

BAB II

JARINGAN TEGANGAN MENENGAH, DROP VOLTAGE DAN PENGATURAN TEGANGAN

2.1 Tinjauan Pustaka

Jaringan distribusi merupakan bagian dari suatu sistem tenaga listrik yang berfungsi menyalurkan energi listrik ke titik beban atau konsumen. Dalam menyalurkan energi listrik akan timbul jatuh tegangan dan susut jaringan karena adanya arus yang mengalir pada suatu impedansi yang terdapat pada penghantar maupun peralatan lainnya, mengakibatkan daya atau tegangan yang diterima menjadi lebih kecil daripada yang dikirim. Agar diperoleh suatu penyaluran daya yang seefisien mungkin, maka diusahakan jatuh tegangan dan susut jaringan sekecil mungkin.

Menurut Restu (2008), "Suatu sistem tenaga listrik yang baik harus memiliki nilai tegangan yang tidak melebihi batas toleransi serta rugi rugi daya yang kecil. Batas toleransi yang diperbolehkan untuk suatu nilai tegangan $\pm 5\%$ dari nilai nominalnya. Nilai tegangan yang konstan akan mengoptimalkan unjuk kerja dari peralatan listrik yang digunakan oleh konsumen. Sedangkan rugi rugi daya yang kecil akan menjaga pasokan daya listrik sesuai dengan kebutuhan konsumen,serta dapat mengurangi kerugian finansial yang terjadi selama proses transmisi dan distribusi".

Sedangkan menurut M Novel (2006), "Bank kapasitor yang dipasang secara shunt pada penyulangan tegangan menengah dimaksudkan untuk mengurangi rugi rugi daya reaktif, menambah kapasitas daya semu maksimum penyulang dan menurunkan rugi rugi biaya operasi. Masalah utama pada penerapannya terletak pada perhitungan optimalisasinya yang meliputi besarnya kompensasi kVAR, lokasi pemasangan dari kapasitor shunt da besarnya penghematan yang diperoleh".

Menurut Satriya (2010), “Peningkatan beban yang bersifat induktif dapat mengakibatkan pada penurunan faktor daya, peningkatan rugi-rugi jaringan, penurunan tegangan khususnya pada ujung saluran, dan regulasi tegangan yang memburuk. Alternatif yang dapat dilakukan untuk memperbaiki profil tegangan tersebut adalah dengan melakukan kompensasi daya reaktif yaitu dengan memasang kapasitor shunt”.

2.2. Landasan Teori

2.2.1 Sistem Ketenagalistrikan

Energi listrik umumnya dibangkitkan oleh pusat pembangkit tenaga listrik yang jauh dari perkotaan dimana para pelanggan umumnya berada. Masalahnya sekarang ialah bagaimana menyalurkan tenaga listrik tersebut secara ekonomis pada jarak yang cukup jauh.

Secara umum dapat dikatakan bahwa sistem suplai tenaga listrik terdiri dari tiga unsur yaitu:

- a. Pusat pembangkit
- b. Transmisi
- c. Distribusi

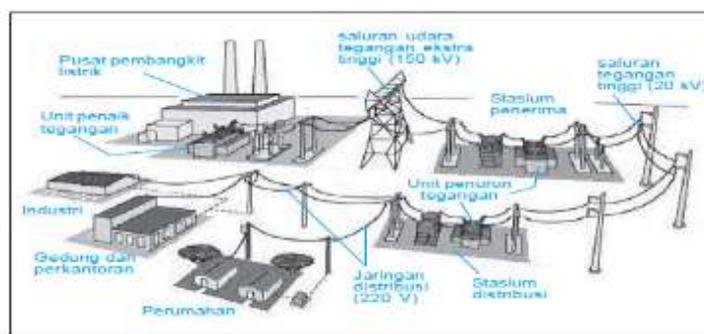


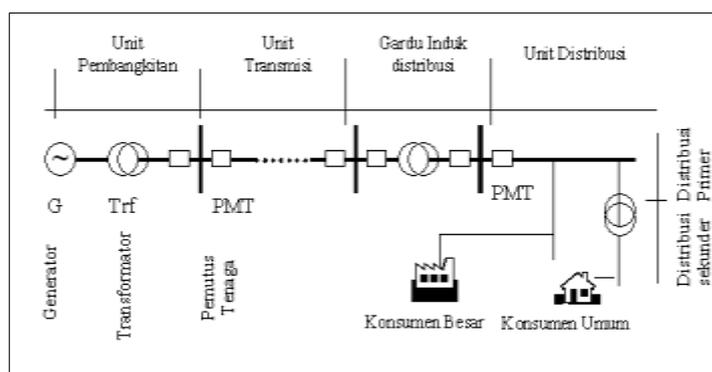
Diagram transmisi daya listrik jarak jauh.

