan tertinggal fasa terhadap gelombang tegangannya. Fasa arus yang terbelakang atau tertinggal ini selanjutnya disebut dengan *lagging*. Hal ini dapat dijelaskan pada gambar berikut:



Gambar 2.3 Rangkaian induktor dengan penyajian bentuk gelombang tegangan dan arusnya

(Sumber: Training Panel Lengkap PT Trias Indra Saputra)

Sama halnya dengan komponen induktor, kapasitor merupakan komponen beban yang juga memiliki sifat menahan arus listrik pada sumber arus bolak-balik (AC). Hal ini disebut sebagai fungsi impedansi kapasitor (resistansi yang nilainya tergantung dari frekuensi yang diberikan).<sup>2</sup> Semakin besar nilai frekuensi tegangan sumber maka akan semakin kecil nilai reaktansi kapasitif dari kapasitor tersebut dan semakin kecil nilai frekuensi tegangan sumbernya maka akan semakin besar nilai reaktansi kapasitif dari kapasitor. Apabila sifat impedansi beban adalah kapasitif, maka gelombang arus akan mendahului fasa terhadap gelombang tegangannya. Fasa arus yang mendahului tegangan ini selanjutnya disebut dengan *leading*. Hal ini dapat dijelaskan pada gambar berikut:



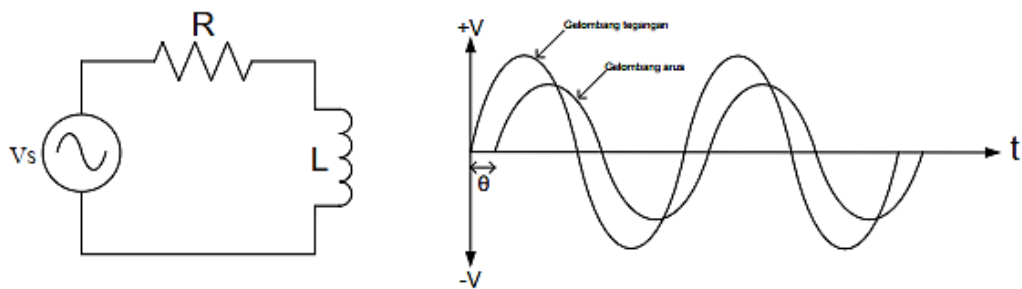
Gambar 2.4 Rangkaian kapasitor dengan penyajian bentuk gelombang tegangan dan arusnya

(Sumber: Training Panel Lengkap PT Trias Indra Saputra)

<sup>2</sup> Yulia Basri, Irma, Dedy Irfan, *Komponen Elektronika* (Padang: Penerbit SUKABINA Press, 2018), Hal. 33

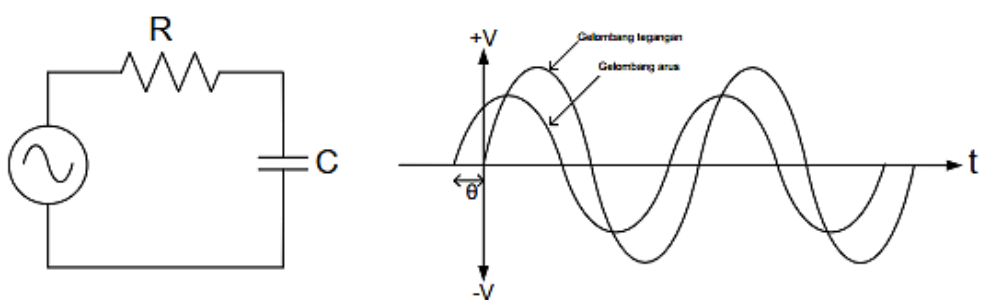
Pada gambar di atas dapat diperhatikan apabila pada suatu rangkaian hanya terdiri dari beban yang memiliki sifat induktif saja, maka arus akan tertinggal terhadap tegangan sebesar  $90^\circ$  dan apabila pada suatu rangkaian hanya terdiri dari beban yang memiliki sifat kapasitif saja, maka arus akan mendahului tegangan sebesar  $90^\circ$ .

