

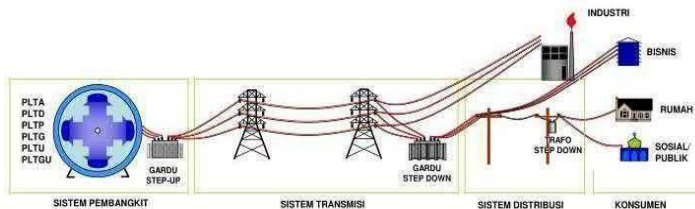
## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1. Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik merupakan gabungan dari komponen peralatan listrik seperti generator, transformator, saluran transmisi, saluran distribusi, dan beban, yang dihubungkan membentuk suatu sistem. Secara garis besar, sistem tenaga listrik terdiri dari tiga bagian yaitu sistem pembangkitan, sistem transmisi dan sistem distribusi. Suatu sistem dapat terdiri dari beberapa sub sistem yang saling terhubung satu sama lain atau bisa disebut *Sistem Interkoneksi*.

Pembangkit listrik adalah tempat dimana dibangkitkannya energi listrik. Peralatan-peralatan utama yang ada pada sisi pembangkit yaitu berupa turbin dan generator. Tegangan yang dihasilkan dari pembangkit biasanya antara 6 sampai 20 KV (Tegangan Menengah). Peralatan utama pada Gardu Induk antara lain yaitu transformator yang berfungsi untuk menaikkan tegangan dari generator menjadi tegangan transmisi yang berkerja pada nilai tegangan 70 KV hingga 150 KV dan 500 KV serta pada Gardu Induk (GI) juga terdapat peralatan pengaman atau sistem proteksi dari Gardu Induk itu sendiri.



Gambar 2.1. Sistem Tenaga Listrik

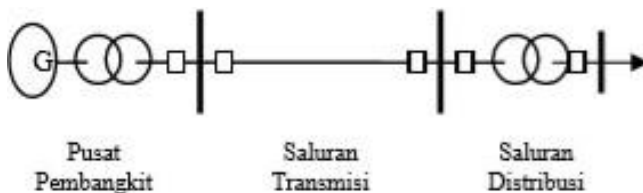
Pembangkit listrik merupakan tempat dibangkitkannya energi listrik, peralatan utama pada pembangkit adalah turbin dan generator. Tegangan yang dihasilkan oleh pembangkit itu biasanya tegangan menengah (TM) yaitu antara 6 sampai 20 KV. Peralatan utama pada Gardu Induk antara lain adalah transformator yang berfungsi menaikkan

tegangan dari generator menjadi tegangan transmisi/ tegangan tinggi (70 – 150 KV dan 500 KV) dan peralatan pengaman serta pengatur.

Jenis pembangkit yaitu PLTA, PLTU, PLTG, PLTN. Saluran transmisi adalah kawat - kawat yang dipasang pada menara atau tiang dan bisa juga melalui kabel tanah. Saluran transmisi berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari pembangkit ke pusat beban melalui saluran tegangan tinggi 150 KV atau saluran tegangan ekstra tinggi 500 KV (Zuhail, 1995: 148). Saluran transmisi mempunyai tegangan tinggi agar dapat meminimalisir rugi- rugi daya di saluran. Contoh saluran transmisi di Indonesia adalah SUTT (Saluran Udara Tegangan Tinggi) dengan tegangan kerja 70-50 kV dan SUTET (Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi) dengan tegangan kerja 500 KV (Gusti, 2014: 1).

Saluran Distribusi merupakan sub sistem yang terdiri dari pusat pengatur distribusi (*Distribution Control Centre*), saluran tegangan menengah (6 KV dan 20 KV) (Gusti, 2014: 1), gardu distribusi tegangan menengah yang terdiri dari panel- panel pengatur tegangan menengah dan trafo sampai dengan panel distribusi tegangan (220 V, 380 V) yang menghasilkan tegangan kerja untuk industry dan konsumen. (Gusti, 2014: 1).

Sistem tenaga listrik sering kali terjadi gangguan yang dapat merusak peralatan dan mengganggu proses penyaluran listrik kepada konsumen. Untuk itu didalam sistem tenaga listrik juga terdapat sistem proteksi yang berfungsi untuk melindungi dan mencegah sistem tenaga listrik dari kerusakan akibat terjadinya gangguan.