Gambar 2.1 Sistem Ketenagalistrikan di Indonesia

Berdasarkan pembagian di atas, fungsi dari masing masing subsistem dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Pembangkitan berfungsi sebagai sumber daya tenaga listrik

2. Sistem transmisi berfungsi sebagai penyalur daya listrik secara besar besaran dari pembangkit ke bagian sistem distribusi atau konsumen
3. Sistem distribusi berperan sebagai distributor energi listrik ke konsumen konsumen yang membutuhkan energi listrik tersebut.



Gambar 2.2 Single Line Diagram Sistem Ketenagalistrikan

2.2.2 Sistem Distribusi Primer dan Sistem Distribusi Sekunder

Sistem distribusi primer yang disebut jaringan tegangan menengah merupakan saluran tegangan menengah yang dimulai dari sisi sekunder trafo tenaga di pusat listrik atau sisi sekunder trafo step down di gardu induk gardu induk sampai pada sisi primer trafo distribusi. Saat ini hampir semua wilayah kerja PLN telah menggunakan tegangan 20 kV.

Penghantar yang dipergunakan pada jaringan tegangan menengah (JTM) terdiri dari dua jenis yaitu:

1. Saluran udara tegangan menengah (SUTM) yakni suatu penghantar yang menggunakan kawat penghantar dan dilewatkan pada udara (over head)
2. Saluran kabel tegangan menengah (SKTM) yakni suatu penghantar yang menggunakan kabel dan dilewatkan di bawah tanah (underground)

Saluran udara tegangan menengah (SUTM) umumnya dipasang pada daerah pedesaan dan dipinggir kota dimana populasi gedung bertingkat belum besar serta belum mengganggu estetika tata perkotaan. Sedangkan saluran kabel tegangan menengah (SKTM) umumnya dipasang pada pusat pusat kota dimana populasi gedung bertingkat sudah sangat tinggi dan pemasangan SUTM sudah

mengganggu estetika tata perkotaan. Pada SUTM gardu distribusinya umumnya gardu cantol, gardu portal serta gardu beton. Sedangkan SKTM gardu distribusinya berupa gardu portal, gardu beton dan gardu kios.

Perbedaan kedua jenis saluran tegangan menengah dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Perbandingan antara SUTM dan SKTM

NO	Perihal	Jaringan Udara	Jaringan Bawah tanah
1	Biaya investasi	Murah	Lebih mahal
2	Perluasan system	Cepat, Mudah	Lama, Lebih sulit
3	Pengoperasian	Mudah	Lebih sulit
4	Pemeliharaan	Mudah, tetapi harus sering Diinpeksi	Kabelnya sendiri praktis tak perlu dipelihara
5	Estetika	Kurang baik	Baik
6	Perbaikan	Mudah	Lebih sulit
7	Gangguan	Lebih banyak	Sedikit
8	Dampak lingkungan	Besar	Kecil
9	Keamanan lingkungan	Rawan	Aman

Sistem distribusi sekunder yang biasa disebut jaringan tegangan rendah (JTR) dimuali dari sisi sekunder trafo distribusi sampai dengan sambungan rumah (SR) pada pelanggan yang berfungsi untuk mendistribusikan energi listrik dari gardu distribusi ke pelanggan dengan tegangan operasi yakni tegangan rendah (400/230 Volt, 380/220 Volt). Pada JTR jenis saluran yang digunakan ada dua yakni:

1. Saluran udara tegangan rendah (SUTR) dengan penghantar saluran kabel udara yang dipilin.

2. Saluran kabel tegangan rendah (SKTR) dengan menggunakan penghantar berupa kabel inti penghantar dari tembaga maupun aluminium dengan bahan isolasi dari PVC atau XLPE.

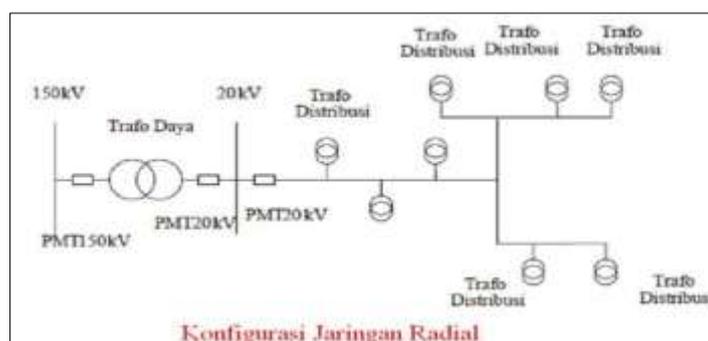
Pada saat ini SUTR yang menggunakan kabel telah banyak digunakan oleh PLN untuk mengurangi gangguan yang disebabkan oleh gangguan pohon dan gangguan lain yang disebabkan oleh perbuatan manusia.

