



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik¹

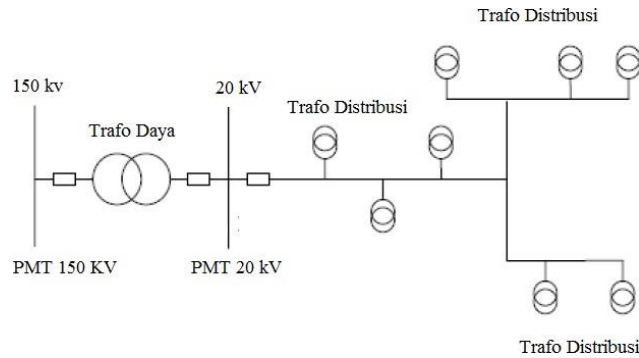
Secara umum sistem tenaga Listrik terdiri atas sistem pembangkit, transmisi dan distribusi. Sistem distribusi adalah sistem yang berfungsi mendistribusikan tenaga listrik kepada konsumen. Sistem distribusi tegangan menengah mempunyaitegangan kerja di atas 1 KV dan setinggi-tingginya 35 KV. Jaringan distribusi tegangan menengah berawal dari Gardu Induk, pada beberapa tempat berawal dari pembangkit listrik. Bentuk jaringan dapat berbentuk radial atau tertutup (*radial open loop*).

Jaringan Pada Sistem Distribusi tegangan menengah (Primer 20kV) dapat dikelompokkan menjadi lima model, yaitu Jaringan Radial, Jaringan hantaran penghubung (*Tie Line*), Jaringan Lingkaran (Loop), Jaringan Spindel dan Sistem Gugus atau Kluster.

2.1.1 Sistem radial

Merupakan jaringan sistem distribusi primer yang sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini jaringan hanya mempunyai satu pasokan tenaga listrik dan terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa gardu distribusi secara radial.

¹ Ratno Wibowo, Winayu, dkk. 2010. *Buku I Kriteria Disain Enjinering Konstruksi Jaringan Distribusi Tenaga Listrik*. Jakarta Selatan: PT.PLN (Persero)

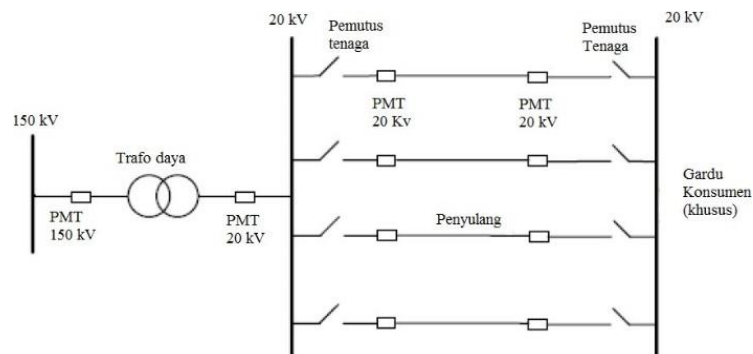


Gambar 2.1 Skema Saluran Sistem Radial

Namun keandalan sistem ini lebih rendah dibanding sistem lainnya. Kurangnya keandalan disebabkan karena hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi, sehingga apabila jalur utama tersebut mengalami gangguan, maka seluruh gardu akan ikut padam. Kerugian lain yaitu mutu tegangan pada gardu distribusi yang paling ujung kurang baik, hal ini dikarenakan jatuh tegangan terbesar ada di ujung saluran.

2.1.2 Jaringan hantaran penghubung (Tie Line)

Sistem distribusi Tie Line seperti Gambar 2.2 digunakan untuk pelanggan penting yang tidak boleh padam (Bandar Udara, Rumah Sakit, dan lain-lain.)

