



YAYASAN PERGURUAN CIKINI
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL

Jl. Moh. Kahfi II, Bumi Srengseng Indah, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640
Telp. 021-7270090 (hunting), Fax. 021-7866655, hp. 081291030024
Email: humas@istn.ac.id, Website: www.istn.ac.id

SURAT PENUGASAN TENAGA PENDIDIK

Nomor: IQZ/03.1-G/III/2023
SEMESTER GENAP, TAHUN AKADEMIK 2022/2023

Nama : Nizar Rosyidi Jr.MT Status Pegawai : Edukatif Tetap / Tidak Tetap
NIK : 22860028 Program Studi : Teknik Elektro
Jabatan Akademik : Lektor

Bidang	Perincian Kegiatan	Tempat	Jam Minggu	Kinesia (sks)	Keterangan	
I PENDIDIKAN Dan PENGAJARAN	MENGAJAR DI KELAS (KULIAH / RESPONSI DAN LABORATORIUM)					
	1. Metode Penelitian (Kls A)			2	Kamis, 10.00-11.40	
	2. Pengukuran Besaran Listrik (Kls A)			2	Senin, 13.00-14.40	
	3. Analisa Sistem Tenaga (Kls K)			2	Sabtu, 08.00-09.40	
	4. Metode Penelitian (Kls K)			2	Senin, 19.00-20.40	
	5. Pengukuran Besaran Listrik (Kls K)			2	Rabu, 19.00-20.40	
	6. Sistem Distribusi Daya Listrik (Kls K)			2	Kamis, 19.00-20.40	
	7. Distribusi dan Proteksi Tenaga Listrik (D.B)			2	Selasa, 10.00-11.40	
	8.					
	9.					
	10.					
	11.					
	12.					
	13.					
	14.					
	15.					
	16.					
	17. Membimbing Skripsi / Tugas Akhir				1	
18. Menguji Skripsi / Tugas Akhir				1		
II PENELITIAN	1. Penelitian Ilmiah					
	2. Penulisan Karya Ilmiah			1		
	3. Penulisan Diklat Kuliah					
	4. Menerjemahkan Buku					
	5. Pembuatan Rancangan Teknologi					
	6. Pembuatan Rancangan & Karya Perwujudan					
III PENGABDIAN DAN MASYARAKAT	1. Merobuduki Jabatan di Pemerintahan					
	2. Pengembangan Hasil Pendidikan Dan Penelitian					
	3. Memberikan Penyuluhan/Pelatihan/Ceramah pada masyarakat				1	
	4. Memberikan Pelayanan Kepada Masyarakat Umum					
	5. Menulis Karya Pengabdian Pada Masyarakat yang tidak dipublikasikan					
	6. Komersial / Kesepakatan					
IV UNSUR-UNSUR PENUNJANG	1. Jabatan Struktural					
	2. Penasehat Akademik			1		
	3. Berperan serta aktif dalam pertemuan ilmiah / seminar					
	4. Pengembangan program kuliah / Kelompok Ilmu Elektro					
	5. Menjadi anggota panitia / Badan pada suatu Perguruan Tinggi					
	6. Menjadi anggota Badan Lembaga Pemerintahan					
	7. Menjadi Anggota Organisasi Profesi					
	8. Mewakili PT / Lembaga Pemerintah duduk dalam Panitia antar Lembaga					
	9. Menjadi Anggota Delegasi Nasional ke Parlemen - Parlemen Internasional					
Jumlah Total				19		

Kepada yang bersangkutan akan diberikan gaji / honorarium sesuai dengan peraturan pengajaran yang berlaku di Institut Sains Dan Teknologi Nasional
Perutusan ini berlaku dari tanggal 20 Maret 2023 sampai dengan tanggal 31 Agustus 2023.



20 Maret 2023
e k a n

Dr. Mustah Cahya F.T.Si., M.Si.

Tembusan :

1. Direktur Akademik - ISTN
2. Direktur Non Akademik - ISTN
3. Ka. Biro Sumber Daya Manusia - ISTN
4. Kepala Program Studi Fak.
5. Arsip

SISTEM DISTRIBUSI DAYA LISTRIK

**INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL
JAKARTA**

STURKTUR JARINGAN DISTRIBUSI

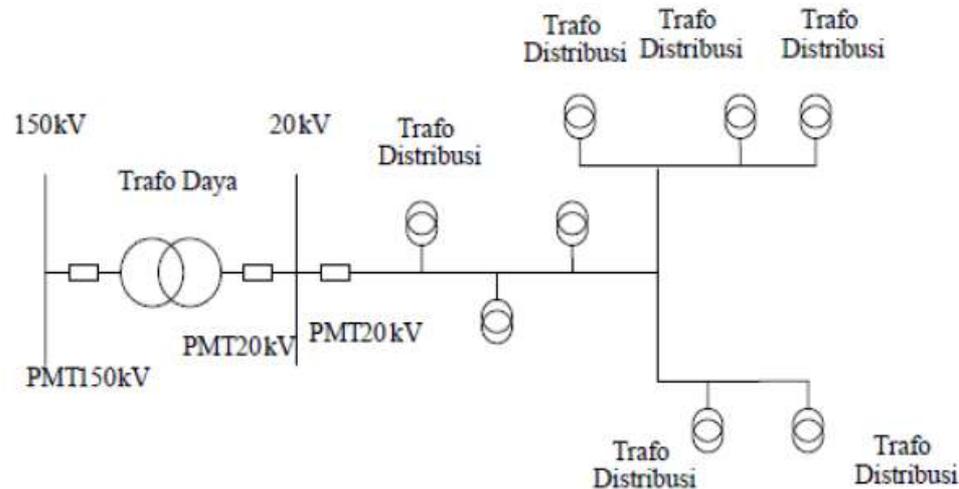
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL
JAKARTA

1. Jaringan Distribusi Primer

Instalasi jaringan distribusi tegangan menengah (Primer 20kV) dapat dikelompokkan menjadi lima model, yaitu *Jaringan Distribusi Radial*, *Jaringan Distribusi Hantaran Penghubung (Tie Line)*, *Jaringan Distribusi Lingkaran (Loop)*, *Jaringan Distribusi Spindel* dan *Jaringan Distribusi Kluster*.

❖ Jaringan Distribusi Radial

a). Jaringan distribusi pola Radial seperti Gambar 1. Adalah sistem distribusi yang paling sederhana dan ekonomis. Pada sistem ini terdapat beberapa penyulang yang menyuplai beberapa instalasi gardu distribusi secara radial.

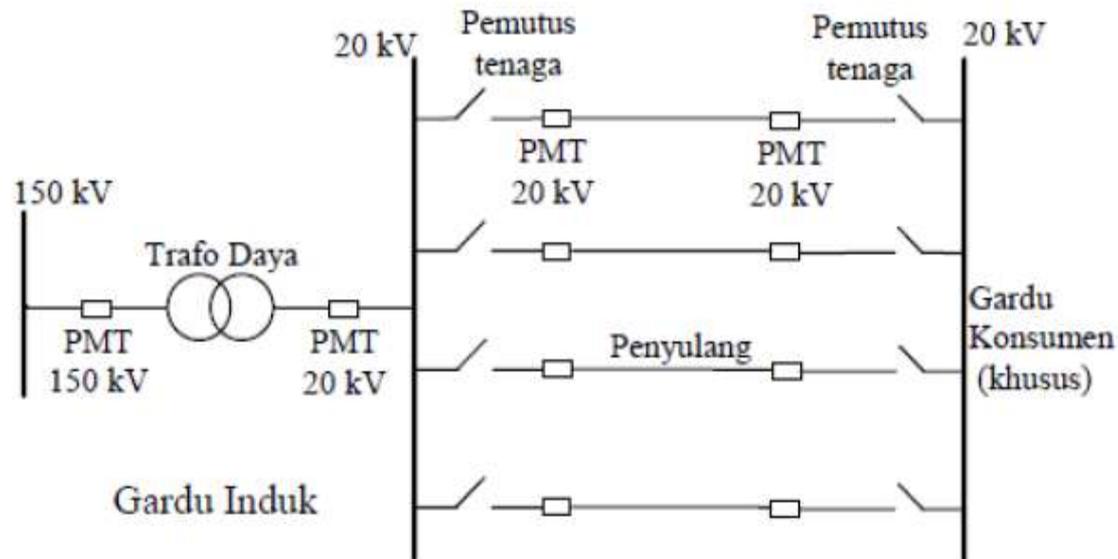


Gambar 1 jaringan distribusi radial

- b). Gardu-gardu distribusi untuk konsumen, dimana gardu distribusi adalah tempat dimana trafo untuk konsumen dipasang.
- c). Bangunan gardu distribusi bisa bentuk beton atau bisa diletakan diatas tiang.
- d). Keuntungan dari sistem ini adalah sistem ini tidak rumit dan lebih murah dibanding dengan sistem yang lain.
- e). Keandalan kurang disebabkan karena hanya terdapat satu jalur utama yang menyuplai gardu distribusi, sehingga apabila jalur utama tersebut mengalami gangguan, maka seluruh gardu akan ikut padam.
- f). Tegangan pada gardu distribusi yang paling ujung kurang baik, hal ini dikarenakan jatuh tegangan terbesar ada diujung saluran

❖ Jaringan Distribusi Hantaran Penghubung (Tie Line)

Jaringan distribusi Tie Line seperti Gambar 2 digunakan untuk pelanggan penting yang tidak boleh padam (Bandar Udara, Rumah Sakit, dan lain lain).

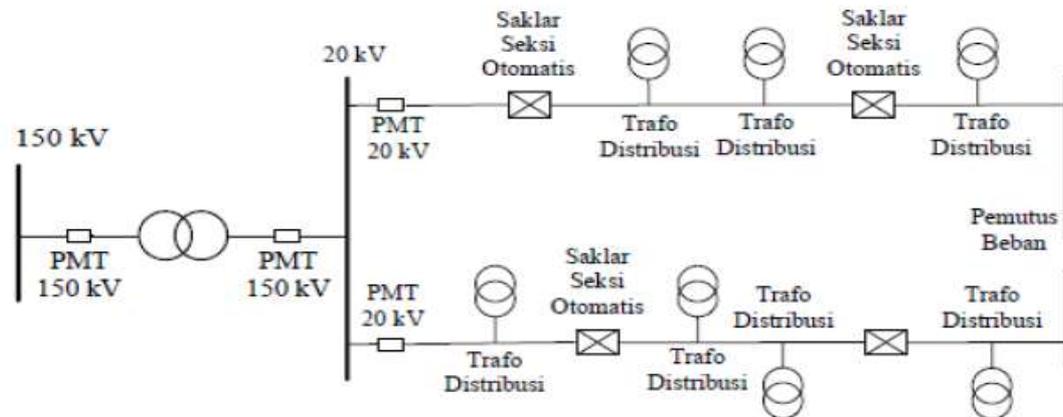


Gambar 2 Jaringan Distribusi Tie Line

Dalam sistem jaringan distribusi ini memiliki minimal dua penyulang sekaligus dengan tambahan Automatic Change Over Switch / Automatic Transfer Switch, setiap penyulang terkoneksi ke gardu pelanggan khusus tersebut sehingga bila salah satu penyulang mengalami gangguan maka pasokan listrik akan di pindah ke penyulang lain.

❖ Jaringan Lingkar (Loop)

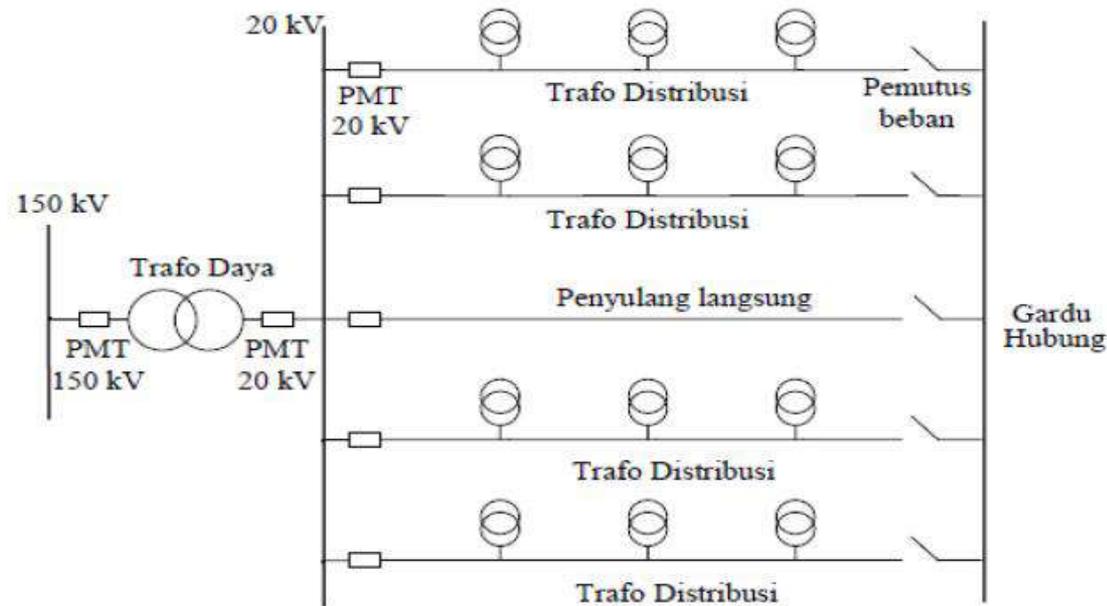
Pada Jaringan Tegangan Menengah Struktur Lingkaran (Loop) seperti Gambar 3. dimungkinkan pemasokannya dari beberapa gardu induk, sehingga dengan demikian tingkat keandalannya relatif lebih baik.



Gambar 3 Jaringan Distribusi Loop

❖ Jaringan Distribusi Spindel

Jaringan distribusi Spindel seperti pada Gambar 4. adalah suatu pola kombinasi jaringan distribusi dari pola Radial dan Ring. Spindel terdiri dari beberapa penyulang (feeder) yang tegangannya diberikan dari Gardu Induk dan tegangan tersebut berakhir pada sebuah Gardu Hubung (GH).



Gambar 4 Jaringan distribusi Spindel

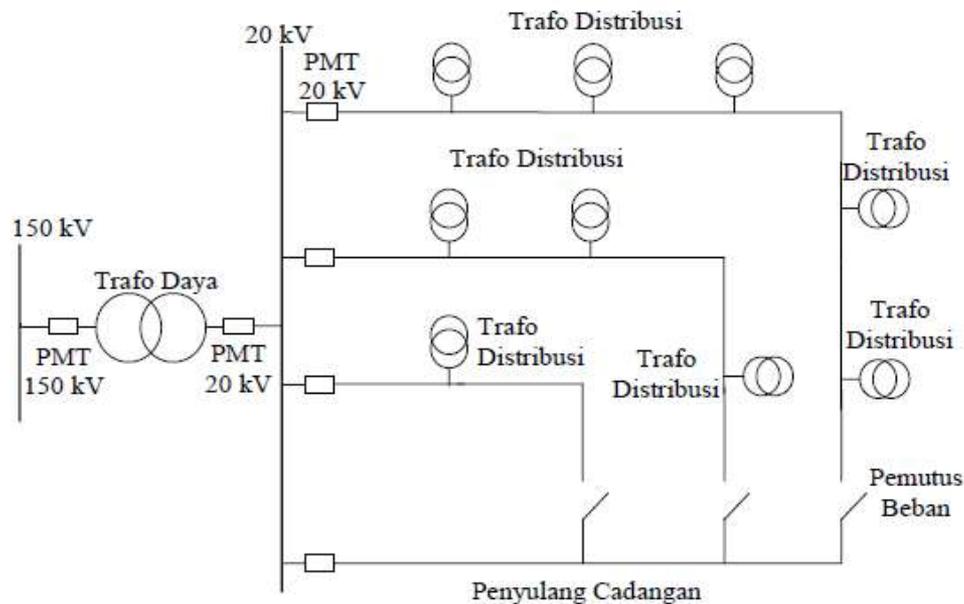
Jaringan distribusi spindel biasanya terdiri dari beberapa penyulang aktif dan sebuah penyulang cadangan (*express*) yang akan dihubungkan melalui gardu Hubung.

Pola Spindel biasanya digunakan pada instalasi jaringan tegangan menengah (JTM) yang menggunakan kabel tegangan menengah (SKTM).

Dalam operansinya jaringan Spindel berfungsi sebagai sistem jaring distribusi Radial, dalam sebuah penyulang aktif terdiri dari gardu distribusi yang berfungsi untuk mendistribusikan tegangan kepada konsumen baik konsumen tegangan rendah (TR) atau tegangan menengah (TM).

❖ Jaringan Distribusi Kluster

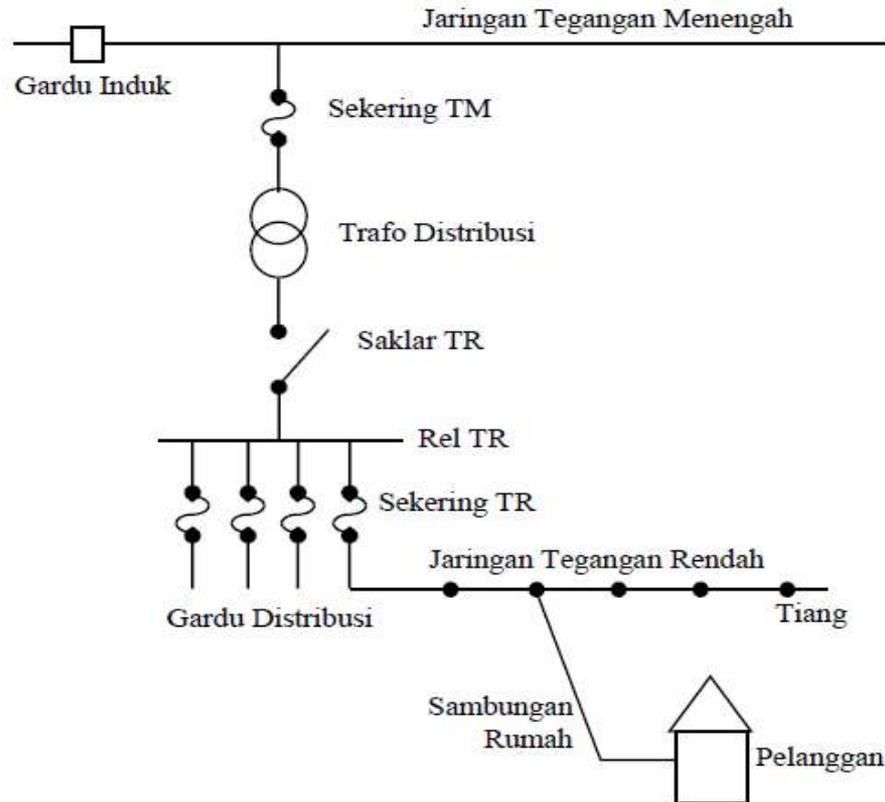
Jaringan distribusi kluster seperti pada Gambar 5. banyak digunakan untuk kota besar yang mempunyai kerapatan beban yang tinggi. Dalam sistem ini terdapat Saklar Pemutus Beban, dan penyulang cadangan. Dimana penyulang ini berfungsi bila ada gangguan yang terjadi pada salah satu penyulang konsumen maka penyulang cadangan inilah yang menggantikan fungsi suplai kekonsumen.



Gambar 5 Jaringan Distribusi Kluster

2. Jaringan Distribusi Sekunder

Jaringan distribusi sekunder seperti pada Gambar 6. merupakan salah satu bagian dalam sistem distribusi, yaitu mulai dari gardu trafo sampai pada pemakai akhir atau konsumen.



Gambar 5 jaringan TM ke TR dan konsumen

Dalam jaringan distribusi sekunder dimana bagian yang langsung berhubungan dengan konsumen, jadi sistem ini selain berfungsi menerima daya listrik dari sumber daya (trafo distribusi), juga akan mengirimkan serta mendistribusikan daya tersebut ke konsumen.

Mengingat bagian ini berhubungan langsung dengan konsumen, maka kualitas listrik selayaknya harus sangat diperhatikan.

Jatuh tegangan dalam sistem instalasi distribusi:

1. Penyulang Tegangan Menengah (TM)
2. Transformator Distribusi
3. Penyulang Jaringan Tegangan Rendah
4. Sambungan Rumah
5. Instalasi Rumah.

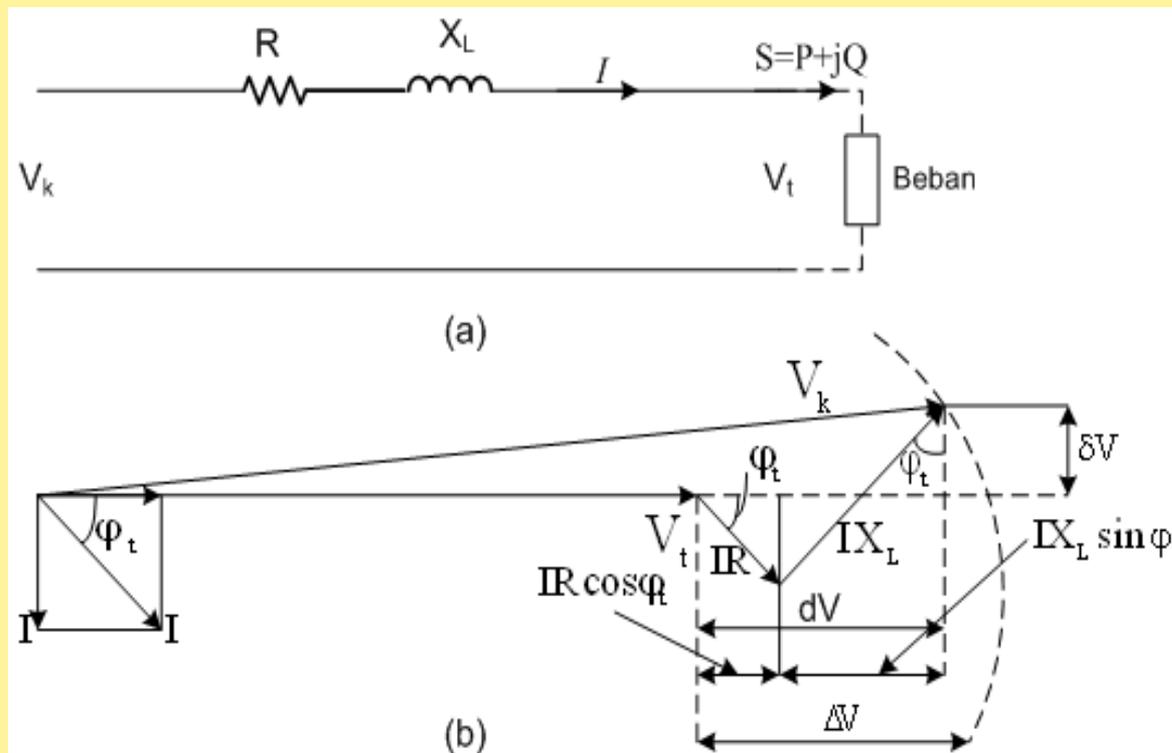
Jatuh tegangan yang di-ijinkan tidak boleh lebih dari 5%

JATUH TEGANGAN PADA SISTEM DISTRIBUSI

INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL
JAKARTA

SALURAN JARAK PENDEK

➤ Saluran udara yang kapasitansinya dapat diabaikan disebut saluran pendek umum tegangannya 66 kV panjang 50 miles (80,5km) saluran distribusi jarak pendek ditunjukkan gambar 1 rangkaian ekuivalen gambar 1a dan phasor diagram gambar 1b.



Gambar 1

➤ **Jatuh tegangan pada sistem distribusi mencakup jatuh tegangan pada :**

a)Penyulang Jaringan Tegangan Menegah (JTM)

b)Transformator Distribusi

c)Penyulang Jaringan Tegangan Rendah (JTR)

d) Sambungan rumah

e)Instalasi rumah

➤ **Secara matematis jatuh tegangan dapat ditulis :**

$$\Delta V = |V_k| - |V_t| \quad \dots\dots 1$$

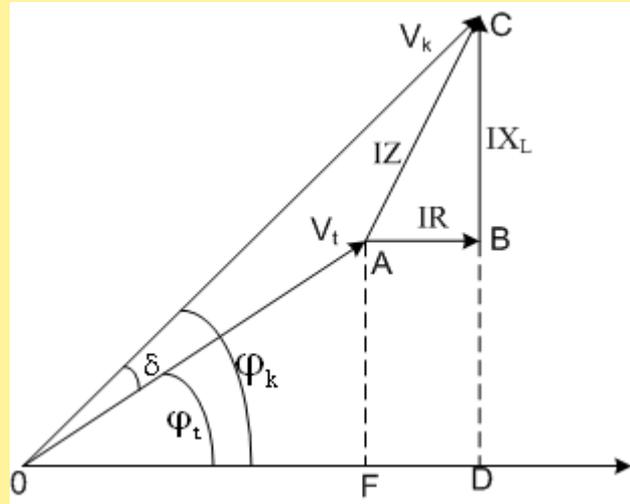
Dimana : V_k = nilai mutlak tegangan ujung kirim

V_t = nilai mutlak tegangan ujung terima

➤ **Dasar untuk menghitung jatuh tegangan misal dengan rangakai fasa tunggal dua kawat diamana tahanan dan reaktansi dinyatakan R dan X_L**

Dan pada ujung saluran terdapat beban

➤ Diagram phasor gambar1 untuk faktor daya yang tertinggal digambarkan kembali dengan arus I dibuat mendatar seperti gambar 2.



Gambar 2

- $OA = V_t$ tegangan ujung terima arus beban I tertinggal terhadap V_t sebesar sudut ϕ_t
- Jatuh tegangan pada tahanan saluran = $I \times R$ dari gambar 2 sebagai AB yang sefasa dengan I (OD).
- Jatuh tegangan pada reaktansi saluran = $I \times X_L$ dari gambar 2 sebagai BC mendahului 90° terhadap arus I dimana BC tegak lurus OD

- **Jatuh tegangan impedansi IX_Z adalah penjumlahan pasor jatuh tegangan tahanan dan jatuh tegangan induktif dinyatakan AC.**
- **Tegangan ujung kirim V_k diatur agar tegangan terima konstan V_t koston.**
- **Tegangan V_k dinyatakan OC dan arus I dinyatakan OD tertinggal sebesar sudut ϕ_k .oleh karena itu ϕ_k merupakan faktor daya beban dan δ adalah beda fasa antara kedua ujung saluran.**
- **Besar V_k dapat dicari dari segi tiga ODC :**

$$OC^2 = OD^2 + DC^2 = (OF + FD)^2 + (DB + BC)^2$$

$$V_k^2 = (V_t \cos \phi_t + IR)^2 + (V_t \sin \phi_t + IX_L)^2$$

- **Jadi tegangan ujung kirim :**

$$V_k = \left[(V_t \cos \phi_t + IR)^2 + (V_t \sin \phi_t + IX_L)^2 \right]^{1/2} \quad \dots 2$$

➤ **Atau**

$$V_k = V_t \left[\left(\cos \varphi_t + \frac{IR}{V_t} \right)^2 + \left(\sin \varphi_t + \frac{IX_L}{V_t} \right)^2 \right]^{1/2} \quad \dots 3$$

➤ **faktor daya ujung kirim :**

$$\cos \varphi_k = \frac{OD}{OC} = \frac{OF + FD}{OC} = \frac{V_t \cos \varphi_t + IR}{V_k} \quad \dots 4$$

➤ **V_k dapat juga dicari dengan gambar 1b :**

$$V_k^2 = (V_t + dV)^2 + (\partial V)^2$$

$$V_k^2 = (V_t + IR \cos \varphi_t + IX_L \sin \varphi_t)^2 + (IX_L \cos \varphi_t - IR \sin \varphi_t)^2 \quad \dots 5$$

➤ **Bila beban satu fasa daya aktif beban (P) dan daya reaktif (Q) diketahui :**

$$I = \frac{P}{V_t \cos \varphi_t} \quad \text{dan} \quad I = \frac{Q}{V_t \sin \varphi_t}$$

➤ Maka persamaan 5 dapat ditulis :

$$\text{➤ } V_k^2 = \left(V_t + \frac{RP}{V_t} + \frac{X_L Q}{V_t} \right)^2 + \left(\frac{X_L Q}{V_t} - \frac{RP}{V_t} \right)^2 \quad \dots 6$$

➤ Dimana :

$$dV = \frac{RP}{V_t} + \frac{X_L Q}{V_t} \quad \dots 7$$

$$\partial V = \frac{X_L P}{V_t} - \frac{RQ}{V_t} \quad \dots 8$$

$$\tan \delta = \frac{\partial V}{V_t + dV} = \frac{IX_L \cos \varphi_t - IR \sin \varphi_t}{V_t + IR \cos \varphi_t - IX_L \sin \varphi} \quad \dots 9$$

➤ **Menggunakan bilang kompleks :**

$$V_t = V_t + j0 \longrightarrow I = I \cos \varphi_t - jI \sin \varphi_t$$

➤ **Impendansi :**

$$Z = R + jX_L$$

➤ **Tegangan ujung kirim :**

$$V_k = V_t + IZ \longrightarrow V_k = (V_t + j0) + (I \cos \varphi_t - jI \sin \varphi_t)(R + jX_L)$$

$$V_k = (V_t + IR \cos \varphi_t) + j(IX_L \cos \varphi_t - IR \sin \varphi_t)$$

$$V_k = \left[(V_t + IR \cos \varphi_t + IX_L \sin \varphi_t)^2 + j(IX_L \cos \varphi_t - IR \sin \varphi_t)^2 \right]^{1/2}$$

$$\tan \delta = \frac{IX_L \cos \varphi_t - IR \sin \varphi_t}{V_t + IR \cos \varphi_t - IX_L \sin \varphi_t}$$

➤ **Faktor daya ujung kirim $\cos \varphi_k = (\varphi_t + \delta)$**

Contoh

1. Saluran fasa tunggal impedansi $5 \angle 60^\circ$ ohm memasok arus beban 120 A dengan tegangan 3464 V faktor daya 0,8 tertinggal.