Gambar 2.2. Sistem Tenaga Listrik

## 2.2. Gardu Induk

Gardu induk adalah gabungan dalam satu kesatuan antara transformator dan rangkaian *switchgear* melalui sistem control yang

saling mendukung untuk keperluan operasional. Gardu induk bekerja dengan mengubah tegangan dari tegangan pembangkit ke tegangan transmisi dan merubah tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi (David, 2017: 6). Peralatan Gardu Induk diantaranya adalah transformer,



pemutus (PMT), pemisah (PMS), *lightning arrester* (LA), kubikel, peralatan proteksi seperti relai-relai, ruang DC, *cell* 20 KV, dll.

Fungsi dari Gardu Induk atau *sub-station* secara umum dijelaskan sebagai berikut :

- Mentransformasikan tegangan listrik, gardu induk dari tegangan ekstra tinggi ke tegangan tinggi dan dari tegangan tinggi ke tegangan lebih rendah serta dari tegangan tinggi ke tegangan menengah dengan frekuensi tetap.
- Sebagai media pengukuran, pengawasan operasi sistem pengamanan dari sistem tenaga listrik
- Sebagai sarana telekomunikasi, di PLN sendiri menggunakan SCADA (*Supervisoy Control And Data Acquisition*) untuk

Gambar 2.3. Gardu Induk

mengontrol  
suatu proses  
dan

mendapatkan data yang akurat secara *real time*.

- Sebagai pengatur layanan beban ke Gardu Induk lain melalui tegangan tinggi dan ke gardu distribusi, setelah melalui proses

penurunan tegangan melalui penyulang tegangan menengah yang ada di gardu induk.

- Menyalurkan tenaga listrik sesuai kebutuhan tegangan tertentu. Tenaga listrik yang disalurkan dapat berasal dari pembangkit ataupun dari gardu induk lain.

Gardu induk dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis menurut fungsi, pemasangan dan lain – lain. Berikut adalah klasifikasi gardu induk :

- Jenis gardu induk berdasarkan pemasangan peralatan yaitu gardu induk pemasangan luar, gardu induk pemasangan dalam, gardu induk semi- pemasangan luar dan gardu induk pemasangan bawah tanah.
- Jenis gardu induk berdasarkan tegangan yaitu gardu induk transmisi dan gardu induk distribusi. Gardu induk transmisi yang ada di PLN adalah tegangan tinggi 150 KV dan 30 KV.

## **2.3. Kategorisasi Jaringan Tegangan Menengah**

Penghubung antara pusat pembangkit atau gardu induk dengan konsumen dapat didefinisikan sebagai sistem tenaga listrik. Sedangkan sistem yang mendistribusikan tenaga listrik ke konsumen disebut sebagai jaringan distribusi. Dalam mendistribusikan energi listrik ke beban, sistem distribusi harus disesuaikan dengan kondisi pada daerah setempat dengan melihat lokasi beban, faktor-faktor beban, perkembangan mendatang, dan juga sisi ekonomisnya.

### **2.3.1. Berdasarkan Tegangan Pengenal**

Berdasarkan dari tegangan pengenalnya, suatu sistem jaringan distribusi dibagi menjadi dua jenis, antara lain :

- Jaringan Tegangan Menengah (JTM) atau jaringan primer yang berupa Saluran Kabel Tegangan Menengah (SKTM) atau Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM). Jaringan ini adalah penghubung antara jaringan sisi sekunder trafo daya di Gardu Induk dan Gardu Distribusi yang besar tegangannya berkisar 6 KV, 12 KV atau 20 KV.
- Jaringan Tegangan Rendah (JTR) atau jaringan sekunder yang berupa SUTM. Jaringan ini sebagai penghubung antara Gardu

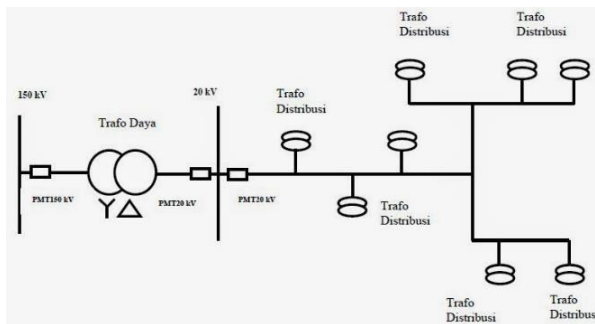
Distribusi (sisi sekunder trafo distribusi) ke konsumen.  
Tegangan sistem yang bekerja yaitu 220 V dan 380 V.