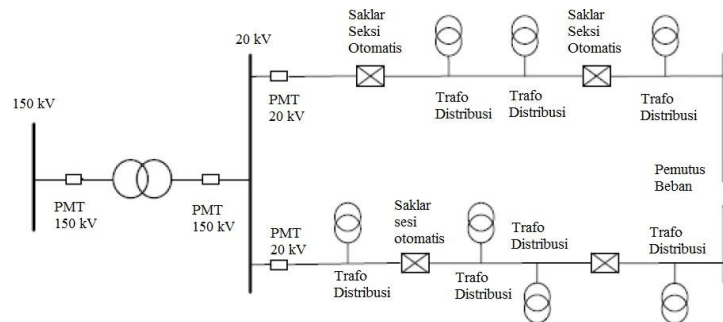


Gambar 2.2 Skema Saluran Tie Line



2.1.3 Sistem loop

Tipe ini merupakan jaringan distribusi primer, gabungan dari dua tipe jaringan radial dimana ujung kedua jaringan dipasang PMT. Pada keadaan normal tipe ini bekerja secara radial dan pada saat terjadi gangguan PMT dapat dioperasikan sehingga gangguan dapat terlokalisasi. Tipe ini lebih handal dalam penyaluran tenaga listrik dibandingkan tipe radial namun biaya investasi lebih mahal.

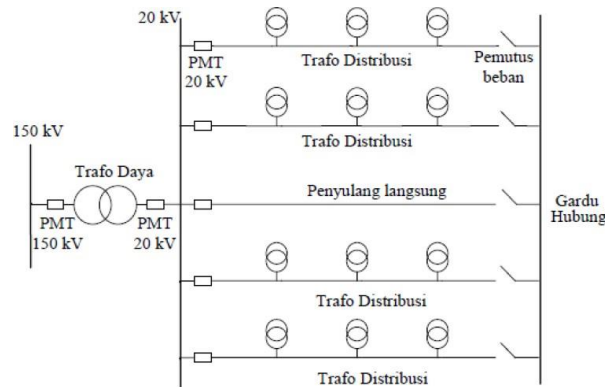


Gambar 2.3 Skema Saluran Sistem Loop

2.1.4 Sistem spindel

Sistem spindle menggunakan 2 jenis penyulang yaitu penyulang cadangan (*standby* atau *express feeder*) dan penyulang operasi (*working feeder*). Penyulang cadangan tidak dibebani dan berfungsi sebagai *back-up supply* jika terjadi gangguan pada penyulang operasi, sehingga sistem ini tergolong sistem yang handal. dalam pembangunannya. Sistem ini sudah memperhitungkan perkembangan beban atau penambahan jumlah konsumen sampai beberapa tahun ke depan, sehingga dapat digunakan dalam waktu yang cukup lama, hanya saja investasi pembangunannya juga lebih besar. proteksinya masih sederhana, mirip dengan sistem loop. pada bagian tengah penyulang biasanya dipasang gardu tengah yang berfungsi sebagai titik manufer ketika terjadi gangguan pada jaringan tersebut.

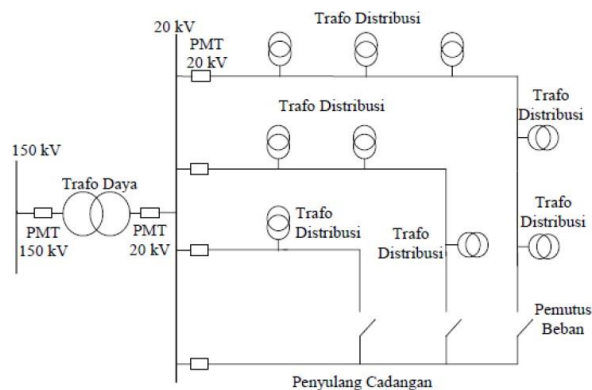
Untuk konfigurasi 2 penyulang, maka faktor pembebanan hanya 50%. Berdasarkan konsep *spindle* jumlah penyulang pada 1 spindle adalah 6 penyulang operasi dan 1 penyulang cadangan sehingga faktor pembebanan konfigurasi spindle penuh adalah 85%. Ujung-ujung penyulang berakhir pada gardu yang disebut Gardu Hubung dengan kondisi penyulang operasi “NO” (*Normally Open*), kecuali penyulang cadangan dengan kondisi “NC” (*Normally Close*).