Apabila pada suatu rangkaian terdapat beban resistor dan induktor, maka arus akan tertinggal terhadap tegangan sebesar  $\theta$ , dimana  $\theta < 90^\circ$  dan apabila pada suatu rangkaian terdapat beban resistor dan kapasitor, maka arus akan mendahului tegangan sebesar  $\theta$ , dimana  $\theta < 90^\circ$ . Hal ini dapat dijelaskan pada gambar berikut:



Gambar 2.5 Rangkaian seri resistor-induktor dengan penyajian bentuk gelombang tegangan dan arusnya

(Sumber: Training Panel Lengkap PT Trias Indra Saputra)

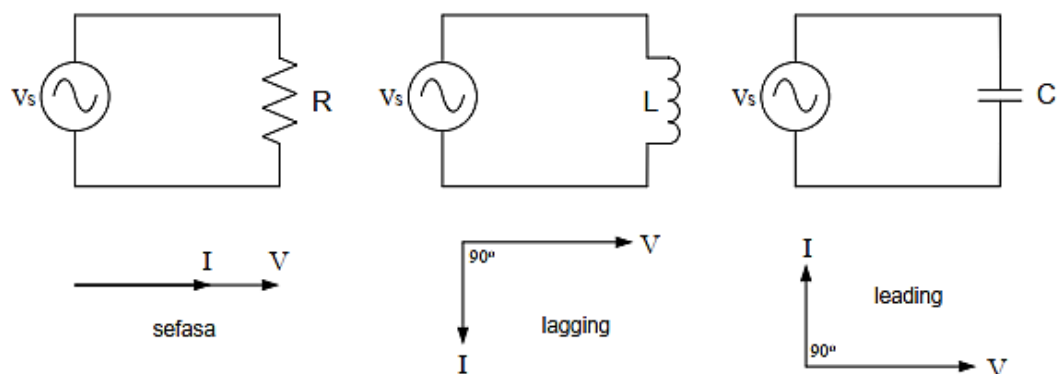


Gambar 2.6 Rangkaian seri resistor-kapasitor dengan penyajian bentuk gelombang tegangan dan arusnya

(Sumber: Training Panel Lengkap PT Trias Indra Saputra)

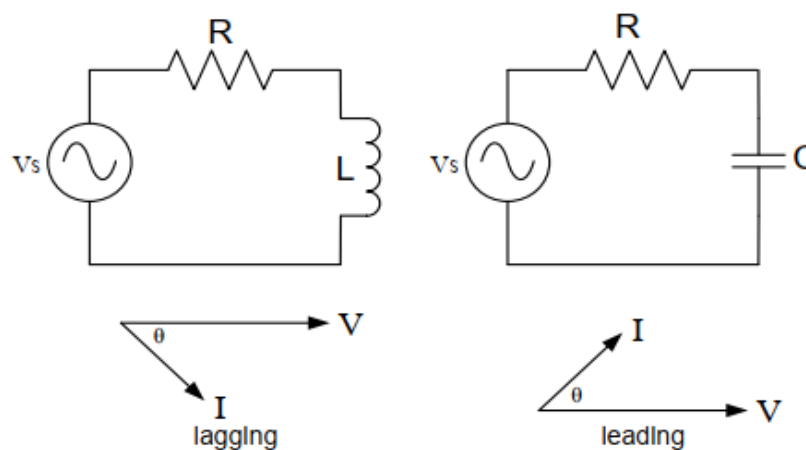
### 2.3 Bentuk Diagram Fasor Tegangan dan Arus Bolak Balik

Tegangan dan arus bolak balik yang telah dibahas sebelumnya juga dapat dipresentasikan dalam bentuk diagram fasor yang akan menunjukkan nilai tegangan dan arus bolak balik dalam bentuk vektor sehingga akan dapat ditentukan arah besaran yang difasorkan. Bentuk penyajian tegangan dan arus bolak balik dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 2.7 Rangkaian resistor, rangkaian induktor, rangkaian kapasitor dengan penyajian diagram fasor tegangan dan arusnya

(Sumber: Training Panel Lengkap PT Trias Indra Saputra)

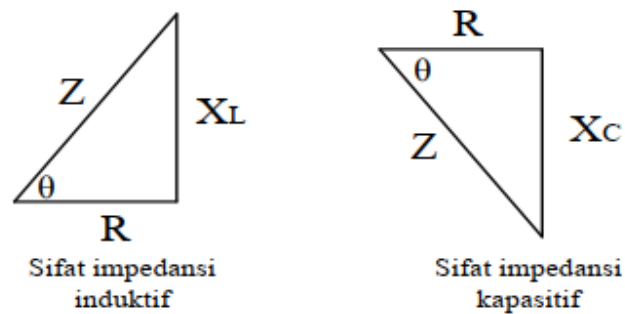


Gambar 2.8 Rangkaian seri resistor – induktor, rangkaian seri resistor – kapasitor dengan penyajian diagram fasor tegangan dan arusnya

(Sumber: Training Panel Lengkap PT Trias Indra Saputra)

## 2.4 Segitiga Impedansi

Persamaan-persamaan mengenai impedansi, resistansi dan reaktansi yang telah dijelaskan sebelumnya dapat ditunjukkan keterkaitannya satu sama lain dengan direpresentasikan ke dalam sebuah gambar segitiga impedansi sebagai berikut:

