

LAPORAN AKHIR
“PENGOPERASIAN GARDU DISTRIBUSI”
PADA PT. PLN (Persero) AREA TAHUNA



Oleh :

KONSTANTINUS LELANG

NIM : 12-021-004

Dosen Pembimbing

Djemi Lahinta, ST

NIP. 19620113 198803 1 001

KEMENTERIAN RISET TEKNOLOGI DAN
PENDIDIKAN TINGGI
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
POLITEKNIK NEGERI MANADO

2015

LEMBAR PENGESAHAN

PENGOPERASIAN GARDU DISTRIBUSI PADA PT. PLN (Persero) AREA TAHUNA

Oleh

KONSTANTINUS LELANG

NIM : 12 021 004

*Laporan Akhir ini telah diterima dan disahkan sebagai persyaratan untuk
menyelesaikan pendidikan Diploma III Teknik Elektro
Program Studi Teknik Listrik
Politeknik Negeri Manado*

Manado, 31 Juli 2015

Menyetujui :

Ketua Panitia Laporan Akhir



Fanny J. Doringin, ST. MT
NIP. 19670430 199203 1 003

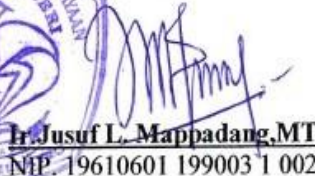
Dosen Pembimbing



Djemi S. Lahinta, ST
NIP. 1962113 198803 1 001



Ketua Jurusan Teknik Elektro



H. Jusuf L. Mappadang, MT
NIP. 19610601 199003 1 002

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan tuntunanNya penulis dapat menyelesaikan laporan akhir dengan baik dan tepat pada waktunya. Laporan ini merupakan hasil dari praktek kerja lapangan pada PT. PLN (Persero) AREA TAHUNA, yang di lakukan selama empat bulan terhitung dari tanggal 23 maret 2015 sampai pada tanggal 17 juli 2015. Laporan ini berisi tentang PENGOPERASIAN GARDU DISTRIBUSI yang ada pada PT. PLN (Persero) AREA TAHUNA.

Dalam menyelesaikan praktek kerja lapangan dan penulisan laporan akhir penulis banyak memperoleh bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Jemmy Turangan, MT selaku direktur Politeknik negeri Manado.
2. Bapak Ir. Jusuf L. Mappadang MT, selaku ketua jurusan Polimdo
3. Bapak Fanny Doringin, ST. MT selaku ketua panitai tugas akhir
4. Bapak Maneger PT. PLN (persero) Area Tahuna bersama staf
5. Bapak Nofrianus Majampoh selaku pembimbing PKL
6. Keluarga Luase –Taulending yang bersedia menjadi orang tua angkat bagi penulis selama masa PKL
7. Keluarga besar Peuhulu –gesing yang selalu bersama penulis selama mejalankan study di Polimdo
8. Kedua orang tua tercinta yang selalu membantu penulis dalam segala hal
9. Teman –teman seperjuang yang selalu ada setiap saat di butuhkan

Penulis menyadari bahwa dalam lapaoran ini masih banyak kekurangan yang penulis miliki, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun dari siapa saja sangat penulis harapkan demi terciptanya sebuah tulisan yang lebih baik lagi di masa yang akan datang.

Manado,juli 2015
Konstantinus Lelang

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
KATA PENGANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1.Latar Belakang	1
1.2.Rumusan Masalah	2
1.3.Batasan Masalah.....	2
1.4.Tujuan Penulisan	2
1.5.Manfaat Penulisan	2
1.6.Sistematika Penulisan.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1.Teknik Listrik Terapan.....	4
2.2.Transformator.....	20
2.3.Peralatan Pengaman Pada Gardu Distribusi.....	34
BAB III PEMBAHASAN	
3.1. Sistem distribusi pada PT. PLN (Persero) Area Tahun	40
3.1.1. Interkoneksi Sistem Sangihe	40
3.2. Pengoperasian Gardu Distribusi	45
3.2.1. Pengertian Gardu Distribusi	45
3.2.2. Tolak Ukur Kinerja Pengoperasian Gardu Distribusi	47
3.2.3. Faktor Yang Mempengaruhi Kelangsungan Pelayanan ..	51
3.2.4. Persyaratan Operasi Gardu Distribusi	52
3.2.5. Prosedur Teknis Pengoperasian Peralatan Distribusi.....	53
3.3. Permasalahan Pada gardu distribusi	60
3.3.1. Ketidak seimbangan beban.....	60
3.3.2. Beban lebih.....	63
BAB IV PENUTUP	
4.1. Kesimpulan.....	65
4.2. Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN	67

BAB I

PENDAHULUAN

1.1.LATAR BELKANG PENULISAN

Dalam beberapa tahun terakhir ini, masalah listrik menjadi polemic yang berkepanjangan dan telah memunculkan multi implikasi yang sangat kompleks di berbagai aspek kehidupan, antara lain : keuangan, ekonomi, sosial, budaya, politik, dan lain-lain. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa listrik telah menjadi bagian yang sangat penting bagi umat manusia. Untuk memenuhi kebutuhan akan energi listrik di indonesia, PT PLN (Persero) selaku perpanjangan tangan pemerintah di tuntut untuk menjawab kebutuhan tersebut.

Untuk sampai ke konsumen energi listrik harus dibangkitkan oleh sumber energi seperti diesel, air dan lainnya, sehingga sumber energi itu dapat di konversi menjadi energi listrik dan kemudian di distribusikan ke gardu – gardu distribusi.

Gardu distribusi merupakan salah satu bagian dari sistem distribusi yang berfungsi untuk menghubungkan jaringan ke konsumen atau untuk mendistribusikan tenaga listrik pada konsumen tegangan menengah maupun konsumen tegangan rendah. Sehingga gardu distribusi termasuk bagian terpenting dalam suatu sistem distribusi.

Demi terciptanya pelayanan listrik yang optimal terhadap pelanggan listrik, tingkat kinerja para petugas pengoperasian gardu distribusi juga harus memadai terlebih harus memahami cara kerja dari dari tiap – tiap komponen gardu distribusi dan cara pengoperasiannya. Dengan demikian bisa terjamin sebuah mutu pelayanan yang baik, aman dan berkesinambungan.