Gambar 2.4 Skema Saluran Sistem Spindel

2.1.5 Sistem cluster

Sistem ini mirip dengan sistem spindle. bedanya pada sistem cluster tidak digunakan gardu hubung atau gardu switching, sehingga express feeder dari gardu hubung ke tiap jaringan. express feeder ini dapat berguna sebagai titik





manufer ketika terjadi gangguan pada salah satu bagian Jaringan

2.2 Manuver Beban²

Manuver atau memanipulasi jaringan distribusi adalah serangkaian kegiatan membuat modifikasi terhadap operasi normal dari jaringan akibat dari adanya gangguan atau pekerjaan jaringan yang membutuhkan pemadaman tenaga listrik, sehingga dapat mengurangi daerah pemadaman dan agar tetap tercapai kondisi penyaluran tenaga listrik yang semaksimal mungkin. Kegiatan yang dilakukan dalam manuver jaringan antara lain:

1. Memisahkan bagian-bagian jaringan yang semula terhubung dalam keadaan bertegangan ataupun tidak bertegangan dalam kondisi normalnya.
2. Menghubungkan bagian-bagian jaringan yang semula terpisah dalam keadaan bertegangan ataupun tidak bertegangan dalam kondisi normalnya.

Tujuan dan manfaat dari manuver pasokan daya listrik adalah untuk:

1. Mengurangi daerah pemadaman listrik pada saat terjadi gangguan atau pekerjaan jaringan.
2. Menghindari pemadaman listrik untuk pelanggan dengan kategori beban kritis.
3. Memaksimalkan penyaluran tenaga listrik.

Jenis-Jenis Manuver Beban Antar Penyulang

1. Manuver secara Manual

Bertujuan untuk merubah aliran distribusi listrik antara penyulang utama dan

² Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) 41-8. 1981. *Hantaran Aluminium Campuran*. Jakarta : Departemen Pertambangan dan Energi.



penyulang cadangan dilakukan secara manual dimana petugas/operator langsung menuju gardu hubung atau tempat yang akan dilakukannya manuver.

2. Manuver Beban Secara Otomatis

Bertujuan untuk merubah aliran distribusi listrik antara penyulang (prioritas 1) dan penyulang (prioritas 2) yang dilakukan secara otomatis menggunakan ATS (Automatic Transfer Switch), apabila terjadi gangguan pada penyulang (prioritas 1) maka ATS akan langsung bekerja memindahkan aliran listrik pada penyulang (prioritas 2).

a. Prosedur pengoperasian Jaringan Distribusi pada kondisi normal, gangguan, darurat dan recovery

a) Persiapan Awal

1. Memeriksa jadwal rencana kerja
2. Koordinasi dengan team pemeliharaan, Unit terkait (Piket APJ/UPJ, Piket UPT, Dispatcher Region-2, dll.) dan Operator Gardu Induk.
3. Memeriksa kesiapan manuver sistem SCADA
4. Memeriksa kondisi sistem / jaringan
5. Memeriksa tegangan trafo GI
6. Memeriksa pembebanan (trafo GI dan penyulang)

b) Pelaksanaan Manuver (Kondisi Normal)

1. Melaksanakan langkah-langkah manuver sesuai kebutuhan dan SOP yang berlaku.
2. Instruksi merubah posisi Switch Local Remote (SLR) pada posisi lokal
3. Melakukan tagging order di titik remote kontrol (GI, GH, MP)