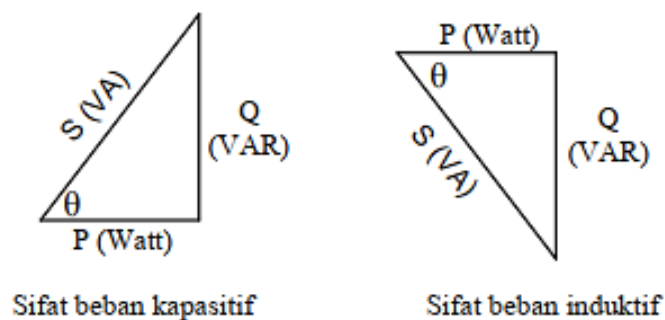


Gambar 2.9 Segitiga Impedansi

(Sumber: Training Panel Lengkap PT Trias Indra Saputra)

## 2.5 Segitiga Daya

Segitiga daya merupakan segitiga siku-siku yang biasa digunakan untuk merepresentasikan daya semu, daya aktif dan daya reaktif yang terdapat pada sistem kelistrikan tiga fasa.



Gambar 2.10 Segitiga Daya

(Sumber: Training Panel Lengkap PT Trias Indra Saputra)





### 2.5.1 Daya Semu

Daya semu dapat didefinisikan sebagai perkalian antara nilai rms (*root mean square*) tegangan dan arus yang dinyatakan dalam satuan Volt-Ampere (VA). Dengan menggunakan istilah nilai rms, persamaan daya semu dapat dituliskan sebagai berikut:

$$S = V_{rms} I_{rms}^* \dots\dots\dots \text{(persamaan 2.3)}$$

dimana,

$$V_{rms} = \frac{V}{\sqrt{2}} = V_{rms} \angle \theta_v \dots\dots\dots \text{(persamaan 2.4)}$$

dan

$$I_{rms} = \frac{I}{\sqrt{2}} = I_{rms} \angle \theta_i \dots\dots\dots \text{(persamaan 2.5)}$$

Sehingga persamaan 2.3 dapat dituliskan menjadi:

$$S = |V_{rms}| |I_{rms}| \angle \theta_v - \theta_i \dots\dots\dots \text{(persamaan 2.6)}$$

dengan:

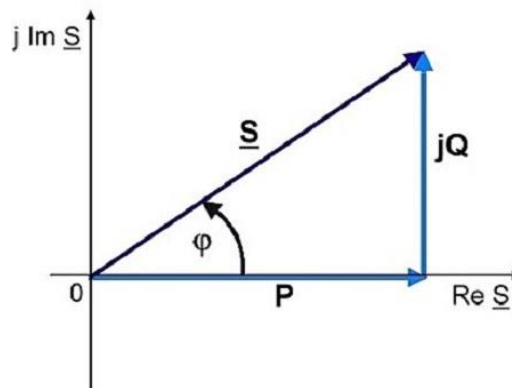
S = Daya Semu (VA)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

Penggunaan (\*) *conjugate* atau konjugasi dalam persamaan daya semu ditujukan karena hasil atau nilai yang dinyatakan adalah dalam besaran vektor, yaitu besaran yang memiliki magnitudo (nilai atau besar) dan arah. Konjugasi sendiri dapat diartikan sebagai refleksi dari bilangan imajiner yang dinyatakan dalam persamaan tersebut atau dengan kata lain konjugasi merupakan suatu perintah untuk mengubah tanda plus menjadi minus atau sebaliknya pada elemen imajiner dalam bilangan kompleks.

Sebagai contoh, apabila nilai  $I$  (Arus) dinyatakan dalam bilangan kompleks yaitu  $I = 2 - j3$  maka konjugasi kompleks dari  $I$  adalah  $I^* = 2 + j3$  atau jika dalam bentuk polar, jika  $I = 7 \angle -45^\circ$  maka  $I^* = 7 \angle 45^\circ$ . Konsep lain yang berhubungan dengan penggunaan konjugasi ini adalah mengenai faktor daya (*power factor*) seperti yang tertera pada gambar berikut.