2.2.3 Klasifikasi Jaringan Distribusi Berdasarkan Bentuk Jaringan

a. Jaringan Radial

Jaringan radial adalah bentuk jaringan yang paling sederhana yang menghubungkan beban beban ketitik sumber,biayanya relatif murah. Pada struktur jaringan ini, tidak ada alternatif pencatuan/pensuplaian, oleh sebab itu tingkat keandalannya relatif rendah. Pengaturan tegangan dapat dilaksanakan dengan baik. Radial ganda adalah langkah dalam usaha meningkatkan keandalan jaringan, hal ini terutama bila rute dari sirkuit merupakan cadangan baja.

Langkah lainnya untuk mempertinggi tingkat keandalan dari struktur radial ini pada dasarnya diupayakan catu dayanya tidak satu arah,walaupun pada pengoperasiannya dilaksanakan secara radial.



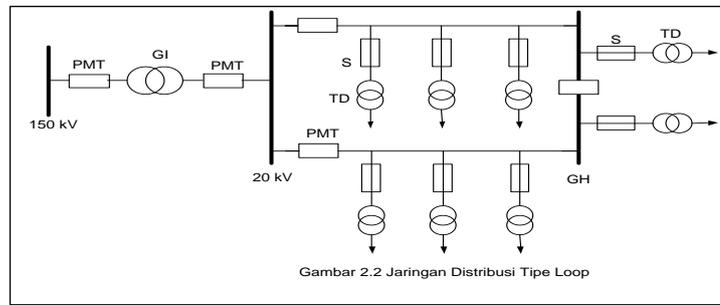
Gambar 2.3 Jaringan Distribusi Tipe Radial

Dapat dilihat bentuk yang sederhana dari sistem radial, yang sistem jaringannya dimulai dari sumber jaringan distribusi primer, gardu distribusi dan pelanggan.

b. Jaringan Loop

Pada jaringan sistem loop, dimungkinkan alternatif pensuplaian dari gardu gardu distribusi, sehingga dengan demikian tingkat keandalannya relatif lebih baik.

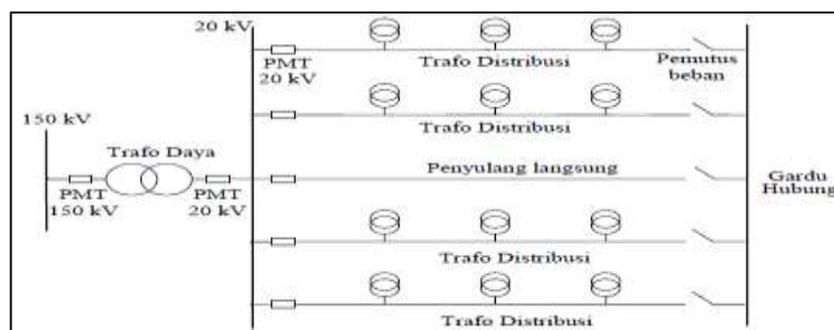
Bila terjadi gangguan pada jaring primernya, maka pemutus beban yang ada di gardu induk akan membuka dan ini menyebabkan semua gardu distribusi akan mengalami pemadaman. Semua sirkit dari penyulang primer ini biasanya diambil sama dan perlu didesain agar tidak berbeban lebih bila satu sirkitnya tidak berfungsi. Pada jaringan tertutup yang dicatu dari dua titik sumber, perlu diperhatikan kemungkinan arus hubung singkat yang besar.



Gambar 2.4 Jaringan Distribusi Tipe Loop

c. Jaringan Spindle

Jaringan distribusi sistem spindle ini merupakan pengembangan dari sistem loop, secara umum konstruksi dan fungsi operasionalnya hampir sama yang membedakan adalah tipe spindle ini mempunyai saluran khusus yang tidak dibebani tetapi bertegangan sesuai dengan sistem yang berlaku. Penyulang ini disebut “*express feeder*” yang berfungsi sebagai cadangan jika terjadi gangguan. Kelebihan yang lain adalah terdapatnya gardu hubung pada ujung ujung dari beberapa saluran



Gambar 2.5 Jaringan Distribusi Tipe Spindle

Penyulang ekspres ini tidak mencatu gardu gardu distribusi, tetapi merupakan penyulang penghubung antara gardu induk dan gardu hubung dan dimaksud untuk menjaga kelangsungan pemasok energi listrik pada pelanggan, bila terjadi gangguan di gardu gardu distribusi pada suatu penyulang yang memasok. Jadi *express feeder* ini dalam keadaan normal merupakan kabel yang bertegangan sampai di gardu hubung (tanpa beban). Dalam operasi normal, semua pemutus beban dari penyulang ini yang berada pada gardu hubung dalam keadaan membuka, dengan demikian setiap penyulang dari spindle ini beroperasi secara radial.