4. Mencatat Langkah-langkah manuver yang dilakukan (jam, uraian manuver beban dan lain lain)
- c) Pelaksanaan Manuver (Penormalan Tegangan)
1. Instruksi merubah posisi Switch Local Remote (SLR) pada posisi remote
 2. Melakukan remove tagging pada titik remote (di GI, GH, GT).
 3. Melaksanakan langkah-langkah manuver sesuai kebutuhan dan SOP yang berlaku
 4. Mencatat langkah-langkah manuver yang telah dilakukan (jam, uraian manuver, beban dan lain-lain)
- d) Pelaksanaan Manuver (Menerima Informasi Tegangan)
1. Mengkoordinasikan langkah-langka manuver yang akan dilakukan dengan pihak terkait (Piket APJ/UPJ, Piket UPT, Dispatcher Region-2, Operator GI,dll)
 2. Melaksanakan langkah-langkah manuver sesuai kebutuhan dan SOP yang berlaku.
 3. Mencatat langkah-langkah manuver yang dilakukan.
 4. Menginformasikan langkah-langkah manuver yang telah dilakukan kepada pihak terkait
- e) Penormalan Tegangan
1. Melaksanakan langkah-langkah manuver sesuai kebutuhan dan SOP yang berlaku
 2. Instruksi merubah posisi SLR pada posisi remote
 3. Melakukan remove tagging pada titik remote (di GI, GH, GT).



4. Mencatat langkah-langkah manuver yang telah dilakukan (jam, uraian manuver, beban dan lain-lain)
- f) Persiapan Akhir
 1. Menyampaikan Informasi Manuver kepada Pengawas manuver, Pengawas Pekerjaan, dan pihak terkait (UPJ/UPJ, UPT, Region-2, dll.)
 2. Mengarsipkan lembar manuver.
 3. Membuat laporan atau mengisi formulir LMJ (Laporan Manuver Jaringan/sistem)

2.3 Susut (Losses)³

2.3.1 Susut Pada Sistem Distribusi

Susut energi adalah suatu kondisi atau keadaan dimana jumlah energi yang disalurkan tidak sama dengan energi yang diterima pada sisi penerimaan.

2.3.2 Susut energi listrik

Energi listrik diproduksi di pembangkit listrik kemudian ditransmisikan dan didistribusikan ke pelanggan. Pada proses penyaluran dan pendistribusian tenaga listrik sampai ke pelanggan tersebut terdapat kehilangan energi listrik yang disebabkan oleh :

1. Sifat elektrik dari peralatan listrik seperti jaringan transmisi, transformator pada gardu-gardu induk, jaringan distribusi pada tegangan menengah, transformator distribusi dan jaringan distribusi tegangan rendah yang apabila

³ Ariyanti, Restie Fauzie. (2016). Identifikasi Penyebab Susut Energi Listrik Pt Pln (Persero) Area Semarang Menggunakan Metode Failure Mode & Effect Analysis (FMEA). *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, Vol. 2 No. 1.



dialiri arus listrik

akan menyerap tenaga listrik berbanding lurus dengan waktu. Kehilangan energi listrik pada jaringandan transformator tersebutdiklasifikasi-kan sebagai susut teknis.

2. Pemakaian energi listrik secara ilegal baik oleh pelanggan maupun non pelanggan. Kehilangan tenaga listrik karena pemakaian ilegal tersebut diklasifikasikan sebagai susut nonteknis.

2.3.3 Susut teknis

Susut teknis yaitu kehilangan tenaga listrik pada jaringan dan transformator. Sifat elektrik dari peralatan-peralatan listrik pada jaringan transmisi, transformator pada gardu induk, jaringan tegangan menengah, transformator distribusi, dan jaringan tegangan rendah, yang apabiladialiri arus listrik akan menyerap energilistrik berbanding lurus dengan waktu.

Kontribusi susut teknis pada sistem distribusi tegangan rendah kurang lebih 80% dari susut teknis pada seluruh susut distribusi. Oleh sebab itu upaya penekanan susut teknis yang paling diutamakan adalah memperbaiki

2.3.4 Susut non teknis

Susut non teknis adalah kehilangan energi yang disebabkan oleh pemakaian tenaga listrik yang tidak sah atau ilegal. Susut non teknis ini pada umumnya terjadiakibat perilaku negatif para pelanggan atau oknum-oknum yang tidak bertanggung jawab yang ingin memperoleh keuntungan secara tidak wajar. Kegiatan pencurian energi listrik yang biasanya dilakukan oleh pelanggan adalah dengan cara memanipulasi alat pembatas dan pengukur (APP). Untuk non pelanggan biasanya dengan cara mencuri listrik padatiang JTR.