1.2.RUMUSAN MASALAH

Adapun rumusan masalah yang penulis ambil untuk di bahas pada tulisan ini :

- Apa itu pengoperasian gardu distribusi?
- Apa saja permasalahan yang terjadi pada pengoperasian gardu distribusi?

1.3.BATASAN MASALAH

Gardu distribusi mencakupi banyak hal untuk di bahas,oleh karena itu untuk mempersingkat pembahasan pada tulisan ini penulis hanya akan membahas tentang proses pengoperasian gardu distribusi dan permasalahan yang sering terjadi yaitu, beban tidak seimbang dan beban lebih.

1.4. TUJUAN PENULISAN

Adapun tujuan penulisan laporan tugas akhir yaitu :

- Untuk mengetahui teknik pengoperasian pada gardu distribusi
- Untuk mengidentifikasi jenis – jenis gangguan yang mungkin terjadi pada sistem pengoperasian gardu distribusi
- Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan kuliah program D3 teknik listrik

1.5.MANFAAT PENULISAN

Adapun manfaat dari penulisan ini adalah:

- Sebagai bahan pembelajaran bagi mahasiswa yang sedang melakukan study kelistrikan.
- Sebagai bahan acuan untuk penyusunan karya – karya ilmiah selanjutnya

1.6.SISTEMATIKA PENULISAN

BAB I PENDAHULUAN

1.1.Latar Belakang

1.2.Rumusan Masalah

- 1.3. Batasan Masalah
- 1.4. Tujuan Penulisan
- 1.5. Manfaat Penulisan
- 1.6. Sistematika Penulisan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

- 2.1. Teknik Listrik Terapan
- 2.2. Transformator
- 2.3. Peralatan Pengaman Pada Gardu Distribusi

BAB III PEMBAHASAN

- 3.1. Sistem Distribusi Pada PT. PLN (Persero) Area Tahuna
 - 3.1.1. Interkoneksi Sistem Sangahe
- 3.2. Pengoperasian Gardu Distribusi
 - 3.2.1. Pengertian Gardu Distribusi
 - 3.2.2. Tolak Ukur Kinerja Pengoperasian Gardu Distribusi
 - 3.2.3. Faktor Yang Mempengaruhi Kelangsungan Pelayanan
 - 3.2.4. Persyaratan Operasi Gardu Distribusi
 - 3.2.5. Prosedur Teknis Pengoperasian Peralatan Distribusi
- 3.3. Permasalahan pada Gardu Distribusi
 - 3.3.1. Ketidakseimbangan Beban
 - 3.3.2. Beban Lebih

BAB IV PENUTUP

- 4.1. Kesimpulan
- 4.2. Saran

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

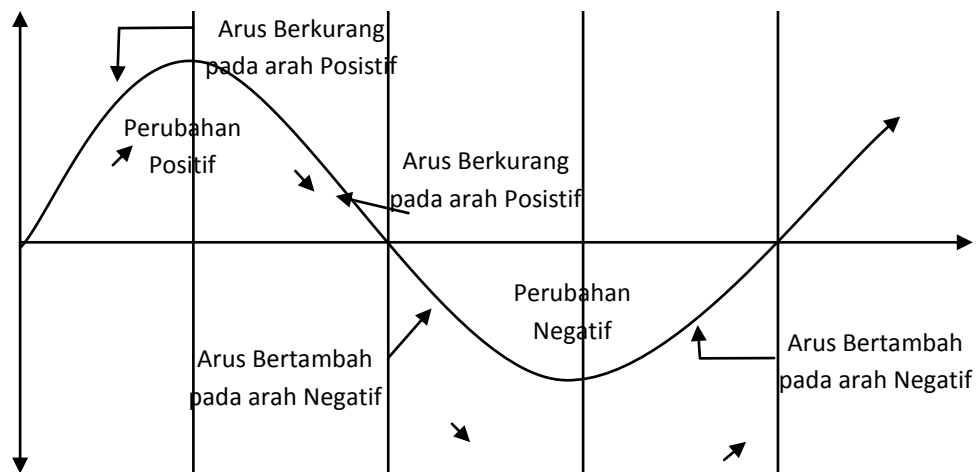
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. TEKNIK LISTRIK TERAPAN

2.1.1. Karakteristik Arus Bolak Balik

Tidak seperti arus searah dimana besar dan polaritas dari arus/tegangan selalu tetap sepanjang waktu maka pada arus bolak-balik, besar dan polaritas dari arus/tegangan berubah-ubah terhadap waktu mengikuti bentuk fungsi sinusoidal



Gambar 2.1
Gelombang arus bolak balik

Dari karakteristik tersebut maka kita kenal :

2. Tegangan / arus sesaat
3. Tegangan / arus puncak / maksimum
4. Tegangan / arus efektif

<u>Tegangan</u>	<u>Arus</u>
Nilai sesaat : $e = V \sin \omega t$	$I = \sin t$
Nilai maks : $V = V$	$I = I$
Nilai efektif : $V_{ef} = V / \sqrt{2}$	$I_{ef} = I / \sqrt{2}$

Nilai efektif adalah nilai yang terukur pada alat ukur (Volt meter /Amper meter) Misalnya tegangan dirumah : 220 volt atau 380 volt.

2.1.2. Beban Pada Arus Bolak Balik

Pada sistem arus searah hanya mengenal beban resistive (R), tetapi pada sistem arus bolak balik beban merupakan “ Impedansi” (Z) yang biasa dibentuk dari unsur : R, L, C.