### 2.3.2. Berdasarkan Konfigurasi dari Jaringan Primer

Konfigurasi dari jaringan distribusi primer suatu sistem jaringan distribusi menentukan kualitas pelayanan terkhususnya mengenai kontinuitas dari pelayanan itu sendiri. Berikut jenis-jenis jaringan primer yang sering digunakan :

- **Jaringan Distribusi dengan Pola Radial**

Karakter dari jenis jaringan ini yaitu saluran ini hanya menyalurkan daya dalam satu arah aliran daya. Untuk itu, jaringan ini biasanya dipakai pada daerah yang tingkat kerapatan bebannya rendah. Untuk keuntungan dari jenis jaringan ini yaitu pada sisi teknis dan juga biaya investasi yang rendah dan kekurangannya yaitu bila terjadi gangguan yang dekat dengan sumber, maka semua beban saluran akan ikut padam sampai gangguan diatasi.

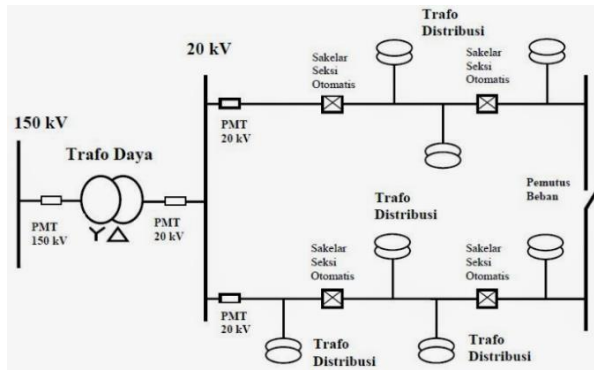


Gambar 2.4. Konfigurasi Pola *Radial*

- **Jaringan Distribusi Pola Loop**

Jaringan jenis ini adalah jaringan yang dimulai dari satu titik rel daya yang berkeliling di daerah beban dan kembali ke titik daya semula. Jenis ini biasanya terdapat dua sumber pengisian yaitu sumber utama dan sumber cadangan. Yangmana bila salah satu sumber terdapat gangguan, maka dapat diganti dengan sumber cadangan. Jaringan dengan pola

ini sering dipakai pada sistem yang melayani beban dengan kebutuhan kontinuitas pelayanan yang baik karena jenis jaringan ini lebih baik dibandingkan pola radial.

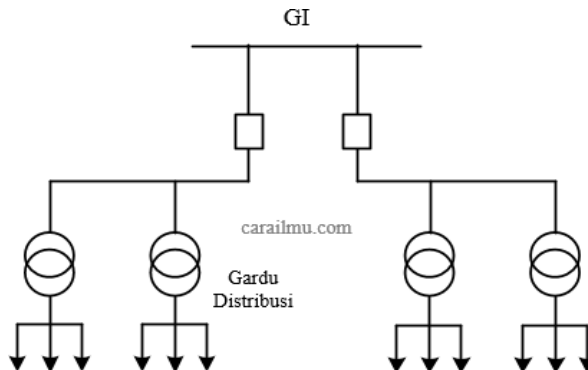


Gambar 2.5. Konfigurasi Pola Loop

- **Jaringan Distribusi Pola Grid**

Pola ini mempunyai mempunyai lebih dari satu rel daya rel-rel tersebut dihubungkan oleh saluran penghubung. Setiap gardu distribusi dapat menerima atau mengirim daya dari atau ke rel lain. Keuntungan jenis jaringan ini yaitu :

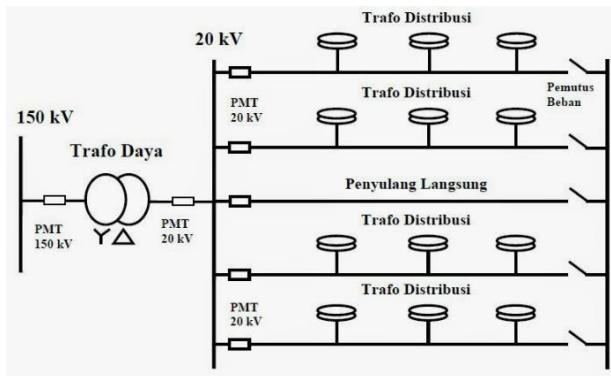
- a.) Kelangsungan pelayanan lebih baik daripada pola radial atau pola loop.
- b.) Fleksibel dan mudah diadaptasi dengan perkembangan beban.
- c.) Sangat sesuai dengan daerah yang kerapatan beban tinggi.