Gambar 2.11 Sudut cosphi dalam segitiga daya

Faktor daya dapat diartikan sebagai nilai yang mempresentasikan efisiensi penggunaan daya listrik yang merupakan perbandingan antara daya efektif yang dimanfaatkan langsung oleh beban dengan daya total dari sumber. Apabila dituliskan ke dalam bentuk persamaan, definisi faktor daya tersebut adalah sebagai berikut:

$$pf = \frac{P}{S} = \cos(\theta_v - \theta_i) \dots\dots\dots \text{(persamaan 2.7)}$$

Kembali pada fungsi konjugasi, apabila tanda konjugasi ditiadakan dan sudut pada tegangan dan arus dikalikan secara langsung, maka hasil yang didapat adalah penjumlahan antara sudut  $\theta_1$  dan  $\theta_2$  di mana hal ini tentunya bertentangan dengan konsep awal seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Namun, bila tanda konjugasi ditambahkan, akan diperoleh daya semu yang konsisten yang sesuai dengan



pernyataan bahwa daya semu merupakan hasil perkalian dari tegangan dan arus dengan sudut sebesar selisih beda fasa diantara tegangan dan arus itu sendiri.

Istilah lain yang sering dikaitkan dalam pembahasan mengenai daya semu adalah “daya tampak (*apparent power*)”. Daya tampak merupakan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha,<sup>3</sup> di mana dalam hal ini daya tampak merupakan keseluruhan kapasitas daya yang tersedia dan belum terpakai. Daya tampak ini merupakan kapasitas energi listrik yang disediakan oleh pihak penyedia listrik dan dinyatakan dalam satuan Volt Ampere (VA). Perbedaan antara daya semu dan daya tampak adalah pada besaran yang digunakan, di mana pada daya semu, nilai yang dihasilkan dinyatakan dalam besaran vektor, yaitu besaran yang memiliki magnitude (nilai atau besar) dan arah, sedangkan pada daya tampak, besaran yang digunakan adalah besaran skalar yaitu besaran yang hanya memiliki magnitude (nilai atau besar) saja. Untuk mengetahui besarnya daya tampak (S) seperti yang tertera pada Gambar 2.11, dapat digunakan rumus:

$$|S| = |V_{rms}| |I_{rms}| = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots (\text{persamaan 2.8})$$

dengan:

- S = Daya tampak (VA)
- V = Tegangan (V)
- I = Arus (A)
- P = Daya Aktif (W)
- Q = Daya Reaktif (VAR)

---

<sup>3</sup> Setiawidayat, Sabar, *Penyaluran Daya Listrik Satu Fasa (Peralatan Rumah Tangga)*, Badan Penerbitan Universitas Widyagama Malang, Hal. 48



### 2.5.2 Daya Aktif

Daya aktif dapat diartikan sebagai daya nyata atau daya yang sebenarnya digunakan oleh suatu beban untuk mengonversi energi listrik ke bentuk energi yang lainnya. Untuk mengetahui besarnya daya aktif digunakan rumus:

$$P = V \times I \times \cos \theta \quad \dots\dots\dots \text{(persamaan 2.9)}$$

dengan:

P = Daya Aktif (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

### 2.5.3 Daya Reaktif

Daya reaktif adalah daya yang diserap oleh reaktansi induktif atau reaktansi kapasitif.<sup>4</sup> Daya ini diserap dalam pembentukan medan magnet beban-beban induktif seperti motor listrik, transformator dan lain-lain. Daya reaktif juga merupakan daya yang mengakibatkan terjadinya rugi-rugi daya karena penurunan nilai cos phi. Besar kecilnya daya reaktif pada suatu sistem kelistrikan tergantung pada banyaknya beban induktif yang ada pada sistem tersebut. Rumus yang digunakan untuk mengetahui besarnya daya reaktif adalah:

$$Q = V \times I \times \sin \theta \quad \dots\dots\dots \text{(persamaan 2.10)}$$

dengan:

Q = Daya Reaktif (VAR)

V = Tegangan (V)

I = Arus (A)

<sup>4</sup> Purnomo, Hery, *Rangkaian Elektrik (Analisis Keadaan Mantab)*, Buku Ajar Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, 2017, Hal. 99



## 2.6 Faktor Daya

### 2.6.1 Definisi

Secara definisi, faktor daya atau *cos phi* dapat diartikan sebagai nilai perbandingan antara daya efektif yang terpakai secara langsung oleh beban dan daya semu yang disediakan oleh PLN atau genset. Dalam kelistrikan, besar kecilnya faktor daya ini tergantung pada beban induktif yang ada pada suatu sistem kelistrikan. Jika sifat induktif suatu beban semakin besar, maka semakin kecil nilai dari faktor daya ini dan dengan kata lain dapat dikatakan bahwa efisiensi penggunaan energi atau daya listrik pun semakin kecil.

Apabila pada suatu sistem kelistrikan nilai faktor daya ini berada di bawah standar yang ditetapkan (di Indonesia, pihak penyedia listrik yaitu PLN menetapkan nilai minimum faktor daya adalah 0,8) maka dalam hal ini pihak konsumen harus membayar *penalty* atau biaya tambahan yang diakibatkan besarnya daya reaktif yang ditimbulkan dari buruknya nilai faktor daya tersebut. Untuk menghindari ini, metode umum yang biasa digunakan faktor daya beban adalah dengan menyediakan daya reaktif untuk menggantikan atau mengkompensasi kebutuhan daya reaktif beban dengan cara memparalel beban-beban induktif dengan suatu kapasitor.