Penyebab Terjadinya Susut

1. Terjadi susut pada saluran (penghantar)
2. Kesalahan pada pengukuran



- a. Kesalahan pembacaan stan kWh meter
 - b. Kesalahan pada rasio transformator ukur (*Current Transformator* dan *Potential Transformator*)
3. Beban tidak seimbang dan arus mengalir pada kawat netral
- Adanya arus yang mengalir pada kawat netral, idealnya arus yang mengalir sepanjang kawat netral adalah nol. Tetapi karena pengaruh dari beban yang tidak seimbang maka kawat netral akan dialiri arus yang sebagian berubah menjadi panas yang didisipasikan ke lingkungan sekitar sebagai *losses*. Besarnya arus yang mengalir sepanjang kawat netral akan menyebabkan susut daya di sepanjang kawat netral. Walaupun terdapat pentanahan netral, terkadang tidak mampu membuang arus netral yang cukup besar akibat beban yang tidak seimbang.
4. Kontak pada sambungan tidak baik (*loss contact*)
- Sambungan tidak baik juga dapat mengakibatkan adanya *loss contact*. Sambungan antar kawat tidak rapat sehingga terdapat celah udara yang seharusnya kedap udara menyebabkan alat cepat rusak. Penggunaan tenaga listrik yang tidak terukur seperti pencurian listrik dan kebocoran listrik
5. Variasi tegangan pelayanan Tegangan standar pada system tegangan rendah :
- Satu fasa : 220 V Tiga fasa : 220/380 V
- Toleransi tegangan pelayanan yaitu maksimal +5% dan minimal 10% (untuk JTR 198 sampai dengan 231 V sedangkan untuk JTM 18 sampai dengan 21 kV).
6. Luas penampang terlalu kecil (penampang tidak sesuai dengan beban), semakin kecil kawat semakin besar susutnya.
7. Panjang jaringan
- Semakin panjang jaringan menyebabkan arus yang besar sehingga



tegangan turun dan energi listrik yang mengalir banyak yang hilang.

8. Umur alat

Umur alat yang terlalu tua dapat menurunkan kinerja alat tersebut.

9. Arus yang terlalu besar dapat menimbulkan panas sehingga dapat merusak alat dan terjadinya *losses*.

10. Terlalu banyak percabangan saluran SR (Sambungan Rumah)

Tarikan SR maksimal 7 untuk sambungan pelayanan.

11. Bila arus listrik yang mengalir ke fasa R, S, dan T tidak terjadi arus akan mengalir ke tanah sehingga menyebabkan adanya hambatan di tanah yang besar (maksimal 5Ω).

12. Faktor daya ($\text{Cos } \phi$) yang rendah Faktor daya yang rendah

2.4 ETAP 19.0.1⁴

2.4.1 Pengertian

Etap merupakan software yang digunakan untuk melakukan desain/perencanaan sistem kelistrikan yang ada di suatu Industri atau Wilayah. Software ini sangat bermanfaat untuk melakukan berbagai analisa yang sangat membantu untuk mempermudah pekerjaan. Seorang electrical power engineer wajib untuk bisa memakai software etap mulai dari mendisain Singel Line Diagram (SLD) sampai menganalisa sistem secara keseluruhan. Berikut ini hal yang ada di dalam ETAP 19.0.0

1. Single Line Diagram

2. Load Flow Analysis

3. Optimal Capacitor Placement

⁴ L. Multa and R. P. Aridani, "Modul Pelatihan ETAP," Modul Pelatih. ETAP, 20Stevenson, William D. 2000. *Analisa Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta : Erlangga



4. Starting motor
5. Short Circuit Analysis
6. Koordinasi Proteksi
7. Transient Stability Analysis
8. Unbalance Load

Etap hanyalah alat bantu untuk mempermudah dalam membantu menyelesaikan masalah ketenagalistrikan, yang dapat dijadikan rujukan dalam mengambil keputusan. Untuk itu seorang electrical engineering harus sudah bisa dan faham akan semua materi di atas terlebih dahulu sehingga diharapkan mempunyai kemampuan penguasaan materi dan penguasaan software.