Gambar 2.6. Konfigurasi Pola Grid

- **Jaringan Distribusi Pola Spindle**

Jaringan pola spindel merupakan pengembangan dari pola radial serta pola loop. Saluran yang keluar dari gardu induk akan diarahkan menuju suatu titik yaitu gardu hubung (GH). Kemudian antara Gardu Induk (GI) dan Gardu Hubung (GH) akan dihubungkan dengan saluran yang disebut *Express Feeder*. Sistem distribusi ini terdapat disepanjang saluran kerja dan terhubung secara seri. Saluran kerja yang masuk ke gardu dihubungkan oleh saklar pemisah, sedangkan saluran yang keluar dari gardu dihubungkan oleh sebuah saklar beban. Jadi sistem ini bila dalam kondisi normal akan bekerja selayaknya radial dan bila dalam keadaan darurat atau tergangguan, sistem akan bekerja seperti *pola loop* melalui saluran cadangan dan GH.



Gambar 2.7 Konfigurasi Pola *Spindle*

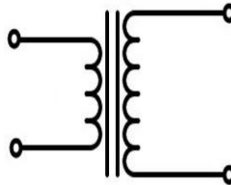
## 2.4. Transformator

Transformator atau Trafo adalah jenis mesin listrik statis yang bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik. Secara umum transformator menurut kegunaannya dibagi menjadi beberapa bagian diantaranya :

- **Trafo Daya (Step Up)**

Trafo Daya adalah jenis trafo yang digunakan untuk meningkatkan nilai tegangan listrik dari generator listrik.

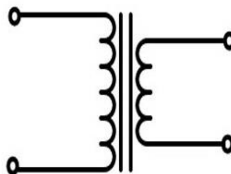
Tenaga listrik yang diperbesar nilainya kemudian disalurkan ke saluran transmisi tenaga listrik. Selain itu trafo daya juga berfungsi menyalurkan tenaga listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah.



Gambar 2.8. Trafo Step Up

- **Trafo Distribusi (Step Down)**

Trafo Distribusi berfungsi untuk menurunkan tegangan transmisi menengah 20 kV ke tegangan distribusi 220/380 V sehingga dapat digunakan oleh pelanggan. Fungsi dari Trafo Distribusi yaitu untuk merubah tegangan jaringan distribusi primer menjadi tegangan jaringan distribusi sekunder atau tegangan yang siap dipakai langsung oleh konsumen. Jumlah beban dan luasnya daerah yang akan dilayani menjadi parameter untuk menentukan kapasitas transformator yang akan digunakan.



Gambar 2.9. Trafo Step Down



## 2.5. Studi Aliran Daya

Daya listrik akan selalu menuju ke beban sehingga dikatakan aliran daya. Studi aliran daya digunakan untuk menentukan nilai tegangan, nilai arus, serta nilai daya aktif dan daya reaktif di setiap titik atau bus dalam kondisi operasi normal. Selain digunakan untuk merencanakan pengembangan sistem masa mendatang, juga dapat digunakan untuk mengevaluasi kondisi sistem kelistrikan saat ini.

Analisis aliran daya merupakan perhitungan serta penentu nilai tegangan, arus, daya aktif, daya reaktif, faktor daya yang terdapat pada setiap bus suatu sistem tenaga listrik. Perhitungan tersebut dilakukan dalam kondisi operasi normal, baik yang sedang berjalan maupun yang akan berkembang di masa yang akan mendatang. Dengan analisis aliran daya listrik, efek-efek interkoneksi dengan sistem tenaga lain, sistem pembangkit yang baru, beban yang baru, dan saluran yang baru dapat diketahui nilainya. Selain itu, studi aliran daya juga dapat mengetahui besar vektor tegangan pada tiap bus serta besar aliran daya pada tiap cabang suatu jaringan untuk suatu kondisi beban tertentu dalam keadaan operasi normal. Hasil perhitungan itu dapat digunakan untuk mengkaji berbagai persoalan yang berhubungan dengan jaringan tersebut, yangmana meliputi berbagai hal yang berkaitan dengan operasi jaringan yaitu, Pengaturan tegangan (*voltage regulation*), perbaikan faktor daya (*power factor*) jaringan, kapasitas kawat penghantar, termasuk rugi-rugi daya. Perluasan atau pengembangan jaringan, yaitu menentukan lokasi yang tepat untuk penambahan bus beban baru dan unit pembangkitan atau gardu induk baru. Perencanaan jaringan, yaitu kondisi jaringan yang diinginkan pada masa mendatang untuk melayani pertumbuhan beban karena kenaikan terhadap kebutuhan tenaga listrik.