d. Jaringan Mayang

Jaringan mayang dimodifikasi dari jaringan distribusi spindle. Jaringan distribusi mayang digunakan pada daerah perkotaan atau daerah yang kepadatan beban energi listriknya cukup tinggi. Pada jaringan mayang ini penyulang ekspresnya sebagai titik balik dari beberapa penyulang yang mencatu gardu gardu distribusi.

e. Jaringan Grid

Jaringan anyaman merupakan jaringan yang strukturnya kompleks, dimana kelangsungan penyaluran dan kualitas pelayanan sangat diutamakan. Jaringan anyaman ini merupakan kombinasi antara radial dan loop. Struktur anyaman ini umumnya digunakan pada jaringan tegangan rendah yang kepadatan bebannya cukup tinggi. Jaringan distribusi mesh (anyaman) disuplai dari dua sumber atau lebih sehingga tingkat keandalannya terjamin. Apabila terjadi gangguan pada jaringan ini, maka dapat diatasi dengan mengambil tegangan dari beberapa sumber yang masih beroperasi.

Struktur jaringan anyaman membutuhkan biaya investasi yang cukup besar dan pengoperasiannya sulit dibandingkan dengan struktur jaringan radial ataupun jaringan loop. Biasanya digunakan di kota kota besar yang kepadatan bebannya tinggi dan memerlukan penyaluran tenaga listrik yang terus menerus.

2.2.4 Konstruksi Saluran Udara Tegangan Tinggi

a. Tiang Listrik

Tiang listrik untuk SUTM biasanya terdiri dari tiang tunggal, kecuali untuk gardu tiang memakai tiang ganda. Pemasangan tiang biasanya dipasang di tepi jalan baik jalan raya maupun gang. Pemasangan tiang dapat dikurangi dengan pemakaian sistem saluran bawah tanah pada sistem distribusi. Tiang listrik biasanya berupa pipa makin ke atas makin kecil diameternya, jadi tiang bawah mempunyai diameter besar. Tiang besi berangsur-angsur diganti dengan tiang beton.

Perencanaan material dan ukuran tiang listrik ditentukan oleh faktor-faktor mekanis seperti momen, kecepatan angin, kekuatan tanah, besar beban penghantar, kekuatan tiang dan sebagainya. Jenis tiang listrik menurut kegunaanya :

1. Tiang awal / akhir
2. Tiang penyangga
3. Tiang sudut
4. Tiang Peregang / tiang tarik
5. Tiang Topang

b. *Cross Arm* (Lengan Tiang)/ *Travers*

Cross Arm dipakai untuk menjaga penghantar dan peralatan yang perlu dipasang diatas tiang. Material *Cross Arm* terbuat dari besi. *Cross Arm* dipasang pada tiang. Pemasangan dapat dengan memasang klem-klem, disekrup dengan baut dan mur secara langsung. Pada *Cross Arm* dipasang baut-baut penyangga isolator dan peralatan lainnya, biasanya *Cross Arm* ini dibor terlebih dahulu untuk membuat lubang-lubang baut.

c. Isolator

Isolator adalah alat untuk mengisolasi penghantar dari tiang listrik atau *Cross Arm*. Jenis-jenis isolator yang digunakan biasanya dipakai untuk SUTM adalah isolator tumpu. Isolator tarik biasanya dipasang di tiang tarik atau akhir dan isolator tumpu biasanya dipasang pada tiang penyangga.

2.2.5 Parameter Parameter Saluran Distribusi

2.2.5.1 Impedansi Pada Saluran Distribusi (Z)

Impedansi (Z) terdiri dari resistansi (R) dan reaktansi (X). Impedansi merupakan parameter utama pada suatu saluran transmisi atau distribusi. Impedansi pada saluran transmisi atau distribusi perlu diketahui untuk melakukan analisa sistem baik untuk analisa aliran daya, hubung singkat dan proteksi, kestabilan sistem maupun kontrol sistem. Nilai resistansi ditentukan oleh jenis dan ukuran kawat penghantar sedangkan nilai reaktansi (induktif dan kapasitif) ditentukan oleh jarak antar saluran dan jumlah serat kawat penghantarnya. Biasanya untuk sistem bertegangan rendah dan menengah, reaktansi kapasitif dapat diabaikan, karena nilainya relatif kecil dibanding dengan reaktansi induktif (Gonen Turan, 1988).