Contoh beban :

R (hambatan murni) : Lampu pijar, setrika listrik, heater

L (hambatan induktif) : Reaktor, kumparan

C (hambatan kapasitas) : Kapasitor

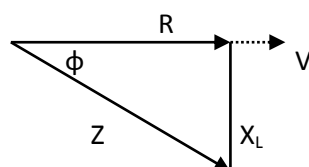
Sifat hambatan L (X_L) dengan C (X_C) saling bertentangan /meniadakan.

$$X_L = 2\pi.f.L, \text{ dan } X_C = 1/2\pi.f.C$$

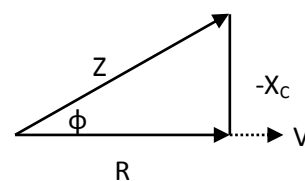
X_L dan X_C merupakan bagian imajiner dari impedansi

Hubungan dari tiga beban / hambatan digambarkan sebagai berikut

$$Z = R + jX_L$$



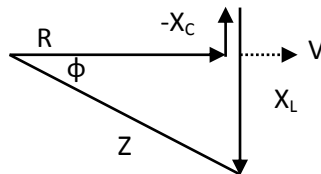
$$Z = R - jX_C$$



(a)

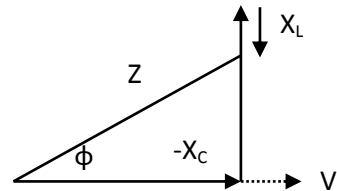
$$Z = R - jX_L - jX_C$$

$$(jX_L > jX_C)$$

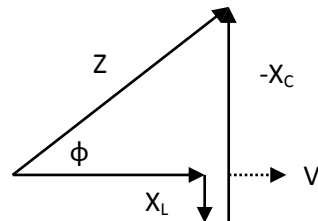
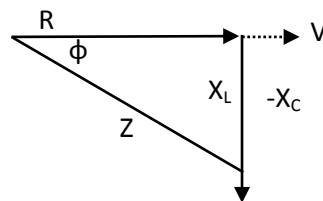


$$Z = R - jX_L - jX_C$$

$$(jX_L < jX_C)$$



(b)



(c)

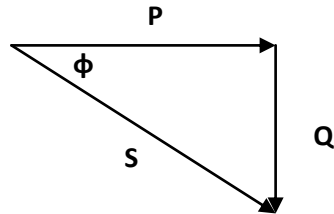
Gambar 2.2
impedansi

2.1.3. Daya Pada Arus Bolak Balik

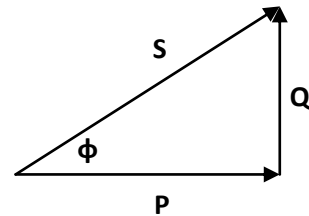
Karena beban Z mempunyai/membentuk pergeseran sudut terhadap V (sebagai referensi) maka arus beban I_b yang mengalir pun membentuk sudut yang sama searah dengan sudut dari Z sebesar ϕ . Hal ini berakibat timbulnya 3 macam daya.

- Daya aktif : P (watt)
- Daya reaktif : Q (VAR)
- Daya semu: S (VA)

Hubungan dari ketiga macam daya tersebut kita kenal sebagai “segitiga daya”.



Beban bersifat induktif



Beban bersifat kapasitif

Gambar 2.3
Segi tiga daya

Penjumlahan Vektor P dan Q

$$S = \vec{P} + j\vec{Q}$$

Rumus-rumus Daya

1 Phasa :

$$S = V \times I \quad (\text{VA})$$

$$P = V \times I \times \cos \theta \quad (\text{Watt})$$

$$Q = V \times I \times \sin \theta \quad (\text{VAR})$$

V = Tegangan Phasa-netral (220 Volt)

I = Arus Phasa

3 Phasa :

$$S = V \times I \times \sqrt{3} \quad (\text{VA})$$

$$P = V \times I \times \sqrt{3} \times \cos \theta \quad (\text{Watt})$$

$$Q = V \times I \times \sqrt{3} \times \sin \theta \quad (\text{VAR})$$

V = Tegangan Phasa-phaasa (380 Volt)

I = Arus Phasa

2.1.4. Resistansi Jaringan

Tahanan dari suatu konduktor (kawat penghantar) dinyatakan oleh :

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A}$$

Dimana : ρ = Resistivitas

L = Panjang kawat

A = Luas penampang dalam kawat

Dalam tabel-tabel yang tersedia sering kita jumpai penampang kawat diberikan dalam satuan “circular Mil” disingkat CM. Difenisi dari CM ialah penampang kawat yang mempunyai diameter 1 mil (0,001 inch).

$CM = 1973 \times 10^{-4} \times (\text{dalam CM})$ Atau

$mm^2 = 5,067 \times 10^{-4} \times (\text{dalam CM})$

Dalam satuan MKS :

ρ = Ohm Meter

L = Meter

A = m^2

Dalam satuan CGS :

ρ = Mikro Ohm - Centimeter

L = Cm

A = Cm^2

Karena pada umumnya kawat-kawat penghantar terdiri dari kawat pilin (stranded conductors)

Maka sebagai factor koreksi untuk memperhitungkan pengaruh dari pilin, panjang kawat dikalikan dengan 1,02 - 1,05 (2% - 5 % factor koreksi).

Dalam batas temperatur 10^0 C sampai dengan 100^0 C, untuk kawat tembaga (Cu) dan aluminium (AL) berlaku rumus :

$$R_{t_2} = R_{t_1} \{ 1 + \alpha_{t_1} (t_2 - t_1) \}$$

Dimana :

R_{t_2} = Tahanan pada temperatur t_2

R_{t_1} = Tahanan pada temperatur t_1

α_{t_1} = Koefisien temperatur dari tahanan pada temperatur t_1

Jika :

$$(1 + x)^n \propto t_1 = \frac{1}{t_0 + t_1} \text{ sehingga } t_0 = \frac{1}{\alpha t_1 - t_1}$$

Maka :

$$R_{t_2} = R_{t_1} \{ 1 + \alpha_{t_1} (t_2 - t_1) \}$$

T_0 adalah temperatur dimana tahanan kawat akan menjadi nol.

Untuk kawat :

$$\text{Cu (100\%)} : \alpha_{20} = 0,00393$$

$$T_0 = 234,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Cu (97,5\%)} : \alpha_{20} = 0,00383$$

$$T_0 = 241,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{AL (61\%)} : \alpha_{20} = 0,00403$$

$$T_0 = 228,1$$

Tabel dibawah ini harga-harga T_0 dan α untuk bahan-bahan konduktor standard.