Hitunglah tegangan ujung kirim dan faktor daya ujung kirim

Jawab

Tegangan terima :

$$V_t = 3464 \angle 0^\circ$$

Impedansi saluran :

$$Z = 5 \angle 60^\circ = 5(\cos 60^\circ + j \sin 60^\circ) = 2,5 + j4$$

Arus beban :

$$I = 120 \angle -36,86^\circ$$

$$IZ = 120 \angle -36,86^\circ \times 5 \angle 60^\circ = 600 \angle 23,13^\circ$$

$$= 600 \angle 23,13^\circ = 600(0,9196 + j39,28) = 551,6 + j235,7$$

➤ **Tegangan ujung kirim :**

$$V_k = V_t + IZ = (3464 + j0) \times (551,6 + j235,7)$$

$$V_k = 4015,7 + j235,7$$

$$V_k = \sqrt{(4015,7)^2 + (235,7)^2} = 4022,7V$$

➤ **Faktor daya ujung kirim**

$$\tan \delta = \frac{IX_L \cos \varphi_t - IR \sin \varphi_t}{V_t + IR \cos \varphi_t - IX_L \sin \varphi} = \frac{120 \times 4 \times 0,8 - 120 \times 2,5 \times 0,6}{3464 + 120 \times 2,5 \times 0,8 - 120 \times 4 \times 0,6}$$

$$\tan \delta = \frac{384 - 180}{3464 + 240 - 288} = 0,059 \quad \Rightarrow \quad \delta = \tan^{-1} 0,059 = 3,42^\circ$$

$$\varphi_k = \varphi_t + \delta = 36,87^\circ + 3,42^\circ = 40,29^\circ$$

$$\cos \varphi_k = \cos 40,29^\circ = 0,763$$

➤ **Jatuh tegangan dalam persen :**

$$\left(\frac{\Delta V}{V_t} \right) \% = \frac{|V_k| - |V_t|}{V_t} \times 100\% \quad \dots 10$$

➤ V_t biasanya diambil pada tegangan sistem disebut tegangan fasa maka :

$$\left(\frac{\Delta V}{V_f} \right) \% = \frac{\Delta V}{V_f} \times 100\% \quad \dots 11$$

➤ **Untuk** $\Delta V = |V_k| - |V_t| = IR \cos \varphi_t + IX_L \sin \varphi_t$ maka pers 11 :

$$\left(\frac{\Delta V}{V_f} \right) \% = (\Delta V) \% \frac{IR \cos \varphi_t + IX_L \sin \varphi_t}{V_f} \times 100\% \quad \dots 12$$

➤ Untuk $\Delta V = \frac{RP + X_L Q}{V_t}$ maka pers 12 :

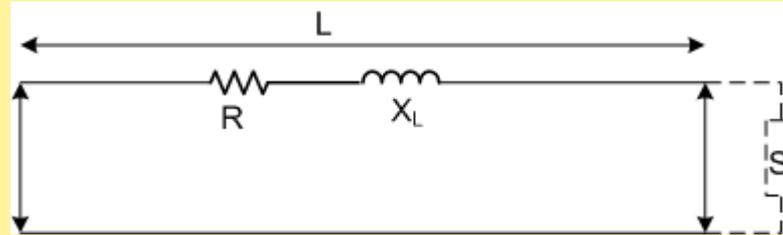
$$\left(\frac{\Delta V}{V_f} \right) \% = (\Delta V) \% = \frac{RP + X_L Q}{V_f^2} \times 100\% \quad \dots\dots 13$$

Dimana : P = daya aktif dalam MW

Q = daya reaktif dalam Mvar

$V_f = V_t$ =tegangan fasa kV

➤ **Jatuh tegangan pada sistem fasa tunggal dua kawat gamabr 3**



Gambar3

➤ **Untuk**

$$S = V_f I_f \longrightarrow I = I_f = \frac{S}{V_f}$$

➤ **Maka pers 12 :**

$$(\Delta V)\% = \frac{S(R \cos \varphi_t + X_L \sin \varphi_t)}{V_f^2} \times 100\% \quad \dots 14$$

➤ **Atau**

$$(\Delta V)\% = \frac{S \times 2L(r \cos \varphi_t + x \sin \varphi_t)}{V_f^2} \times 100\% \quad \dots 15$$

Dimana : S = beban dalam MVA

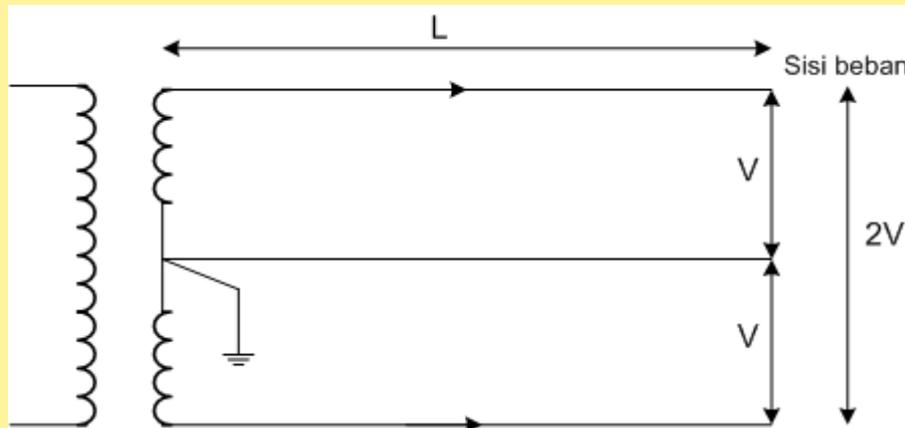
$R = 2.Lr$ dalam ohm

$X_L = 2L.x$ dalam ohm

r = tahanan per fasa dalam ohm/km

x = reaktansi per fasa dalam ohm/km

➤ **Jatuh tegangan pada sistem fasa tunggal tiga kawat ditunjukkan gambar 4**



Gambar 4

➤ **Jatuh tegangan setiap sirkit :**

$$\Delta V = IR \cos \varphi_t + IX_L \sin \varphi_t$$

➤ **Atau**

$$\Delta V = I \times 2L(r \cos \varphi_t + x \sin \varphi_t) \quad \dots\dots 16$$

➤ **Besarnya** $I = \frac{\frac{1}{2}S}{V}$ atau $I = \frac{S}{2V} = \frac{S}{V_f}$ sehingga

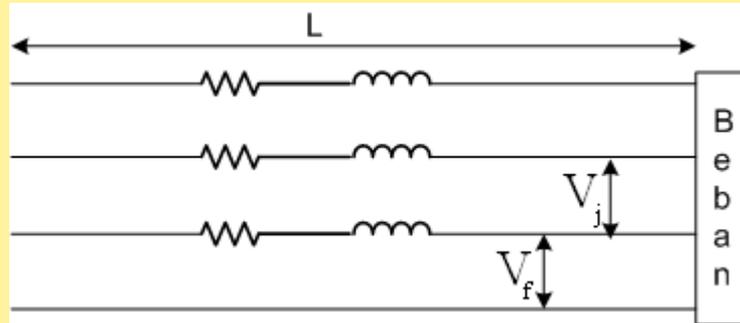
$$\Delta V = \frac{2 \times S \times L(r \cos \varphi_t + x \sin \varphi_t)}{2V}$$

➤ **Jatuh tegangan dalamprosen :**

$$\left(\frac{\Delta V}{V_f} \right) \% = \frac{2 \times S \times L(r \cos \varphi_t + x \sin \varphi_t)}{2V \times V_f} \times 100\%$$

$$\left(\frac{\Delta V}{V_f} \right) \% = (\Delta V) \% = \frac{2 \times S \times L(r \cos \varphi_t + x \sin \varphi_t)}{(2V)^2} \times 100\% \quad \dots\dots 17$$

- **Jatuh tegangan tiga fasa pada empat kawat seperti gambar 5 beban tiga fasa S diasumsikan seimbang setiap fasa .**



Gambar 4

- **Besarnya arus jala-jalannya :**

$$I_j = \frac{S}{\sqrt{3}V_f} \quad \dots 18$$

- **Substitusi persamaan 15 ke 12 maka :**

$$\left(\frac{\Delta V}{V_f} \right) \% = \frac{S [R \cos \varphi + X_L \sin \varphi]}{\sqrt{3} V_j V_f} \times 100 \%$$

$$\left(\frac{\Delta V}{V_f}\right)\% = \frac{S \times L[r \cos \varphi + x \sin \varphi]}{\sqrt{3}V_j V_f} \times 100\%$$

➤ **Maka**

$$\left(\frac{\Delta V}{V_f}\right)\% = \frac{S \times L[r \cos \varphi + x \sin \varphi]}{3V_f^2} \times 100\% \quad \text{.....19}$$

➤ **Bila beban mengandung P dan Q :**

$$\left(\frac{\Delta V}{V_f}\right)\% = (\Delta V)\% = \frac{RP + X_L Q}{3V_f^2} \times 100\% \quad \text{.....20}$$

➤ **Atau**

$$\left(\frac{\Delta V}{V_f}\right)\% = (\Delta V)\% = \frac{RP + X_L Q}{V_j^2} \times 100\% \quad \text{.....21}$$

Dimana : S = daya semu dalam MVA , P = daya aktif dalam MW

Q = daya reaktif dalam Mvar

$R = L \times r$ dalam ohm/fasa , $X_L = L \times x$ dalam ohm/fasa

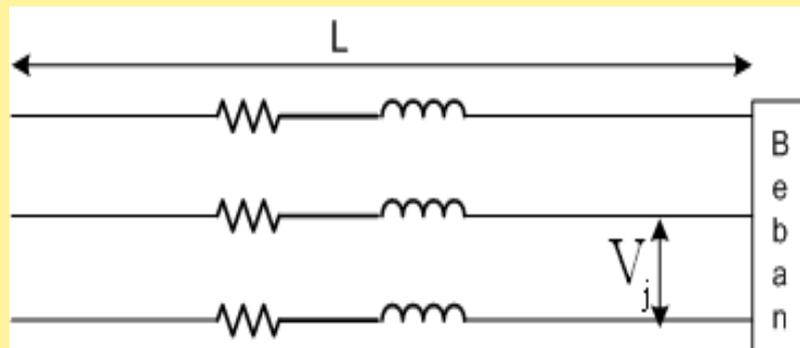
r = tahanan per fasa dalam ohm/km

x = reaktansi per fasa dalam ohm/km

V_f = tegangan fasa dalam kV

V_j = tagangan jala (nominal) dalam kV

➤ **Jatuh tegangan tiga fasa tiga kawat seperti gambar 6 dengan beban seimbang**



Gambar 6

➤ **Daya tiga fasa seimbang dengan beban :**

$$S = \sqrt{3}V_j I$$

➤ **Maka arus jala-jala :**

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}V_j}$$

$$\left(\frac{\Delta V}{V_f}\right)\% = \frac{S[R \cos \varphi + X_L \sin \varphi]}{\sqrt{3}V_j V_f} \times 100\%$$

$$\left(\frac{\Delta V}{V_f}\right)\% = \frac{S \times L[r \cos \varphi + x \sin \varphi]}{3V_f^2} \times 100\% \quad \dots\dots 22$$

$$\left(\frac{\Delta V}{V_f}\right)\% = (\Delta V)\% = \frac{RP + X_L Q}{V_j^2} \times 100\% \quad \dots\dots 23$$

➤ **Persamaan 22 dapat ditulis :**

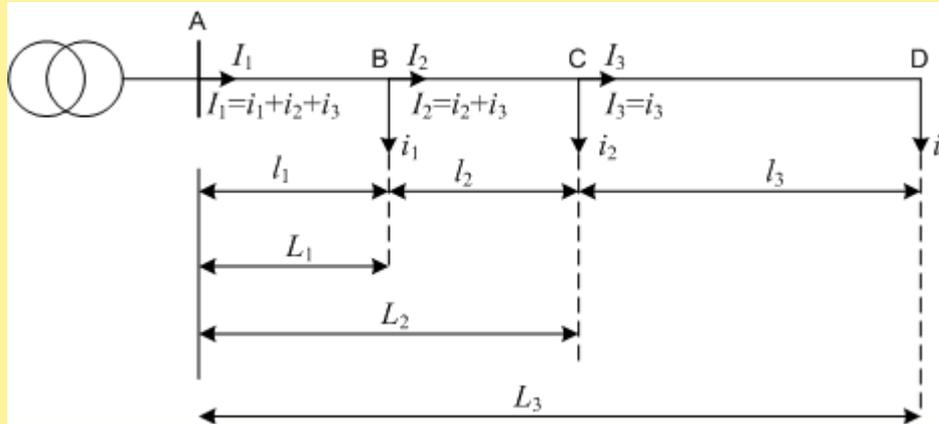
$$(\Delta V)\% = S \times L \times k\% \quad \dots\dots 24$$

$$k = \frac{r \cos \varphi + x \sin \varphi}{V_j^2} \times 100$$

➤ **Dimana $S \times L$ dikenal sebagai momen listrik (M_{lis}) :**

$$(\Delta V)\% = M_{Lis} \times k\% \quad \dots\dots 25$$

➤ **Jatuh tegangan pada penyulang dengan beban-beban berkelompok seperti ditunjukkan gambar 7**



Gambr 7

➤ **Pada penyulang A-D terdapat beban-beban sadapan pada titik-titik B,C dan D**

➤ **Maka jatuh tegangan penyulang A-D cara 1:**

$$\text{Jatuh tegangan antara A-B} = (\Delta V_{AB}) = I_1 \times l_1 (r_1 \cos \varphi_A + x_1 \sin \varphi_A)$$

$$\text{Jatuh tegangan antara B-C} = (\Delta V_{BC}) = I_2 \times l_2 (r_2 \cos \varphi_B + x_2 \sin \varphi_B)$$

$$\text{Jatuh tegangan antara C-D} = (\Delta V_{CD}) = I_3 \times l_3 (r_3 \cos \varphi_C + x_3 \sin \varphi_C)$$

$$(\Delta V_{AD}) = (\Delta V_{AB}) + (\Delta V_{BC}) + (\Delta V_{CD})$$

➤ Bila faktor daya dari beban-beban sama dengan penghantar A-D sama maka jatuh tegangan dapat ditulis :

$$(\Delta V_{AD}) = (r \cos \varphi + x \sin \varphi)(I_1 \times l_1 + I_2 \times l_2 + I_3 \times l_3) \dots\dots 26$$

➤ Atau

$$(\Delta V_{tot}) = \sum_{n=1}^n (r \cos \varphi + x \sin \varphi)(I_n \times l_n) \dots\dots\dots 27$$

➤ Cara 2 :

Dari persamaan 26 :

$$I_1 = i_1 + i_2 + i_3 \rightarrow L_1 = l_1$$

$$I_2 = i_2 + i_3 \rightarrow L_2 = l_1 + l_2$$

$$I_3 = i_3 \rightarrow L_3 = l_1 + l_2 + l_3$$

➤Maka persamaan 26 dapat diubah menjadi :

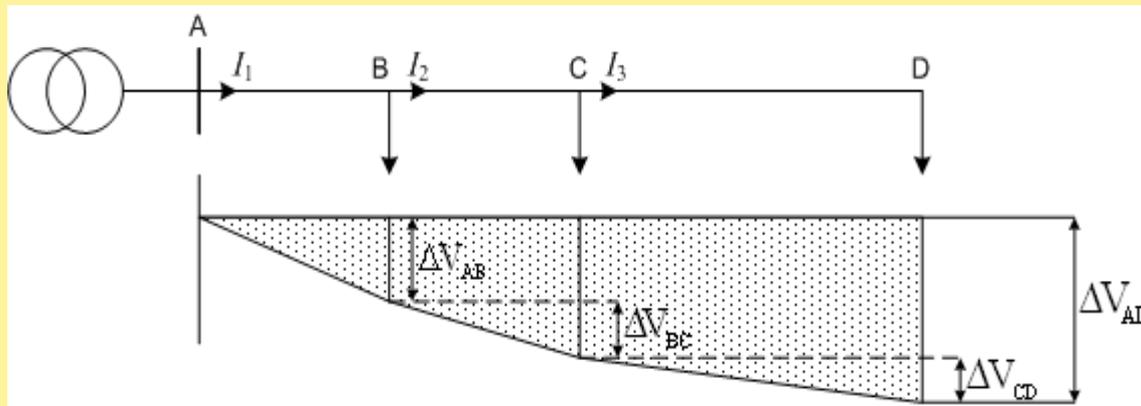
$$(\Delta V_{AD}) = (r \cos \varphi + x \sin \varphi) \{ (i_1 + i_2 + i_3) l_1 + (i_2 + i_3) l_2 + (i_3) l_3 \}$$

$$(\Delta V_{AD}) = (r \cos \varphi + x \sin \varphi) \{ i_1 l_1 + i_2 (l_1 + l_2) + i_3 (l_1 + l_2 + l_3) \} \dots\dots\dots 28$$

➤Persamaan secara umum dapat ditulis :

$$(\Delta V_{tot}) = \sum_{n=1}^n (r \cos \varphi + x \sin \varphi) (i_n \times L_n) \dots\dots\dots 29$$

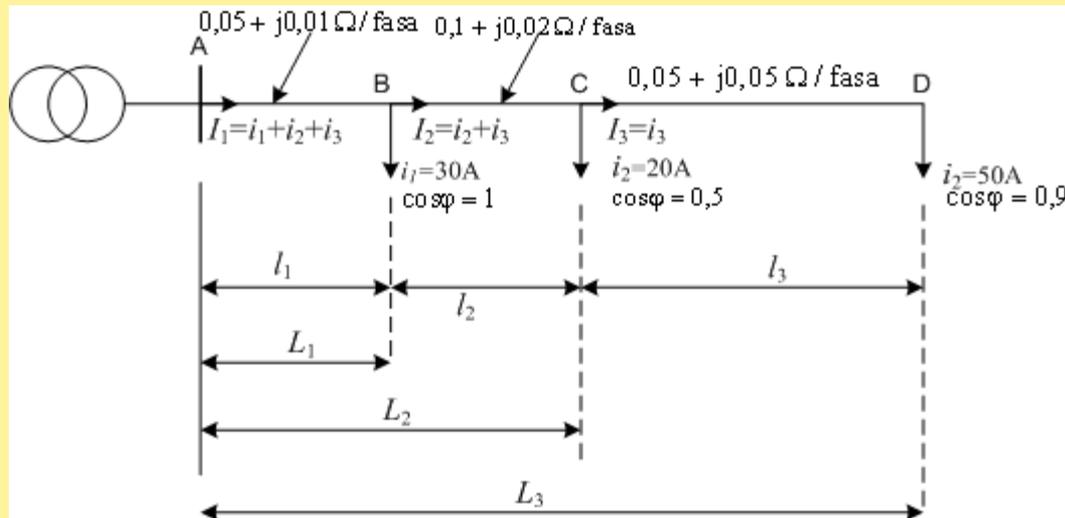
➤Peropil jatuh tegangan dari saluran gambar 7 dapat digambar 8



Gambar 8

Contoh

1. Sistem tiga fasa 220/380 V empat kawat beban A, B dan C seimbangan seperti gambar



Hitunglah : a. Jatuh tegangan total per fasa

b. Daya aktif per fasa setiap bebannya

c. Daya reaktif per fasa setiap bebannya

d. Keluaran (output) dalam kVA, dan faktor daya dari transformator distribusi.

Jawab

a. Jatuh tegangan

$$(\Delta V_{\text{tot}}) = \sum_{n=1}^n (r \cos \varphi + x \sin \varphi)(I_n \times l_n)$$

$$I_1 = i_1 + i_2 + i_3; I_2 = i_2 + i_3 \text{ dan } I_3 = i_3$$

$$I_1 = (30 + j0) + 20(0,5 + j0,866) + 50(0,9 + j0,436) = 93,57(0,908 + j0,42)$$

$$I_2 = 20(0,5 + j0,866) + 50(0,9 + j0,436) = 67,50(0,81 + j0,58)$$

$$I_3 = 50(0,9 + j0,436)$$

$$\text{Jatuh tegangan } (\Delta V_{CD}) = (0,05 \times 0,9 + 0,05 \times 0,436) 50 = 3,34 \text{ V}$$

$$\text{Jatuh tegangan } (\Delta V_{BC}) = (0,1 \times 0,81 + 0,02 \times 0,58) 67,50 = 6,25 \text{ V}$$

$$\text{Jatuh tegangan } (\Delta V_{AB}) = (0,05 \times 0,908 + 0,01 \times 0,42) 93,57 = 4,64 \text{ V}$$

Jadi jatuh tegangan total = (3,34 + 6,25 + 4,64) = 14,23 V ,atau dalam persen = (14,23/220) x 100% = 6,47 %

Jatuh tegangan setiap beban :

$$\text{Jatuh tegangan } (\Delta V_B) = (0,05 \times 1 + 0,01 \times 0)30 = 1,5V$$

$$\text{Jatuh tegangan } (\Delta V_C) = (0,15 \times 0,5 + 0,03 \times 0,866)20 = 2,02V$$

$$\text{Jatuh tegangan } (\Delta V_D) = (0,20 \times 0,9 + 0,08 \times 0,436)30 = 10,744V$$

$$\text{Jatuh tegangan total} = (1,5 + 2,02 + 10,744) = 14,264V \quad \text{atau} \\ (14,264/220) \times 100\% = 6,48\%$$

b. Daya aktif setiap beban per fasa ($P = VI \cos \phi$):

$$P_A = 220 \times 30 \times 1 = 6,6 \text{ kW}$$

$$P_B = 220 \times 20 \times 0,5 = 2,2 \text{ kW}$$

$$P_C = 220 \times 50 \times 0,9 = 9,9 \text{ kW}$$

$$\text{Daya aktif total} = 18,7 \text{ kW} \quad +$$

b. Daya reaktif setiap beban per fasa ($Q = VI\sin\phi$):

$$Q_A = 220 \times 30 \times 0 = 0 \text{ kVar}$$

$$Q_B = 220 \times 20 \times 0,866 = 3,8104 \text{ kVar}$$

$$Q_C = 220 \times 50 \times 0,436 = 4,796 \text{ kVar}$$

+

$$\text{Daya reaktif total} = 8,6064 \text{ kVar}$$

c. Output transformator distribusi :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

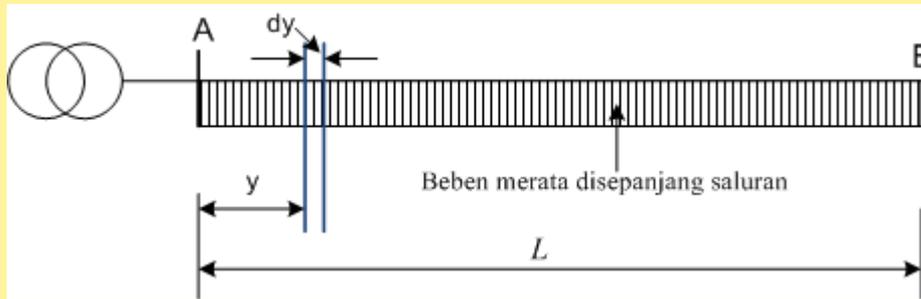
$$S = \sqrt{18,7^2 + 8,6064^2} = 20,5857 \text{ kVA}$$

Total keluran dari tranformator distribusi = $3 \times 20,5857 = 61,7563 \text{ kVA}$

Faktor daya dari tranformator distribusi :

$$\cos\phi = \frac{P}{S} = \frac{18,7}{20,5857} = 0,908$$

➤ **Jatuh tegangan pada beban merata sepanjang saluran A-B seperti gambar 9**



Gambar 9

➤ **Misalkan beban merata besarnya I amper per satuan panjang r adalah tahanan saluran per fasa per satuan panjang dan x reaktansi saluran per fasa per satuan panjang ,pada elemen dy arus yang disadapnya adalah idy dan arus yang melewati elemen dy adalah $i(L - y)$ jadi jatuh tegangan pada elemen dy :**

$$dV = i(L - y)r dy + i(L - y)x dy \quad \Rightarrow \quad dV = \int_0^y (r \cos \varphi + x \sin \varphi) i(L - y) dy$$

$$\Delta V = (r \cos \varphi + x \sin \varphi) (iLy - \frac{1}{2} y^2) \quad \Rightarrow \quad \Delta V = (r \cos \varphi + x \sin \varphi) (\frac{1}{2} iL^2)$$

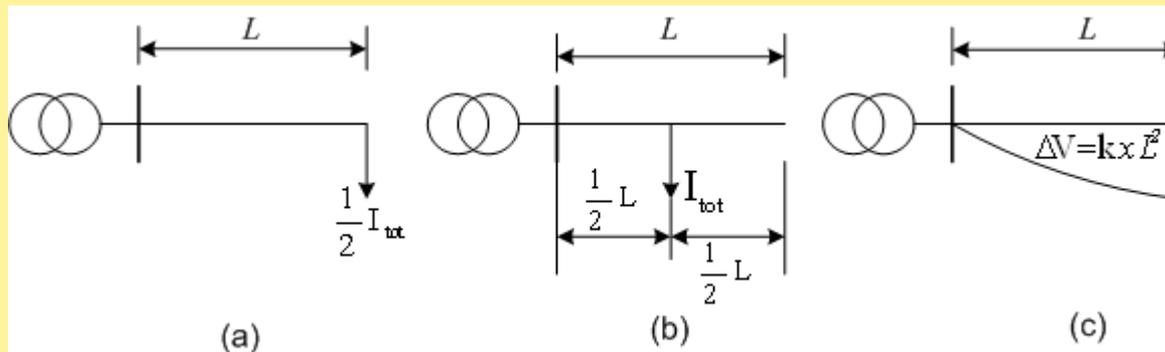
Karena $I = iL$:

$$\Delta V = (r \cos \varphi + x \sin \varphi) \left(\frac{1}{2} I_{\text{total}} \right) L \quad \text{.....30}$$

Atau

$$\Delta V = (r \cos \varphi + x \sin \varphi) \left(\frac{1}{2} L \right) I_{\text{total}} \quad \text{.....31}$$

Secara fisik persamaan 30 dan 31 dinyatakan seperti gambar 9a dan 9b. Jadi untuk beban yang merata sepanjang saluran jatuh tegangan totalnya sesuai persamaan 30 dan 31



Gambar 9

Jatuh tegangan pada jarak y dari sumber :

$$(\Delta V)_y = (r \cos \varphi + x \sin \varphi)(iLy - i \frac{1}{2} y^2)$$

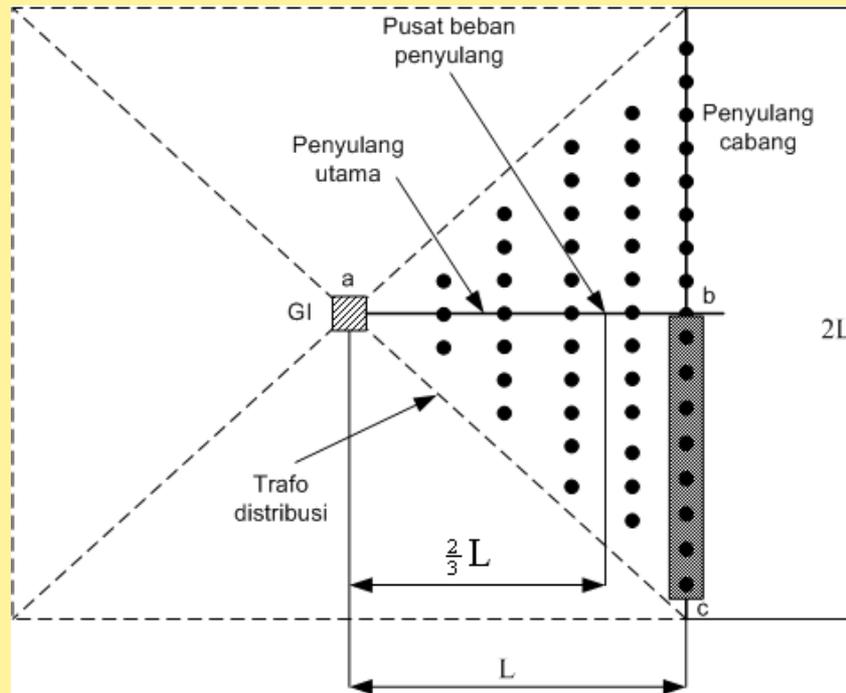
Atau

$$(\Delta V)_y = (r \cos \varphi + x \sin \varphi)iL(y - \frac{y^2}{2L})$$

$$(\Delta V)_y = k(y - \frac{y^2}{2L})$$

Pada gambar 9c jatuh tegangan untuk setiap titik saluran merupakan fungsi kuadrat dari jaraknya.