$$Z = R + jX \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

Z = Impedansi (ohm)

R = Resistansi (ohm)

X = Reaktansi (ohm)

2.2.5.2 Resistansi (R)

Resistansi suatu kawat penghantar tergantung pada jenis bahan kawatnya yang diwakili oleh resistivitas jenis, luas penampang dan panjang kawat (William D. Stevensen Jr, 1984 dan F. Suryamo, 1992)

$$R = \rho \frac{l}{A}, \text{ ohm/meter} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

R = tahanan (ohm/m)

P = tahanan jenis (ohm mm²/m)

A = luas penampang (mm²)

L = panjang kawat (m)

2.2.5.3 Reaktansi (X)

Reaktansi pada saluran transmisi atau distribusi terdiri dari reaktansi induktif (jX) dan reaktansi kapasitif (-jX). Namun pada saluran distribusi, reaktansi kapasitif sangat kecil sekali sehingga biasanya diabaikan. Besar reaktansi induktif :

$$X = 2\pi f L \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

f = frekuensi (Hz)

L = Induktansi (Hendry)

X = Reaktansi indukif

2.2.5.4. Daya Listrik

Daya listrik di bagi menjadi 3 yaitu daya aktif (P), daya Semu (S) dan daya reaktif (R).

a. Daya Aktif (P)

Daya aktif adalah daya rata rata yang diserap komponen resistif yang dinyatakan dengan P dalam satuan Watt dan ditulis persamaan:

$$\begin{aligned} P &= I^2 R \\ &= I^2 (Z \cos \varphi) \\ &= (I Z) I \cos \varphi \\ &= V I \cos \varphi \dots\dots\dots(4) \end{aligned}$$

Keterangan :

Z = impedansi (ohm)

V = tegangan (volt)

I = arus (ampere)

b. Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif adalah daya yang diserap oleh komponen reaktif yang dinyatakan dengan Q dalam satuan VAR. Didefinisikan sebagai perkalian antara tegangan, arus dan sinus dari sudut faktor daya yang ditulis persamaan:

$$\begin{aligned} Q &= I^2 X \\ &= I^2 Z \sin \varphi \\ &= (I Z) I \sin \varphi \\ &= V I \sin \varphi \dots\dots\dots(5) \end{aligned}$$

Daya reaktif dibedakan menjadi dua yaitu daya reaktif kapasitif dan daya reaktif induktif.

Antara daya reaktif kapasitif dan daya reaktif induktif mempunyai arah yang berlawanan. Daya reaktif induktif daya listrik yang dibutuhkan untuk menghasilkan medan magnet yang dibutuhkan oleh alat alat induksi seperti motor listrik, transformator dan lain lain. Tanpa daya reaktif induktif daya listrik tidak dapat ditransfer ke sisi sekunder dalam suatu trafo atau melalui celah udara pada motor listrik. Daya reaktif kapasitif adalah daya yang dibutuhkan kapasitor, kapasitansi tegangan dan sebagainya. Pada prinsipnya suatu beban induktif bila digambarkan arus dan tegangannya diperoleh arus (I) tertinggal dibelakang tegangan (V) dengan sudut (θ) derajat

c. Daya semu (S)

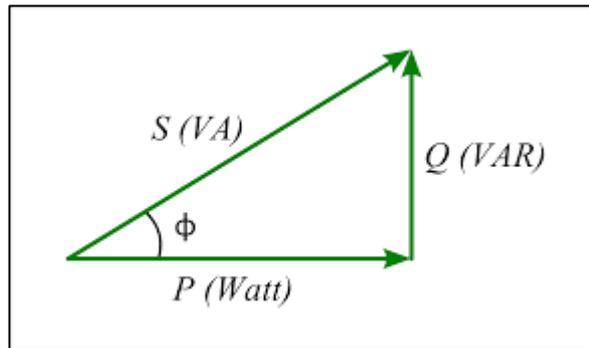
Daya semu adalah hasil perkalian antara tegangan dan arus yang dinyatakan dengan S atau dapat ditulis persamaannya:

$$\begin{aligned} S &= I^2 Z \\ &= (I Z) I \\ &= V I \dots\dots\dots(6) \end{aligned}$$

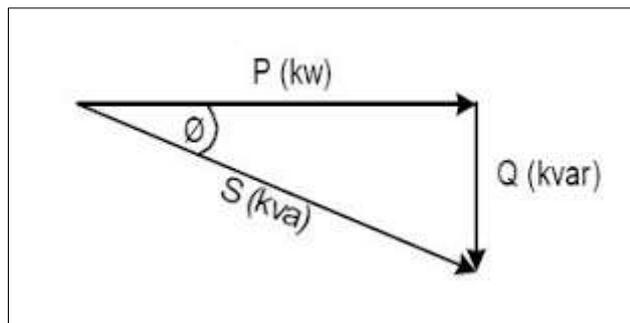
- Keterangan:
- S = daya semu (VA)
 - I = Impedansi (ohm)
 - V = tegangan (volt)