Tabel-1 : Harga koefisien temperatur (T_0 dan α) bahan konduktor

Material	T_0 ($^{\circ}\text{C}$)	Koefisien temperatur dari tahanan						
		α_0	α_{00}	α_{25}	α_{50}	α_{75}	α_{80}	α_{100}
Cu (100%)	234,5	4,27	3,93	3,85	3,52	3,25	3,18	2,99
Cu (97,5%)	241,0	4,15	3,83	3,76	2,44	3,16	3,12	2,93
AL (61%)	228,1	4,03	2,83	3,95	3,60	3,30	3,25	3,05

standard

Tabel-2 : Resistivitas (bahan konduktor standard).

Material	Resistivitas dari tahanan ($\Omega.\text{Cm}$)						
	ρ_0	ρ_{00}	ρ_{25}	ρ_{50}	ρ_{75}	ρ_{80}	ρ_{100}
Cu (100%)	1,58	1,72	1,75	1,92	2,09	2,12	2,26
Cu (97,5%)	1,63	1,77	1,80	1,97	2,14	2,18	2,31
AL (61%)	2,60	2,83	2,89	3,17	3,46	3,51	3,74

Tahanan arus searah (DC) yang diperoleh dari perhitungan diatas harus dikalikan dengan factor :

1,0 untuk konduktor padat (solid)

1,01 untuk konduktor pilin yang terdiri dari 2 lapis

1,02 untuk konduktor pilin yang lebih dari 2 lapis

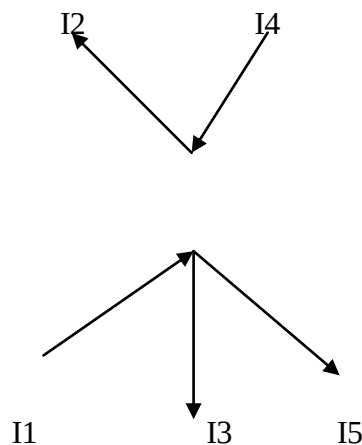
Biasanya tahanan konduktor standard diberikan oleh pabrik yang diukur pada temperature 20°C, sehingga untuk pemakaian dilapangan harga R harus dikoreksi sesuai temperature rata-rata diluar (t_2) dan dinyatakan dalam Ohm/Km.

2.1.5. Hukum Kirchoff

2.1.5.1. Hukum Kirchoff I

Pada setiap rangkaian listrik, jumlah aljabar dari arus-arus yang bertemu disatu titik adalah nol.

Notasi : $\sum I = 0$



Jadi :

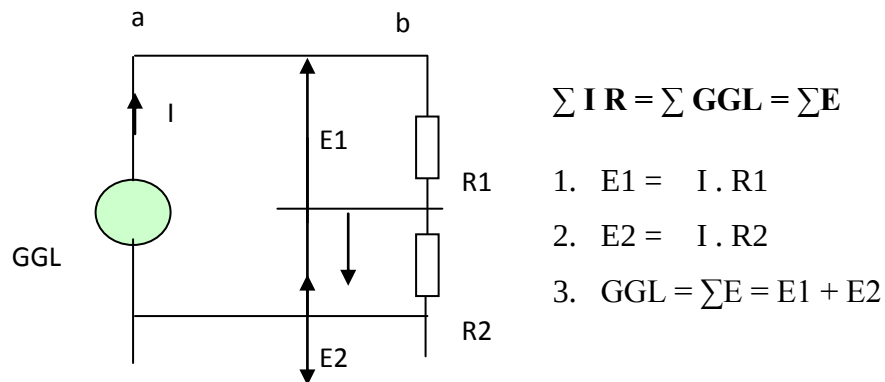
$$I_1 + (-I_2) + (-I_3) + (I_4) + (-I_5) = 0$$

$$I_1 + I_4 = I_2 + I_3 + I_5$$

Gambar 2.4 hukum kirchoff I

2.1.5.2. Hukum Kirchoff II

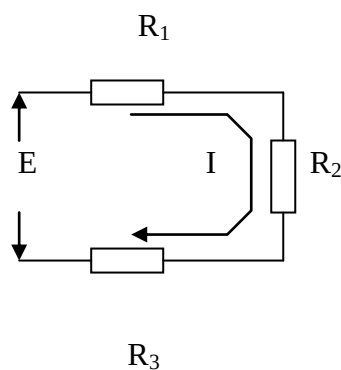
Jumlah aljabar dari hasil kali arus dan tahanan pada setiap konduktor dalam suatu rangkaian tertutup (mesh) , sama dengan jumlah aljabar dari ggl.



Gambar 2.5 hukum kirchoff II

2.1.6. Rangkaian Listrik

2.1.6.1. Rangkaian Tahanan Seri



Gambar 2.6 rangk. seri

Sebuah rangkaian listrik yang terdiri dari 3 buah tahanan yang disambung seri, arus yang mengalir pada setiap tahanan sama besarnya karena rangkaian seri.

⊕ Menurut hukum Kirchoff II :

$$E = I.R1 + I.R2 + I.R3$$

$$= I (R1 + R2 + R3)$$

$$= I \times R_{\text{tot}}$$

Apabila diketahui harga masing masing tahanan (R1, R2, R3) dan tegangan pada sumber (E) juga diketahui maka kita dapat menghitung besar arus yang mengalir pada penghantar maupun masing masing tahanan tersebut.

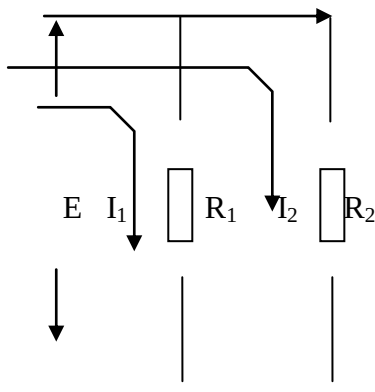
Oleh karena ke tiga tahanan tersambung seri maka besar arus yang mengalir sama besarnya yaitu :

$$I = E : (R_1 + R_2 + R_3)$$

2.1.6.2. Rangkaian Tahanan Paralel

Suatu rangkaian listrik yang terdiri dari dua buah Impedansi yang disambung Paralel Tegangan yang kita pilih sebagai referensi :

Hukum Kirchoff I



Gambar 2.7 rangk. paralel

$$I = I_1 + I_2$$

$$E = I \cdot R_1 = I \cdot R_2$$

$$\frac{1}{R_{\text{tot}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \text{atau} \quad R_{\text{tot}} = \frac{E}{I}$$

2.1.7. Jatuh Tegangan

Dalam penyediaan tenaga listrik disyaratkan suatu level standard tertentu untuk menentukan kualitas tegangan pelayanan.