➤ **Jatuh tegangan pada daerah pelayanan yang berbentuk segi tiga seperti gambar 10**



Gambar 10

➤ **Penyulang memasok suatu daerah yang berbentuk segi tiga ,jatuh tegangan dari titik sumber a (GI) samapai titik c yaitu ujung dari penyulanh-penyulangyan paling akhir :**

$$(\Delta V_{ac})\% = (\Delta V_{ab})\% + (\Delta V_{bc})\%$$

➤ Dari gambar 10 salah satu penyulang memikul beban total sebesar :

$$S_t = A \times D \text{ kVA} \quad \text{.....32}$$

Dimana : S_t = beban total penulang utama dalam kVA

A = luas daerah pelayanan dalam km^2

D = kepadatan beban dalam kVA/km^2

Persamaan 32 dapat ditulis :

$$S_t = L^2 \times D \text{ kVA} \quad \text{.....33}$$

Dimana : $A = L^2$

➤ Jika beban terdistribusi merata pada daerah pelayanannya yaitu jarak dari trafo-trafo distribusi sama ,demikian juga bebannya maka jatuh tegangan pada penylang utama :

$$(\Delta V_{ab})\% = \frac{\frac{2}{3} \times S_t [r \cos \varphi + x \sin \varphi]}{V_j^2} \times 100\%$$

Atau

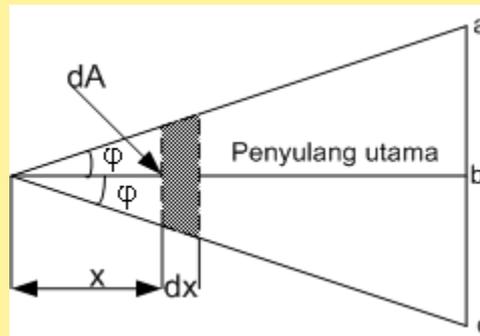
$$(\Delta V_{ab})\% = S_t \times \frac{2}{3} L \times k \times \% \quad \dots\dots 34$$

$$k = \frac{[r \cos \phi + x \sin \phi]}{V_j^2} \times 100$$

Substitusi persamaan 33 ke 34 :

$$(\Delta V_{ab})\% = \frac{2 \times S_t \times k \times L^3}{3} \times \% \quad \dots\dots 35$$

➤ Pada gambar 11 sebuah penyalang utama melayani daerah yang berbentuk segi tiga dengan kepadatan bebannya D kVA/km dan distribusi beban merata



Gambar 11

➤ **Penyulang utama a – b melayani beban daerah pelayanan berbentuk segi tiga**

➤ **Besarnya beban pada x dan setebal dx :**

$$\Delta S = DdA \text{ kVA}$$

Dimana : ΔS = beban pada dA yang disuplay oleh penyulang dalam kVA

D = kapadatan beban kVA/km²

dA = luas setebal dx dalam km²

➤ **Dari gambar 11 didapat :**

$$\tan \varphi = \frac{y}{x + dx} \rightarrow y = (x + dx) \tan \varphi$$

➤ **Luas total penyulang utama didapat :**

$$A = \int_{x=0}^L dA \rightarrow A = y \times L$$

$$A = L^2 \tan \varphi$$

.....36

➤ **Beban total yang dipasok oleh satu dari n penyulang :**

$$S = \int_{x=0}^L dS \rightarrow S = D \times A$$

$$S = D \times L^2 \times \tan \varphi \quad \text{.....37}$$

➤ **Untuk beban total S degi tiga pelayanan yang jarak 2/3 L dari sumber maka jatuh tegangan total dalam persen dari penyulang utama :**

$$(\Delta V_{ab})\% = \frac{2}{3} \times L \times k \times S_t \times 100\% \quad \text{.....38}$$

➤ **Substitusi persamaan 37 ke 38 :**

$$(\Delta V_{ab})\% = \frac{2}{3} \times k \times D \times L^3 \times \tan \varphi\% \quad \text{.....39}$$

➤ **Karena $n(2\varphi) = 360^0$ dimana n jumlah penyulang utama maka**

$$(\Delta V_{ab})\% = \frac{2}{3} \times k \times D \times L_n^3 \times \tan \left(\frac{360^0}{n} \right)\% \quad \text{.....40}$$

➤ Persamaan 39 dan 40 hanya dipakai $n \gg 3$ dari tabel 1 terlihat hasil pemakaian persamaan 39 untuk luas bujur sangkar .

➤ Untuk $n = 10$ jatuh tegangan dalam persen dari penyulang utama :

$$(\Delta V)_1 = \frac{1}{2} \times k \times D \times L^3 \quad \dots\dots 41$$

Tabel 1

n	ϕ	$\tan\phi$	$(\Delta V)_n\%$
4	45^0	1,0	$\frac{2}{3} \times k \times D \times L_4^3$
6	30^0	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	$\frac{1}{\sqrt{3}} \left(\frac{2}{3} \times k \times D \times L_6^3 \right)$

Contoh

2. Suatu penyulang 6 kV tiga fasa menggunakan penghantar AAAC 55 mm² r dan x nya masing-masing 0,655 ohm/km dan 0,3226 ohm/km panjang penyulang 4 km dan ujung penyulang terdapat beban sebesar 1500 kVA faktor daya 0,9 mengikuti. Hitunglah jatuh tegangan dalam persen dari penyulang utama.

Jawab

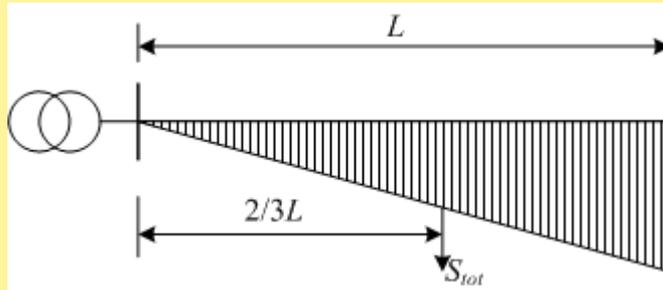
$$(\Delta V)\% = S \times L \times k\% \quad \Rightarrow \quad k = \frac{r \cos \phi + x \sin \phi}{V_j^2} \times 100$$

$$k = \frac{0,655 \times 0,9 + 0,3266 \times 0,4359}{6^2} \times 100 = 2,034$$

$$(\Delta V)\% = 1,5 \times 4 \times 2,0342\% = 6,10\%$$

Contoh

3. Kepadatan beban saluran meningkat secara linier seperti terlihat pada gambar beban total 1500 kVA



Hitunglah jatuh tegangan dalam persen dari penyulang utama.

Jawab

$$(\Delta V)\% = S_t \times \frac{2}{3} L \times k \times \%$$

$$(\Delta V)\% = 1,5 \times \frac{2}{3} \times 2 \times 2,0342\% = 4,07\%$$

4. Suatu beban 1500 kVA merata sepanjang saluran .Hitunglah jatuh tegangan dalam persen dari penyulang utama.

Jawab

$$(\Delta V)\% = S_t \times \frac{1}{2} L \times k \times \%$$

$$(\Delta V)\% = 1,5 \times \frac{1}{2} \times 2 \times 2,0342\% = 3,05\%$$

Contoh

5. Pandingkan hasil perhitungan contoh 2,3 dan 4 beri kesimpulan.

Jawab

a. Perbandingan jatuh tegangan dalam persen antara beban tunggal dan merata :

$$\frac{(\Delta V)\% \text{ beban tunggal}}{(\Delta V)\% \text{ beban merata}} = \frac{6,10}{3,05} = 2$$

Kesimpulan jatuh tegangan beban tunggal 2 kali dari beban merata

b. Perbandingan jatuh tegangan dalam persen antara beban tunggal dan kepadatan meningkat :

$$\frac{(\Delta V)\% \text{ beban tunggal}}{(\Delta V)\% \text{ beban meningkat}} = \frac{6,10}{4,07} = 1,5$$

Kesimpulan jatuh tegangan beban tunggal 1,5 kali dari beban kepadatan meningkat.

c. Perbandingan jatuh tegangan dalam persen antara beban meningkat dan beban merata:

$$\frac{(\Delta V)\% \text{ beban meningkat}}{(\Delta V)\% \text{ beban merata}} = \frac{4,07}{3,05} = 1,33$$

Kesimpulan jatuh tegangan beban meningkat 1,33 kali dari beban merata.

Contoh

6. Jaringan tegangan rendah 220 380 V dengan penghantar tembaga 50 mm² beban merata sebesar 200 VA/m jatuh tegangan dipernankan 5% faktor daya =1 daya hantar jenis tembaga(ρ) = 56 mho-meter per mm² reaktansi diabaikan .Hitunglah panjang JTR maksimum.

Jawab

Karena beban merata jatuh tegangan digunakan rumus persamaan 30 yaitu beban total (200 x L) VA berada pada jarak $\frac{1}{2}$ L

$$\text{Arus beban total} = \text{ arus jala} = \frac{200 \times L}{\sqrt{3} \times 380} \text{ A}$$

$$\Delta V = (r \cos \varphi + x \sin \varphi) \left(\frac{1}{2} I_{\text{total}} \right) L \text{ volt}$$

Dimana : $r = \frac{1}{\rho \times q}$

$$\Delta V = \left(\frac{1}{\rho \times q} \cos \varphi \right) \left(\frac{200 \times L}{2\sqrt{3} \times 380} \right) L \text{ volt}$$

Atau

$$\Delta V = \left(\frac{1}{\rho \times q} \cos \varphi \right) \left(\frac{200 \times L^2}{2\sqrt{3} \times 380} \right) \text{volt}$$

Jatuh tegangan yang diizinkan 5 % yaitu $5\% \times 220 = 11$ volt

Maka panjang JTR :

$$11 = \left(\frac{1}{56 \times 50} \cdot 1 \right) \left(\frac{200 \times L^2}{2\sqrt{3} \times 380} \right) \text{volt}$$

$$L^2 = 202.719,226 \rightarrow L = 450,243 \text{meter}$$

➤ **Pada contoh 6 reaktansi dari saluran diabaikan dengan faktor daya =1 untuk menghitung jatuh tegangan dengan memperhiyungkan reaktansinya ,maupun faktor daya tidak sama dengan satu dapat diuraikan seagai berikut :**

➤ **Asumsikan beban-beban nya tiga fasa seimbang dan faktor daya =0,9 maka tegangan secara pendekatan :**

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

Dimana : I dalam amper, R dan X dalam ohm

➤ **Untuk sistem tiga fasa arus fasany :**

$$I = \frac{10^3 \times S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{10^3 \times P}{\sqrt{3} \times V \cos \varphi}$$

Dimana : S dalam kVA, dan P dalam kW

➤ **Maka jatuh tegangan :**

$$\Delta V = \frac{10^3 \times P}{\sqrt{3} \times V \cos \varphi} (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$$

$$\left(\frac{\Delta V}{V_f} \right) \% = \frac{10^3 \times P}{\sqrt{3} \times V \times V_f \cos \varphi} (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \times 100\%$$

➤ **Atau**

$$\Delta V \% = \frac{10^5 \times P \times L}{V^2 \cos \varphi} (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \%$$

Dimana $R = L.r$ ohm dan $X = L.x$ ohm dan L dalam meter $r =$ ohm per meter dan $x =$ ohm per meter dan tahanan $r=1/(\rho \times q)$ maka jatuh tegangan :

$$\Delta V\% = \frac{10^5 \times P \times L \times r}{V^2 \cos \varphi} \left(\cos \varphi + \frac{x}{r} \sin \varphi \right) \times \%$$

$$\Delta V\% = \frac{10^5 \times P \times L}{\rho \times q \times V^2} \left(1 + \frac{x}{r} \tan \varphi \right) \times \%$$

$$\Delta V\% = (P \times L) \vartheta^* \times 10^{-4} \%$$

Dimana : $\vartheta^* = \frac{10^5 \times P \times L}{\rho \times q \times V^2} \left(1 + \frac{x}{r} \tan \varphi \right) = \vartheta^* \times 10^{-4}$

$P =$ dalam kW; $V =$ dalam volt; $q =$ penampang penghantar mm^2

$\rho =$ daya hantar jenis mho-meter $/\text{mm}^2$

$L =$ jarak beban sampai sumber meter

$r =$ tahanan ohm/fasa/km ; $x =$ ohm/fasa/km

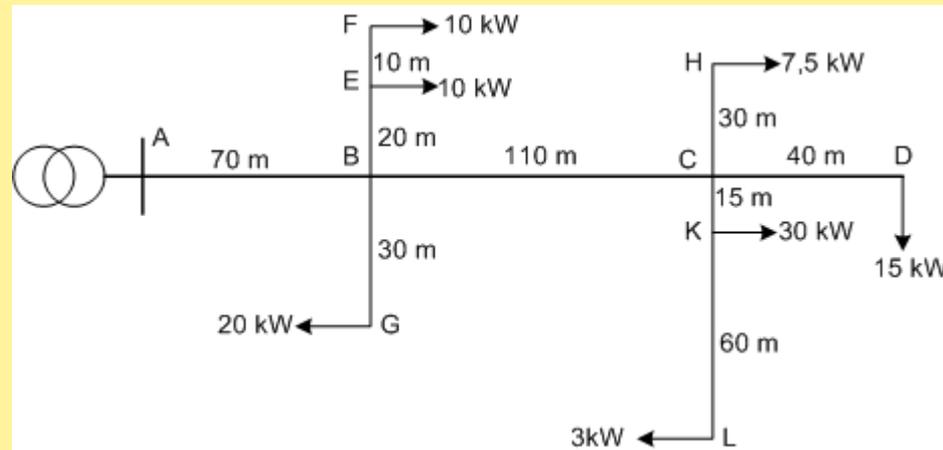
Nilai g^* $V = 380$ V faktor daya = 0,9 dapat dilihat tabel 2

Penampang kawat mm ² Aluminium		16	25	35	50		70	95	120
					7 urat	19 urat			
Tahanan	r(ohm/km)	1.807	1,187	0,835	0,581	0,595	0,437	0,308	0,246
Reaktansi	x(ohm/km)	0,354	0,341	0,336	0,319	0,319	0,309	0,298	0,291
Impendansi	z(ohm/km)	1,841	1,235	0,898	0,663	0,675	0,535	0,429	0,381
	x/r	0,196	0,287	0,395	0,549	0,536	0,707	0,968	1,183
	g^*	13,704	9,365	6,891	5,088	5,189	4,059	3,136	2,675

Penampang kawat mm ² Tembaga	10		15	25	35	50		70	95	120
	1kawat	banyak kawat				7 urat	19 urat			
r(ohm/km)	1.804	1,804	1.786	0,738	0.519	0,361	0.370	0,271	0.192	0,153
x(ohm/km)	0,377	0,368	0,354	0,341	0.330	0,319	0,319	0,309	0,298	0,291
z(ohm/km)	1,843	1,823	1,177	0,813	0.615	0,482	0,488	0,411	0,355	0,329
x/r	0,209	0,206	0,315	0,462	0.636	0,884	0,862	1,14	1,552	1,902
g^*	13,755	13,599	8,964	6,253	4.701	3,567	3,629	2,916	2,324	2,03

Contoh

7. Suatu JTR tiga fasa empat kawat seperti gambar 220/380 V



Ditanyakan : a. Pilihlah penampang tembaga (CU) agar jatuh tegangan tidak lebih dari 5%

b. berapa banyak (kg) Cu yang dibutuhkan

Jawab

Misal diambil penampang 25 mm^2 Cu dari tabel 1 didapat $\vartheta^* 6,253$

Jatuh tegangan pada saluran utama A-D :

$$(\Delta V_{CD})\% = (P \times L)\vartheta^* \times 10^{-4}\%$$

$$(\Delta V_{CD})\% = (15 \times 40) \times 6,253 \times 10^{-4}\% = 0,375\%$$

$$(\Delta V_{BC})\% = (15 + 7,5 + 30 + 3) \times 110 \times 6,253 \times 10^{-4}\% = 3,817\%$$

$$(\Delta V_{AB})\% = (15 + 7,5 + 30 + 3 + 10 + 10 + 20) \times 70 \times 6,253 \times 10^{-4}\% = 4,180\%$$

$$\text{Jatuh tegangan}(\Delta V_{AD})\% = 8,372\%$$

Ternyata bahwa penampang saluran 25 mm² cu jatuh tegangannya 8,372 % melebihi yangizinkan 5% oleh karena itu penampang harus diperbesar atau nilai η^* diperkecil dengan cara :

$$\frac{5}{8,372} \times 6,253 = 3,745$$

Menurut tabel 3,745 menekati 3,629 yaitu penampang 50 mm² 19 urat maka jatuh tegangan :

$$(\Delta V_{CD})\% = \frac{3,629}{6,253} \times 0,375 = 0,2176\%$$

$$(\Delta V_{BC})\% = \frac{3,629}{6,253} \times 3,817 = 2,215\%$$

$$(\Delta V_{AB})\% = \frac{3,629}{6,253} \times 4,180 = 2,426\%$$

Jadi jatuh tegangan totalnya $= (0,2176 + 2,215 + 2,426) = 4,8586\%$

Saluran A-D memakai kawat 50 mm^2

Jatuh tegangan dititik L misalkan Cu 25 mm^2 :

$$(\Delta V_{KL})\% = 3 \times 60 \times 6,253 = 0,1125\%$$

$$(\Delta V_{CK})\% = 33 \times 15 \times 6,253 = 0,3095\%$$

$$\begin{array}{r} \hline + \\ (\Delta V_{CL})\% = 0,4220\% \end{array}$$

**Jatuh tegangan total L terhadap A adalah $= (\Delta V_{AB})\% + (\Delta V_{BC})\% + (\Delta V_{CL})\%$
 $= 2,426\% + 2,215\% + 0,4220\% = 5,053\%$**

Jatuh tegangan $5,053\%$ melebihi 5% jadi penampang CK harus diperbesar jatuh tegangan maksimum pada saluran C-K $= 5\% - (2,426 - 2,215)\% = 0,359\%$

Jadi $g^* = (0,359) / (0,4220) \times 6,253 = 5,3195$

Dari tabel 1 $5,3195$ mendekati $4,701$ atau kawat Cu 35 mm^2

Jatuh tegangan $(\Delta V_{CK})\%$ sekarang $= (4,701 / 6,253) \times 0,4229\% = 0,317\%$

Jadi jatuh tegangan (%) total dititik L setelah memakai Cu 35 mm² adalah :

$$= (2,246+2,215 +0,317) \%=4,950\% \text{ memenuhi syarat}$$

**Sekarang dititik G jatuh tegangan terhadap A = $=(\Delta V_{AB})\% + (\Delta V_{BG})\%$
=4,180+0,375 =4,555% masih dibawah 5%**

Hasil selengkapnya penampang tembaga (Cu) dari JTR :

Penghantar	Panjang (m)	Banyaknya Kawat	Ukuran kawat nol
A-D	220	3x50mm ²	1x35 atau 1x50mm ²
B-F	30	3x25mm ²	1x25mm ²
B-G	30	3x25mm ²	1x25mm ²
C-L	75	3x35mm ²	1x25mm ²
H-C	30	3x25mm ²	1x25mm ²

b. Banyak tembaga 1 km penghantar cu dengan penampang 1 mm² volume 1dm³ dan beratnya 8,9 kg

Penampang(mm ²)	Volume
50	0,220(4x50)=44dm ³
35	0,075(3x(35+25))=9,75dm ³
25	0,090(4x25)=9dm ³

Jumlah volume = 62,75 dm³

Berat = 6,75x8,9 kg = 558,474 kg

SISTEM DISTRIBUSI DAYA LISTRIK

**INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL
JAKARTA**

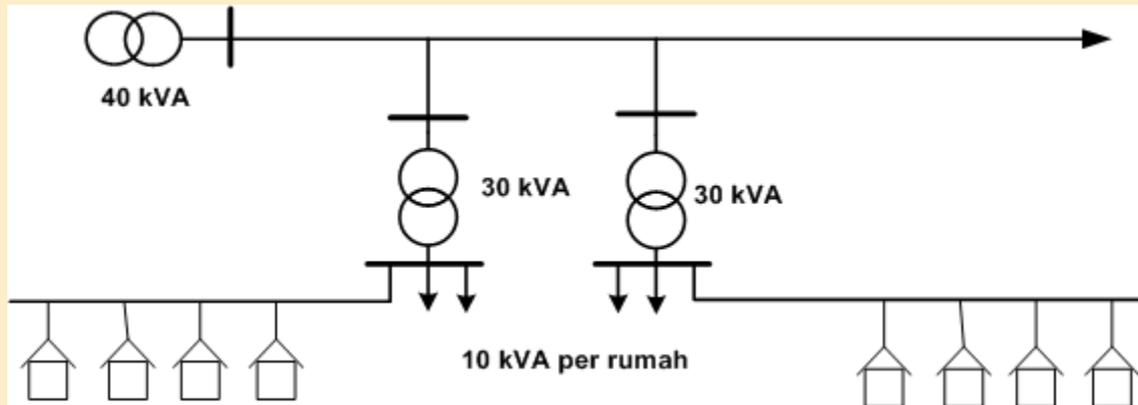
KLASIFIKASI DAN KARAKTERISTIK BEBAN

KLASIFIKASI BEBAN

- ❖ **Beban rumah tangga** berupa lampu penerangan ,kipas angin,pemanas air,lemari es,mixser,pompa air dan AC dengan faktor demand 70-100%.faktor diversitas 1,2-1,3 dan faktor beban 10-15%
- ❖ **Beban komersial** penerangan toko,reklame ,kipas angin, AC dan alat listrik lainnya yang diperlukan toko dan restoran dengan faktor demand 90-100%.faktor diversitas 1,1-1,2 dan faktor beban 25-30%
- ❖ **Beban industri** skala kecil dan sekala besar dengan faktor demand 70-80%. dan faktor beban 60-65% untuk industri berat dengan faktor demand 85-90% dan faktor beban 70-80%

Ukuran kepadatan beban

- ❖ Kepadatan beban selalu dipakai sebagai ukuran dalam menentukan kebutuhan listrik sesuatu daerah dengan satuan VA/m², MVA/km² atau kVA/m² umumnya dipakai MVA/km²
- ❖ Suatu gardu distribusi mencatu pelanggan TR seperti gambar setiap gardu mencatu 4 rumah yang beban puncaknya 10 kVA.



Beban sebesar 10 kVA ini bukan merupakan besarnya beban per rumah yang terjadi terus menerus ,ini hanya terjadi sesat saja misal hanya 15 menit,harus diingat disetiap harinyadapat terjadi perubahan pemakaian energi listrik seiring dengan kebutuhan manusia yang bervariasi baik per minggu ,per bulan maupun per tahun

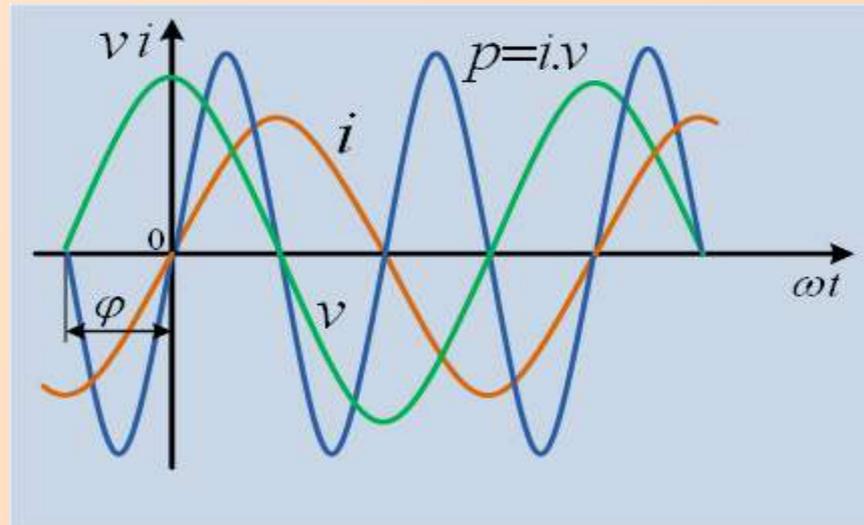
- ❖ Pada gambar diatas beban total keempat rumah tersebut hanya 30 kVA (beban puncak transformator) dan beban puncak total kedua transformator tersebut hanya 40 kVA perbedaan puncak demand per rumah adalah $(80-40)\text{kVA}/8 = 5 \text{ kVA}$
- ❖ Perbedaan puncak demand (Peak Diversified Demand) dari sejumlah kelompok besar dari pelanggan, biasanya dipakai untuk menentukan kepadatan beban.
- ❖ Pada daerah perumahan atau pedesaan beban puncak dimana diversitas yang dilihat dari Gardu Induk merupakan angka terbaik bila digunakan untuk menentukan kepadatan beban sedangkan pada daerah komersial angka yang terbaik bila dilihat dari sisi gardu distribusi

Karakteristik beban

- ❖ Karakteristik beban diperlukan agar sistem tegangan dan pengaruh termis dari pembebanan dapat dianalisa dengan baik.
- ❖ Dalam analisa karakteristik beban dilakukan beberapa definisi mengenai daya ,demand dan faktor demand.

DAYA DAN FAKTOR DAYA

- ❖ Gelombang sinusoidal tegangan , arus dan daya bolak balik ditunjukkan gambar.