I = arus (amper)

Selanjutnya S dan P dapat dinyatakan secara geometris sebagai sisi miring dan sisi horizontal dari sebuah segitiga daya siku siku seperti gambar dibawah ini:



Gambar 2.6 : segitiga daya dengan beban induktif



Gambar 2.7 : segitiga daya dengan beban kapasitif

$$P = S \cos \varphi$$

$$Q = P \tan \varphi$$

$$S = P + jQ$$

Keterangan :

P = daya aktif dengan satuan watt

Q = daya reaktif dengan satuan VAR

S = daya semu dengan satuan VA

Untuk sistem tiga fasa perhitungan daya adalah sebagai berikut:

$$P = \sqrt{3} V I \cos \varphi \text{ (kW)}$$

$$Q = \sqrt{3} V I \sin \varphi \text{ (kVAR)}$$

$$S = \sqrt{3} V I \text{ (kVA)}$$

Dimana V adalah tegangan antar saluran (*line to line*). Jika jaringan terdiri dari tahanan R dan reaktansi induktif $X_L = \omega L$, maka impedansi jaringan :

$$Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana $\omega = 2 \pi f$

Keterangan:

Z = impedansi (ohm)

R = tahanan (ohm)

L = induktansi (Hendry)

2.2.6 Jatuh Tegangan (*Drop Voltage*)

Jatuh tegangan adalah perbedaan antara tegangan ujung kirim atau tegangan sumber (V_s) dan tegangan ujung terima (V_r) dari penyualang. Jatuh tegangan bukan merupakan jatuh tegangan pada impedansi (I_z) dari penyulang, saluran dan lain lain tetapi perbedaan nilai mutlak dari tegangan ujung kirim dan tegangan ujung terima. Jatuh tegangan I_z , bila ditambahkan secara vektoris dengan tegangan ujung terima, akan sama dengan tegangan ujung kirim.

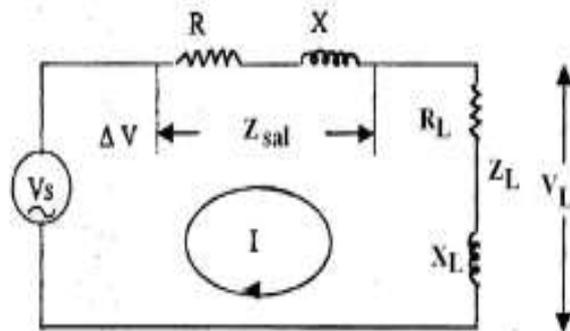
Jatuh tegangan secara umum adalah tegangan yang digunakan pada beban. Tegangan jatuh ditimbulkan oleh arus yang mengalir melalui tahanan kawat. Tegangan jatuh (V) pada penghantar semakin besar jika arus (I) di dalam penghantar semakin besar dan jika tahanan penghantar (R_l) semakin besar pula. Tegangan jatuh merupakan penanggung jawab terjadinya kerugian pada penghantar karena dapat menurunkan tegangan pada beban. Akibatnya hingga berada di bawah tegangan nominal yang dibutuhkan. Atas dasar hal tersebut maka tegangan jatuh yang diijinkan untuk instalasi arus kuat hingga 1.000 V yang ditetapkan dalam persen dari tegangan kerjanya (*Daryanto,2010: hal 18 & 42*).

Jatuh tegangan pada saluran tenaga listrik secara umum berbanding terbalik dengan luas penampang penghantar. Besarnya jatuh tegangan dinyatakan baik dalam persen atau dalam besaran volt. Besarnya batas atas dan bawah ditentukan oleh kebijaksanaan perusahaan kelistrikan.