Secara umum ada tiga hal yang perlu dijaga kualitasnya

- ✓ Frekwensi (50 Hz)
- ✓ Tegangan SPLN.No.1; 1985 (220/380 Volt : + 5%; - 10%)
- ✓ Keandalan

Akibat terjadinya rugi tegangan pada saluran maka tegangan khususnya ditempat pelanggan rugi paling jauh dari sumber (gardu distribusi) akan lebih kecil dari tegangan nominal.

Rugi tegangan pada saluran yang menyebabkan adanya jatuh tegangan (ΔV) dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

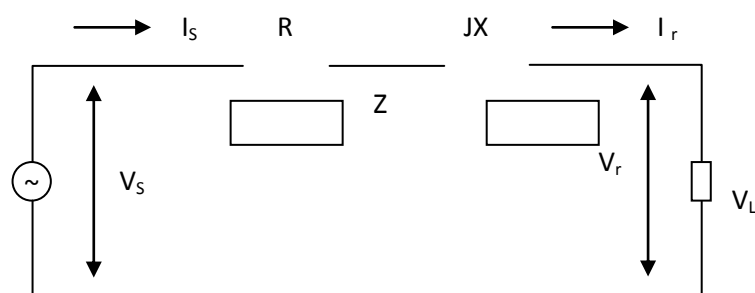
$$\Delta V = V_s - V_r$$

Dimana :

V_s = tegangan pengiriman dari sumber

V_r = tegangan penerimaan disisi beban

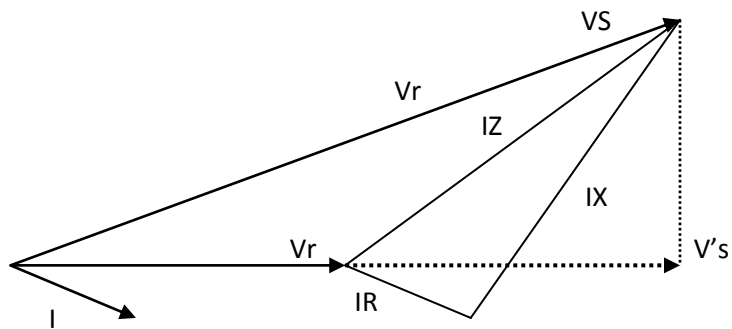
Dalam gambar-4 diberikan rangkaian pengganti dari saluran distribusi.



Gambar 2.8 Rangkaian Pengganti Saluran

$$I_s = I_r = I = \text{ arus pada saluran}$$

$$Z = R + JX = \text{ impedansi saluran}$$



Gambar 2.9 Diagram Phasor Saluran

Dengan rumus pendekatan :

$$V_s = V_{s1} \text{ maka}$$

$$\Delta V = V_{s1} - V_r$$

$$\Delta V = I R \cos \theta + I jX \sin \theta$$

$$\Delta V = I (R \cos \theta + jX \sin \theta) \text{ Dimana :}$$

I = arus penghantar phasa (ampere)

R = resistansi/tahanan penghantar phasa (Ω/km)

jX = reaktansi saluran (Ω/km)

θ = sudut daya (beda sudut antara I dan E) Maka :

$$\Delta V = I \cdot L (R \cos \theta + jX \sin \theta)$$

Untuk saluran 3 phasa

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot I \cdot L (R \cos \theta + jX \sin \theta)$$

Bila beban terpusat diujung

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot I \cdot L (R \cos \theta + jX \sin \theta)$$

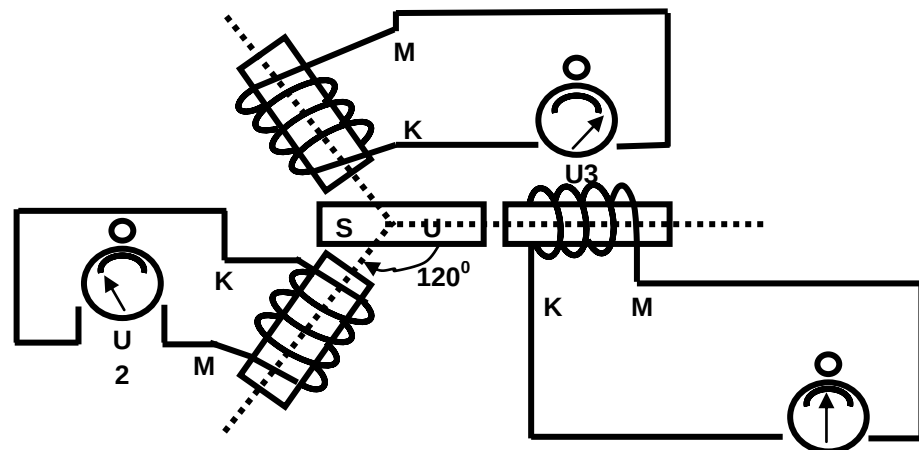
Sesuai SPLN No. 72 ; tahun 1987 ΔV max sebagai berikut :

$$JTM = 5\%, \quad \text{Trafo} = 3\%, \quad JTR = 4\%, \quad SR = 1\%$$

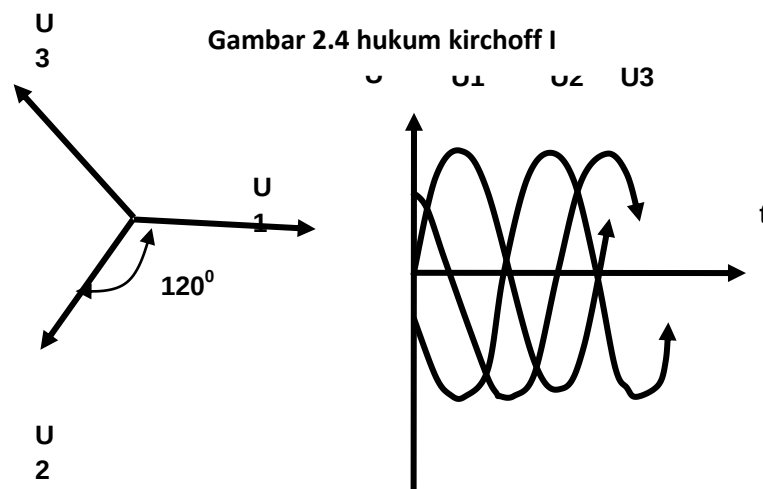
Nilai ΔV biasa berubah-ubah tergantung fluktuasi beban