- ❖ Daya rata-rata sesaat adalah :

$$p = i.v \quad \mathbf{1}$$

❖ **Tegangan dan arus fungsi dari waktu maka daya :**

$$v(t) = V_m \cos \omega t \quad \text{dan} \quad i(t) = I_m \cos(\omega t - \varphi)$$

$$p(t) = V_m I_m \cos \omega t \cos(\omega t - \varphi)$$

$$p(t) = \frac{1}{2} V_m I_m [\cos(\omega t - \omega t + \varphi) + \cos(\omega t + \omega t - \varphi)]$$

$$p(t) = \frac{V_m I_m}{2} \cos \varphi + \frac{V_m I_m}{2} \cos(2\omega t - \varphi)$$

$$p(t) = \frac{V_m I_m}{2} [\cos \varphi + \cos 2\omega t \cos \varphi + \sin 2\omega t \sin \varphi]$$

$$p(t) = \frac{V_m I_m}{2} \cos \varphi (1 + \cos 2\omega t) + \frac{V_m I_m}{2} \sin \varphi \sin 2\omega t \quad \mathbf{2}$$

❖ **Dengan demikian daya rata-rata atau **Daya Nyata** satuan (Watt) adalah :**

$$P = \frac{V_m I_m}{2} \cos \varphi$$

$$P = VI \cos \varphi \quad \mathbf{3}$$

dimana: $\frac{V_m I_m}{2}$ diganti dengan VI yang mana VI harga rata-rata atau

harga rms dari tegangan dan arus

- ❖ Harga rata-rata untuk $\cos 2\omega t$ dan $\sin 2\omega t$ selalu nol selama satu periode maupun setengah periode.
- ❖ Dari persamaan 2 bagian kedua terdapat $\sin \varphi$ selalu berubah-ubah dari positif ke negatif maka daya sesat dinamakan **Daya Reaktif** satuan (Var) dapat ditulis :

$$Q = \frac{V_m I_m}{2} \sin \varphi$$

$$Q = VI \sin \varphi \quad \mathbf{4}$$

- ❖ **Daya Semu** satuan (VA) adalah akar dan jumlah kuadrarat P dan Q

$$\sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{(VI \cos \varphi)^2 + (VI \sin \varphi)^2} = VI \sqrt{\underbrace{(\cos \varphi)^2 + (\sin \varphi)^2}_1}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

$$S = VI$$

5

- ❖ Dari persamaan 3 dan 5 dapat dihitung **Faktor Daya:**

$$\cos \varphi = \frac{P}{VI} = \frac{P}{S} \quad 6$$

- ❖ Untuk daya dalam bilangan kompleks bila diketahui fasor tegangan $V = |V| \angle \varphi_1$ dan arus konjugat kompleks $I^* = |I| \angle -\varphi_2$ dari arus $I = |I| \angle \varphi_2$ adalah:

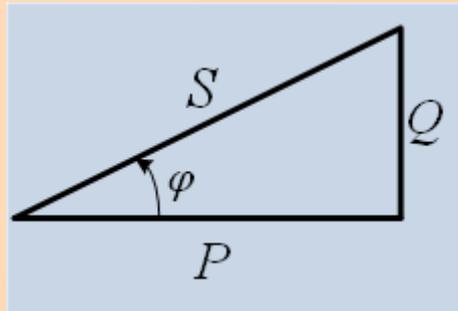
$$S = |V| \angle \varphi_1 |I| \angle -\varphi_2 = |V||I| \angle \varphi_1 - \varphi_2$$

$$S = |V||I| \cos(\varphi_1 - \varphi_2) + j \sin(\varphi_1 - \varphi_2)$$

$$S = |V||I| \cos \varphi + j \sin \varphi$$

$$S = VI^* = P + jQ \quad 7$$

- ❖ Dari persamaan 7 dapat dibentuk segi tiga daya seperti gambar :



❖ Untuk daya reaktif, daya semu dan reaktif tiga fasa adalah:

$$P = \sqrt{3} V_{\text{jala}} I_{\text{jala}} \cos \varphi$$

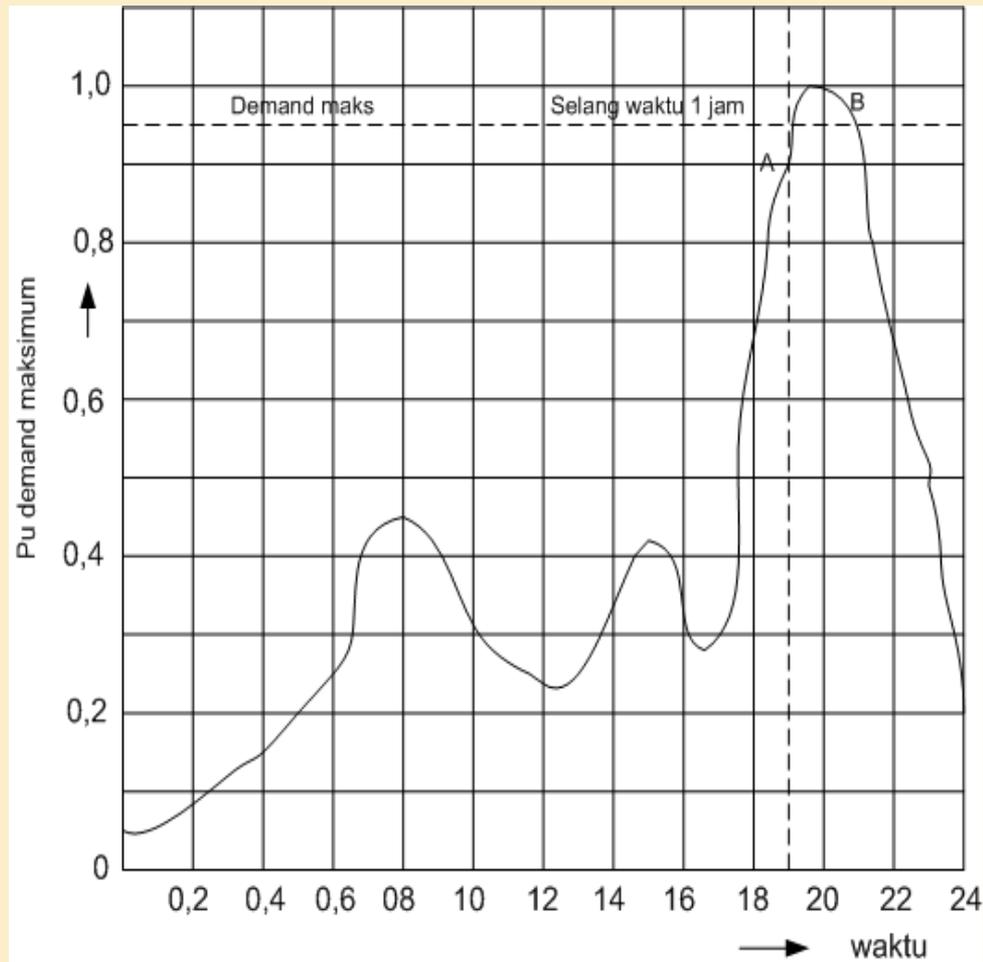
$$Q = \sqrt{3} V_{\text{jala}} I_{\text{jala}} \sin \varphi$$

$$S = \sqrt{3} V_{\text{jala}} I_{\text{jala}}$$

Kebutuhan/beban (Demand)

- ❖ Kebutuhan suatu sistem adalah beban rata-rata yang dibutuhkan selama selang waktu yang singkat .
- ❖ Selang waktu ditentukan oleh jenis peralatan yang ditinjau, yang mana ditentukan konstanta thermis dengan lamanya beban tersebut dipakai .
- ❖ Untuk peralatan-peralatan mempunyai konstanta waktu thermis yang lama 15 menit, 30 menit , 1 jam bahkan lebih .

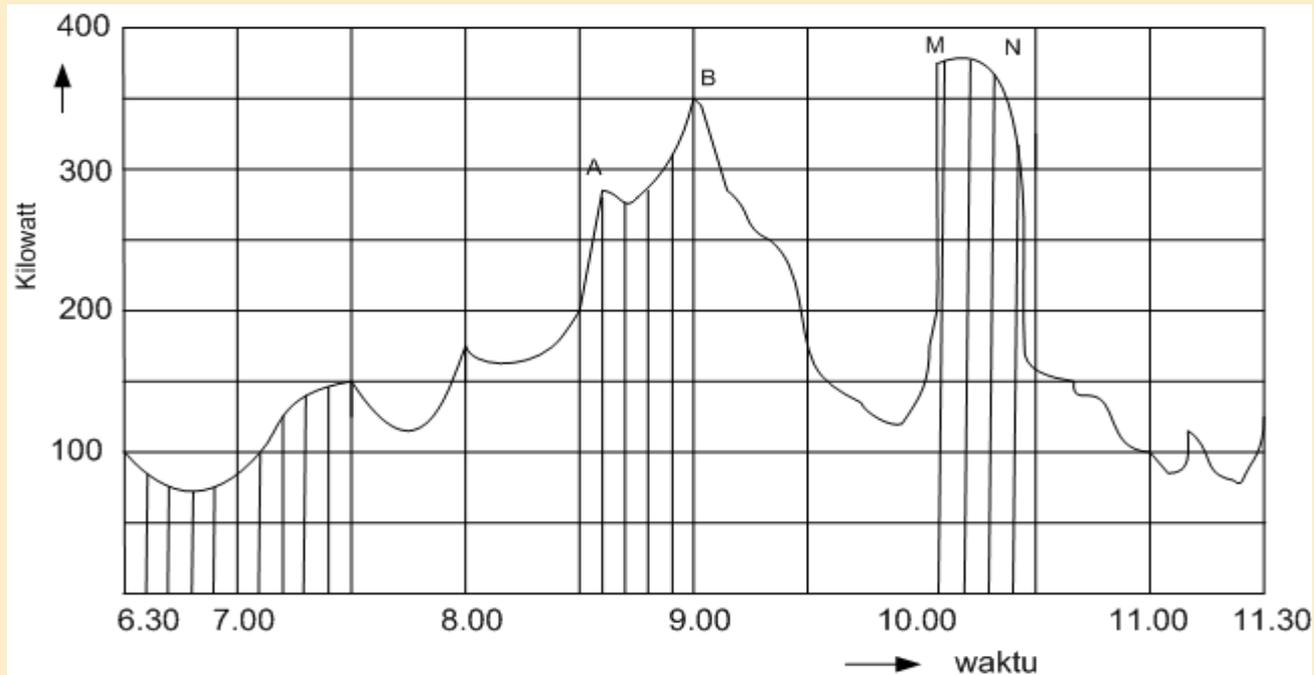
- ❖ Pada gambar terlihat variasi suatu beban dalam sehari ,selawang waktu dari bebannya (kebutuhan) ,dimana kebutuhan merupakan harga rata-rata beban dimana alat tersebut dipakai selama selang waktu



Kebutuhan maksimum

- ❖ Kebutuhan maksimum (kebutuhan puncak) dari suatu instalasi adalah sebagai suatu beban (kebutuhan) yang terbesar/tertinggi yang terjadi selama periode tertentu.
- ❖ Periode tertentu itu dapat sehari,sebulan,setahun pada gambar diatas ditunjukkan periode harian yaitu periode variasi pembebanan trafo distribusi dalah selama sehari.
- ❖ Pada gambar diatas salah satu contoh dari trafo distribusi dimana beban puncaknya selam selang waktu 1 jam dari jam 19⁰⁰ titik (A) sampai 20⁰⁰ titik (B), dimana nialai rata-rata kurva A-B merupakan kebutuhan puncak (kebutuhan mksimum).
- ❖ Kebutuhan puncak bukan nilai sesaat tapi nilai rata-rta selama selang waktu tertentu bisa 15 menit,30 menit atau 1 jam.

- ❖ Pada gambar dibawah ditunjukkan kurva suatu beban selama 5 jam



- ❖ Kebutuhan puncak pada selang waktu 30 menit terjadi pada waktu A-B yaitu antara jam 8.30-9.00 nilai 288 kW merupakan beban puncak (kebutuhana maksimum)
- ❖ Untuk selang waktu 15 menit terjadi waktu M-N dan nilainya 342 kW
- ❖ Agar kebutuhan maksimum mempunyai arti maka diperlukan kurva beban harian ,bulanan,tahunan serta menetapkan selang waktunya.

Faktor kebutuhan /demand

- ❖ Faktor kebutuhan adalah perbandingan antar kebutuhan maksimum (beban puncak) terhadap daya tersambung

$$\text{Faktor kebutuhan /demand} = \frac{\text{kebutuhan maksimum}}{\text{jumlah daya tersambung}}$$

- ❖ Jumlah daya tersambung adalah jumlah daya dari seluruh beban tersambung dari setiap konsumen
- ❖ Faktor kebutuhan nilai kurang dari satu ,bila faktor kebutuhan nilai satu jika keseluruhan beban yang tersambung serentak diberi energi.
- ❖ Faktor kebutuhan biasanya dipakai untuk menentukan kapasitas (juga biaya) dari peralatan tenaga listrik yang diperlukan untuk melayani beban=beban tersebut.karena ada pengaruhnya terhadap investasi dalam menentukan pembiayaan.

Contoh

Suatu rumah daya tersambung terdiri dari :tiga buah lampu pijar 60 W, sepeluh lampu 40 W ,empat lampu 100 W dan lima lampu 10 W.kebutuhan maksimum 650 W selama 30 menit

Hitunglah faktor beban

Jawab

$$\text{jumlah daya tersambung} = (3 \times 60 \text{ W}) + (10 \times 40 \text{ W}) + (4 \times 100 \text{ W}) + (4 \times 10 \text{ W}) = 1030 \text{ W}$$

$$\text{Faktor kebutuhan /demand} = \frac{\text{kebutuhan maksimum}}{\text{jumlah daya tersambung}} = \frac{650}{1030} = 0,63 \text{ atau } 63\%$$

Faktor kebutuhan dari beberapa jenis bangunan

1. Perumahan sederhana 50-75%
2. Perumahan besar 40-65%
3. Kantor 60-80%
4. Toko sedang 40-60%
5. Toko serba 70-90%
6. Industri sedang 35-65%

Faktor beban (Load factor)

- ❖ Faktor kebutuhan adalah perbandingan antar beban rata-rata terhadap beban puncak dalam periode tertentu
- ❖ Beban rata-rata dan beban puncak dapat dinyatakan dalam kilowatt, kilovolt amper
- ❖ Faktor beban dapat dihitung untuk periode harian, bulanan atau tahunan.

$$\text{Faktor beban}(Fb) = \frac{\text{Beban rata-rata dalam periode tertentu}}{\text{Beban puncak dalam periode tertentu}}$$

Contoh

Seperti terlihat pada gambar kurva beban harian .Hitunglah Fb

0.00 - 1.00 ----450 kW

1.00 - 2.00....350kw

2.00 – 3.00....300kw

3.00 - 4.00.....250kw

4.00 – 5.00....200kw

5.00 – 6.00....250kw

6.00 – 7.00.....400kw

7.00 – 8.00.....450kw

8.00 – 9.00.....400kw

9.00 – 10.00...350kw

10.00 – 11.00..400kw

11.00 – 12.00...450kw

12.00 – 13.00.....500kw.

13.00 - 14.00.....450kw.

14.00 – 15.00.....400kw.

15.00 – 16.00.....450kw.

16.00 – 17.00.....550kw.

17.00 – 18.00.....650kw.

18.00 – 19.00.....850kw.

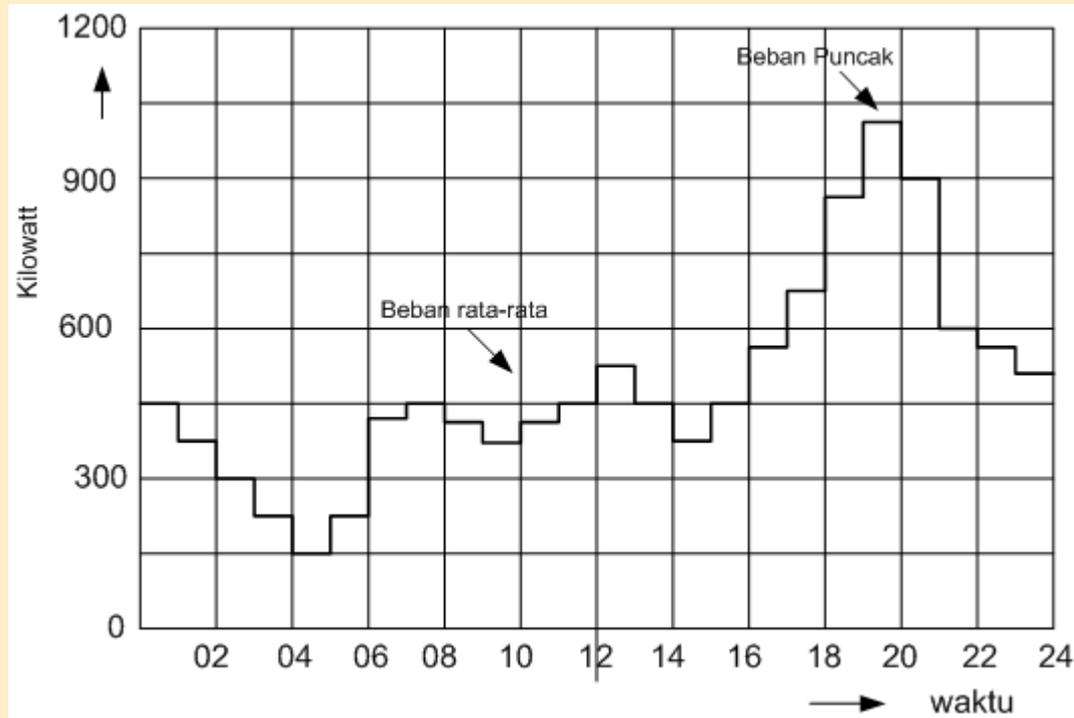
19.00 – 20.00.....1000kw.

20.00 – 21.00.....900kw.

21.00 – 22.00.....600kw.

22.00 – 23.00.....550kw.

23.00 – 24.00.....500kw.



Jumlah 11650 kW

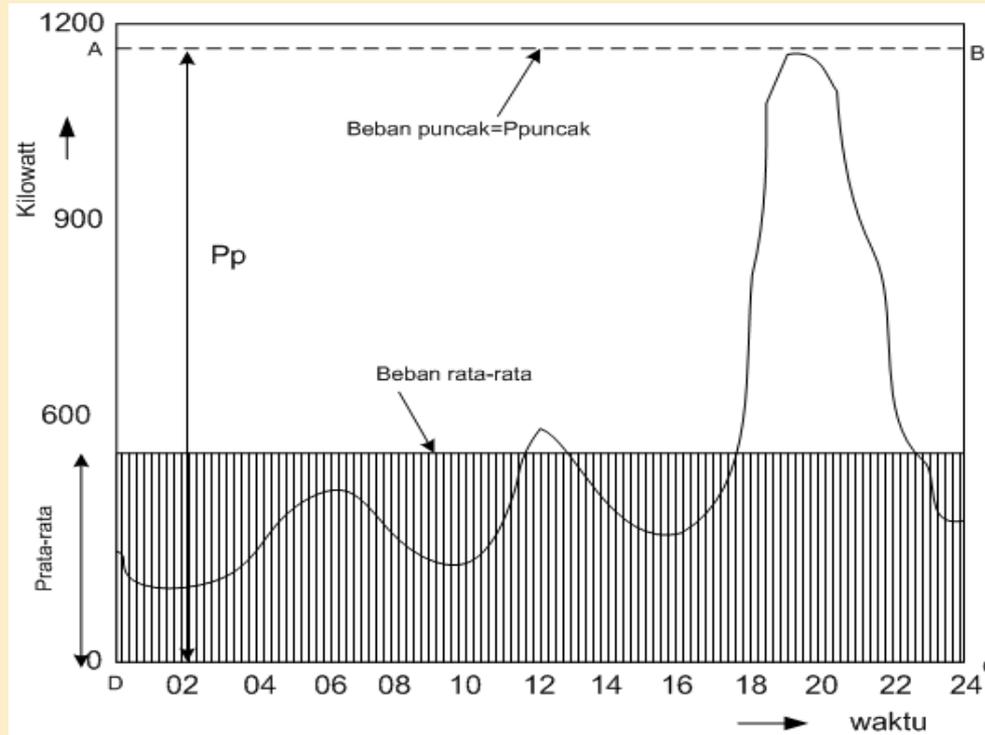
Energi total (kWh)=11650x1=11650kWh

Energi rata-rata /jam = $11650/24=485,4$ kw

Faktor beban = $485,4kw/1000kw=48,54\%$

Contoh

1. Sebuah beban kebutuhan maksimumnya 100kW pada faktor beban 100% yang berarti harus siap menyediakan 100 kW sepanjang waktu meskipun yang dipakai rata-rata 10 kW atau 10% ,ini juga berarti energi yang dihasilkan untuk beban puncak 100 kW dalam setahun adalah 10% dari energi setahunnya yaitu $10\% \times 8760 \text{ jam} = 876 \text{ jam}$ jadi energi yang dipakai $= 876 \times 100 \text{ kW} = 87600 \text{ kWh}$ selama setahun



Kurva beban harian dan faktor beban

Dari kurva beban harian maka faktor beban :

$$\text{Faktor beban (Fb)} = \frac{P_{\text{rata-rata}}}{P_{\text{puncak}}} = \frac{P_{\text{rata-rata}}}{P_p} \times \frac{T}{T}$$

Dimana : T = periode waktu

$P_{\text{rata-rata}}$ = beban rata-rata dalam periode T

P_p = beban puncak yang terjadi dalam periode T pada selang waktu tertentu (15 menit atau 30 menit)

pada kurva beban harian diatas :

$P_{\text{rata-rata}} \times T$ = kWh yang dihasilkan atau yang dibangkitkan

$P_p \times T$ = kWh maksimum yang dibangkitkan

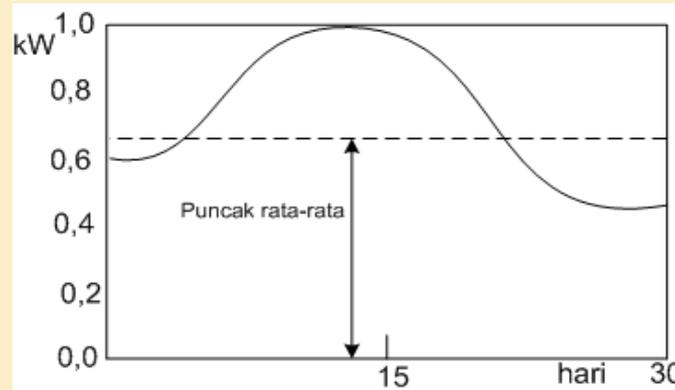
$P_{\text{rata-rata}} \times T$ = luas yang diarsir = kWh yang dihasilkan

$P_p \times T$ = luas ABCD = kWh maksimum yang dapat dibangkitkan

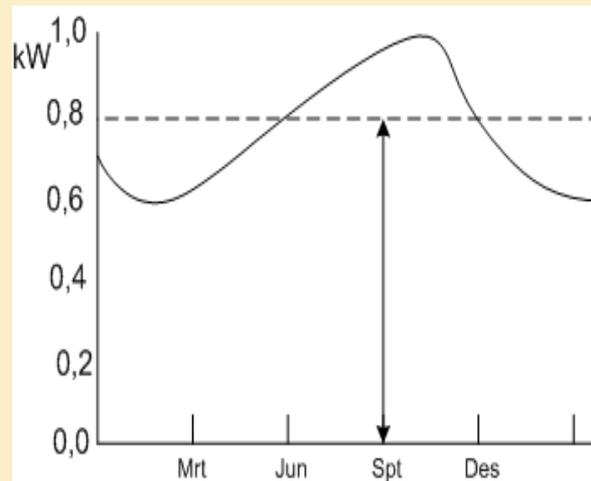
Bila T dalam setahun maka didapat faktor beban tahunan, bila dalam bulan didapat faktor beban bulanan dan bila harian faktor beban harian.

- ❖ Faktor beban harian bervariasi menurut karakteristik dari daerah beban tersebut yaitu :
 - a. Daerah pemukiman
 - b. Daerah industri
 - c. Daerah perdagangan
 - d. Gabungan dari bermacam pemakai/pelanggan.
 - e. Keadaan cuaca atau hari libur

- ❖ Faktor beban harian rata-rata ditunjukkan gambar dibawah merupakan dasar dari pada faktor beban tahunan total .

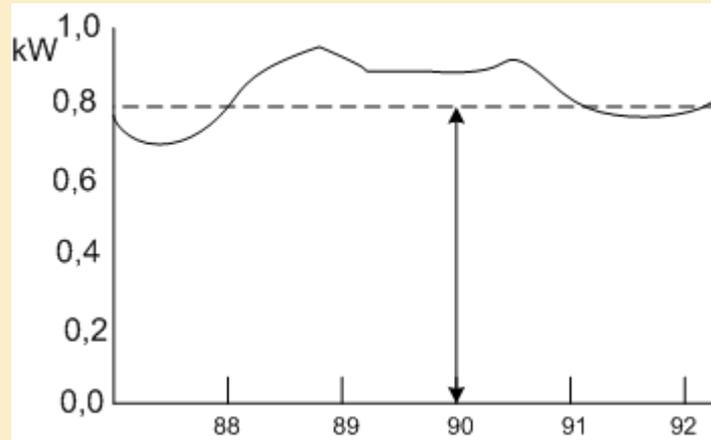


- ❖ Bila beban puncak setiap harinya diteliti maka dalam sebulan akan memperoleh gambaran dari beban puncak bulanananya seperti ditunjukkan gambar dibawah



Kurva beban puncak bulanan

- ❖ Beban puncak rata-rata bulanan terhadap beban puncak tahunan seperti ditunjukkan gambar dibawah.



Kurva beban puncak tahunan

- ❖ Misal P_{pt} = beban puncak tahunan (annual load factor) dapat dihitung :

$$F_{bt} = F_{b.bulanan} \times \frac{P_{ph}}{P_{pb}} \times \frac{P_{pb}}{P_{pt}}$$

Dimana : P_{bt} = faktor beban tahunan

P_{bh} = faktor beban harian

P_{ph} = beban puncak rata-rata harian

P_{pb} = beban puncak rata-rata bulanan

P_{pt} = beban puncak rata-rata tahunan

- ❖ Faktor diversitas (F_d) adalah perbandingan antara jumlah beban puncak dari masing-masing pelanggan dari satu kelompok pelanggan dengan beban puncak dari kelompok pelanggan tersebut yaitu :

$$F_d = \frac{D_1 + D_2 + D_3 + \dots + D_n}{D_k}$$

- ❖ Atau

$$F_d = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{D_k}$$

Dimana : D_i = adalah beban puncak (kebutuhan maksimum) dari beban masing- masing beban i yang terjadi tidak pada waktu yang bersamaan.

$D_k = D_{1+2+3+ \dots +n}$ adalah beban puncak dari n kelompok beban

Faktor diversitas (F_d) nilai lebih besar dari satu

$$\text{Faktor kebutuhan } (F_k) = \frac{\text{kebutuhan maksimum}}{\text{jumlah daya tersambung}}$$

❖ Atau

Kebutuhan maksimum = Faktor kebutuhan $(F_k) \times$ jumlah daya tersambung

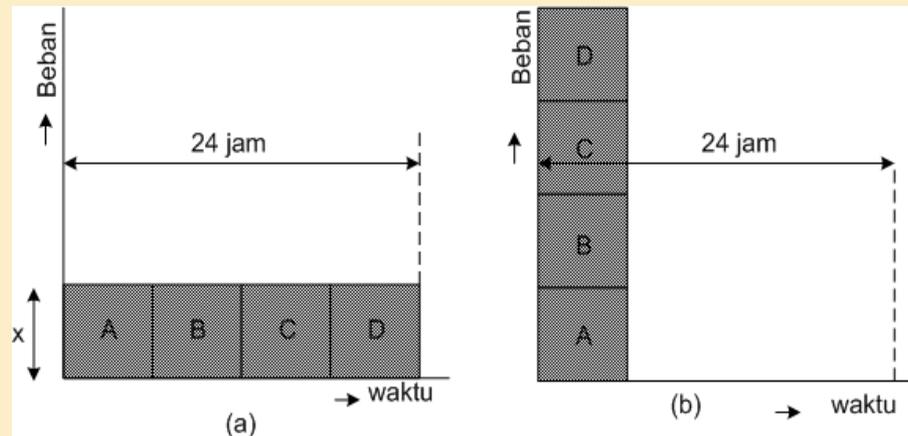
❖ Faktor diversitas dapat juga dinyatakan :

$$F_d = \frac{\sum_{i=1}^n \text{TDT}_i \times \text{Fdd}_i}{D_k}$$

Dimana : TDT_i = jumlah daya tersambung dari suatu kelompok atau beban i

Fdd_i = faktor kebutuhan dari suatu kelompok atau beban i

Pada gambar dibawah ditunjuka kelompok beban terdiri dari 4 pelanggan dengan beban puncak sama besar.



Dua nilai ekstrim faktor diversitas

- ❖ Faktor diversitas beban puncak dar empat pelanggan tidak bersamaan waktunya untuk gambar (a) diatas adalah :

$$F_d = \frac{D_1 + D_2 + D_3 + D_4}{D_{1+2+3+4}} = \frac{x + x + x + x}{x}$$

- ❖ Faktor diversitas gambar (b) diatas :

$$F_d = \frac{x + x + x + x}{4x}$$

- ❖ Faktor diversitas untuk gardu distribusi nilainya 1,00 – 1,50 dan untuk gardu induk nilainya 1,08 – 1,60 .
- ❖ Faktor kebersamaan /waktu (F_c) adalah perbandingan beban puncak (kebutuhan maksimum) dari suatu kelompok pelanggan (beban) dengan beban puncak masing-masing pelanggan dari kelompok tersebut:

$$F_c = \frac{D_k}{D_1 + D_2 + D_3 + \dots + D_n} \quad \longrightarrow \quad F_c = \frac{1}{F_d}$$

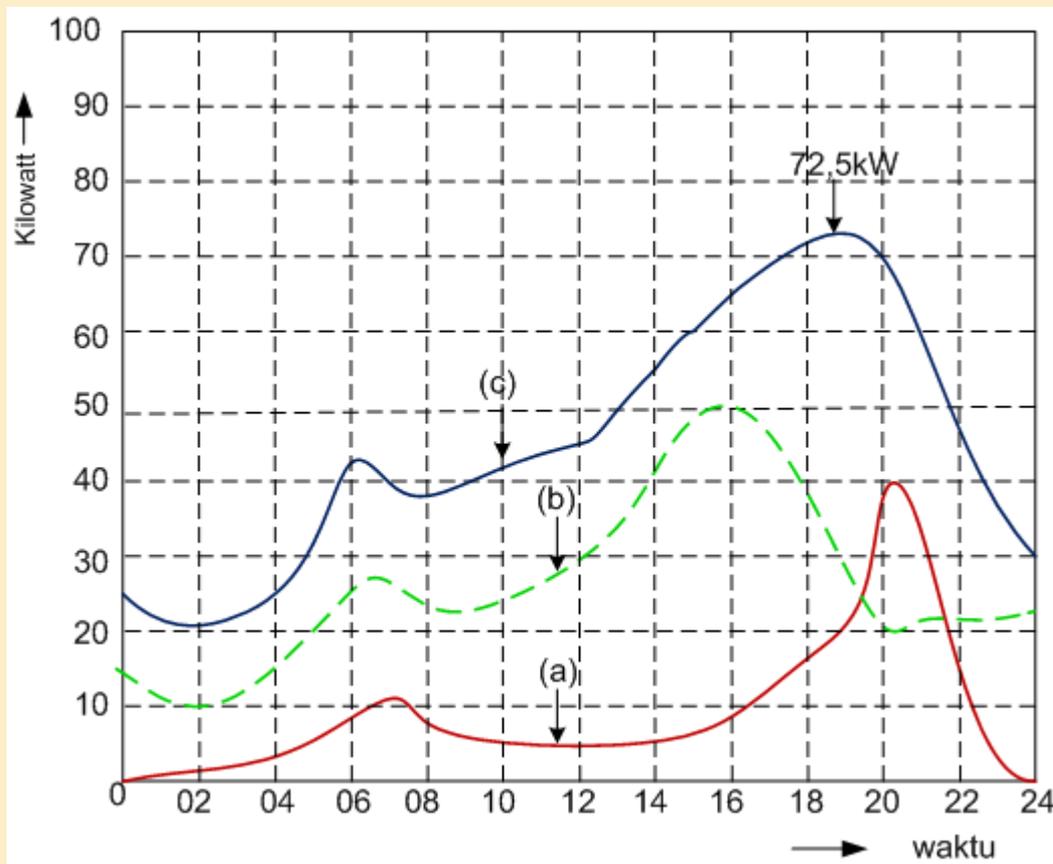
Contoh

2. Suatu trafo distribusi mencatu 50 pelanggan dengan daya tersambung masing-masing rumah adalah 3 kW faktor kebutuhan dan faktor diversitas masing –masing adalah 0,65 dan 1,25.