### 2.6.2 Penentuan Nilai Kapasitor Untuk Perbaikan Faktor Daya

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, untuk meningkatkan faktor daya pada suatu sistem kelistrikan, metode yang biasa digunakan adalah dengan menyediakan daya reaktif dengan cara memparalel beban-beban induktif dengan suatu kapasitor. Untuk mengetahui nilai kapasitor yang dibutuhkan, digunakan perhitungan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

#### 1. Menentukan Nilai Faktor Daya Awal

Sebelum beban diparalel dengan kapasitor, perlu diketahui nilai faktor daya awal dari beban tersebut dengan mengetahui nilai arus dan tegangan yang mengalir ke beban, sehingga daya semu beban (VA) didapatkan. Sehingga, untuk faktor daya beban tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\text{Cosphi awal} = \frac{P}{S} \dots\dots\dots \text{(persamaan 2.11)}$$

## 2. Menentukan Nilai Faktor Daya Perbaikan yang Diinginkan

Setelah dilakukan perhitungan dan diketahui faktor daya awal beban, langkah berikutnya adalah menentukan nilai faktor daya perbaikan yang diinginkan.

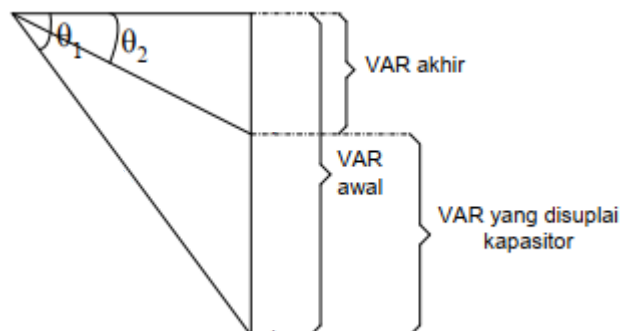
## 3. Menghitung Daya Total Beban Setelah Perbaikan Faktor Daya

Setelah menentukan nilai faktor daya yang diinginkan, selanjutnya perlu dihitung daya total beban setelah perbaikan faktor daya dengan menggunakan persamaan:

$$S = \frac{P}{\text{Cosphi}} \dots\dots\dots \text{(persamaan 2.12)}$$

## 4. Merepresentasikan ke dalam Bentuk Segitiga Daya

Setelah diperoleh data-data yaitu faktor daya awal dan akhir, daya total awal dan akhir dan daya efektif beban, selanjutnya adalah merepresentasikan data-data tersebut ke dalam bentuk segitiga daya sebagai berikut:



Gambar 2.12 Metode Perhitungan VAR dengan Segitiga Daya

(Sumber: Training Panel Lengkap PT Trias Indra Saputra)



**5. Menentukan Nilai VAR Awal dan Akhir dan VAR yang Harus Disuplai oleh Kapasitor**

Setelah direpresentasikan ke dalam bentuk segitiga daya, langkah berikutnya adalah menghitung nilai VAR awal (Q1) dan VAR akhir (Q2) serta VAR yang harus disuplai oleh kapasitor (Qc) dengan menggunakan persamaan:

$$Q1 = \sqrt{(S Awal)^2 - (P)^2} \dots\dots\dots (persamaan 2.13)$$

$$Q2 = \sqrt{(S Akhir)^2 - (P)^2} \dots\dots\dots (persamaan 2.14)$$

$$Qc = Q1 - Q2 \dots\dots\dots (persamaan 2.15)$$

**6. Menentukan Reaktansi Kapasitif (Xc) Kapasitor yang Dibutuhkan**

Untuk menentukan reaktansi kapasitif dari kapasitor yang akan ditambahkan, dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$Xc = \frac{V^2}{VAR} \dots\dots\dots (persamaan 2.16)$$

**7. Menentukan Nilai Kapasitansi Kapasitor**

Untuk menentukan nilai kapasitansi kapasitor dalam satuan Farad atau mikroFarad, digunakan persamaan sebagai berikut:

$$C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot Xc} \dots\dots\dots (persamaan 2.17)$$

**2.7 Panel Kapasitor Bank**

Panel Kapasitor Bank adalah panel yang tersusun dari rangkaian kapasitor bank dengan kontrol tertentu yang memiliki fungsi utama yaitu memperbaiki dan menjaga nilai faktor daya agar tetap berada pada nilai yang diinginkan.