Jatuh tegangan disebabkan oleh mengalirnya arus pada suatu impedansi jaringan. Untuk menghitung rugi tegangan pada suatu saluran atau penyulang maka harus diketahui parameter parameter saluran atau penghantar antara lain :

- Impedansi jaringan
- Besar arus
- Faktor daya
- Panjang jaringan

Perhitungan jatuh tegangan



Gambar 2.8 diagram saluran distribusi tenaga listrik

Keterangan :

- V_r : Tegangan pada sisi penerima (Volt)
 R : Resistansi saluran (Ω)
 X : Reaktansi saluran (Ω)
 Z_{sal} : Impedansi saluran (Ω)
 Z_L : Impedansi beban (Ω)
 R_L : Resistansi beban (Ω)
 X_L : Reaktansi beban (Ω)
 I : Arus beban (A)
 $\cos \theta$: Faktor daya beban
 ΔV : Drop tegangan (Volt)

Impedansi masing masing bagian:

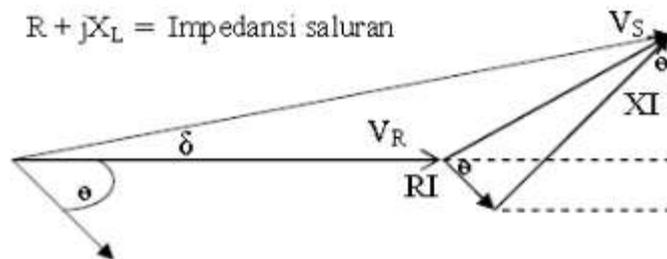
$$Z = R + jX/Km$$

Dalam rangkaian gambar dapat diperoleh:

$$I = \frac{V_s}{(Z_{sal} + Z_L)} \text{ atau } V_s = I \cdot Z_{sal} + I \cdot Z_L$$

$V_r = I \cdot Z_L$ adalah drop tegangan sepanjang Z_L atau tegangan beban, dan $I \cdot Z_{sal}$ adalah drop tegangan sepanjang Z_{sal} atau ΔV .

Penurunan persamaan drop tegangan dapat ditentukan dari gambar diagram fasor transmisi daya sebagai berikut:



Gambar 2.9 : Diagram vektor pada tegangan saluran distribusi

Dapat diperhatikan bahwa persamaan tegangan yang mendasari diagram vektor tersebut adalah:

$$V_s = V_r + I.R \cos \theta + I.X \sin \theta$$

Karena faktor $(I.R \cos \theta + I.X \sin \theta)$ pada gambar 22 sama dengan $I.Z$, maka persamaan menjadi:

$$V_s = V_r + I.Z \text{ atau } V_s - V_r = I.Z$$

Sehingga $\Delta V = I.Z$

$$\Delta V = I (R \cos \theta + X \sin \theta)$$

Maka untuk saluran distribusi primer, perhitungan besar drop tegangan pada saluran distribusi primer untuk sistem tiga fasa adalah:

$$\Delta V = \sqrt{3} \times I \times (R \cos \theta + X \sin \theta) \dots\dots\dots(8)$$

Besar persentase drop tegangan pada saluran distribusi primer dapat dihitung dengan :

$$\Delta V = \frac{\Delta v}{\Delta LL} \times 100\% \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan :

- Vs : Tegangan sumber (Volt)
- Vr : Tegangan pada sisi penerima (Volt)
- R : Resistansi saluran (Ω)
- X : Reaktansi saluran (Ω)
- I : Arus beban (A)
- V_{LL} : Tegangan fasa - fasa (Volt)
- Cos θ : Faktor daya beban
- ΔV : Drop tegangan (Volt)
- % ΔV : Persentase Drop tegangan (%)

2.2.7 Pengaturan Tegangan

Tujuan utama dari kendali tegangan sistem adalah penggunaan setiap daya dan tegangan menjadi ekonomis yaitu tegangan yang digunakan sesuai dengan tegangan yang didesain dari peralatan yang dipakai, sampai pada suatu batas tertentu.

Pengaturan tegangan sistem,tidak lebih dari memuat tegangan yang diterima pelanggan masih dalam batas batas yang diizinkan yaitu dengan peralatan pengatur tegangan dan menempatkannya pada tempat yang strategis pada sistem distribusi tersebut.

Pengaturan tegangan adalah jatuh tegangan dalam persen,dengan tegangann ujung sebagai referensinya.

$$\text{Pengaturan tegangan dalam persen} = \frac{|E_k| - |E_t|}{|E_t|} \times 100\% \dots\dots\dots(10)$$

Yang dimana :

E_k = Tegangan sisi kirim (Volt)

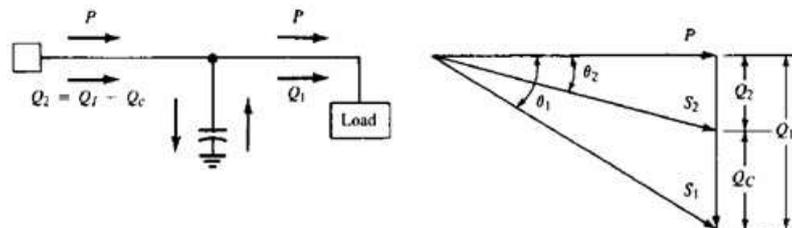
E_t = Tegangan sisi terima (Volt)

Jatuh tegangan dari setiap komponen sistem distribusi selalu dinyatakan dalam jatuh tegangan dalam %. Jatuh tegangan dalam % untuk setiap komponen sistem distribusi dinyatakan dalam basis tegangan yang sama.