2.4.2 Load flow analisis

Percobaan load flow atau aliran daya ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran daya yang berupa pengaruh dari variasi beban dan rugi-rugi transmisi pada aliran daya dan juga mempelajari adanya tegangan jatuh di sisi beban.

Aliran daya pada suatu sistem tenaga listrik secara garis besar adalah suatu peristiwa daya yang mengalir berupa daya aktif (P) dan daya reaktif (Q) dari suatu sistem pembangkit (sisi pengirim) melalui suatu saluran atau jaringan transmisi hingga sampai ke sisi beban (sisi penerima). Pada kondisi ideal, maka daya yang diberikan oleh sisi pengirim akan sama dengan daya yang diterima beban. Namun pada kondisi real, daya yang dikirim sisi pengirim tidak akan sama dengan yang diterima beban. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa hal:

1. Impedansi di saluran transmisi. Impedansi di saluran transmisi dapat terjadi karena berbagai hal dan sudah mencakup resultan antara hambatan resistif, induktif dan kapasitif. Hal ini yang



menyebabkan rugi-rugi daya karena terkonversi atau terbuang menjadi energilain dalam transfer energi.

2. Tipe beban yang tersambung jalur. Ada 3 tipe beban, yaitu resistif, induktif, dan kapasitif. Resultan antara besaran hambatan kapasitif dan induktif akan mempengaruhi P.F. sehingga mempengaruhi perbandingan antara besarnya daya yang ditransfer dengan yang diterima. Sedangkan untuk melakukan kalkulasi aliran daya, terdapat 3 metode yang biasa digunakan:

2. Accelerated Gauss-Seidel Method

Hanya butuh sedikit nilai masukan, tetapi lambat dalam kecepatan perhitungan.

$$[P + jQ] = [V^T [Y_{BUS}^*] V^*]$$

3. Newton Raphson Method

A. Cepat dalam perhitungan tetapi membutuhkan banyak nilai masukan dan parameter.

B. First Order Derivative digunakan untuk mempercepat perhitungan.

4. Fast Decoupled Method

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V \end{bmatrix}$$

A. Dua set persamaan iterasi, antara sudut tegangan, daya reaktif dengan magnitude tegangan

B. Cepat dalam perhitungan namun kurang presisi

C. Baik untuk sistem radial dan sistem dengan jalur panjang

$$\begin{aligned} [\Delta P] &= [J_1] [\Delta \delta] \\ [\Delta Q] &= [J_4] [\Delta V] \end{aligned}$$



2.5 Resistansi Saluran

Resistansi adalah kemampuan tahanan pada suatu penghantar baik itu pada saluran transmisi maupun distribusi yang menyebabkan kerugian daya pada saluran transmisi maupun distribusi.

Resistansi efektif dari konduktor adalah :

$$R = \frac{\text{Power Loss dalam induktor}}{(I)^2} (\Omega) \dots \dots \dots (2.1)$$

Resistansi direct-current (R_{dc}) diberikan dengan formula :

$$R_{dc} = \frac{\rho \times l}{A} = (\Omega) \dots \dots \dots (2.2)^5$$

Dimana :

ρ = resistivity konduktor ($\Omega.m$)

l = panjang konduktor (m)

A = *cross sectional area* (m^2)

T = konstanta yang ditentukan oleh grafik

Nilai resistivity konduktor pada temperature 20° C adalah :

a. Untuk tembaga, $\rho = 10,66 \Omega.cmil/ft$ atau $= 1,77 \times 10^{-8} \Omega.m$

b. Untuk aluminium, $\rho = 17 \Omega.cmil/ft$ atau $= 2,83 \times 10^{-8} \Omega.m$

Konduktor pilin 3 strand menyebabkan kenaikan resistansi sebesar 1%. Konduktor dengan strand terkonsentrasi menyebabkan kenaikan resistansi sebesar 2%.