Kapasitor Bank adalah salah satu komponen elektrik yang memiliki daya reaktif positif, dalam hal ini berarti, apabila komponen kapasitor bank ini diparalel dengan beban induktif, maka komponen kapasitor bank akan mengkompensasi sifat induktif beban tersebut dengan sifat kapasitif dari kapasitor tersebut sehingga akan berdampak pada nilai faktor daya yang semakin mendekati 1. Hubungan antara impedansi beban, sifat induktif dan sifat kapasitif beban dapat dipresentasikan dalam persamaan berikut:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \dots\dots\dots \text{(persamaan 2.18)}$$

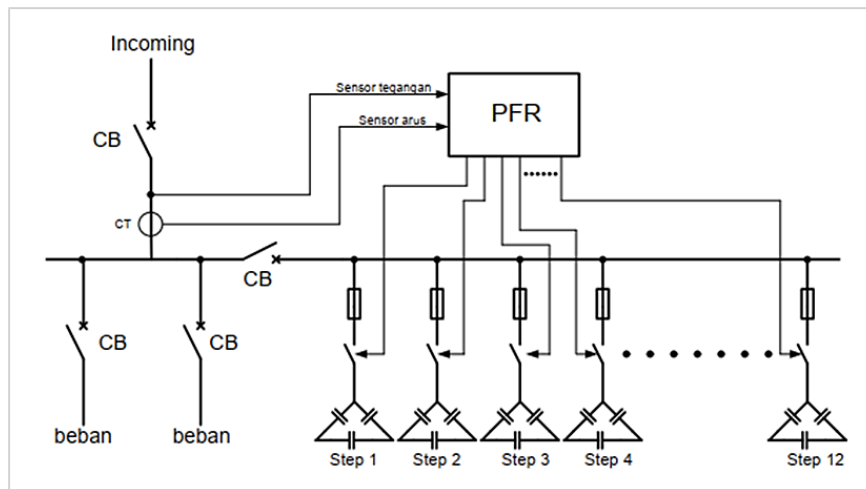
dengan:

- Z = Sifat Impedansi Beban, yang akan menghasilkan daya total (kVA)
- R = Sifat Resistif Beban, yang akan menghasilkan daya efektif beban (kW)
- XL = Sifat Induktif Beban, yang akan menghasilkan daya reaktif negatif beban (kVAR-)
- XC = Sifat Kapasitif Beban, yang akan menghasilkan daya reaktif positif beban (kVAR+)

Semakin nilai impedansi beban mendekati nilai resistif beban, maka akan mengakibatkan nilai faktor daya akan semakin mendekati 1, di mana hal ini akan diperoleh apabila sifat kapasitif dari kapasitor beban nilainya mendekati nilai induktif beban. Oleh karena itu, fungsi dari Panel Kapasitor Bank dalam hal ini adalah untuk mengatur seberapa besar nilai kapasitor bank yang akan diparalel dengan beban, yangmana kapasitor bank ini terbagi ke dalam beberapa step untuk dihubungkan ke busbar utama Panel LVMDP (atau PUTR), untuk mempertahankan nilai faktor daya yang diinginkan.

Dalam pengoperasiannya, Panel Kapasitor Bank ini memiliki beberapa tipe yang berbeda, diantaranya adalah pengoperasian secara otomatis, pengoperasian secara manual dan pengoperasian secara otomatis-manual. Untuk lebih mudah memahami jenis-jenis pengoperasian ini, perhatikan gambar beserta penjelasan berikut:



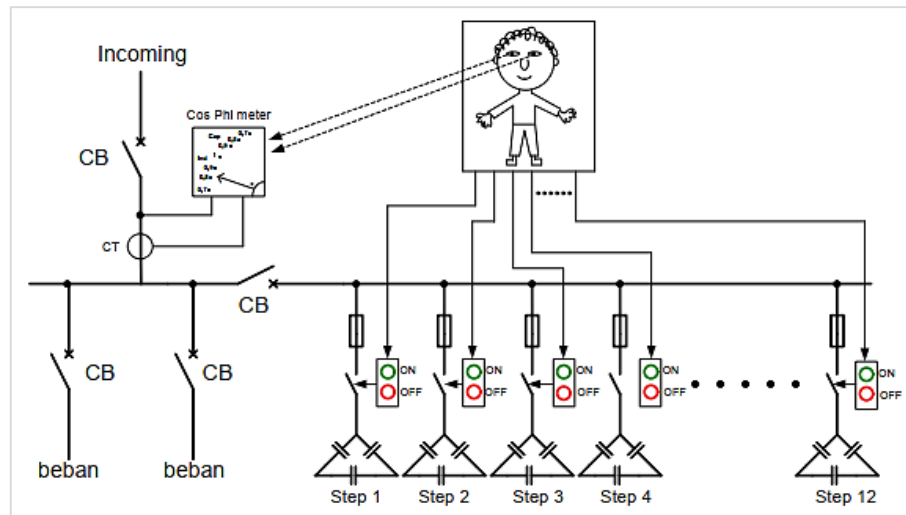


Gambar 2.13 SLD Panel Kapasitor Bank Operasi Otomatis  
(Sumber: *Training Panel Lengkap PT Trias Indra Saputra*)