Untuk optimasi jaringan nilai untuk dapat diambil nilai maksimum sesuai SPLN No. 72;198

2.1.8. Listrik arus bolak balik tiga fasa



Gambar 2.4 hukum kirchoff I



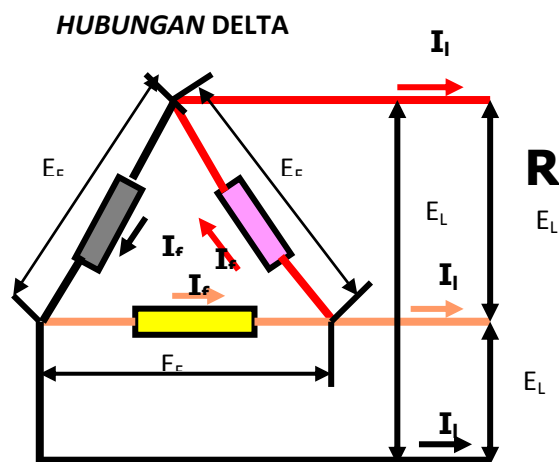
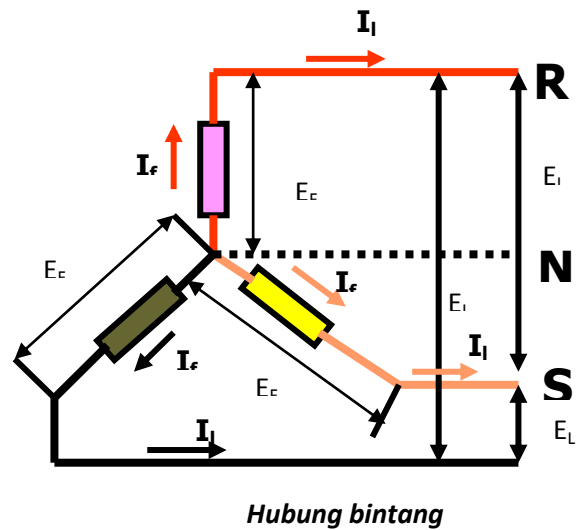
Gambar 2.10 generator ac 3 fasa

Yang dimaksud dengan listrik arus bolak – balik 3 fasa adalah listrik arus bolak – balik yang terdiri dari 3 (tiga) keluaran yang disebut dengan fasa, dengan bentuk sinusiode dimana besar / nilai tegangannya sama, frekwensi sama tetapi masing – masing berbeda $1/3$ periode (120°)

Generator arus bolak – balik sebagai sumber listrik arus bolak-balik 3 fasa, konstruksi letak belitan induksinya masing – masing berbeda sudut 120^0 .

2.1.8.1. Tegangan dan arus 3 fasa

Tegangan dan arus keluaran dari generator atau trafo dapat dibedakan berdasarkan hubungan antar belitannya.



Gambar 2.11 hubung star - delta

1. Arus 3 fasa

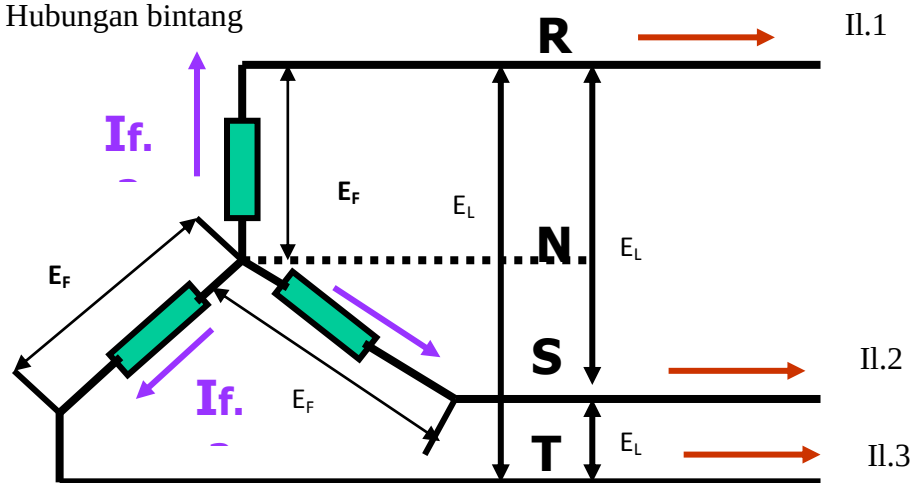
- Tegangan setiap belitan disebut dengan tegangan fasa = E_f
- Tegangan antar fasa disebut dengan tegangan line = E_l
- $E_l = E_f \cdot \sqrt{3}$
- Arus yang keluar dari belitan disebut arus fasa I_f
- Arus yang keluar dari terminal disebut arus line I_l .
- Arus line besarnya sama dengan arus fasa : $I_l = I_f$

2. Tegangan 3 fasa

- Tegangan line besarnya sama dengan tegangan fasa : $E_l = E_f$
- Arus line besarnya sama dengan arus fasa dikalikan $\sqrt{3}$
- $I_l = I_f \cdot \sqrt{3}$

2.1.8.2. Daya listrik 3 fasa

1. Hubungan bintang



Gambar 2.12 daya hub. star

Daya 3 fasa = daya fasa 1 + daya fasa 2 + daya fasa 3

$$P_{3\phi} = P_1 + P_2 + P_3$$

$$= (I_{f1} \times V_{f1} \times \cos \phi_1) + (I_{f2} \times V_{f2} \times \cos \phi_2) + (I_{f3} \times V_{f3} \times \cos \phi_3)$$

Bila tegangan dan beban seimbang, maka:

$$P_{3\phi} = 3 \times (I_f \times V_f \times \cos \varphi)$$

Diketahui bahwa :