Untuk melakukan perhitungan aliran daya, diperlukan Referensi data antara lain :

- Data Saluran  
Data yang diperoleh dari diagram segaris (*single line diagram*)
- Data Bus  
Data bus yang diperlukan adalah besaran daya, tegangan, arus, sudut fasa
- Data Spesifikasi

Data dari rating setiap komponen, tipe komponen, merek komponen, nilai frekuensi, serta data asli dari komponen itu sendiri.

## 2.6. Klasifikasi Aliran Daya

Menurut Sigit (2015 : 40) dalam penelitiannya, klasifikasi sistem aliran daya dibagi dalam beberapa bagian, antara lain :

- **Representasi Transformator**

Transformator berfungsi untuk menurunkan tegangan primer 20kV (dari PLN) menjadi tegangan sekunder 380/220 V. Transformator merupakan komponen yang sangat penting dalam sistem tenaga listrik. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga listrik memungkinkan pemilihan tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh. Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi :

- Transformator Daya
- Transformator Distribusi
- Transformator Pengukuran (Arus dan Tegangan)

- **Representasi Generator**

Generator listrik adalah sebuah alat yang memproduksi energi listrik dari sumber energi mekanik, biasanya dengan menggunakan induksi elektromagnetik. Proses ini dikenal sebagai pembangkit listrik. Meskipun generator dan motor punya banyak kesamaan, tapi motor adalah alat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik.

- **Representasi Bus (busbar)**

Busbar adalah suatu penghantar impedansi rendah dimana beberapa sirkuit listrik dapat dihubungkan secara terpisah dengan setiap keluaran tertuju ke dasar kerangka tiga busbar fasa dan satu netral. Busbar pada dasarnya merupakan rel penghubung dua atau lebih rangkaian listrik. Busbar dapat disebut ril penghubung rangkaian. Semua generator atau sumber listrik dalam pusat tenaga listrik disalurkan melalui bus

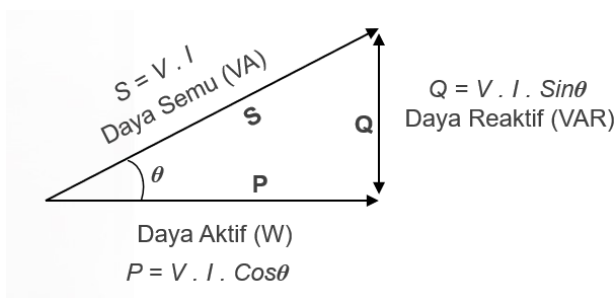
atau ke ril pusat listrik. Dalam sistem tenaga listrik terdapat jenis-jenis bus yaitu :

- **Bus beban**  
Setiap bus yang tidak memiliki generator disebut dengan *load bus*. Pada bus ini daya aktif dan daya reaktif diketahui sehingga sering disebut bus PQ. Daya aktif dan daya reaktif yang disuplai kedalam sistem tenaga listrik adalah mempunyai nilai positif, sementara daya aktif dan daya reaktif yang dikonsumsi bernilai negative.
- **Bus generator**  
Bus generator dapat disebut juga dengan *voltage controlled bus* karena tegangan pada bus selalu dibuat konstan. Setiap bus generator memiliki daya Mega Watt yang dapat diatur melalui *prime mover* (penggerak mula dan besaran tegangan yang dapat diatur melalui arus eksitasi generator sehingga bus ini sering juga disebut PV bus. Besaran yang dapat dihitung dari bus ini adalah P dan Q.
- **Bus berayun (*swing bus atau slack bus*)**  
Suatu sistem tenaga biasanya didesain untuk memiliki bus ini yang dijadikan sebagai referensi. Besaran yang dapat diketahui dari bus ini adalah tegangan dan sudut beban. Sedangkan besaran yang dapat dihitung dari bus ini adalah daya aktif dan daya reaktif.
- **Bus tunggal (*Single bus*)**  
Bus tunggal adalah susunan bus yang paling sederhana dan paling murah. Keandalan serta fleksibilitas operasinya sangat terbatas. Apabila ada kerusakan pada bus ini maka seluruh pusat listrik harus dipadamkan untuk dapat melakukan perbaikan. Oleh sebab itu bus tunggal sebaiknya hanya digunakan pada pusat listrik yang tidak terlalu vital peranannya dalam sistem jaringan kelistrikan.
- **Bus ganda (*multiple bus*)**  
*Multiple bus* adalah suatu bus yang terdiri dari dua, tiga atau empat bus dalam saluran.