Secara garis besar, sistem operasi otomatis pada sebuah Panel Kapasitor Bank dapat dijelaskan melalui Gambar 2.16 di mana pada gambar tersebut terdapat sejumlah kapasitor bank yang terbagi ke dalam 12 step. Sebagai permisalan, Panel Kapasitor Bank tersebut memiliki nilai total kapasitor yaitu sebesar 600 kVAR di mana untuk setiap step-nya berarti memiliki nilai sebesar 50kVAR. Dalam hal ini, yang menjadi pusat pengaturan otomatis untuk banyaknya jumlah step yang terhubung ke busbar utama (main busbar) untuk menjaga nilai faktor daya tetap pada nilai yang diinginkan adalah komponen yang bernama PFR atau Power Factor Regulator, yang mana pada PFR ini telah diatur berapa nilai  $\cos\phi$  yang diinginkan atau yang dijadikan sebagai referensi. Misalnya, nilai faktor daya yang diinginkan adalah sebesar 0,95.

Untuk mengatur berapa banyak step kapasitor bank yang aktif, PFR harus membaca nilai  $\cos\phi$  beban dengan mensensor nilai arus dan tegangan pada sisi incoming panel LVMDP tersebut. Apabila  $\cos\phi$  yang terbaca adalah dibawah nilai 0,95 maka PFR akan menambah jumlah step kapasitor dengan mengaktifkan/meng-ON-kan kontaktor yang menghubungkan setiap step kapasitor dengan busbar utama (main busbar) sampai didapatkan nilai yang  $\cos\phi$  seperti yang telah diatur/dissetting. Apabila beban induktif berkurang sehingga menyebabkan nilai  $\cos\phi$  meningkat atau bahkan menjadikan sifat beban menjadi

kapasitif, maka PFR akan mengurangi step kapasitor yang masuk sampai didapatkan kembali cos phi yang diinginkan, yaitu 0,95.



Gambar 2.14 SLD Panel Kapasitor Bank Operasi Manual

(Sumber: *Training Panel Lengkap PT Trias Indra Saputra*)

Pada Gambar 2.13 dapat diketahui secara garis besar mengenai sistem operasi manual pada sebuah Panel Kapasitor Bank, masih sama seperti contoh sebelumnya, pada gambar di atas, spesifikasi yang dimiliki oleh Panel Kapasitor Bank yaitu terdiri dari 12 step yang masing-masing step-nya bernilai 50kVAR, sehingga, nilai total kapasitornya adalah 600 kVAR. Namun, dari segi pengoperasiannya, dapat diperhatikan bahwa yang menjadi pusat untuk mengatur banyaknya jumlah step kapasitor yang aktif adalah seorang operator, di mana dalam hal ini, operator-lah yang akan mengatur secara manual berapa banyak step kapasitor yang terhubung ke busbar utama (main busbar) hingga nilai cos phi yang diinginkan tercapai dengan meng-ON atau meng-OFF-kan kontaktor melalui tombol push button ON & OFF di mana dalam hal ini operator harus memperhatikan juga metering cos phi meter yang terdapat pada pintu panel.

Pada sistem Auto-Manual, sistem pada panel dilengkapi dengan Power Factor Regulator (PFR) untuk operasi otomatis dan juga push button ON dan OFF untuk operasi manual. Sistem ini umumnya digunakan apabila ada kekhawatiran jika

sistem pengoperasian secara otomatis mengalami kegagalan atau gangguan sehingga diperlukan pengoperasian secara manual.

### 2.7.1 Komponen Panel Kapasitor Bank

Seperti komponen-komponen panel pada umumnya, komponen panel kapasitor bank yang dijelaskan pada Laporan Akhir ini juga terbagi menjadi dua bagian yaitu komponen utama dan komponen tambahan. Adapun penjelasan mengenai kedua bagian komponen tersebut adalah sebagai berikut:

#### 1. Komponen Utama

Komponen utama dapat diartikan sebagai komponen-komponen yang secara langsung berperan dalam pengoperasian dan fungsi dari suatu panel kapasitor bank, komponen-komponen utama tersebut antara lain:

##### a. Circuit Breaker (CB)

Circuit Breaker adalah suatu peralatan pemutus rangkaian listrik pada suatu sistem tenaga listrik, yang mampu untuk membuka dan menutup rangkaian listrik pada semua kondisi, termasuk arus hubung singkat, sesuai dengan ratingnya.<sup>5</sup> Pada sebuah panel kapasitor bank, Circuit Breaker ini memiliki fungsi utama yaitu untuk mengamankan instalasi kabel dari breaker ke kapasitor bank yang terpasang pada panel tersebut.