Pengaruh kenaikan temperatur terhadap resistansi dapat ditentukan dari formula berikut ini :



$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{T+t_2}{T+t_1} \dots\dots\dots(2.3)^5$$

Dimana R_1 dan R_2 adalah resistansi masing-masing konduktor pada temeperatur t_1 dan t_2 dan T adalah sauatu konstanta yang nilainya sebagai berikut :

$T = 234,5$ untuk tembaga dengan konduktivitas 100%

$T = 241$ untuk tembaga dengan komduktivitas 97,3%

$T = 228$ untuk alluminium dengan konduktivitas 61%

2.6 Daya Listrik

Daya listrik didefinisikan sebagai laju hantaran energi listrik dalam sirkuit listrik. Dalam sistem listrik AC atau arus bolak-balik ada tiga jenis daya yang dikenal, yaitu:

2.6.1 Daya semu

Daya semu merupakan daya listrik yang melalui suatu penghantar transmisi atau distribusi. Daya ini merupakan hasil perkalian antara tegangan dan arus yang melalui penghantar.

Untuk 1 fasa : $S = V \times I \dots\dots\dots (2.4)$

Untuk 3 fasa : $S = \sqrt{3} \times V_{L-L} \times I_L \dots\dots\dots (2.5)^6$

Dimana :

⁵ Cekdin, Cekmas. 2013. *Transmisi Daya Listrik*. Yogyakarta : Andi

⁶ Kadaffi, Muhammar. 2013. *Perancangan Sistem Tenaga Listrik*. Jakarta : Pusat Pengembangan Bahan Ajar



S = Daya semu (VA)

V_{L-L} = Tegangan antar saluran (Volt)

I_L = Arus saluran (Ampere)

2.6.2 Daya aktif

Daya aktif (daya nyata) merupakan daya listrik yang digunakan untuk keperluan menggerakkan mesin-mesin listrik atau peralatan lainnya. Daya aktif ini merupakan pembentukan dari besar tegangan yang kemudian dikalikan dengan besaran arus dan faktor dayanya.

$$\text{Untuk 1 fasa : } P = V \times I \times \cos \emptyset \dots\dots\dots(2.6)^7$$

$$\text{Untuk 3 fasa : } P = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \cos \emptyset \dots\dots\dots(2.7)^7$$

Dimana :

V = Tegangan antar saluran (Volt)

I = Arus saluran (Amper)

cos \emptyset = Faktor Daya (standar PLN 0,85)

2.6.3 Daya reaktif

Daya reaktif merupakan selisih antara daya semu yang masuk pada penghantar dengan daya aktif pada penghantar itu sendiri, dimana daya ini terpakai untuk daya mekanik dan panas. Daya reaktif ini adalah hasil kali antara besarnya arus dan tegangan yang dipengaruhi oleh faktor daya.

$$\text{Untuk 1 fasa : } Q = V \times I \times \sin \emptyset \dots\dots\dots(2.8)^7$$

$$\text{Untuk 3 fasa : } Q = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \sin \dots\dots\dots(2.9)^7$$

⁷ Gonen, Turan. 2008. *Electrical Power Distribution System Engineering Second Edition*. London : CRC Press



Dimana :

Q = Daya reaktif (VAR)

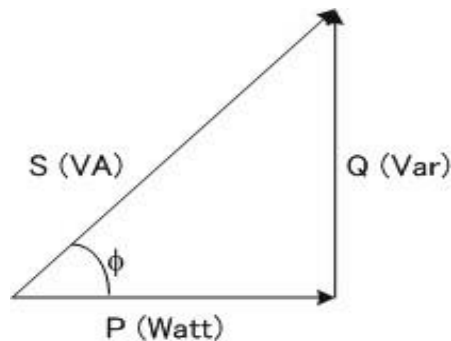
V = Tegangan antar saluran (Volt)

I = Arus saluran (Amper)

Sin ϕ = Faktor Daya (tergantng nilai ϕ)

2.6.4 Segitiga daya

Dari bermacam daya diatas maka daya listrik digambarkan sebagai segitiga siku, yng secara vektoris adalah penjumlahan daya aktif dan reaktif dan sebagai resultannya adalah daya semu.