Pengaturan tegangan dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu:

a. Kapasitor shunt sebagai perbaikan tegangan :

Jika suatu feeder melayani beban induktif dengan faktor daya yang lagging (terbelakang) dengan faktor daya yang rendah akan menambah daya terpasang (kVA) yang lebih tinggi untuk kebutuhan daya aktif yang konstan.



Gambar 2.10: diagram suatu pemasangan kapasitor shunt

Keterangan gambar:

P = daya aktif (watt)

Q_1 = daya reaktif yang diinginkan (VAR)

Q_2 = daya reaktif awal (VAR)

Q_c = daya reaktif yang perlu ditambahkan (VAR)

Jika beban disuplai oleh daya aktif p dan daya reaktif Q lagging dan daya nyata S_1 pada faktor daya lagging φ_2 maka:

$$\text{Cos } \varphi = \frac{P}{S_1} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q_1^2}}$$

Bila kapasitor shunt $Q_c=k\text{VAR}$ dipasang paralel dengan beban yang faktor dayanya lagging dengan sudut φ_2 maka:

$$\begin{aligned} \cos \varphi &= \frac{P}{S_2} = \frac{P}{\sqrt{P^2+Q_2^2}} \\ &= \frac{P}{\sqrt{P^2+(Q_1-Q_c)^2}} \end{aligned}$$

Dengan memperhatikan gambar, maka diperoleh hubungan berikut:

$$Q_1 = P \tan \varphi_1$$

$$Q_2 = P \tan \varphi_2$$

Untuk sistem 3 fasa maka perlu dipasang tiga buah kapasitor yang identik sehingga daya reaktif total adalah:

$$Q_r = 3 Q_c = 3 \omega C V^2 \dots\dots\dots(11)$$

Untuk menentukan kapasitas kapasitor untuk menaikkan faktor daya dari saluran distribusi ditulis dengan persamaan:

$$C = \frac{P (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)}{\omega V^2} \dots\dots\dots(12)$$

Jatuh tegangan pada feeder dengan faktor daya lagging setelah pemasangan kapasitor sebagai berikut:

$$V_d = I_R R + I_x.X_L - I_c.X_C \dots\dots\dots(13)$$

Dimana I_c adalah komponen arus reaktif leading 90° terhadap tegangan.

- Kapasitor tetap (*fixed capacitor*)

Kapasitor tetap adalah kompensasi daya reaktif dalam kapasitor yang kapasitasnya tetap dan selalu terpasang pada jaringan. Penggunaan kapasitor jenis ini harus memperhatikan kenaikan tegangan yang terjadi pada saat beban ringan agar tidak melebihi batas yang ditetapkan

- Kapasitor saklar (*switch capacitor*)

Kapasitor saklar adalah kapasitor untuk kompensasi daya reaktif yang dapat dihubungkan atau dilepaskan dari jaringan dan dapat diatur kapasitasnya sesuai dengan keadaan beban. Pemasangan kapasitor ini dimaksudkan agar tidak terjadi kenaikan tegangan dan pada setiap tingkat beban dicapai penghematan

yang maksimal, keuntungan yang didapat dengan memasang kapastor shunt dibandingkan sumber daya reaktif lain adalah:

- Harga relatif murah
- Ringan dan praktis pemasangannya
- Tidak mempunyai bagian yang bergerak
- Operasi dan pemeliharaannya mudah

Disamping itu, ada juga kerugiannya antara lain:

- Kapasitor mempunyai ukuran tertentu sehingga sulit untuk memenuhi ukuran yang tepat
- Jika kapasitor rusak tidak dapat diperbaiki sehingga memerlukan proteksi yang baik

b. Trafo On Load Tap Changer

Perbaikan tegangan dapat dilakukan dengan menggunakan metode pengaturan tegangan berupa penggunaan trafo pengubah tap. Dengan menggunakan trafo pengubah tap dapat mengatur rasio lilitan primer dan sekunder trafo. Dengan demikian dapat mengatur tegangan keluaran trafo. Hal ini dapat dilihat dengan persamaan :

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = a$$

Keterangan :

V_p = Tegangan Primer (V)

V_s = Tegangan Sekunder (v)

N_p = Jumlah lilitan Primer

N_s = Jumlah lilitan sekunder

a = rasio lilitan

Trafo pengubah tap dapat digunakan di gardu induk maupun di gardu distribusi tergantung dari perbaikan tegangan yang diinginkan.

2.3 Kerangka Pemikiran