- **Bus gelang (*ring bus*)**  
*Ring bus* hanya memerlukan ruangan yang kecil dan baik untuk pemutusan sebagai bagian dari pelayanan dan pemeriksaan pemutus beban. Sistem ini jarang dipakai karena mempunyai kelemahan dari segi operasi yakni bus ini tidak begitu leluasa seperti sistem dua bus. Lagi pula rangkaian kontrol dan pengamannya menjadi lebih kompleks dan kapasitas arus dari alat-alat yang terpasang seri harus lebih besar.
- **Representasi Beban**  
 Jenis beban terbagi menjadi dua jenis, yaitu :
    - **Static Load (Beban statis)**  
 Beban statis dalam pemakaiannya selalu stabil dan tidak membutuhkan daya yang besar saat awalan atau mulai mengoperasikannya. Contoh dari beban statis adalah bebann penerangan atau lampu.
    - **Dinamic Load (Beban dinamis)**  
*Dinamic load* adalah beban yang membutuhkan daya yangbesar dalam pengoperasiannya. Biasanya beban ini merupakan beban motor (induksi, sinkron, atau serempak). Motor induksi merupakan motor arus bolak balik (AC) yang paling banyak digunakan.

## 2.7. Konsep Aliran Daya

Dalam persamaan maupun perhitungan daya, hal pokok yang harus dipahami adalah dengan memahami konsep segitiga daya. (Stevenson, 1990) Ilustrasi konsep segitiga daya ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2.10. Segitiga Daya

Konsep dasar aliran daya listrik sangat penting untuk membantu perhitungan dalam analisis aliran daya listrik. Dalam suatu analisis sistem tenaga listrik khususnya pada analisis aliran daya selalu mengacu pada konsep-konsep dasar aliran daya sebagai berikut :

- **Daya Listrik Pada Rangkaian 1 Fasa**

Daya yang diserap oleh suatu beban pada setiap saat sama dengan jatuh tegangan (*voltage drop*) pada beban tersebut dalam volt dikalikan dengan arus yang mengalir lewat beban dalam ampere, jika terminal-terminal beban digambarkan sebagai a dan n serta jika tegangan dan arus dinyatakan dengan : dan

$$V_{an} = V_{max} \cos \omega t \text{ dan } I_{an} = I_{max} \cos(\omega t - \theta)$$

$\theta$  = Positif (+), untuk *Lagging*

$\theta$  = Negatif (-), untuk *Leading*

Maka Daya Sesaat (*S*)

$$S = V_{max} \cdot I_{max} \cos(\omega t - \theta)$$

$$S = V \cdot I$$

$$= \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{2} \cos \theta (1 + \cos 2\omega t) + \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{2} \sin \theta \sin 2\omega t$$

Atau,

$$S = |V||I| \cos \theta (1 + \cos 2\omega t) + |V||I| \sin \theta \sin 2\omega t$$

Keterangan :

$|V|$  dan  $|I|$  : adalah harga efektif dari tegangan dan arus

$|V||I| \cos \theta (1 + \cos 2\omega t)$ : selalu positif dengan harga rata-rata :

$$P = |V||I|\cos\theta$$

$|V||I|\sin\theta 2\omega t$  : mempunyai harga positif dan negatif dengan harga rata-rata nol.

$$Q = |V||I|\sin\theta$$

Keterangan :

P = Daya Nyata atau Daya Aktif (Watt)

Q = Daya Reaktif (Positif untuk beban induktif dan Negatif untuk beban kapasitif)

$\cos\theta$  = Faktor Daya

- **Daya Listrik Pada Rangkaian 3 Fasa**

Daya yang diberikan oleh generator tiga fasa atau yang diserap oleh beban tiga fasa adalah jumlah daya dari tiap-tiap fasa. Pada sistem tiga fasa seimbang berlaku rumus-rumus :

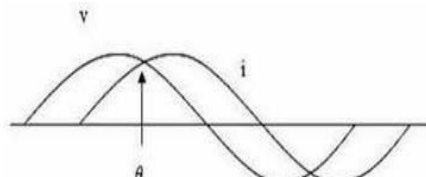
$$P = 3 \cdot V \cdot I \cdot \cos\theta$$

$$Q = 3 \cdot V \cdot I \cdot \sin\theta$$

Keterangan :

$\theta$  : Sudut antara arus fasa (lagging) dan tegangan fasa hubungan yang terjadi pada rangkaian sistem tiga fasa umumnya ada dua hubungan yaitu hubungan bintang (Y) dan segitiga ( $\Delta$ ).