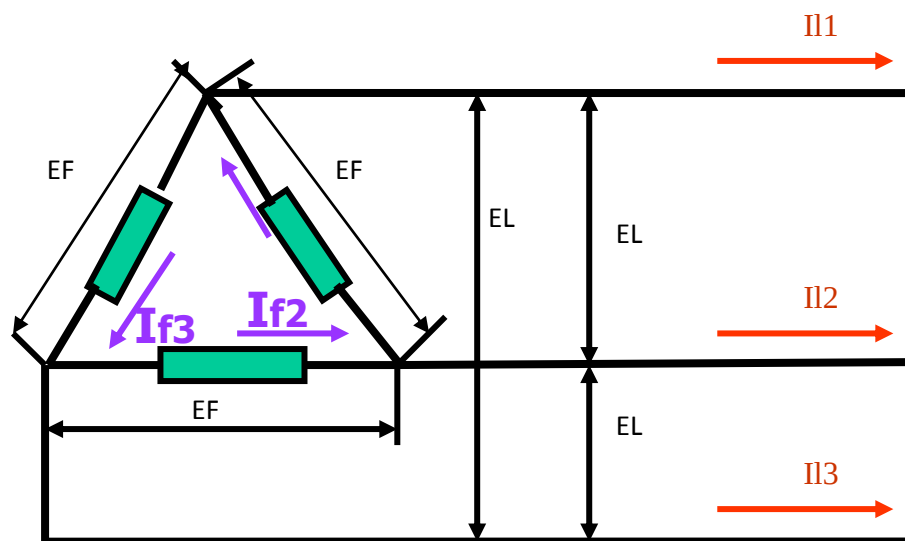
$$V_f = \frac{V_1}{\sqrt{3}} \quad I_f = I_1$$

Maka :

$$P_{3\phi} = \frac{3 \times V_1 \times I_1 \cos \varphi}{\sqrt{3}}$$

$$\text{Atau : } P_{3\phi} = \sqrt{3} \times V_1 \times I_1 \cos \varphi$$

2. Hubungan segi tiga (delta)



Gambar 2.13 daya hub. delta

Daya 3 fasa = daya fasa 1 + daya fasa 2 + daya fasa 3

$$P_{3\phi} = P_1 + P_2 + P_3$$

$$= (I_{f1} \times V_{f1} \times \cos \varphi_1) + (I_{f2} \times V_{f2} \times \cos \varphi_2) +$$

$$(I_{f3} \times V_{f3} \times \cos \varphi_3)$$

Bila tegangan dan beban seimbang, maka:

$$P_{3\phi} = 3 \times (I_f \times V_f \times \cos \phi)$$

Diketahui bahwa :

$$I_f = \frac{I_1}{\sqrt{3}} \text{ dan } V_f = V_1$$

Maka :

$$P_{3\phi} = \frac{3 \times V_1 I_1 \times \cos \phi}{\sqrt{3}} \text{ atau :}$$

$$P_{3\phi} = \sqrt{3} \times V_1 \times I_1 \times \cos \phi$$

2.2. TRANSFORMATOR

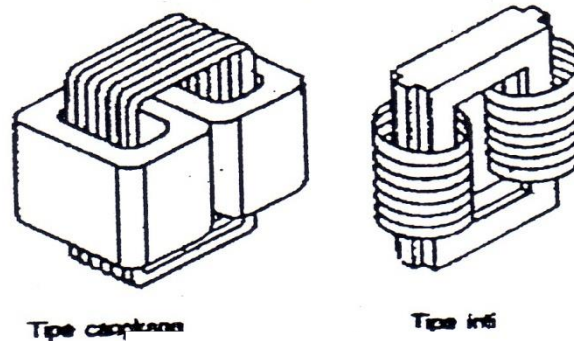
Transformator adalah suatu alat listrik yang digunakan untuk mentransformasikan daya atau energi listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya, melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip induksi-elektromagnet. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai, dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh.

Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi:

1. Transformator daya.
2. Transformator distribusi.
3. Transformator pengukuran (transformator arus dan transformator tegangan).

Kerja transformator yang berdasarkan induksi-elektromagnet, menghendaki adanya gandengan magnet antara *rangkaian primer* dan *sekunder*. Gandengan magnet ini berupa *inti besi* tempat melakukan *fluks* bersama.

Berdasarkan cara melilitkan kumparan pada inti, dikenal dua macam transformator, yaitu *tipe inti* dan *tipe cangkang*.



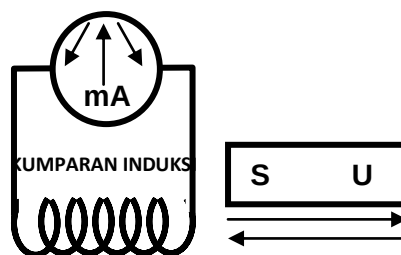
Gambar 2.14 tipe trafo

2.2.1. Prinsip kerja transformator

Trafo merupakan seperangkat peralatan statis yang berdasarkan prinsip elektromagnetik, mentransformasikan tegangan dan arus bolak balik diantara kedua belitan atau lebih pada frekwensi yang sama dan pada nilai arus dan tegangan yang berbeda. Kerja seperti disebut dengan induksi.