Jawab

$$F_d = \frac{\sum_{i=1}^n TDT_i \times Fdd_i}{D_k}$$

$$D_k = \frac{50 \times 3\text{kW} \times 0,65}{1,25} = 78\text{kW}$$



Contoh kurva beban gabungan harian

kurva(c) adalah gabungan dari kurva (a) dan kurva (b)

Gambar diatas variasi beban dengan beban puncaknya (kebutuhan maksimum) adalah 50 kVA

- ❖ Kurva (a) digabung dengan kurva (b) yang masing-masing 50 kW gabungan kedua kurva ini menghasilkan kurva (c) beban puncaknya kurva (c) 72,5 kW maka faktor deversitas dari kedua beban :

$$F_d = \frac{50\text{kW} + 50\text{kW}}{72,5\text{kW}} = 1,38$$

- ❖ Untuk beban rata-rata kurva (a) adalah 17,75 kW maka :
faktor bebanya = $17,75/50 = 0,35$ atau 35,5 %
- ❖ Untuk beban rata-rata kurva (b) adalah 23,25 kW maka
faktor bebannya = $23,35/50 = 0,464$ atau 46,45%
- ❖ Untuk beban rata-rata kurva (c) adalah 41 kW maka
faktor bebannya = $41/72,5 = 0,5655$ atau 56,55%
- ❖ Bila kedua beban ini masing-masing dipasok oleh sebuah trafo maka kapasitas trafo per beban adalah 50 kW.jadi untuk dua trafo kapasitas totalnya 100 Kw.

- ❖ Sebaliknya bila (a) dan (b) dipasok oleh sumber yang sama hanya diperlukan kapasitas 72,5 kW jadi gabungan menghemat 27,5 kW
- ❖ Faktor diverstas digunakan untuk menentukan kebutuhan puncak (kebutuhan maksimum) gabungan dari suatu kelompok beban-beban individu atau gabungan dari dua kelompok atau lebih.

❖ Faktor kebersamaan :

$$F_c = \frac{1}{F_d} = \frac{1}{1,38} = 0,725$$

❖ Atau

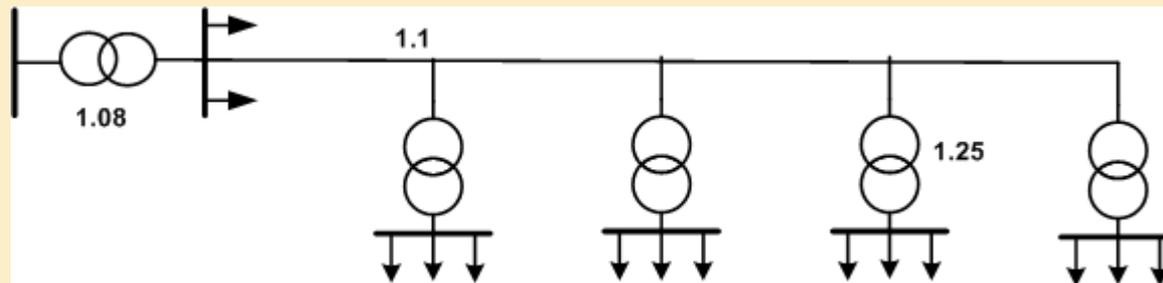
$$F_c = \frac{72,5\text{kW}}{50\text{kW} + 50\text{kW}} = 0,725$$

- ❖ Jika faktor diversitas nilai lebih dari sat maka faktor kebersamaan nilainya kurang dari satu.
- ❖ Total diversitas sama dengan perkalian faktor-faktor diversitasnya dihitung mulai dari titik yang ditinjau samapai ke sumber

- ❖ Misal faktor versitas antara individu beban adalah 3 ,antara trafo distribusi adalah 1,25 antara penyulang JTM adalah 1,11 dan anatar gardu induk adalah 1,08 maka total dari pelanggan sampai suplay adalah : $3 \times 1,25 \times 1,11 \times 1,08 = 4,50$ dan faktor kebersamaan total adalah $1/4,50 = 22,22\%$.
- ❖ Ini berarti bahwa setiap kilowatt dari kebutuhan maksimum dari individu pelanggan tersebut pembangkit atau trafo hanya memasok 0,2222 kW setiap waktu dari kebutuhan maksimum dari keseluruhan sistem.

Contoh

3. Misal sebuah trafo di gardu induk mencatu 5 buah penyulang tegangan menengah kebutuhan maksimum tahunan dari kelima penyulang tersebut masing-masing faktor daya pada beban puncak tahunan dan Faktor diversitas kelima penyulang 1,25 baik daya reaktif maupun daya aktif adalah sebagai berikut



No	Nama Penulang	Kebutuhan maksimum(kW)	cos θ
1	Melati	9,8	0,90
2	Mawar	8	0,95
3	Cempaka	8,75	0,80
4	Kecubung	9	0,85
5	Mayang	5	0,90

Hitunglah :beban (kebutuhan) maksimum tahunan dari gardu induk baik dalam kW dan kVA

Jawab

No	Nama Penyulang	Kebutuhan maks (kW)	cos θ	Kebutuhan maks (kVA)
1	Melati	9,8	0,90	$9800/0,9=10888,9$
2	Mawar	8	0,95	$8000/0,95=8421,05$
3	Cempaka	8,75	0,80	$8750/0,80=10937,5$
4	Kecubung	9	0,85	$9000/0,85=10588,2$
5	Mayang	5	0,90	$5000/0,9=5555,5$
		40550		46391,1

$$F_d = \frac{\sum \text{beban maksimum individu}}{\text{beban maksimum kelompok}} \longrightarrow 1,25 = \frac{40550}{\text{beban maksimum kelompok}}$$

$$\text{beban maksimum kelompok} = \frac{40550}{1,25} = 32,440 \text{ kW}$$

$$\text{beban maksimum GI dalam kVA} = \frac{46391,1}{1,25} = 37,11290 \text{ kVA}$$

Contoh

4. Suatu gardu distribusi memasok beban dalam sehari sebagai berikut

Beban A :Kelompok rumah tangga

antara pukul 24.00 – 8.00 = 30 kW

antara pukul 8.00 – 12.00 = 50 kW

antara pukul 12.00 – 18.00 = 80 kW

antara pukul 18.00 – 22.00 = 150 kW

antara pukul 22.00 – 24.00 = 30 kW

Beban B :Kelompok Industri

anantara pukul 8.00 – 14.00 = 220 kW

Beban C:Kelompok Usaha

anantara pukul 15.00 – 22.00 = 10 kW

Hitunglah a) Faktor beban harian dari gardu ini

b)Faktor diversitas dari aneka macam beban ,kapasitas (kVA)

transformator dari gardu ini dengan faktor daya 0,8 induktif

Jawab

Waktu	Beban (kW)	Beban total (kW)	kWh dalam sehari
24.00 – 8.00	30	30	8x30=240
8.00 – 12.00	220+50	270	4x270=1080
12.00 –14.00	220+80	300	2x300=600
14.00 – 15.00	80	80	1x80 = 80
15.00 –18.00	80+10	90	3x90 =270
18.00 –22.00	150+10	160	4x160=640
22.00 –24.00	30	30	2x30=60
Jumlah kWh dalam sehari		=	2970

a) Faktor beban :

$$F_b = \frac{\text{beban rata-rata}}{\text{beban maksimu}} \times \frac{T}{T} = \frac{\text{kWh yang dibangkitkan dalam} \times T}{\text{beban maksimu} \times T}$$

$$F_b = \frac{2970}{300 \times 24} = 0,4125 = 41,25\%$$

b) Faktor diversitas

Demand maksimum dari tiap kelompok beban :

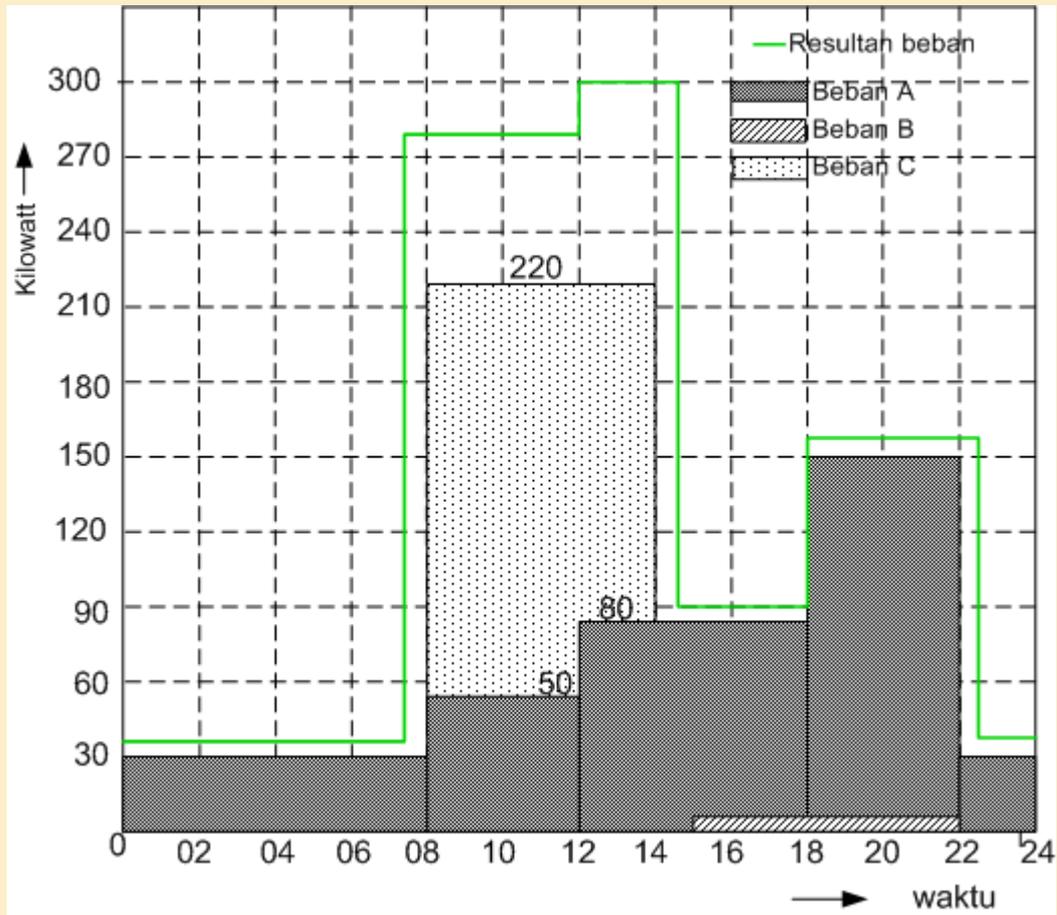
Beban A 150 kW

Beban B 220kW

Beban C 10 kW

$$F_d = \frac{150 + 220 + 10}{300} = 1,2$$

besar kapasitas trafo gardu $300 \text{ kW}/0,8 = 375 \text{ kVa}$



Kurva beban harian contoh 4

Contoh

6. Daya (beban) tersambung sebesar 20000kVA yang dipasok oleh sebuah gardu yang daya terpasang 5000kVA keluaran (output) tahunan dari gardu sebagai berikut :

lama dalam jam	4380	2190	1460	730
Beban dalam kVA	1000	2000	3000	5000
faktor daya	0,5	0,8	0,95	0,9

Hitunglah a) Faktor beban b) Faktor devrsitas

Jawab

Beban selama 4380 jam adalah $= 1000 \times 0,5 = 500 \text{ kW}$

Beban selama 2190 jam adalah $= 2000 \times 0,8 = 1600 \text{ kW}$

Beban selama 1460 jam adalah $= 3000 \times 0,95 = 2850 \text{ kW}$

Beban selama 730 jam adalah $= 5000 \times 0,9 = 4500 \text{ kW}$

jadi beban puncaknya adalah 4500 kW

Jumlah kWh yang disalurkan dalam setahun =

$$500 \times 4380 + 1600 \times 2190 + 2850 \times 1460 + 4500 \times 730 = 11960 \times 10^3 \text{ kWh}$$

a) Faktor beban :

$$F_b = \frac{11960 \times 10^3 \text{ kWh}}{4500 \times 8760} = 0,3033 \text{ atau } 30,33\%$$

b) Faktor diversitas :

$$F_d = \frac{\text{jumlah beban dari beban-beban}}{\text{kapasitas terpasang gardu}}$$

$$F_d = \frac{1000 + 2000 + 3000 + 5000}{5000} = 2,2$$

Diversitas Beban

- ❖ Diversitas beban adalah perbedaan anatara jumlah beban puncak dari masing-masing pelanggan (beban) dari suatu kelompok pelanggan dengan beban puncak gabungan dari kelompok pelanggan tersebut, secara matematis dapat ditulis :

$$\text{Deversitas beban } (D_b) = (D_1 + D_2 + D_3 + \dots + D_n) - D_{1+2+3+\dots+n}$$

- ❖ Atau

$$D_b = \int_{i=1}^n D_i - D_k$$

Faktor Rugi (Loss Factor)

- ❖ Faktor rugi adalah perbandingan antara rugi daya rata –rata dengan daya pada beban puncak selama periode waktu tertentu ,secara matematis dapat ditulis

$$\text{Faktor rugi } (F_b) = \frac{\text{rugi daya rata - rata}}{\text{rugi daya puncak}} \quad \Rightarrow \quad \text{Faktor rugi } (F_b) = \frac{(\Delta P)_{\text{rata-rata}}}{(\Delta P)_{\text{puncak}}} = \frac{(I^2 R)_{\text{rata-rata}}}{(I_p^2 R)_{\text{puncak}}}$$

❖ Bila periode 1 hari 24 jam maka (I^2R) rata-rata :

$$(I^2R)_{\text{rata-rata}} = \frac{\int_0^{24} I^2 dt}{24}$$

❖ Maka faktor rugi

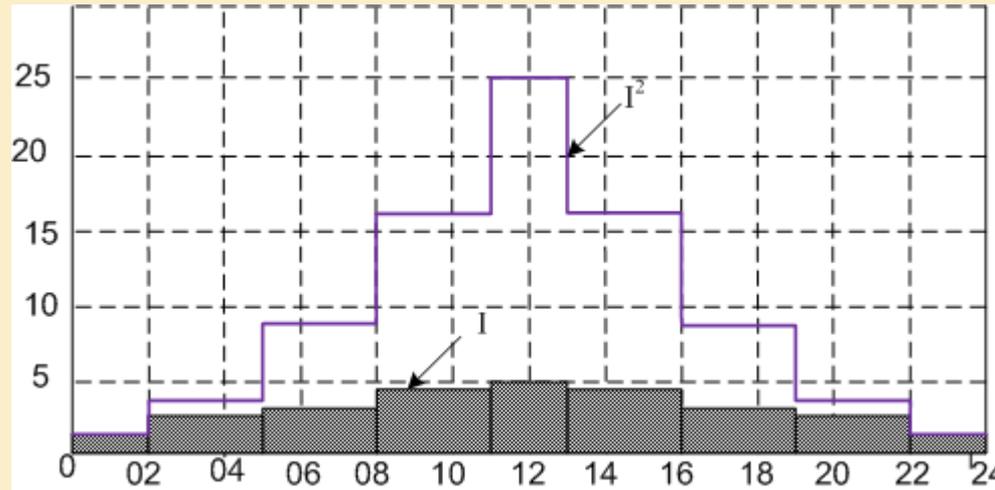
$$F_r = \frac{\int_0^{24} I^2 dt}{24 \times I_p^2}$$

❖ Atau

$$F_r = \frac{\int_0^{24} S^2 dt}{24 \times S_p^2}$$

❖ Rugi daya bisa disebut juga rugi tembaga (Coper Loss) atau I^2R

- ❖ Pada gambar dibawah ditunjukkan kurva I dan kurva rugi daya



- ❖ Harga rata-rata arusnya:

$$I = \frac{1A \times 4 \text{ jam} + 2A \times 6 \text{ jam} + 3A \times 6 \text{ jam} + 4A \times 6 \text{ jam} + 5A \times 2 \text{ jam}}{24 \text{ jam}} = \frac{68A \text{ jam}}{24 \text{ jam}} = 2,833A$$

- ❖ 68Ajam luas kurva yang diarsir dengan dasar variasi beban
- ❖ Jika tahanan 1 ohm maka rugi daya (I^2R) bervariasi dari I_{\min} sampai I_{\max} atau dari 1 watt sampai 25 watt
- ❖ Rugi totalnya selama 24 jam :

1watt selama 4jam +4watt selama 6jam +9watt selama 6jam +16watt selama 6jam +25watt selama 2am = 228 watt jam

- ❖ I^2 (rata-rata) = 228 wattjam/24jam = 9,5 watt
 - ❖ Jadi rugi total 228 watt jam dan rugi energi rata-ratanya 9,5 watt jam
- contoh

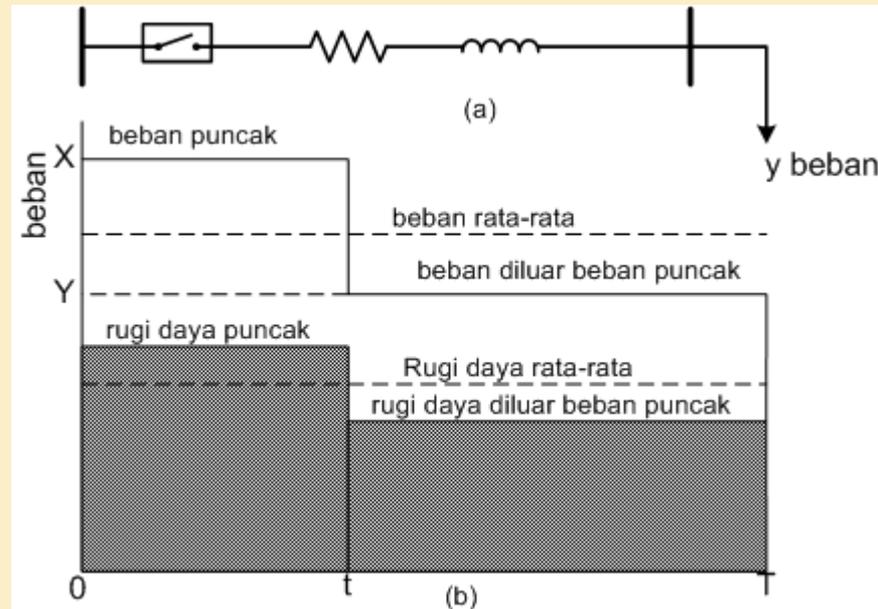
7. Misal suatu penyulang mencatu gardu distribusi beban puncak 3000 kVA dan rugi tembaga pada beban ini 0,5 %

Hitunglah : a) Rugi tembaga per fasa dari penyulang dalam kW
b) Rugi tembaga total dari penyulang per tiga fasa

Jawab

- a) Rugi tembaga per fasa dari penyulang (I^2R) = 0,5% x beban puncak
= 0,5% x 3000 kVA = 15 kW
- b) Rugi tembaga total dari penyulang per tiga fasa = $3 I^2R = 3 \times 15 = 45$ kW

- ❖ Pada gambar a suatu penyulang primer yang dihubungkan dengan beban variabel .
- ❖ Untuk membandingkan pengaruh variasi beban terhadap faktor beban dan faktor rugi dengan kurva bebannya seperti gambar b



- ❖ Rugi daya diluar beban puncak adalah ΔP_y dan besar bebannya Y dan rugi daya pada beban puncak adalah ΔP_x

❖ **Dari kurva beban harian maka beban rata-rata :**

$$\text{Beban rata-rata} = \frac{X \times t + Y(T-t)}{T}$$

Dimana : X = Beban puncak selama waktu t

Y = Beban minimum (diluar beban puncak) selama (T-t)

❖ **Faktor beban (F_b)**

$$F_b = \frac{\text{beban rata-rata}}{\text{beban puncak}} = \frac{\frac{X \times t + Y(T-t)}{T}}{X} \quad \Rightarrow \quad F_b = \frac{X \times t + Y(T-t)}{T \times X} = \frac{t}{T} + \frac{Y}{X} \times \frac{T-t}{T}$$

❖ **Dari kurva beban harian gambar b rugi daya rata-rata :**

$$\Delta P_{\text{rata-rata}} = \frac{\Delta P_X \times t + \Delta P_Y (T-t)}{T}$$

Dimana : ΔP_X = rugi daya pada beban puncak

ΔP_Y = rugi daya diluar beban puncak

❖ **Faktor rugi (F_r) untuk kurva beban harian gambar b diatas :**

$$F_r = \frac{\Delta P_{\text{rata-rata}}}{\Delta P_{\text{puncak}}} \rightarrow F_r = \frac{\frac{\Delta P_X \times t + \Delta P_Y (T - t)}{T}}{\Delta P_X} = \frac{\Delta P_X \times t + \Delta P_Y (T - t)}{\Delta P_X \times T}$$

$$F_r = \frac{X^2 R \times t + Y^2 R (T - t)}{X^2 R \times T} = \frac{t}{T} + \left(\frac{Y}{X}\right)^2 \times \frac{(T - t)}{T}$$

Dimana : $\Delta P_X = X^2 R =$ rugi daya pada beban puncak

$\Delta P_Y = Y^2 R =$ rugi daya diluar beban puncak

❖ **Hubungan faktor beban dan faktor rugi dalam tiga kasus :**

Kasus I . Beban diluar beban puncak sama dengan nol atau $Y = 0$ maka

faktor beban :

$$F_b = \frac{t}{T}$$

faktor rugi :

$$F_r = \frac{t}{T}$$

Jadi $F_b = F_r$

Kasus II. Beban puncak terjadi amat singkat yaitu $t \rightarrow 0$

Untuk $t \rightarrow 0$ maka $\frac{(T-t)}{T} \rightarrow 1$ maka

Faktor beban :

$$F_b = \frac{Y}{X} \times 1 = \frac{Y}{X}$$

Faktor rugi :

$$F_r = \left(\frac{Y}{X}\right)^2 \times 1 = \left(\frac{Y}{X}\right)^2$$

Jadi $F_r = F_b^2$

Kasus III. beban tetap $t \rightarrow T$ disini tidak ada perbedaan beban puncak dan beban diluar beban puncak dengan $X=Y$ maka ;

Faktor beban : Faktor rugi :

$$F_b = 1$$

$$F_r = 1$$

Jadi $F_b = F_r$

- ❖ **Dari ketiga kasus secara umum dapat dikatakan nilai faktor rugi :**

$$F_b^2 < F_r < F_b$$

- ❖ **Dari uraian diatas bahwa faktor rugi tidak ditentukan langsung dari faktor bebannya, karena faktor rugi tersebut berbanding lurus dengan kuadrat arus bebannya.**

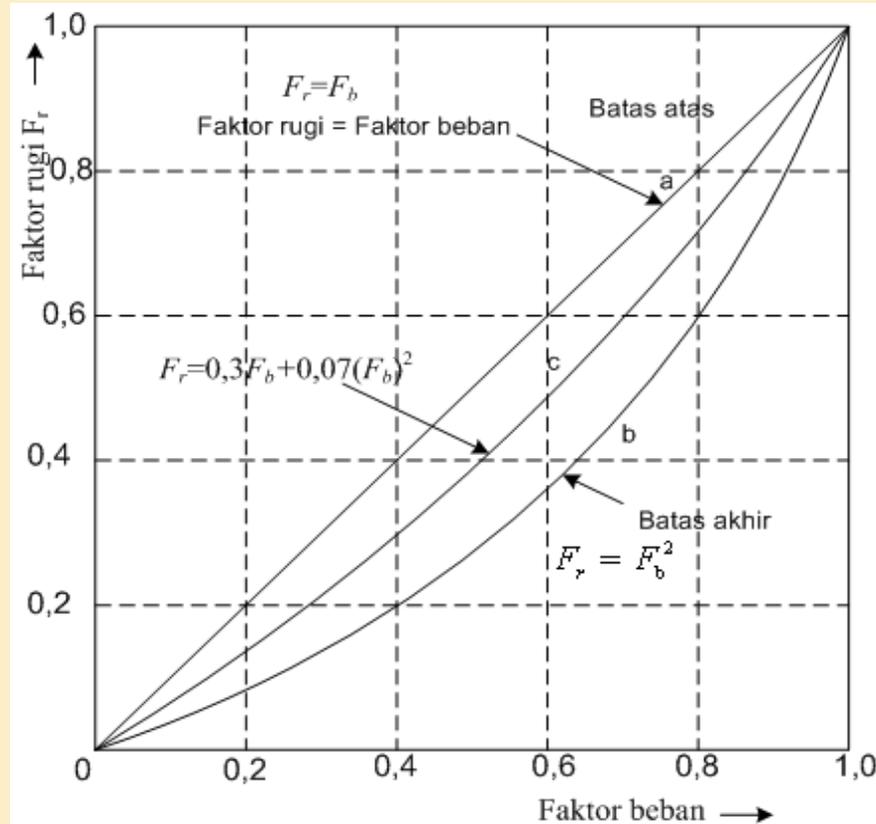
- ❖ **Hubungan faktor beban dan faktor rugi menurut Buller & Woodrow :**

$$F_r = 0,3F_b + (F_b)^2$$

- ❖ **Hubungan faktor beban dan faktor rugi menurut Wolf :**

$$F_r = 0,083F_b + 0,36(F_b)^2 + 0,12(F_b)^2$$

- ❖ Maka hubungan antar faktor beban dan faktor rugi dapat digambarkan seperti gambar dibawah



- ❖ **Faktor rugi digunakan untuk mengevaluasi susut energi atau disebut dengan “Jam Ekivalen Rugi “ (Loss Equivalent Haourse).**
- ❖ **Jam Ekivalen Pembebanan adalah jumlah energi dalam kWh dibagi beban puncak :**

$$\text{Jam Ekivalen Pembebanan} = \frac{\sum \text{Energi (kWh)}}{\text{Beban Puncak}} = \frac{\sum \text{Energi (kWh)}}{P_p \text{ (kW)}}$$

$$\text{Jam Ekivalen Rugi} = \frac{(\text{beban})^2 \times \text{lamanya (jam)}}{(\text{Beban maksimum})^2}$$

- ❖ **Untuk T = 24 jam maka faktor rugi (F_r) :**

$$F_r = \frac{\text{susut energi (dalamsehari)}}{(I_p)^2 \times R \times 24}$$

$$F_r = \frac{\text{Jumlah susut energi (kWh)}}{P_p \text{ (kW)} \times 24}$$

❖ **Kehilangan energi atau susut energi :**

Susut energi = P_p (kW) × Jam Ekival en Rugi \Rightarrow Jam Ekival en Rugi = $F_r \times 24$ jam

Jam Ekival en Pembebanan = $F_b \times 24$ jam

❖ **Menentukan faktor rugi,jam ekivalen rugi,faktor beban dan jam ekivalen pembebanan data contoh 4**

Beban (demand) kW	Lamanya (jam)	Lamanya (akumulatif dalam jam)	%beban terhadap beban puncak	%Lamanya terhadap waktu total (akumulatif)	Kuadrat demandx lamanya (kW ² jam)
300	2	2	100	8,30	180.000
270	4	6	90	25	291.600
160	4	10	53,30	41,70	102.400
90	3	13	30	54,20	24.300
80	1	14	26,70	58,30	6.400
30	10	24	10	100	9.000

613.700

$$\text{Jam Ekivalen Rugi} = \frac{(\text{beban})^2 \times \text{lamanya (jam)}}{(\text{Beban maksimu})^2} = \frac{613.700 \text{ kW}^2 \text{ jam}}{300^2 \text{ kW}^2} = 6,818 \text{ jam}$$

$$F_r = \frac{\text{Jam Ekivalen Rugi}}{24 \text{ jam}} = \frac{6,818 \text{ jam}}{24 \text{ jam}} = 0,284 = 28,4\%$$