Gambar 2.15 Circuit Breaker

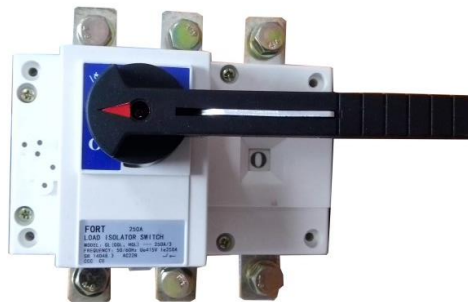
(Sumber: <https://legrand.com.au>)

---

<sup>5</sup> Subianto, *Kemampuan Circuit Breaker dalam Mengatasi Gangguan pada Jaringan Primer di Gardu Induk Bukit Asam*, Jurnal Elektro, Fakultas Teknik Universitas Palembang, Hal. 1

### b. Load Break Switch (LBS)

Load Break Switch merupakan komponen berupa peralatan pemutus dan penyambung yang bersifat On Load, yaitu mampu beroperasi dalam keadaan berbeban. Sehingga, Load Break Switch ini umumnya digunakan pada saat ada pemeliharaan panel.



Gambar 2.16 Load Break Switch

(Sumber: <https://indomakmurmandiri.co.id>)

### c. *Magnetic Contactor* (Kontaktor Magnetik)

*Magnetic Contactor* atau kontaktor magnetik merupakan suatu peralatan listrik yang memiliki prinsip kerja yang hampir sama seperti saklar, yaitu menghubungkan dan memutus aliran listrik dari sumber listrik menuju beban. Namun letak perbedaannya adalah pada sebuah kontaktor magnetik terdapat *coil* (gulungan) yang akan bersifat seperti magnet apabila terdapat tegangan, sehingga kontaktor magnetik dapat menggerakkan kutub yang sebelumnya tersambung menjadi terputus atau sebaliknya secara otomatis.



Gambar 2.17 Magnetic Contactor

(Sumber: <https://legrand.com>)

#### d. Kapasitor Bank

Kapasitor Bank merupakan peralatan listrik yang memiliki sifat kapasitif yaitu mampu menyerap dan menyimpan energi listrik dalam waktu tertentu. Dari sifat ini, kapasitor bank juga dapat dikatakan berperan sebagai penyeimbang sifat induktif dari beban-beban induktif agar nilai faktor daya tetap berada pada nilai yang diinginkan.



Gambar 2.18 Kapasitor Bank

(Sumber: <https://pqmcstore.com>)

#### e. Power Factor Regulator (PFR)

Power Factor Regulator atau yang dikenal sebagai PFR merupakan peralatan pada panel kapasitor bank yang berfungsi untuk mengatur kapasitas

daya reaktif yang dibutuhkan untuk mencapai nilai faktor daya yang diinginkan.



Gambar 2.19 Power Factor Regulator (PFR)

(Sumber: <https://sc04.alicdn.com>)

## 2. Komponen Tambahan

Komponen tambahan yang terdapat pada suatu panel kapasitor bank antara lain adalah sebagai berikut:

### a. Push Button On-Off

Komponen push button on-off pada panel kapasitor bank berfungsi untuk mengoperasikan kontaktor magnetik secara manual apabila pengaturan pengoperasian yang terpasang pada panel tersebut adalah manual.



Gambar 2.20 Push Button

(Sumber: <https://4.bp.blogspot.com>)

### b. Selektor Switch

Pada komponen selektor switch, terdapat pilihan yaitu Auto, Off, dan Manual yang berarti fungsi dari komponen ini yaitu untuk memilih jenis pengoperasian yang digunakan oleh panel kapasitor tersebut.



Gambar 2.21 Selektor Switch Auto-Off-Manual

(Sumber: <https://maxindo-energitama.com>)

### c. Exhaust Fan dan Thermostat

Komponen exhaust fan dan thermostat berfungsi untuk mengatur suhu ruang panel kapasitor bank agar tetap berada pada suhu yang diinginkan. Komponen-komponen ini dibutuhkan pada sebuah panel kapasitor bank karena komponen seperti kapasitor, kontaktor serta kabel penghantar yang terdapat pada panel tersebut memiliki disipasi daya panas yang besar.



Gambar 2.22 Thermostat

(Sumber: <https://4.imimg.com>)