- **Bentuk Kompleks dari Besaran Tegangan dan Arus Listrik**

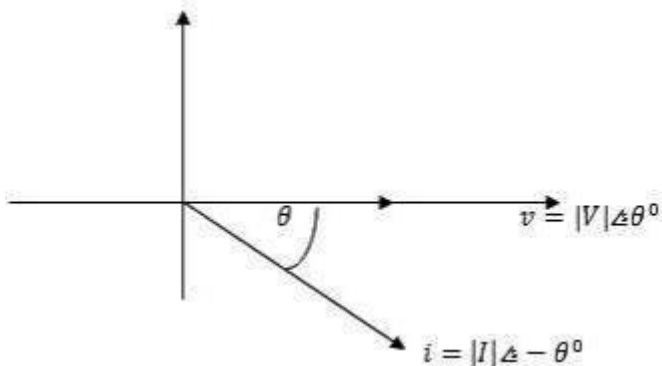


Gambar 2.11. Bentuk Kompleks dari Besaran Tegangan dan Arus Listrik

V dan I mempunyai bentuk gelombang yang sama (sinus) dengan frekuensi yang sama pula. Tetapi yang membedakan hanya magnitude (harge efektif) dan satu fasanya. Dalam bentuk kompleks besaran dari arus dan tegangan adalah :

$$\theta = |\theta| \angle \theta^\circ$$

$$\theta = |\theta| \angle -\theta^\circ \text{ (lagging)}$$



Gambar 2.12. Diagram Fasor antara Tegangan dan Arus

- **Faktor Daya**

Daya rata-rata bukan lagi fungsi rms (root mean square) dari arus dan tegangan saja, tetapi ada unsur perbedaan sudut phasa arus dan tegangan dari persamaan se-fasa dan  $\varphi = 0^\circ$ , maka persamaan daya menjadi :

$$P = V \cdot I \cdot \cos\varphi$$

$$Q = V \cdot I \cdot \sin\varphi$$

$$S = V \cdot I$$

$$\varphi = 60^\circ ; \text{ maka } P = V \cdot I \cos(60^\circ) = 0,3 \cdot V \cdot I$$

$$\varphi = 60^\circ ; \text{ maka } P = V \cdot I \cos(90^\circ) = 0$$

Arus yang mengalir pada sebuah tahanan akan menimbulkan tegangan pada tahanan tersebut, yaitu sebesar :

$$P = V_r \cdot I_m \cdot \cos\varphi$$

Keterangan :

P	: Daya Aktif (KW)
Q	: Daya Reaktif (KVar)
S	: Daya Semu (KVA)
V <sub>r</sub>	: Tegangan (KVolt)
I <sub>m</sub>	: Arus Maksimal (Ampere)
Cos φ	: Faktor Daya

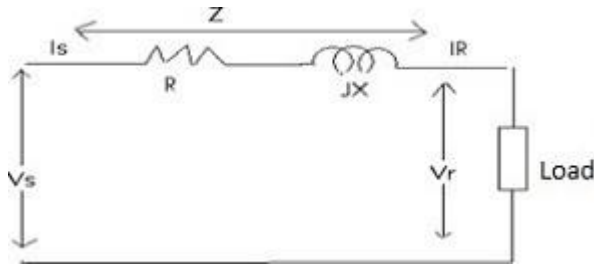
$$\text{Faktor Daya} = \frac{P}{V \cdot I} = \frac{V \cdot I \cdot \cos\theta}{V \cdot I} \cos\theta$$

$\theta$  adalah sudut faktor daya, sudut ini menentukan kondisi terdahulu atau tertinggal tegangan terhadap arus. Bila sebuah beban diberikan tegangan, impedansi dari beban tersebut maka dapat menentukan besar arus dan sudut fasa yang mengalir pada beban tersebut. Faktor daya merupakan petunjuk yang menyatakan sifat suatu beban. Perbandingan antara daya aktif (P) dan daya nyata (S) inilah yang dikenal dengan istilah faktor daya atau *power factor* (PF). Apabila dilihat pada segitiga daya, perbandingan daya aktif (P) dan daya nyata (S) merupakan nilai  $\cos \varphi$ . Oleh karena hal ini, istilah faktor daya juga sering dikenal dengan sebutan nilai  $\cos\theta$  .