❖ **Faktor rugi dapat juga ditentukan dari hubungan kuadrat beban rata-rata dibagi kuadrat beban (demand) puncak :**

$$F_r = \frac{\text{kuadrat beban rata – rata}}{\text{kuadrat beban puncak}}$$

$$\text{kuadrat beban rata – rata} = \frac{613.700 \text{ kW}^2 \text{ jam}}{24 \text{ jam}} = 25.570,833 \text{ kW}^2$$

$$F_r = \frac{25.570,833 \text{ kW}^2}{300^2 \text{ kW}^2} = 0,284 = 28,4\%$$

$$F_b = \frac{\text{beban rata – rata}}{\text{beban puncak}} \times 100\% \quad \Rightarrow \quad \text{beban rata – rata} = \frac{2970 \text{ kWh}}{24 \text{ jam}} = 123,75 \text{ kW}$$

$$F_b = \frac{123,75 \text{ kW}}{300 \text{ kW}} \times 100\% = 41,2\%$$

❖ **Atau**

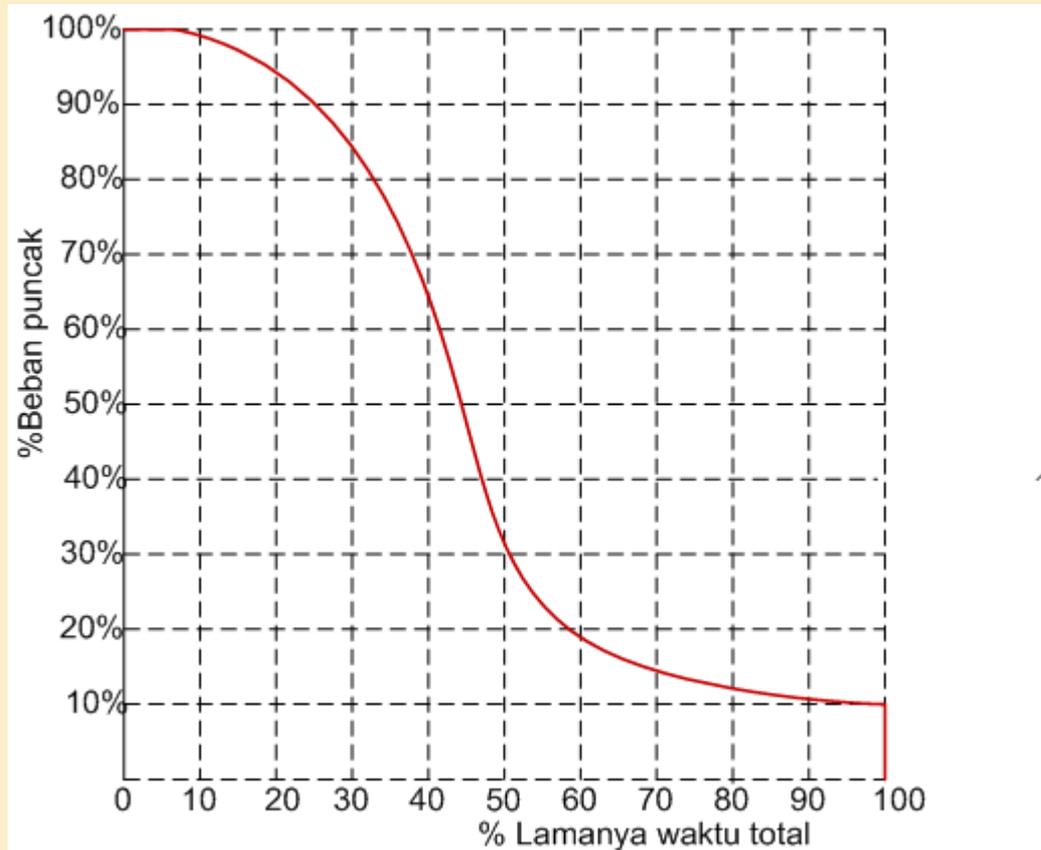
$$F_b = \frac{\text{jumlah energi yang disalurkan}}{\text{beban puncak} \times \text{periodenya}} \times 100\%$$

$$F_b = \frac{2970 \text{ kWh}}{300 \text{ kW} \times 24 \text{ jam}} \times 100\% = 41,25\%$$

$$\text{Jam Ekivalen Pembebanan} = \frac{\sum \text{Energi (kWh)}}{P_p \text{ (kW)}} = \frac{2970 \text{ kWh}}{300 \text{ kW}} = 9,9 \text{ jam}$$

$$\text{Jam Ekivalen Pembebanan} = 41,25\% \times 24 \text{ jam} = 9,9 \text{ jam}$$

- ❖ **Dari tabel II dapat dibuat kurva lamanya beban seperti gambar dibawah**



❖ **Faktor daya adalah perbandingan daya aktif dengan daya semu :**

$$\text{Faktor daya } (\cos\varphi) = \frac{\text{daya aktif}}{\text{daya semu}} = \frac{P}{S}$$

❖ **Faktor daya rata-rata beraneka macam peralatan listrik :**

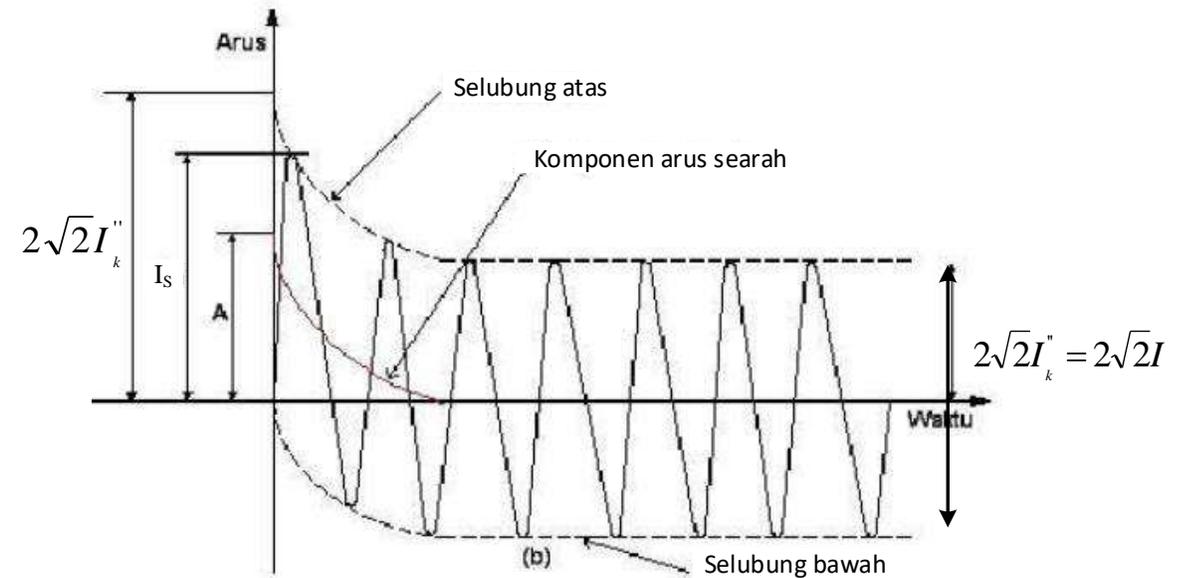
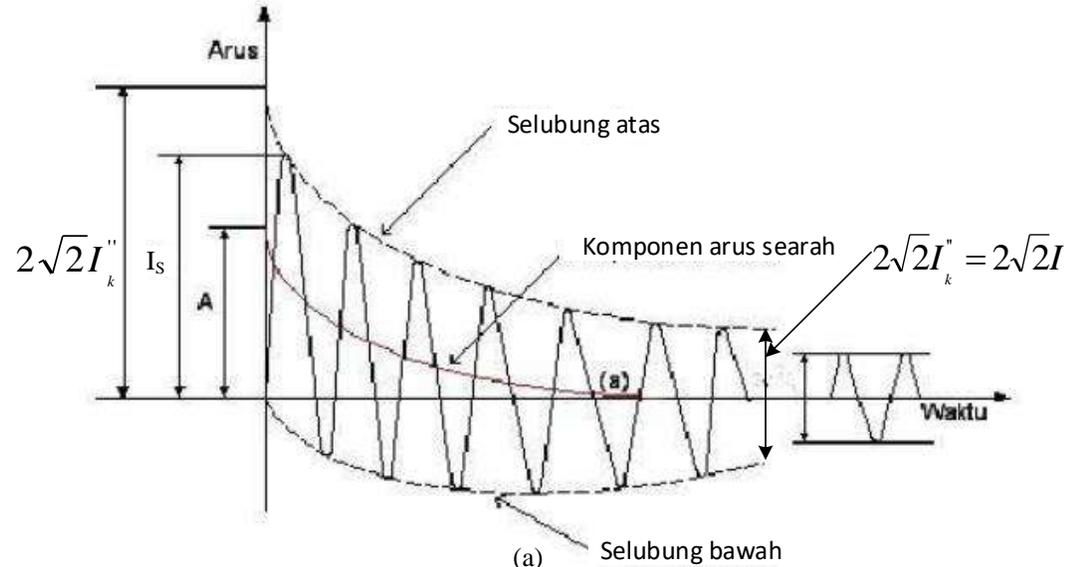
Peralatan listrik	Faktor daya
Lampu neon	0,6-0,8
Neon Reklame	0,4-0,5
Kipas Angin	0,4-08
Pemanas Induksi	0,8
Dapur Listrik dengan tahanan	0,6-0,9
Busur tungku listrik	0,3-0,5
Dapur listrik induksi	0,6
Las busur	0,3-0,5
Las tahanan	0,65
Motor induksi	0,55-0,85

SISTEM DISTRIBUSI DAYA LISTRIK

INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL JAKARTA

PERHITUNGAN ARUS HUBUNG-SINGKAT PADA SISTEM FASA-TIGA

- Bentuk gelombang arus hubung singkat 3 fasa



I_k'' = arus awal hubung singkat simetris

I_s = arus puncak awal

A = nilai awal komponen arus searah

I = arus gangguan tetap

Gambar 1. Bentuk gelombang arus hubung singkat tiga fasa

a) Hubung singkat dekat pembangkit

b) Hubung singkat jauh dari pembangkit

LANJUTAN

- Agar supaya dapat memilih dan menentukan karakteristik dari peralatan jaringan listrik, perlu diketahui besarnya arus hubung singkat dan daya-hubung-singkat yang mungkin terjadi
- Arus-hubung-singkat pada awalnya mengalir tidak simetris, lihat gambar 1 terdiri dari dua komponen:
(a) komponen arus-bolak-balik dan (b) komponen arus searah.

Beberapa definisi dan Pengertian

a). **Arus hubung singkat** adalah arus yang mengalir pada titik gangguan selama waktu terjadinyahubung-singkat.

Catatan:umumnya arus hubung singkat pada awalnya mengalir asimetris terhadap garis netralnya dan terdiri dari arus bolak-balik hubung singkat dan arus searah (lihat gambar 1). Arus searah ini makin lama makin mengecil(teredam) sampai nol.

b). **Arus bolak balik hubung singkat** adalah arus ini bekerja dengan frekwensi pada bagian arus hubung singkat.

Catatan: Dalam kasus hubung singkat yang terjadi dekat generator, arus bolak-balik hubung singkat mulai berkurang dari permulaan arus bolak-balik hubung-singkat sampai pada keadaan arus tetap hubung singkat, lihat gambar 1

Arus hubung. singkat partial adalah **bagian arus hubung singkat pada cabangnya.**

LANJUTAN

- Beberapa definisi dan Pengertian

c). Arus awal bolak-balik hubung singkat I_k'' adalah nilai efektif dari arus-bolak-balik hubung singkat pada saat terjadinya hubung singkat.

Catatan. Ada tambahan untuk nilai impedansi efektif utama, yaitu pada keadaan awal, dimana reaktansi awal X_d'' (sub-transient longitudinal reactances) dari mesin sinkron yang besarnya tergantung dari ukuran mesin itu sendiri.

d). Arus hubung singkat maksimum I_s adalah nilai sesaat yang paling besar dari arus setelah terjadinya hubung singkat dan nilai ini dinyatakan sebagai nilai puncaknya.

Catatan: Besarnya arus hubung singkat maksimum berbeda-beda, sesuai dengan waktu dimana hubung singkat itu terjadi. Dalam perhitungan arus hubung singkat maksimum I_s merupakan nilai maksimum yang terjadi pada waktu tersebut.

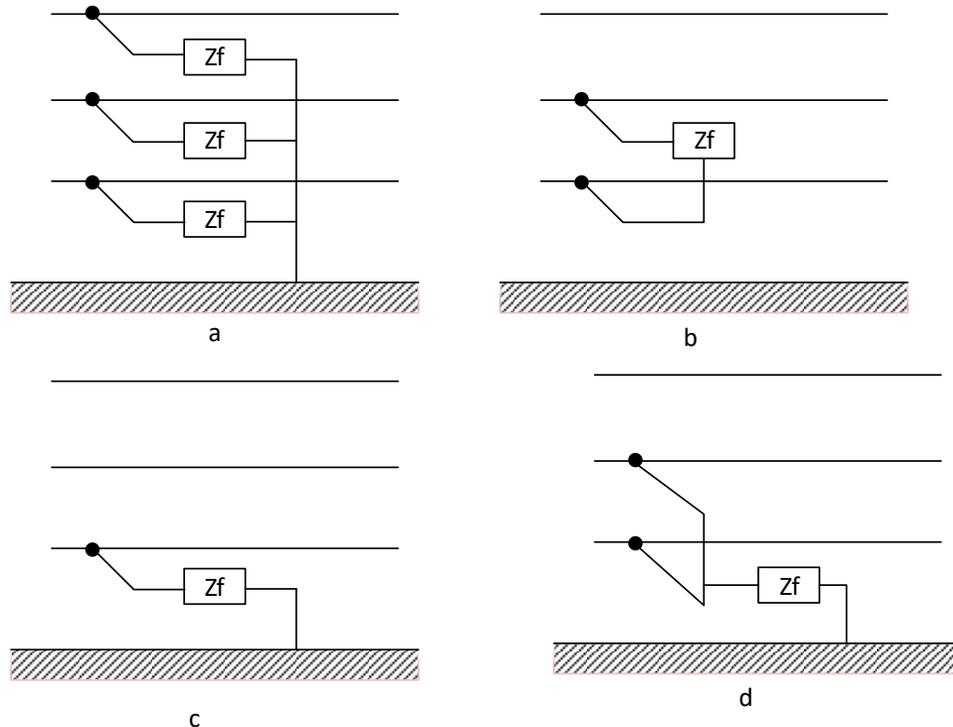
e). Arus pemutusan bolak-balik (The breaking alternating current) = I_a adalah besarnya arus yang diputus setelah pemisahan kontak-kontak pemutus tenaga pada waktu tunda t_a . Waktu putus tunda t_a , dihitung mulai saat terjadinya hubung singkat sampai pemutusannya.

f). Arus tetap hubung-singkat I_k adalah nilai efektif arus bolak-balik hubung-singkat setelah melewati masa peralihan.

Catatan: Besarnya arus tetap hubung-singkat ini, antara lain tergantung pada penguatan (exciter) generator

MACAM GANGUAN PADA SISTEM DISTRIBUSI

- Macam gangguan pada sistem tenaga listrik seperti gambar 1



Gambar 2..Macam gangguan sistem distribusi

1. Gangguan tiga fasa dengan atau tanpa ketanah gambar 1a.

2. Gangguan fasa ke fasa tanpa ketanah gambar 1b

3. Gangguan satu fasa ketanah gambar 1c

4. Gangguan fasa ke fasa ketanah gambar 1d.

Lanjutan

- **Urutan terjadi gangguan :**

1. Gangguan satu fasa ke tanah = 70%

2. Gangguan dua fasa = 15%

3. Gangguan dua fasa ke tanah = 10%

4. Gangguan tiga fasa = 5%

Total gangguan 100%

- **Arus gangguan maksimum dihitung berdasarkan pemisalan-pemisalan:**

1. Semua generator yang beroperasi

2. Impendansi titik ganguannya $Z_f = 0$

3. Beban maksimum pada keadaan beban puncak

- **Arus gangguan minimum dihitung berdasarkan pemisalan-pemisalan:**

1. Jumlah generator yang beroperasi pada keadaan minimum.

2. Impendansi titik gangguan $Z_f \neq 0$ nilainya 30-40 ohm

3. Beban minimum yaitu pada keadaan beban puncaknya.

Lanjutan

- Besar arus gangguan sebenarnya biasanya lebih kecil dari arus gangguan fasa-tiga yang impedansi titik gangguannya $Z_f=0$
- Pada gangguan satu fasa kebumi, arus gangguannya sering lebih besar dari arus gangguan fasa tiga, hal ini terutama dapat terjadi bila titik netral dari generator atau trafo dari sistem tersebut di bumikan langsung.
- Umumnya arus gangguan maksimum dan minimum keduanya dihitung pada sistem distribusi.

- Arus gangguan maksimum dihitung didasarkan pada pemisalan-pemisalan sebagai berikut:
 - 1.Semua generator terhubung, yaitu semua generator berkerja;
 - 2.Impedansi titik gangguannya $Z_f=0$
 - 3.Beban maksimum, yaitu pada keadaan beban puncak.
- Arus gangguan minimum dihitung didasarkan pada pemisalan sebagai berikut:
 - 1.Jumlah Generator yang berkerja pada keadaan minimum;
 - 2.Impedansi titik gangguannya Z_f tidak sama dengan nol, nilainya berkisar antara 30 dan 40 ohm
 - 3.Beban minimum, yaitu pada keadaan beban puncaknya.

GANGUAN TIGA FASA

- Ganguan tiga seerti gambar 2a ,bila impendansi titik ganguan $Z_f=0$ maka arus ganguan tiga fasa :

$$I_{gg3} = I_{ggR} = I_{ggS} = I_{ggT}$$

$$|I| = |I_{gg3\phi}| = \left| \frac{cV_f}{Z_1} \right| A \quad 1$$

- Impendansi ganguan $Z_f \neq 0$ maka arus ganguannya :

$$|I| = |I_{gg3\phi}| = \left| \frac{cV_f}{Z_1 + Z_f} \right| A \quad 2$$

$I_{gg3\phi}$ = arus ganguan tiga fasa (A) ; V_f = tegangan fasa kenetral (V); Z_1 = jumlah impendansi urutan positif (ohm)

Z_f = impendansi titik gangguan (ohm) ; $I_{ggR} = I_{ggS} = I_{ggT}$ = arus ganguan fasa R,S,T

c = factor pengali tegangan (factor keamanan)

GANGUAN FASA KE FASA

- Ganguan tiga seerti gambar 2b ,fasa R dan fasa S impendasi titik ganguan $Z_f=0$ maka arus ganguannya :

$$I_{ggR} = 0$$

$$|I| = |I_{gg2\phi}| = \left| \pm j \frac{c\sqrt{3}V_f}{Z_1+Z_2} \right| A \quad 3$$

- Impendasi ganguan $Z_f \neq 0$ maka arus ganguan tiga fasa :

$$|I| = |I_{gg2\phi}| = \left| \pm j \frac{c\sqrt{3}V_f}{Z_1+Z_2+Z_f} \right| A \quad 4$$

$I_{gg2\phi}$ = arus ganguan fasa ke fasa(A) ; Z_2 =jumlah impendasi urutan negatif(ohm)

GANGUAN SATU FASA KE TANAH

- Ganguan tiga seerti gambar 2c , fasa T ke tanah impendansi titik gangguan $Z_f=0$ maka arus ganguannya :

$$|I| = |I_{gg1\phi}| = \left| \frac{c.3.V_f}{Z_1+Z_2+Z_0} \right| A \quad 5$$

$I_{gg1\phi}$ = arus gangguan fasa ke tanah(A)

$$Z_G = \frac{Z_1+Z_2+Z_0}{3} \quad \text{impedansi terhadap tanah (ohm)}$$

Besar arus gangguan satu fas ke tanah

$$|I| = |I_{gg1\phi}| = \left| \frac{c.3.V_f}{Z_G} \right| A \quad 6$$

- Impendansi gangguan $Z_f \neq 0$ maka arus gangguan :

$$|I| = |I_{gg1\phi}| = \left| \frac{c.3.V_f}{Z_G+Z_f} \right| A \quad 7 \quad \text{atau} \quad |I| = |I_{gg1\phi}| = \left| \frac{c.3.V_f}{Z_1+Z_2+Z_0+3Z_f} \right| A \quad 8$$

GANGUAN DUA FASA KE TANAH

- Gangguan tiga seerti gambar 2d, fasa S dan T ke tanah maka arus ganguannya :

$$|I| = |I_{gg2\phi}| = \left| -jc \cdot \sqrt{3}V_f \frac{Z_0 + 3Z_f - aZ_2}{Z_1Z_2 + (Z_1 + Z_2)(Z_0 + 3Z_f)} \right| A \quad 9$$

Arus gangguan pada fasa yang terganggu lainnya

$$|I| = |I_{gg2\phi}| = \left| +jc \cdot \sqrt{3}V_f \frac{Z_0 + 3Z_f - a^2Z_2}{Z_1Z_2 + (Z_1 + Z_2)(Z_0 + 3Z_f)} \right| A$$

$Z_1 + Z_2 + Z_0$ = impedansi urutan positif, urutan negatif dan urutan nol

Z_f = impedansi titik gangguan ; c = factor tegangan = 1,1 ; $|I| = A + jB = \sqrt{A^2 + B^2}$

Persamaan 1 -10 **I adalah nilai efektif dari arus gangguan simetris**

ARUS GANGGUAN ASIMETRIS

- Arus gangguan asimetri pada suatu titik gangguan dari bermacam type gangguan, langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut:

a. Hitung impedansi ekuivalen Z_{ek} dari persamaan (1) sampai (10). sebagai contoh, impedansi ekuivalen untuk gangguan satu fasa ketanah adalah:

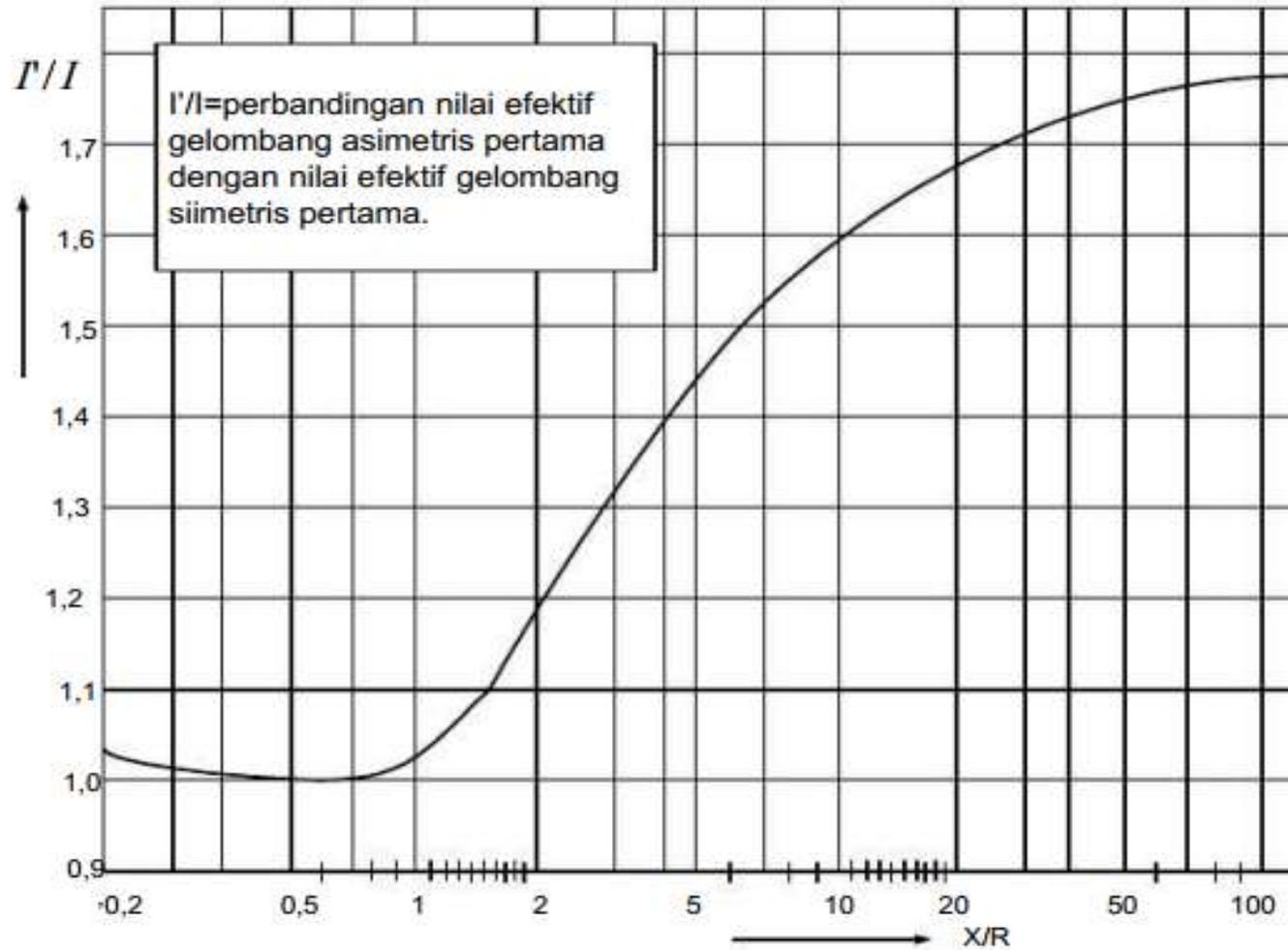
$$Z_{ek} = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_0 + 3Z_f}{3}$$

b. Hitung perbandingan X/R , yaitu bagian impedansi imajiner dari Z_{ek} dibagi bagian riil Z_{ek}

c. Dari gambar 3, cari perbandingan asimetris yang sesuai dengan nilai X/R , yaitu perbandingan nilai efektif (rms) bentuk gelombang asimetris awal dengan nilai efektif bentuk gelombang simetris awal.

d. Arus gangguan-asimetris dapat dihitung dengan mengalikan arus gangguan simetris dengan faktor simetris X/R .

ARUS GANGUAN ASIMETRIS



Gambar 3. Perbandingan X/R dari hubung singkat

LANGKAH LANGKAH MENGHITUNG ARUS GANGUAN

1. Gambarkan diagram satu garisnya.
2. Pilihlah kVA/MVA dasarnya untuk keseluruhan dari sistem tersebut. pilihlah kV dasar untuk setiap tingkat tegangan, ubahlah impedansinya dalam per-unit.
3. Gambarkan jaringan urutan positifnya, demikian pula untuk jaringan negatif dan nolnya.
4. Rangkaikan ketiga jaringan tersebut sesuai macam gangguan yang akan dihitung

SATUAN PER UNIT (PU)

Besaran E, arus I, daya kVA, impedansi Z selalu dinyatakan dalam % atau pu (per unit) dari basis/dasar yang dipilih.

$$E = I \cdot Z$$

11

E = tegangan dalam (V) ; I = arus (A) dan Z = impedansi (ohm)

LANJUTAN

Bila persamaan 11 dibagi dengan tegangan dasar (base voltage) E_b :

$$\frac{E}{E_b} = \frac{I.Z}{E_b} \quad 12$$

Atau

$$\frac{E}{E_b} = \frac{I.Z}{I_b Z_b} \quad 13$$

$$E_{pu} = \frac{E}{E_b} \quad \text{dan} \quad I_{pu} = \frac{I}{I_b}$$

$$Z_{pu} = Z/Z_b \quad \text{dan} \quad E_{pu} = I_{pu} Z_{pu}$$

$$\text{Daya (VA)} = E I \quad \text{dan} \quad \text{Daya dasar (VA)}_b = E_b I_b \quad \text{maka} \quad \frac{\text{VA}}{(\text{VA})_b} = \frac{I.Z}{E_b}$$

LANJUTAN

$(VA)_b$, E_b , I_b , Z_b besaran dasar maka dapat ditentukan $(kVA)_b$:

$$Z_b = \frac{1000 \times E_b kV}{I_b}$$

$$Z_b = \frac{1000 \times E_b kV}{I_b} \times \frac{E_b kV}{E_b kV}$$

$$Z_b = \frac{(E \text{ dalam } kV)^2 \times 1000}{(kVA)_b}$$

$$Z_b = \frac{(E_b \text{ dalam } kV)^2}{(MVA)_b}$$

LANJUTAN

Hasilnya dapat diringkas tabel 1:

Tabel 1. Menentukan Nilai Dasar

Uraian	Nilai Dasar			
	Sistem 1 fasa		Sistem 3 fasa	
1. Daya (kVA) _b /(MVA) _b	kVA	MVA	kVA	MVA
2. Tegangan E _b	kV	kV	kV	kV
3. Arus I _b	$\frac{(kVA)_b}{E_b}$	$\frac{(1000 MVA)_b}{E_b}$	$\frac{(kVA)_b}{E_b}$	$\frac{(1000 MVA)_b}{\sqrt{3}E_b}$
4. Impendansi Z _b	$\frac{1000E_b^2}{(kVA)_b}$	$\frac{E_b^2}{(MVA)_b}$	$\frac{1000E_b^2}{(kVA)_b}$	$\frac{E_b^2}{(MVA)_b}$

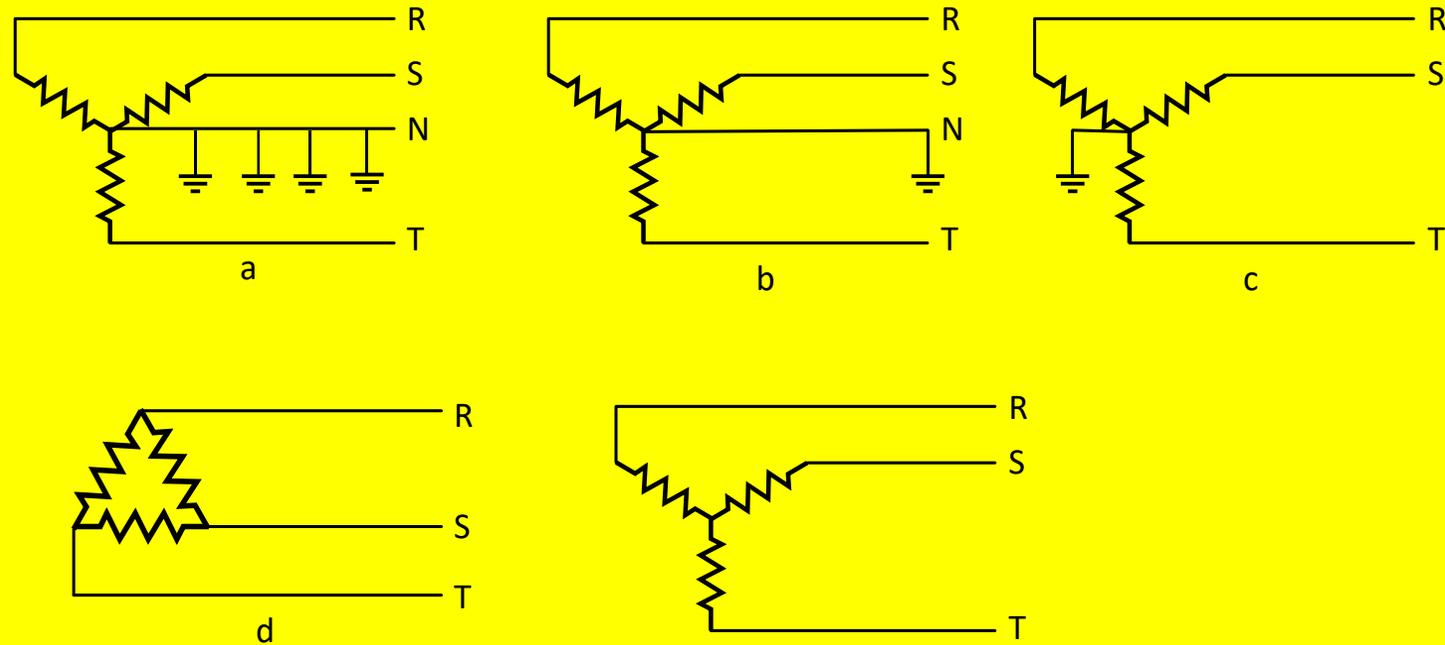
Catatan : Untuk sistem 3 fasa (kVA)_b/(MVA)_b daya untuk fasa tiga tegangan E_b tegangan antar fasa

LANJUTAN

- Nilai dasar kVA dan MVA tegangan dasar dapat diubah :

Dasar Lama (Lm)	Dasar Baru (Br)
$(kVA)_{Lm}/(MVA)_{Lm}$	$(kVA)_{Br}/(MVA)_{Br}$
$(kV)_{Lm}$	$(kV)_{Br}$
$Z_{pu(Lm)}$	$Z_{pu(lm)} = Z_{pu(Br)} \left[\frac{(kVA)_{b(Lm)}}{(kVA)_{b(Br)}} \right]^2 \times \left[\frac{(kVA)_{b(Br)}}{(kVA)_{b(Lm)}} \right]$

TYPE SIRKUIT DISTRIBUSI



Gambar 4. Macam siku^eit distibusi

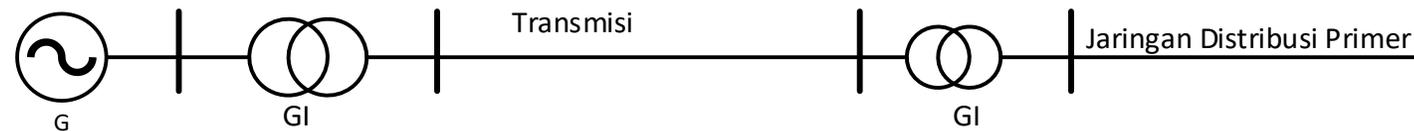
- a. Sistem empat kawat multi ground
- b. Sistem empat kawat netral ditanahkan
- c. Sistem tiga kawat trafo hubung delta
- d. Sistem tiga kawat titik bintang trafo

KOMPONEN IMPENDASI DALAM GANGUAN

- Impendansi sumber (impedance of the source)

(a) Cara A.