Gambar 2.6 Segitiga daya

Sumber : Stevenson, William D. 1994.

2.6.5 Faktor beban (load factor)

Faktor beban / *Load Factor* adalah perbandingan antara beban rata-rata terhadap beban puncak yang diukur dalam suatu periode tertentu. Beban rata-rata dan beban puncak dapat dinyatakan dalam kilowatt, kilovolt ampere, ampere, dan sebagainya, tetapi satuan dari keduanya harus sama. Faktor beban dapat dihitung untuk periode tertentu, seperti per harian, bulanan, ataupun tahunan.



Beban puncak yang dimaksud disini adalah beban puncak sesaat atau beban puncak rata-rata dalam interval tertentu (demand maksimum. Definisi dari faktor beban ini dapat dituliskan dalam persamaan berikut :

$$\text{Faktor Beban (LF)} = \frac{\text{Beban rata-rata dalam periode tertentu}}{\text{Beban puncak dalam periode tertentu}} \dots\dots\dots(2.10)$$

2.6.6 Faktor rugi - rugi beban (losses load factor)⁸

Faktor rugi-rugi merupakan faktor kerugian dari suatu penyulang. Definisinya merupakan perbandingan dari jumlah susut energi total pada periode tertentu dengan nilai kerugian maksimum pada periode tersebut. Nilai faktor kerugian mendekati nilai faktor beban. Oleh karena itu secara umum nilai faktor kerugian adalah :

$$L_f^2 < LLF < L_f \dots\dots\dots(2.11)$$

Oleh karena itu faktor kehilangan tidak dapat ditentukan secara langsung dari faktor beban. Alasannya adalah bahwa faktor kerugian ditentukan dari kerugian sebagai fungsi waktu yang pada gilirannya sebanding dengan fungsi waktu dari beban kuadrat.

Namun *Buller* dan *Woodrow* mengembangkan rumus perkiraan untuk menghubungkan faktor kehilangan dengan faktor beban sebagai :

$$LLF = 0,3 (L_f) + 0,7 (L_f)^2 \dots\dots\dots(2.12)$$

Dimana :

- L_f = Faktor Beban
- LLF = Faktor Rugi Beban
- V = Tegangan antar saluran (Volt)

⁸ Arismunandar, Artono. 2004. *Teknik Tenaga Listrik Jilid II*. Jakarta : PT. Pradnya Paramit



2.6.7 Susut daya

Dalam suatu saluran distribusi tenaga listrik selalu diusahakan agar susut daya yang terjadi pada jaringan distribusi sekecil-kecilnya. Hal ini dimaksudkan agar daya yang disalurkan ke konsumen tidak terlampaui berkurang. Tahanan yang terdapat pada saluran atau penghantar adalah salah satu penyebab kerugian pada jaringan. Disamping itu ada juga kehilangan daya yang dikarenakan adanya kebocoran isolator.

Dari penjelasan diatas, maka penjelasan diatas, maka besar susut daya pada saluran tiga fasa :

$$P_Z = 3 \cdot I^2 \cdot R \cdot L \cdot LLF \dots\dots\dots(2.13)^9$$

Jika besar susut daya sudah diperoleh maka besar daya yang diterima :

$$P_R = P - P_Z \dots\dots\dots(2.14)^9$$

Maka besar nilai persentasi (%) susut daya adalah :

$$\Delta P = \frac{P_{Total\ rugi}}{P} \times 100 \dots\dots\dots(2.15)^9$$

⁹ Anonim.2015. <https://rq2k.wordpress.com/losses/>.Diakses pada tanggal 11 Maret 2021 Pukul 20.59