- **Jatuh Tegangan**

Tegangan adalah ukuran gaya listrik antara dua titik yang menggerakkan arus. Dan, jatuh tegangan adalah besarnya rugi tegangan yang terjadi melalui seluruh atau sebagian rangkaian karena impedansi. Terjadinya jatuh tegangan bisa dicegah ataupun ditiadakan. Jatuh tegangan dalam rangkaian listrik biasanya terjadi ketika arus melewati kabel. Ini terkait dengan resistansi atau impedansi terhadap aliran arus dengan elemen pasif di sirkuit termasuk kabel, kontak, dan konektor yang mempengaruhi tingkat penyusutan tegangan. Semakin panjang rangkaian atau panjang kabel maka tegangan yang hilang semakin besar. Ada dua cara untuk mengetahui besaran penyusutan atau penurunan tegangan yaitu dengan cara



Gambar 2.13. Pengaruh Resistansi dan Reaktansi terhadap jatuh tegangan

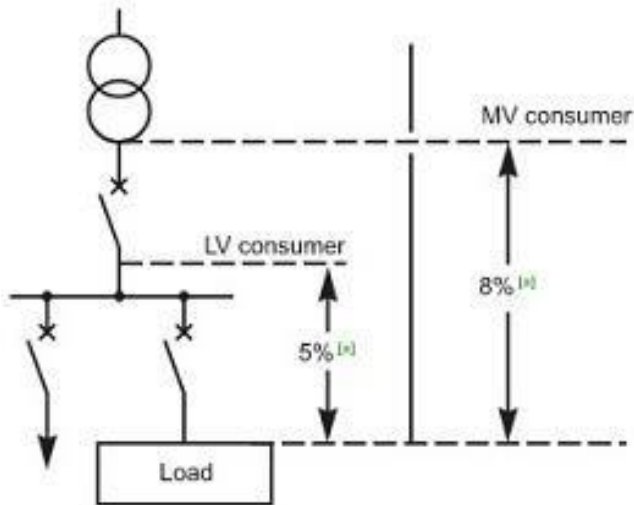
perhitungan matematis dan pengukuran langsung. Berikut adalah rumus dasar jatuh tegangan untuk sistem 3 fasa :

$$\%V_d = \frac{V_s - V_r}{V_r} 100\%$$

Dimana :

$V_d$  = Jatuh Tegangan (Volt)

$V_s$  = Tegangan diujung kirim (sending-end) (Volt)  
 $V_r$  = Tegangan diujung terima (received-end) (Volt)



Gambar 2.14. Persentase Jatuh Tegangan

Persentase jatuh tegangan maksimum yang diijinkan bervariasi dari satu negara ke negara lain. Nilai tipikal persentase *drop* tegangan yang diizinkan untuk instalasi tegangan rendah (*low voltage*) diberikan di bawah ini :

- Standar NFPA 70 – NEC 2017

Persentase drop tegangan yang diizinkan berdasarkan standar NFPA 70 – NEC 2017 :

- o Sirkuit cabang – Jatuh tegangan maksimum 3%. Penurunan tegangan total maksimum saat menggabungkan sirkuit cabang dan feeder tidak boleh melebihi 5% [210-19 (a) FPN No. 4].

- *Feeder* – Drop tegangan maksimum 3%. Penurunan total maksimum untuk kombinasi sirkuit cabang dan feeder tidak boleh melebihi 5% [215-2 (d) FPN No. 2].
- *Services* – Tidak ada penurunan tegangan yang disarankan untuk konduktor servis di NEC.
- *Phase converters* – Tidak boleh melebihi 3% [455-6 (a) FPN].
- *Recreational vehicle parks* – Jatuh tegangan maksimum untuk konduktor rangkaian cabang tidak boleh melebihi 3%, sedangkan jatuh tegangan kombinasi dari rangkaian cabang dan feeder tidak boleh melebihi 5% dari sumber tegangan [210-19 (a) FPN No. 4 dan 551 -73 (d) FPN].