Dalam kasus suatu sistem distribusi, pencatuan daya melalui sistim radial yang sederhana yang dimulai dari suatu pembangkit, impedansi sumber dapat dihitung dengan tangan.dengan memakai system per unit (pu), impedansi urutan positif adalah penjumlahan dari impedansin dari semua komponen, dimulai dari sisi TR gardu distribusi sampai ke pembangkit, lihat gambar 5.Demikian pula untuk impedansi sumber urutan negatip, biasanya bukan merupakan penjumlahan komponen dari impedansi urutan negatipnya, karena iniada kaitannya macam hubungan dari transformatornya.



Gambar.5. Menentukan impendansi sumber, dimana tercakup pembangkit ,trasmisi

KOMPONEN IMPENDASI DALAM GANGUAN

(b) Cara B

Bila diketahui daya hubung singkat disisi TT dari gardu induk dalam MVA, impedansi sumber dapat dihitung :

$$Z_{1S} = \frac{V_{\text{fasa}}}{I_{\text{gg}3\phi}} = \frac{V_{\text{jala}}}{\sqrt{3}I_{\text{gg}3\phi}} \quad 14$$

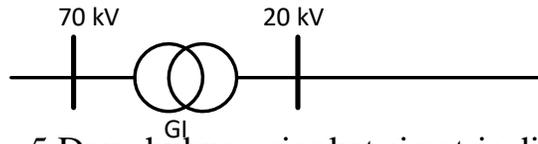
$$I_{\text{gg}3\phi} = \frac{(MVA)_{HS}}{\sqrt{3}V_{\text{jala}}}$$

$$Z_{1S} = \frac{V_{\text{jala}}^2}{(MVA)_{HS}} \quad 15$$

CONTOH

Diketahui MVA hubung singkat simetris di sisi rel 70 kV adalah 700MVA, lihat gambar 5 impedansi sumber dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (15), sebagai berikut :

Daya hubung singkat 700MVA di sisi 70 kV.



Gambar 5. Daya hubung singkat simetris disisi 70 kV

$$\text{Jadi } Z_{1S70} = \frac{V_{70}^2}{(MVA)_{HS}} = Z_{1S70} = \frac{70^2}{700} = 70 \Omega \text{ dilihat disisi 70 kV}$$

Bila dilihat disisi 20 kV :

$$Z_{1S20} = \frac{20^2}{700} = 0,5714 \Omega \text{ atau } Z_{1S20} = \left[\frac{V_{20}}{V_{70}} \right]^2 \times Z_{1S70} = Z_{1S20} = \left[\frac{20}{70} \right]^2 \times 7 = 0,5714 \Omega$$

Dapat dihitung dalam pu ambil basis 30 MVA menurut tabel 1

$$Z_b = \frac{E_b^2}{(MVA)_b} \text{ dimana } E_b = 70 \text{ kV ; } (MVA)_b = 30 \text{ MVA maka } Z_b = 70^2/30 = 163,333 \Omega$$

Jadi $Z_{1Spu} = 7/163,333 = 0,04286$ pu atau dapat dihitung secara langsung basis =300 MVA daya hubung singkat simetris 700 MVA

$$Z_1 = Z_{1Spu} = 30\text{MVA}/700\text{MVA} = 0,04286 \text{ pu}$$

IMPENDANSI TRANSFORMATOR

- Nilai impedansi urutan positif dan urutan negatif dari transformator adalah sama.
- Impedansi urutan nol dapat berbeda nilainya.
- Impedansi urutan pasotip dari transformator Z_1 dapat dihitung :

$$Z_1 = Z_T = R_T + jX_T ; Z_T = \frac{U_{HS}}{100\%} \times \frac{U_{NT}^2}{S_{NT}}$$

$$R_T = \frac{U_r}{100\%} \times \frac{U_{NT}^2}{S_{NT}} ; X_T = \frac{U_x}{100\%} \times \frac{U_{NT}^2}{S_{NT}} = \sqrt{U_{HS}^2 - U_r^2}$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 + R_T^2}$$

S_{NT} = daya pengenal dari transformator

U_{NT} = tegangan pengenal dari transformator

U_{HS} = tegangan hubung singkat dalam %

U_r = %kerugian tegangan dalam ohm

U_x = %kerugian tegangan reaktip

IMPENDASI TRANSFORMATOR

Tabel 2 Berbagai nilai U_{HS} dan Ur dari transformator fasa tiga

Tegangan pengenalan primer (kV)	5	20	30	60	110	220
Tegangan hubungan singkat (U _{HS})%	3,4-8	6-9	7-10	9-12	10-14	10-16
Daya nominal MVA	0,25	0,63	2,5	6,3	12,5	31,5
Ur dalam %	1,4-1,7	1,2-1,5	0,9-1,1	0,7-0,85	0,6-0,7	0,5-0,6

IMPENDASI SALURAN DISTRIBUSI

- Nilai impedansi dari saluran distribusi tergantung dari pada konfigurasi letak penghantarnya, persamaan induktansi saluran fasa-tiga :

$$L = 0,7411 \log \frac{D_{eq}}{D_s} \text{ mH / m per fasa} \quad 16$$

$$L = 2 \times 10^{-10} \ln \frac{D_{eq}}{D_s} \text{ H / m per fasa} \quad 17$$

$$D_{eq} = (D_{ab} + D_{bc} + D_{ca})^{1/3}$$

Diman D_s = ekivalen GMD sendiri dari kawat fasa

GMD = jari-jari menengah geometri (geometric mean radius)



- Reaktansi suatu penghantar :

$$X_L = \text{ohm/km per fasa}$$

IMPENDASI TRANSFORMATOR

- Persamaan-persamaan untuk reaktansi induktip dari saluran tiga-fasa :

$$X_1 = X_2 = 0,7411 \log \frac{D_{eq}}{D_s} \text{ mH / km per fasa}$$

18

Tabel 3 Impendansi urutan positif dan nol penghantar AAC

Penampang nominal (mm ²)	Jari-jari (mm)	Jumlah Urat	GMR (mm)	Impedansi urutan positif (ohm/km.)	Impedansi Urutan nol (ohm/km.)
16	2,2563	7	1.6380	1.8382+j0.4035	1.9862+j1,6910
25	2,8203	7	2.0475	1.1765+j0.3895	1.3245+j 1.6770
35	3,3371	7	2.4227	0.8403+j0.3791	0,9883+j 1,6666
50	3,9886	7	2.8957	0.5882+j0.3677	0,7362+j 1,6552
70	4,7193	7	3.4262	0.4202+j0.3572	0,5682+j 1,6447
95	5,4979	19	4,1674	0.3096+j0.3464	0,4576+j 1,6339
120	6.1791	19	4,6837	0,245 +j0.3375	0.393 1+j 1,6250
150	6,9084	19	5.2365	0.1961+j0.3305	0,344 1+j 1,6 180
185	7,6722	19	5.8155	0.1590+j0.3239	0,3070+j1,6114
240	8,7386	19	6.6238	0.1225+j0.3157	0,2705+j 1,6032

IMPENDASI TRANSFORMATOR

Tabel 4 Impendansi urutan positif dan nol penghantar AAAC

Penampang nominal (mm ²)	Jari-jari (mm)	Jumlah	GMR (mm)	Impedansi urutan positif (ohm/km.)	Impedansi Urutan nol (ohm/km.)
		Urat			
16	2,2563	7	1,6380	2,0161+j0,4036	1,1641+j1,6911
25	2,8203	7	2,0475	1,2903+j0,3895	1,4384+j 1,6770
35	3,3371	7	2,4227	0,9217+j0,3790	1,0697+j 1,6665
50	3,9886	7	2,8957	0,6452+j0,3678	0,7932+j 1,6553
70	4,7193	7	3,4262	0,4608+j0,3572	0,6088+j 1,6447
95	5,4979	19	4,1674	0,3396+j0,3449	0,4876+j 1,6324
120	6,1791	19	4,6837	0,2688+j0,3376	0,4 168+j 1,6251
150	6,9084	19	5,2365	0,2162+j0,3305	0,3441+j1,6180
185	7,6722	19	5,8155	0,1744+j0,3239	0,3224+j1,6114
240	8,7386	19	6,6238	0,1344+j0,3158	0,2824+j1,6033

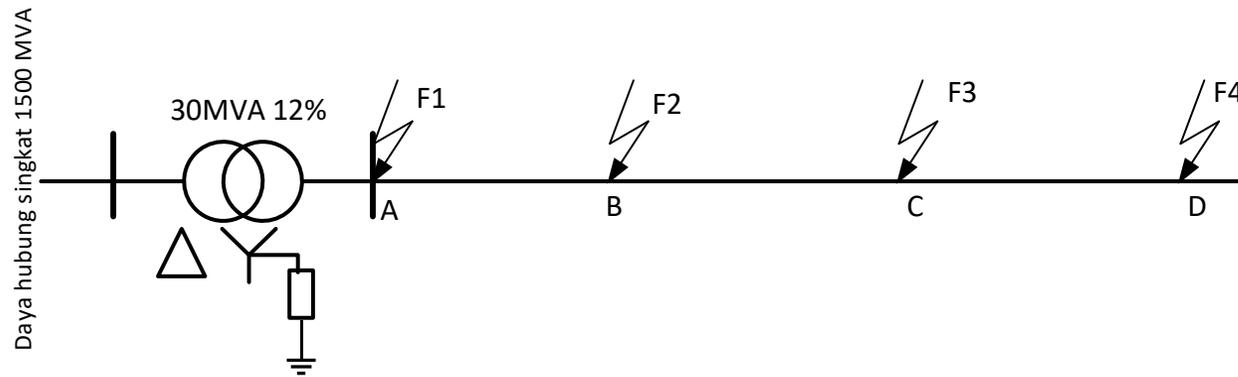
- Pada saluran distribusi nilai reaktansi urutan positif dan negatifnya sama, jadi $X_1=X_2=X_L$
- Impedansi urutan nolnya tergantung macam penghantar, pentanahannya dan ada tidaknya kawat penghantar nolnya.
- Berdasarkan :SPLN 64:1985 nilai impedansi urutan positif dan nol dengan pentanahan 40 ohm dan konfigurasi penghantar seperti dibawah ini dapat dilihat pada tabel 3

Contoh

Suatu jaring distribusi tegangan menengah 20 kV, 3 fasa, yang salurannya menggunakan saluran udara dengan penghantar AAC 150 mm², seperti terlihat pada gambar dibawah.konfigurasi penghantar horizontal dengan jarak 800 mm.Daya hubung singkat simetris disisi rel 70 kV adalah 1500 MVA, titik bintang trafonya dibumikan melalui tahanan 40 Ohm

Hitunglah arus gangguan simetris dan asimetris untuk :

- (1) gangguan tiga fasa
- (2) gangguan fasa ke fasa
- (3) gangguan satu fasa ke tanah
- (4) gangguan dua fasa ke tanah pada titik A, B, C dan D



Lanjut

Penyelesaian

Dari tabel 3 impedansi urutan positif dan negatif dari saluran ini $Z_1=Z_2=0,1961 +j 0,3303 \Omega/\text{km}$ per fasa dan impedansi urutan nolnya $Z_0=0,3441 +j 1,6180 \Omega /\text{km}$ per fasa ambil tegangan basis 20 kV.

Impedansi sumber :

$$Z_{1s} = \frac{kV^2}{MVA} = \frac{20^2}{1500} = j0,27 \Omega \quad Z_{1s} = Z_{2s}$$

Trafo 30 MVA; 12% :

$$X_{T1} = 12\% \times \frac{kV^2}{MVA} = 12\% \times \frac{20^2}{30} = j1,6 \Omega$$

Untuk trafo umumnya $X_1=X_2=X_0$

SUTM

$Z_1=Z_2=0,1961 +j 0,3303 \Omega/\text{km}$; $Z_0=0,3441 +j 1,6180 \Omega /\text{km}$ disini dapat dibuat tabel Impendansi A,B,C,dan D

lanjut

Tabel impedansi

No.	Uraian	Impedansi Urutan positif	Impedansi Urutan negatif	Impedansi Urutan nol
1	Impedansi sumber	$j0,27$	$j0,27$	0
2	Transformator	$j1,6$	$j1,6$	$3R + j1,6$ $120 + j1,6$
3	SUTMA-B. 10km.	$1.961 + j3.305$	$1.961 + j3.305$	$3.441 + j16,180$
4	SUTMB-C. 10km.	$1.961 + j3.305$	$1.961 + j3.305$	$3.441 + j16,180$
5	SUTMC-D. 10km.	$1.961 + j3.305$	$1.961 + j3.305$	$3.441 + j16,180$
6	Impedansi Fj	$5.883 + j11.785$	$5.883 + j11.785$	$130.323 + j50,14$

Gangguan dititik D $Z_1=Z_2=5,883 + j11,785$ dan $Z_0= 130,323 + j50,14$ $Z_f=0$

a)Gangguan tiga fasa persamaam 2

$$|I| = \left| \frac{cV_f}{Z_1 + Z_f} \right| = \left| \frac{1.1 \times 11547}{\sqrt{5.883^2 + 11.785^2}} \right| = 964,31 A$$

Contoh

b) Gangguan fasa ke fasa persamam 3

$$|I| = \left| \pm j \frac{c\sqrt{3}V_f}{Z_1+Z_2+Z_f} \right| = \left| \frac{1.1 \times \sqrt{3} \times 11547}{2(5.883+j11.785)} \right| = 762,5181A$$

c) Gangguan satu fasa ke tanah persamaan 8 :

$$|I| = \left| \frac{c.3.V_f}{Z_1+Z_2+Z_0+3Z_f} \right| = \left| \frac{1.1 \times 3 \times 11547}{2(5.883+j11.785)+130.3223+j50.14} \right| = \left| \frac{38105.1}{11.766+j23.57+130.323+j50.14} \right| =$$

$$|I| = \left| \frac{38105.1}{11.766+j23.57+130.323+j50.14} \right| = \left| \frac{38105.1}{142.089+j73.71} \right| = 238,0525A$$

d) Gangguan dua fasa ketanah persamaan 9

$$|I| = \left| -jc \cdot \sqrt{3}V_f \frac{Z_0+3Z_f-aZ_2}{Z_1Z_2+(Z_1+Z_2)(Z_0+3Z_f)} \right| = \left| \frac{-j1.1 \times \sqrt{3} \times 11547 [(130.323+j50,14) - (-0.5+j0.866)(5.883+j11.785)]}{(5.883+j11.785)^2 + 2(5.883+j11.785)(130.323+j50.14)} \right| =$$

$$|I| = \left| \frac{-j21999.9897 [(130.323+j50,14) - (-13.1473-j0.7978)]}{(-104.2765+j138.6623) + \{(11.766+j23.57)(130.323+j50.14)\}} \right| = \left| \frac{-j21999.9897 [(143.4703+j50.9378)]}{(-104.2765+j138.6623) + (351.5806+j3661.6603)} \right| =$$

$$|I| = \left| \frac{-j21999.9897 [(143.4703+j50.9378)]}{(247,3041+j3800.3226)} \right| = \left| \frac{21999.9897 \angle -90^\circ \times 152.2445 \angle 19.5469^\circ}{3808.3607 \angle 86.2767^\circ} \right| = \left| \frac{3349377.4319 \angle -70.4531^\circ}{3808.3607 \angle 86.2767^\circ} \right| =$$

$$|I| = 879.4801 \angle -156.7298^\circ = 879.4801 A$$

Lanjutan

Arus fasa lain :

$$|I| = \left| +jc \cdot \sqrt{3} V_f \frac{Z_0 + 3Z_f - aZ_2}{Z_1 Z_2 + (Z_1 + Z_2)(Z_0 + 3Z_f)} \right| = \left| \frac{+j1.1 \times \sqrt{3} \times 11547 [(130.323 + j50.14) - \{(-0.5 - j0.866)^2 (5.883 + j11.785)\}]}{(5.883 + j11.785)^2 + 2(5.883 + j11.785)(130.323 + j50.14)} \right| =$$

$$|I| = \left| \frac{+j21999.9897 [(130.323 + j50.14) + (+13.1467 + j0.7966)]}{(-104.2765 + j138.6623) + \{(11.766 + j23.57)(130.323 + j50.14)\}} \right| = \left| \frac{+j21999.9897 [(143.4697 + j50.9366)]}{(-104.2765 + j138.6623) + (351.5806 + j3661.6603)} \right|$$

$$|I| = \left| \frac{21999.9897 \angle 90^\circ \times 152.2435 \angle 19.5466^\circ}{3808.3607 \angle 86.2767^\circ} \right| = \left| \frac{3349353.2319 \angle 109.5466^\circ}{3808.3607 \angle 86.2767^\circ} \right| = 879.4737 \angle 23.2767 \text{ A}$$

$$|I| = 879.4737 \text{ A}$$

lanjutan

Perhitungan arus gangguan asimetris dititik D :

a)Gangguan tiga fasa

Impendansi ekivalen $Z_{ek}=Z_1=5,883 +j11.785$ ohm

$$\frac{X}{R} = \frac{11.785}{5.883} = 2.0032$$

Dari gambar 3 untuk X/R didapat $=I'/I=1.18$

Jadi gangguan asimetris $I'=1.18 I =1.18 \times 964.31=1137.886$ A

b)Gangguan fasa ke fasa

Impendansi ekivalen $Z_{ek}= 2(5,883 +j11.785)=11.766 +j23.57$ ohm

$$\frac{X}{R} = \frac{23.57}{11.766} = 2.0032$$

Jadi gangguan asimetris $I'=1.18 I =1.18 \times 762.5181=899.7714$ A

c)Gangguan satu fasa ke tanah

Impendansi ekivalen $Z_{ek} = \frac{Z_1+Z_2+Z_0+Z_f}{3} = \frac{(5.883+j11.785)+(5.883+j11.785)+(130.323+j50.14)+0}{3}$

Contoh

Impendansi ekivalen $Z_{ek} = \frac{(142.089 + j73.71)}{3} = 47.363 + j24.57 \text{ ohm}$

$$\frac{X}{R} = \frac{24.57}{47.363} = 0.52$$

Dari gambar 3 untuk X/R didapat $=I'/I = 1$

Jadi gangguan asimetris $I' = 1 \text{ I} = 1 \times 238.0525 = 238.0525 \text{ A}$

d) Gangguan dua fasa ke tanah

$$Z_{ek} = \frac{Z_1 Z_2 + (Z_1 + Z_2)(Z_0 + 3Z_f)}{\sqrt{3}(Z_0 + 3Z_f - aZ_2)} = \frac{3808.3607 \angle 86.2767^\circ}{\sqrt{3}(143.4703 + j50.9378)} = \frac{3808.3607 \angle 86.2767^\circ}{263.6952 \angle 19.5469} = 14.4423 \angle 66.7298$$

$$Z_{ek} = 14.4423 \angle 66.7298 = 5.7057 + j13.2674$$

$$\frac{X}{R} = \frac{5.7057}{13.2674} = 0.43$$

Dari gambar 3 untuk X/R didapat $=I'/I = 1.01$

Jadi gangguan asimetris $I' = 1 \text{ I} = 1.01 \times 879.4801 = 888.2749 \text{ A}$

Contoh

Dari hasil perhitungan diatas didapat :

1. Arus gangguan simetris maksimum $I = 964 \text{ A}$
2. Arus gangguan simetris minimum $I = 238 \text{ A}$
3. Arus gangguan asimetris maksimum $I = 1137 \text{ A}$

Peralatan Utama Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

1. Tiang penyangga ada 3 jenis :

a. Tiang Beton

b. Tiang besi

c. Tiang Kayu

Ukuran tinggi tiang :

11 meter

12 meter

13 meter

14 meter

16 meter

pendirian tiang dengan standart

= $\frac{1}{6} \times$ Tinggi tiang

Keterangan gambar

No. 2 Tiang besi/beton

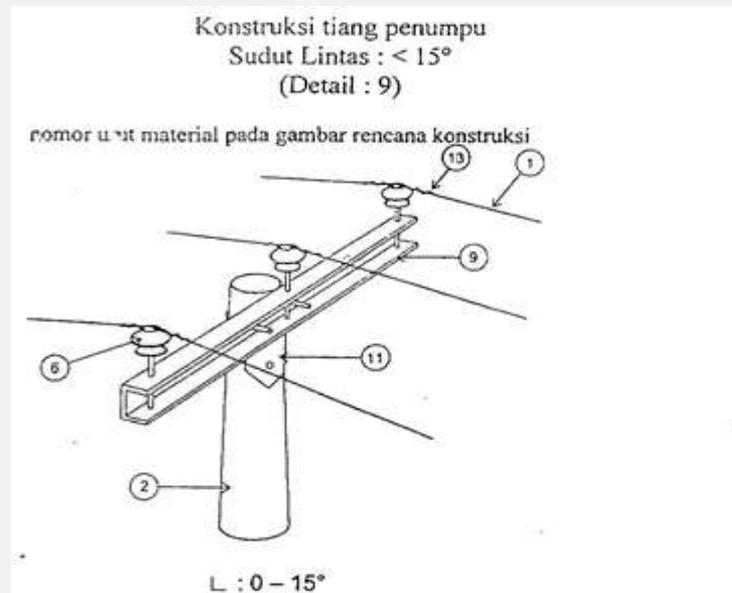
No. 6 Insulator 20 kV (type pin)

No. 9 Cross ARM UNP & U Bolt

No. 11 Plat Baja Penahan Cross ARM

No.13 Preformed Tie

No. 16 Penghalang Panjang & papan Tanda



Keterangan Gambar

No. 2 Tiang Besi/Beton

No. 5 suspension/strainRod Insulator

No. 6 Insulator Type PIN

No. 10 Cross ARM UNP & ARM Bolt

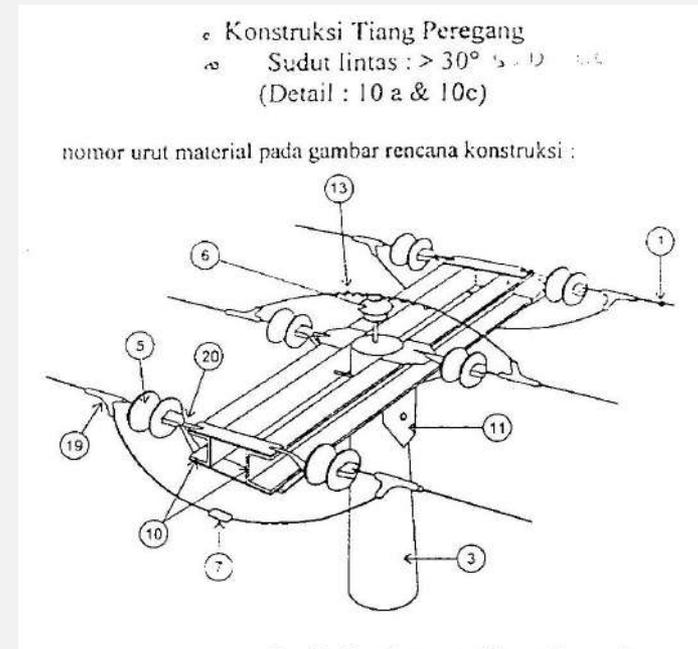
No.11 Plat Baja Penahan Cross ARM

No. 13 Preformed Tie

No.16 Penghalang Panjang

No. 19 Tension Clamp

No. 20 U-Bolt Anchor Shackle & Clevis Eye



Keterangan gambar :

No. 3 Tiang Besi/beton - 500 daN

No.4 Lightning Arrester , 24 kV , 5 kA

No. 5 Suspension Strain Rod

No. 7 TAP Conector

No. 10 Cross ARM UNP & ARM Bolt

No. 11 Plat Baja Penahan Cross ARM

No. 12 Pentanahan Lengkap

No. 14 Don Guy Lengkap

No. 16 Penghalang Panjat

No. 17 Strap Stainless Steel

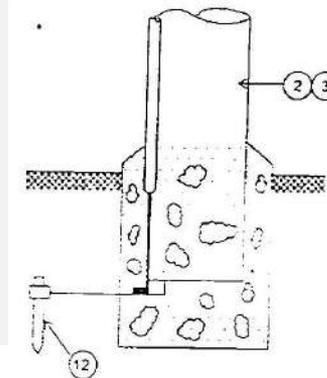
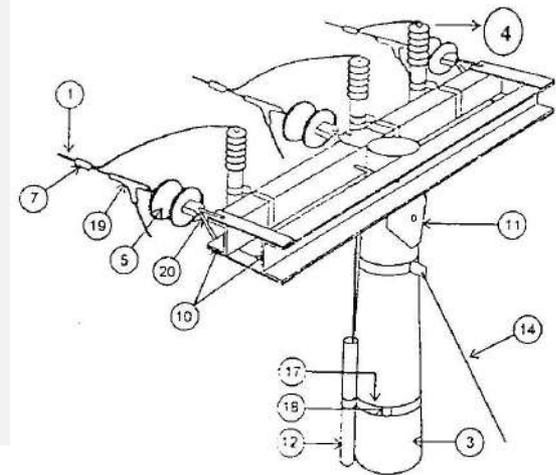
No. 18 Stopping Bukle

No. 19 Tension Clamp

No. 20 U-Bolt Anchor Shackle & Clevis Eye

Konstruksi Tiang Awal/ Akhir
(Detail : 10 d)

nomor urut material pada gambar rencana konstruksi.



- Setiap tiang mempunyai kemampuan terhadap beban dan tarikan dinyatakan dengan satuan daN (deka newton), tergantung dari dimana tiang di diletakan awal , Akhir , tiang sudut $< 30^0$ atau $>30^0$,peregang , dan penyangga.

Pembangunan antara tiang dengan jarak **40 s/d**
60 meter tergantung kondisi lapangan.

2. Penghantar dalam distribusi tegangan menengah

-Tanpa isolasi

AAC =

AAAC =

ACSR =

- **Berisolasi** (kabel pilin yang diisolasi yang digunakan XLPE)

3. Isolator

Pin –post (isolator Tumpu)

Suspension(isolator tarik)

Bahan isolator :

- Porselin
- Kaca

4. Pengaman

Pembumian (Tahanan pentanahan) dipasang setiap 3 gawang

Pemutus Tenaga (PMT) 20 kV

Pemisah (Disconnecting Switch)

Peralatan Proteksi

Over current Relay (OCR)

Relay gangguan tanah (DGR)

Fuse Cut Out (FCO)

Arrester type 5 KA dan 10 KA

5. Peralatan pelengkap

- Tap Conector
- Joint Sleeve
- Cross ARM
- Dll..sesuai kebutuhan

Pengertian umum Gardu Distribusi tenaga listrik yang paling dikenal adalah suatu bangunan gardu listrik berisi atau terdiri dari instalasi Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Menengah (PHB-TM), Transformator Distribusi (TD) dan Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) untuk memasok kebutuhan tenaga listrik bagi para pelanggan baik dengan Tegangan Menengah (TM 20 kV) maupun Tegangan Rendah (TR 220/380V).

Konstruksi Gardu distribusi dirancang berdasarkan optimalisasi biaya terhadap maksud dan tujuan penggunaannya yang kadang kala harus disesuaikan dengan peraturan Pemda setempat.

Secara garis besar gardu distribusi dibedakan atas :

A. Jenis pemasangannya :

- a) Gardu pasangan luar : Gardu Portal, Gardu Cantol
- b) b) Gardu pasangan dalam : Gardu Beton, Gardu Kios

B. Jenis Konstruksinya :

- a) Gardu Beton (bangunan sipil : batu, beton)
- b) Gardu Tiang : Gardu Portal dan Gardu Cantol
- c) Gardu Kios

C. Jenis Penggunaannya :

- a) Gardu Pelanggan Umum
- b) Gardu Pelanggan Khusus

Khusus pengertian Gardu Hubung adalah gardu yang ditujukan untuk memudahkan manuver pembebanan dari satu penyulang ke penyulang lain yang dapat dilengkapi/tidak dilengkapi RTU (*Remote Terminal Unit*). Untuk fasilitas ini lazimnya dilengkapi fasilitas DC Supply dari Trafo Distribusi pemakaian sendiri atau Trafo distribusi untuk umum yang diletakkan dalam satu kesatuan.

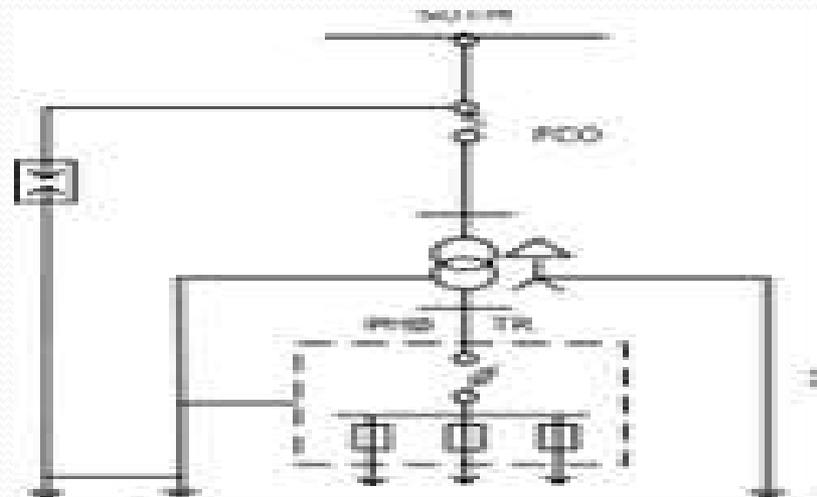
I.1 Gardu Tiang

Menggunakan Tiang : beton, besi, kayu

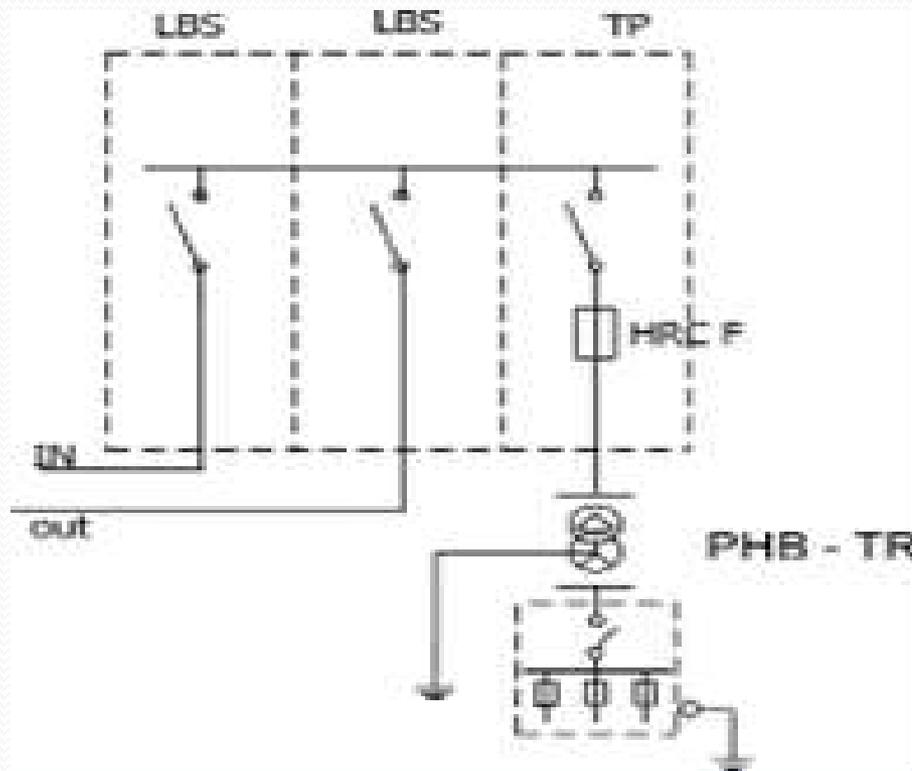
I.1.1 Gardu Portal

Umumnya konfigurasi Gardu Tiang yang dicatu dari SUTM adalah T section dengan

- peralatan pengaman Pengaman Lebur Cut-Out (FCO) sebagai pengaman hubung singkat
- transformator dengan elemen pelebur (*pengaman lebur link type expulsion*) dan *Lightning Arrester* (LA) sebagai sarana pencegah naiknya tegangan pada transformator akibat surja petir.



Untuk Gardu Tiang pada sistem jaringan lingkaran terbuka (open-loop), seperti pada sistem distribusi dengan saluran kabel bawah tanah, konfigurasi peralatan adalah **π section** dimana transformator distribusi dapat di catu dari arah berbeda yaitu posisi **Incoming - Outgoing** atau dapat sebaliknya.



Guna mengatasi faktor keterbatasan ruang pada Gardu Portal, maka digunakan konfigurasi switching/proteksi yang sudah terakit ringkas sebagai RMU (*Ring Main Unit*). Peralatan switching incoming-outgoing berupa Pemutus Beban atau LBS (*Load Break Switch*) atau Pemutus Beban Otomatis (PBO) atau CB (*Circuit Breaker*) yang bekerja secara manual (atau digerakkan dengan remote control).

Fault Indicator (dalam hal ini PMFD : *Pole Mounted Fault Detector*) perlu dipasang pada section jaringan dan percabangan untuk memudahkan pencarian titik gangguan, sehingga jaringan yang tidak mengalami gangguan dapat dipulihkan lebih cepat.

I.1.2 Gardu Cantol

1.3 Gardu Tipe Cantol.



Pada Gardu Distribusi tipe cantol, transformator yang terpasang adalah transformator dengan daya ≤ 100 kVA Fase 3 atau Fase 1.

Transformator terpasang adalah jenis CSP (*Completely Self Protected Transformer*) yaitu peralatan switching dan proteksinya sudah terpasang lengkap dalam tangki transformator.

Perlengkapan perlindungan transformator tambahan LA (*Lightning Arrester*) dipasang terpisah dengan Penghantar pembumiannya yang dihubungkan langsung dengan badan transformator. Perlengkapan Hubung Bagi Tegangan Rendah (PHB-TR) maksimum 2 jurusan dengan saklar pemisah pada sisi masuk dan pengaman lebur (type NH, NT) sebagai pengaman jurusan. **Semua Bagian Konduktif Terbuka (BKT) dan Bagian Konduktif Ekstra (BKE)** dihubungkan dengan pembumian sisi Tegangan Rendah.

I.1.3 Gardu Beton



Gambar 1.4 Gardu Beton.

Seluruh komponen utama instalasi yaitu transformator dan peralatan switching/proteksi, terangkai didalam bangunan sipil yang dirancang, dibangun dan difungsikan dengan konstruksi pasangan batu dan beton (masonry wall building).

Konstruksi ini dimaksudkan untuk pemenuhan persyaratan terbaik bagi keselamatan ketenagalistrikan.

I.1.4 Gardu Kios



Gambar 1.5 Gardu Kios.

Gardu tipe ini adalah bangunan *prefabricated* terbuat dari konstruksi baja, fiberglass atau kombinasinya, yang dapat dirangkai di lokasi rencana pembangunan gardu distribusi. Terdapat beberapa jenis konstruksi, yaitu Kios Kompak, Kios Modular dan Kios Bertingkat.

Gardu ini dibangun pada tempat-tempat yang tidak diperbolehkan membangun Gardu Beton.

Karena sifat mobilitasnya, maka kapasitas transformator distribusi yang terpasang terbatas. Kapasitas maksimum adalah 400 kVA, dengan 4 jurusan Tegangan Rendah.

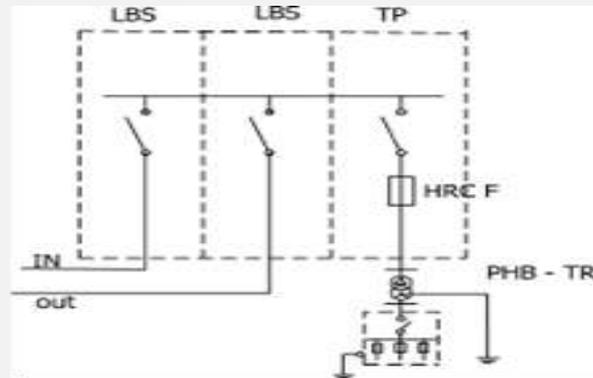
Khusus untuk Kios Kompak, seluruh instalasi komponen utama gardu sudah dirangkai selengkapnya di pabrik, sehingga dapat langsung di angkut kelokasi dan disambungkan pada sistem distribusi yang sudah ada untuk difungsikan sesuai tujuannya.



Gambar 1.6 Gardu Kios Bertingkat.

I.1.5 Gardu Pelanggan Umum

Umumnya konfigurasi peralatan Gardu Pelanggan Umum adalah π section, sama halnya seperti dengan Gardu Tiang yang dicatu dari SKTM.



Gambar 1.7 Bagan satu garis Konfigurasi π section Gardu Pelanggan Umum

Karena keterbatasan lokasi dan pertimbangan keandalan yang dibutuhkan, dapat saja konfigurasi gardu berupa **T section** dengan catu daya disuplai PHB-TM gardu terdekat yang sering disebut dengan **Gardu Antena**.

Untuk tingkat keandalan yang dituntut lebih dari Gardu Pelanggan Umum biasa, maka gardu dipasok oleh SKTM lebih dari satu penyulang sehingga jumlah saklar hubung lebih dari satu dan dapat digerakan secara Otomatis (**ACOS : Automatic Change Over Switch**) atau secara remote control.

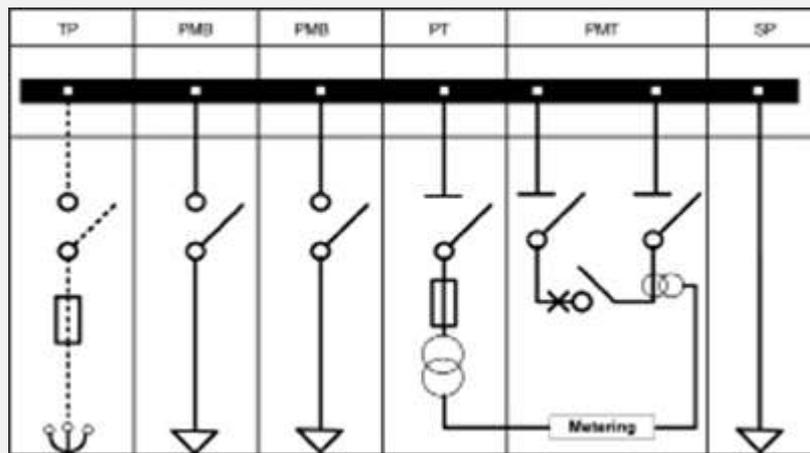
I.1.6 Gardu Pelanggan Khusus

Gardu ini dirancang dan dibangun untuk sambungan tenaga listrik bagi pelanggan berdaya besar. Selain komponen utama peralatan hubung dan proteksi, gardu ini dilengkapi

dengan alat-alat ukur yang dipersyaratkan.

Untuk pelanggan dengan daya lebih dari 197 kVA, komponen utama gardu distribusi adalah peralatan PHB-TM, proteksi dan pengukuran Tegangan Menengah. Transformator penurun tegangan berada di sisi pelanggan atau diluar area kepemilikan dan tanggung jawab PT PLN (Persero).

Pada umumnya, Gardu Pelanggan Khusus ini dapat juga dilengkapi dengan transformator untuk melayani pelanggan umum



Gambar 1.8 Bagan satu garis Gardu Pelanggan Khusus

Keterangan :

TP = Pengaman Transformator

PMB = Pemutus Beban – LBS

PT = Trafo Tegangan

PMT = Pembatas Beban Pelanggan

SP = Sambungan Pelanggan

• I.1.7 Gardu Hubung

Gardu Hubung disingkat GH atau Switching Substation adalah gardu yang berfungsi sebagai sarana manuver pengendali beban listrik jika terjadi gangguan aliran listrik, program pelaksanaan pemeliharaan atau untuk maksud mempertahankan kontinuitas pelayanan. Isi dari instalasi Gardu Hubung adalah rangkaian saklar beban (Load Break switch – LBS), dan atau pemutus tenaga yang terhubung paralel. Gardu Hubung juga dapat dilengkapi sarana pemutus tenaga pembatas beban pelanggan khusus Tegangan Menengah



Konstruksi Gardu Hubung sama dengan Gardu Distribusi tipe beton. Pada ruang dalam Gardu Hubung dapat dilengkapi dengan ruang untuk Gardu Distribusi yang terpisah dan ruang untuk sarana pelayanan kontrol jarak jauh.

Ruang untuk sarana pelayanan kontrol jarak jauh dapat berada pada ruang yang sama dengan ruang Gardu Hubung, namun terpisah dengan ruang Gardu Distribusinya.

Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM)

Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM) adalah sebagai konstruksi termurah untuk penyaluran tenaga listrik pada daya yang sama. Konstruksi ini terbanyak digunakan untuk konsumen jaringan Tegangan Menengah yang digunakan di Indonesia.

Ciri utama jaringan ini adalah penggunaan penghantar telanjang yang ditopang dengan isolator pada tiang besi/beton.

Penggunaan penghantar telanjang, dengan sendirinya harus diperhatikan faktor yang terkait dengan keselamatan ketenagalistrikan seperti jarak aman minimum yang harus dipenuhi penghantar bertegangan 20 kV tersebut antar Fase ataudengan bangunan atau dengan tanaman atau dengan jangkauan manusia. Termasuk dalam kelompok yang diklasifikasikan SUTM adalah juga bila penghantar yang digunakan adalah penghantar berisolasi setengah AAAC-S (half insulated single core). dipersyaratkan akan tetapi untuk mengurangi resiko gangguan temporer khususnya akibat sentuhan tanaman.

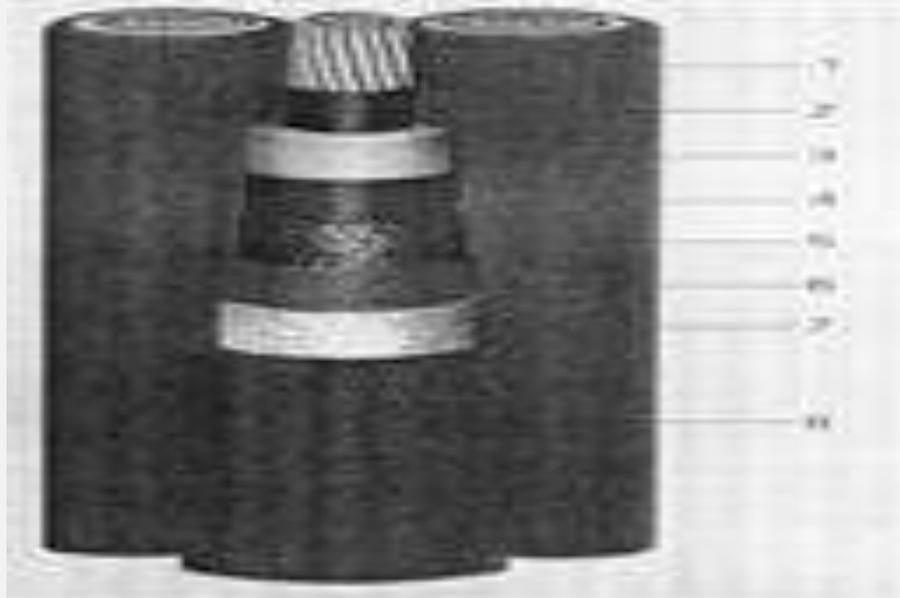
-

Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM)

Untuk lebih meningkatkan keamanan dan keandalan penyaluran tenaga listrik, penggunaan penghantar telanjang atau penghantar berisolasi setengah pada konstruksi jaringan Saluran Udara Tegangan Menengah 20 kV, dapat juga digantikan dengan konstruksi penghantar berisolasi penuh yang dipilin.

Isolasi penghantar tiap Fase tidak perlu di lindungi dengan pelindung mekanis. Berat kabel pilin menjadi pertimbangan terhadap pemilihan kekuatan beban kerja tiang beton penopangnya.

Gambar 1.2 Kabel Udara Tegangan Menengah (KUTM)



Gambar 1.2 Kabel Udara Tegangan Menengah (KUTM)

Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah (SKTM)

Konstruksi SKTM ini adalah konstruksi yang aman dan andal untuk mendistribusikan tenaga listrik Tegangan Menengah, tetapi relatif lebih mahal untuk penyaluran daya yang sama.

Keadaan ini dimungkinkan dengan konstruksi isolasi penghantar per Fase dan pelindung mekanis yang dipersyaratkan. Pada rentang biaya yang diperlukan, konstruksi ditanam langsung adalah termurah bila dibandingkan dengan penggunaan konduit atau bahkan tunneling (terowongan beton).

Penggunaan Saluran Kabel bawah tanah Tegangan Menengah (SKTM) sebagai jaringan utama pendistribusian tenaga listrik adalah sebagai upaya utama peningkatan kualitas pendistribusian. Dibandingkan dengan SUTM, penggunaan SKTM akan memperkecil resiko kegagalan operasi akibat faktor eksternal / meningkatkan keamanan ketenagalistrikan. Secara garis besar, termasuk dalam kelompok SKTM adalah :

1. SKTM bawah tanah – underground MV Cable.
2. SKTM laut – Submarine MV Cable

Selain lebih aman, namun penggunaan SKTM lebih mahal untuk penyaluran daya yang sama, sebagai akibat konstruksi isolasi penuh penghantar per Fase dan pelindung mekanis yang dipersyaratkan sesuai keamanan ketenagalistrikan.

Penerapan instalasi SKTM seringkali tidak dapat lepas dari instalasi Saluran Udara Tegangan Menengah sebagai satu kesatuan sistem distribusi sehingga masalah transisi konstruksi diantaranya tetap harus dijadikan perhatian.



Gambar 1.3 Kabel Tanah Tegangan Menengah (KTM)

Penghantar

II.1.1 Penghantar Telanjang (BC : Bare Conductor)

Konduktor dengan bahan utama tembaga(Cu) atau aluminium (Al) yang di pilin bulat

padat , sesuai SPLN 42 -10 : 1986 dan SPLN 74 : 1987

Pilihan konduktor penghantar telanjang yang memenuhi pada dekade ini adalah AAC atau AAAC. Sebagai akibat tingginya harga tembaga dunia, saat ini belum memungkinkan penggunaan penghantar berbahan tembaga sebagai pilihan yang baik.

II.1.2 Penghantar Berisolasi Setengah AAAC-S (half insulated single core)

Konduktor dengan bahan utama aluminium ini diisolasi dengan material XLPE (crosslinkpolyetilene langsung), dengan batas tegangan 6 kV dan harus memenuhi SPLN No 43-5-6 tahun 1995

-

II.1.3 Penghantar Berisolasi Penuh (Three single core)

XLPE dan berselubung PVC berpegantungan penghantar baja dengan tegangan Pengenal 12/20 (24) kV Penghantar jenis ini khusus digunakan untuk SKUTM dan berisolasi penuh. SPLN 43-5-2:1995-Kabel



Gambar kabel XLPE dan berselubung PVC

Spesifikasi Penghantar

Konstruksi menggunakan penghantar telanjang AAC dan AAAC. Untuk kawat petir (shield/earth wire) dipakai penghantar dengan luas penampang 16 mm².

Kawat ACSR digunakan untuk kondisi geografis tertentu (antara lain memerlukan bentangan melebihi jarak standar untuk memperkecil andongan dan memperkuat gaya mekanis).

Ruang Bebas (Right Of Way) dan Jarak Aman (Safety Distance)

Jarak aman adalah jarak antara bagian aktif/fase dari jaringan terhadap benda-benda disekelilingnya baik secara mekanis atau elektromagnetis yang tidak memberikan pengaruh membahayakan. Secara rinci Jarak aman jaringan terhadap bangunan lain dapat dilihat pada tabel 4.1

Khusus terhadap jaringan telekomunikasi, jarak aman minimal adalah 1 m baik vertikal atau horizontal. Bila dibawah JTM terdapat JTR, jarak minimal antara JTM dengan kabel JTR dibawahnya minimal 120 cm

Tabel 4.1 Jarak aman SUTM

No.	Uraian	Jarak Aman
1.	Terhadap permukaan jalan raya	≥ 6 meter
2.	Balkon rumah	$\geq 2,5$ meter
3.	Atap rumah	≥ 2 meter
4.	Dinding Bangunan	$\geq 2,5$ meter
5.	Antena TV/ radio, menara	$\geq 2,5$ meter
6.	Pohon	$\geq 2,5$ meter
7.	Lintasan kereta api	≥ 2 meter dari atap kereta
8.	Underbuilt TM – TM	≥ 1 meter
9.	Underbuilt TM – TR	≥ 1 meter

Istilah	Keterangan
KHA	Kemampuan Hantar Arus Current Carrying Capacity Kemampuan penghantar dialiri arus listrik secara terus menerus pada kondisi yang dipersyaratkan tanpa menambah karakteristik penghantar tersebut.
BKT	Bagian Konduktif Terbuka (Exposed Conducting)
AAAC	All Aluminium Alloy Conductor Penghantar Aluminium Alloy
AAC	All Aluminium Conductor Penghantar dengan bahan Aluminium Murni
AAAC – S	AAAC – Semi Insulated Cable Kabel udara dengan inti Aluminium berisolasi PVC dengan ketahanan isolasi setengah dari tegangan kerja 1 Fasa ke bumi (Half Insulated Cable)
Sepatu Kabel	Terminal Lug . Kabel Skun
PHB	Perengkapan Hubung Bagi, Lemari tegangan rendah dengan atau tanpa kendali. Suatu perlengkapan untuk pembagi tegangan listrik dan atau mengendalikan dan melindungi sirkit dan pemanfaat.
Kabel Trunk	Rak untuk kabel naik Vertikal
Kabel Tray	Rak untuk kabel naik Mendatar
Spindel	Salah satu bentuk konfigurasi jaringan distribusi kabel – kabel tanah. Jumlah kabel sebanyak – banyaknya 7 buah dengan 1 penyulang cadangan yang berakhir di Gardu Hubung.
Bagian Konduktif Ekstra	Bagian konduktif yang bukan merupakan bagian dari instalasi tidak bertegangan, bisa bertegangan jika terjadi kegagalan
Kluster	Sarang Laba – laba Bentuk Konfigurasi saluran udara Tegangan Menengah
Portal	Bentuk dua tiang berjajar

Tugas Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Jawablah pertanyaan dibawah ini

Jawaban tugas dikirim melalui WA

Diterima 24 juni 2021.

1. Coba anda jelaskan perbedaan antara jaringan distribusi spindle dengan ring ?
2. Apa kelebihan – kekurangan dari kedua jaringan tersebut diatas ?
3. Apa kelebihan - kekurangan antara saluran udara tegangan menengah dengan saluran kabel bawah tanah.
4. Berikan penjelasan peralatan utama dalam saluran udara tegangan menengah ?
5. Berikan langkah langkah untuk mendapatkan penampang kabel yang sesuai menurut saudara ?
6. Sebutkan macam macam pada gardu distribusi, dan berikan 1 contoh penjelasan dari gardu tersebut ?



Berita Acara Perkuliahan
(Presentasi Kehadiran Dosen)
SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK 2022/2023
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO SI FTI - ISTN

Nama Dosen		: 1. Ir. Nizar Rosyidi AS ,MT.			Hari		Kamis
Mata Kuliah		Sistem Distribusi Daya Listrik			Jam		19.00-20.40
Kelas		K			Ruang		:
No.	Hari /Tanggal	Materi Pembelajaran	Metode Belajar	Jml Mhs	Paraf Dosen		
1.	Kamis, 24-3-2023	Pendahuluan : Sistem Distribusi Daya Listrik	elearning istn dan Google Meet	3			
2.	Kamis, 31-3-2023	Susunan Jaringan Distribusi	elearning istn dan Google Meet	3			
3.	Kamis, 6-4-2023	Peralatan Utama	elearning istn dan Google Meet	3			
4.	Kamis,13-4 -2022	Tugas 1 (setelah Penjelasa) diatas	elearning istn dan Google Meet	2			
5.	Kamis, 20-04-2023	SUTM	elearning istn dan Google Meet	2			
6.	Kamis, 4-5-2023	Gardu Distribusi	elearning istn dan Google Meet	3			
7.	Kamis, 11-5-2023	Kwalitas Listrik	elearning istn dan Google Meet	3			
8.	Kamis,25-5 -2023	UJIAN TENGAH SEMESTER (UTS) SEMESTER GENAP 2022/2023	elearning istn dan Google Meet	3			



Berita Acara Perkuliahan
(Presentasi Kehadiran Dosen)
SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK 2022/2023
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S1 FTI - ISTN

Nama Dosen		: 1. Ir. Nizar Rosyidi AS ,MT.			Hari		: Kamis
Mata Kuliah		Sistem Distribusi Daya Listrik			Jam		: 19.00-20.40
Kelas		K			Ruang		:
No.	Hari /Tanggal	Materi Pembelajaran	Metode Belajar	Jml Mhs	Paraf Dosen		
9	Kamis,1-6-2023	Struktur Jaringan Distribusi	elearning istn dan Google Meet	2			
10	8/6/2023	Perbandingan struk jardis	elearning istn dan Google Meet	3			
11	15-6-2023	Lanjutan Jardis	elearning istn dan Google Meet	3			
12	22-6-2022	Jatuh tegangan	elearning istn dan Google Meet	3			
13	29-6-2023	Lanjutan Jatuh Tegangan	elearning istn dan Google Meet	2			
14	6/7/2023	soal Jatuh Tegangan	elearning istn dan Google Meet	3			
15	13-7-2023	Karakteristik Beban	elearning istn dan Google Meet	3			
16	27-7-2023	UJIAN AKHIR SEMESTER (UAS) SEMESTER GENAP 2022/2023	elearning istn dan Google Meet	3			

Jakarta, 2023
Kaprodik Teknik Elektro FTI ISTN

Harlan

Harlan Effendi, ST, MT

DAFTAR NILAI

SEMESTER GENAP REGULER TAHUN 2022/2023

Program Studi : Teknik Elektro S1

Matakuliah : Sistem Distribusi Daya Listrik

Kelas / Peserta : K

Perkuliahan : Kampus ISTN Bumi Srengseng P2K - Kelas

Dosen : Nizar Rosyidi, Ir.MT.

Hal. 1/1

No	NIM	N A M A	ABSEN	TUGAS	UTS	UAS	MODEL	PRESENTASI	NA	HURUF
			10%	20%	30%	40%	0%	0%		
1	20224001	Andri Suparto	86	65	70	70	0	0	70.6	B
2	22224702	Dodik Adhi Kris Nugroho	100	70	75	79	0	0	78.1	A-
3	22224703	Jimmywal,Amd	100	70	75	75	0	0	76.5	A-

Rekapitulasi Nilai							
A	0	B+	0	C+	0	D+	0
A-	2	B	1	C	0	D	0
		B-	0	C-	0	E	0

Jakarta,31 July 2023

Dosen Pengajar



Nizar Rosyidi, Ir.MT.