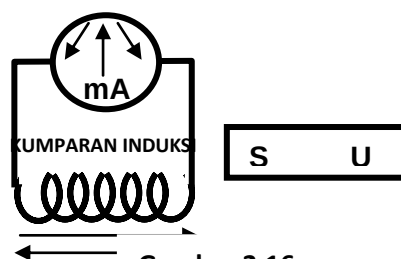
Yang dimaksud dengan induksi adalah pengaruh yang ditimbulkan oleh medan magnit-magnet atau benda listrik kepada kumparan lain dalam rangkaian yang tertutup akan membangkitkan arus listrik. Pengaruh tersebut dapat dilakukan dengan cara :

- Menggerakkan magnet tetap terhadap kumparan induksi



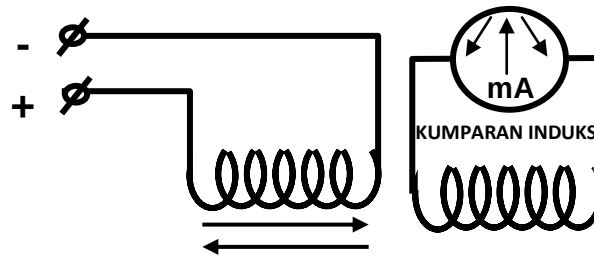
Gambar 2.15

- Menggerakkan kumparan induksi terhadap magnet tetap



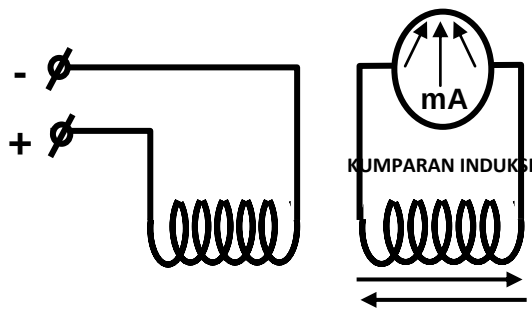
Gambar 2.16

- Menggerakkan elektro magnet polaritas tetap terhadap kumparan induksi



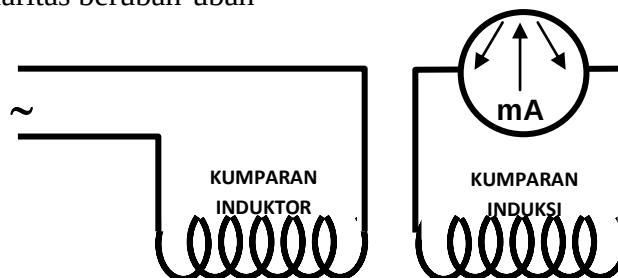
Gambar 2.17

- Menggerakkan kumparan induksi terhadap elektro magnet polaritas tetap



Gambar 2.18

- Mendekatkan kumparan induksi terhadap elektro magnet polaritas berubah-ubah

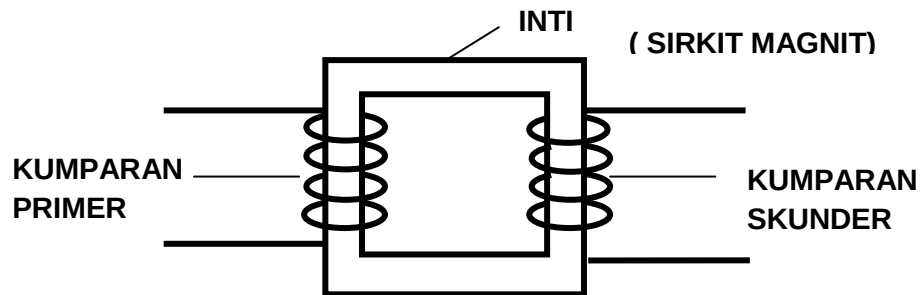


Gambar 2.19

Gambar 2.15 – 2.19 cara membangkitkan arus

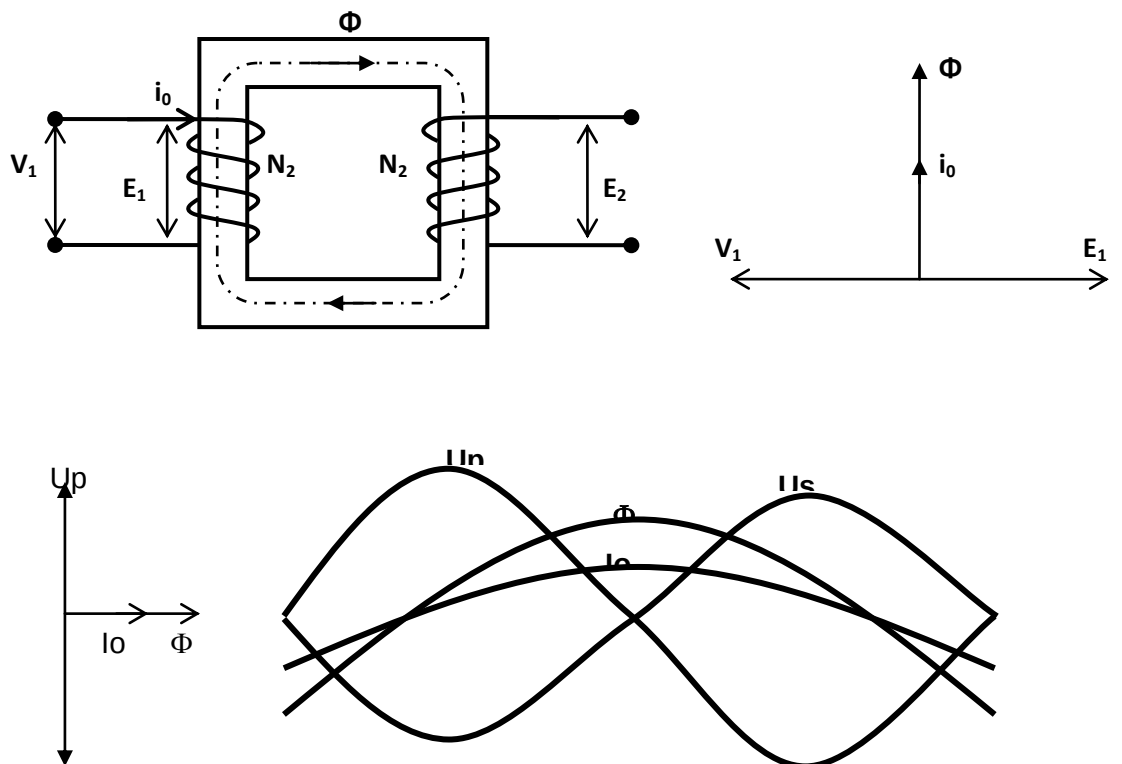
Pada kumparan induksi terjadi gerak gaya listrik induksi, tetapi bila diukur dengan menggunakan galvano meter maka jarum hanya tampak diam bergetar hal ini karena ggl induksi yang timbul berupa arus bolak-

balik dengan frekwensi yang besarnya sama dengan frekwensi sumber tegangan kumparan induktor



Gambar 2.20 kumparan trafo

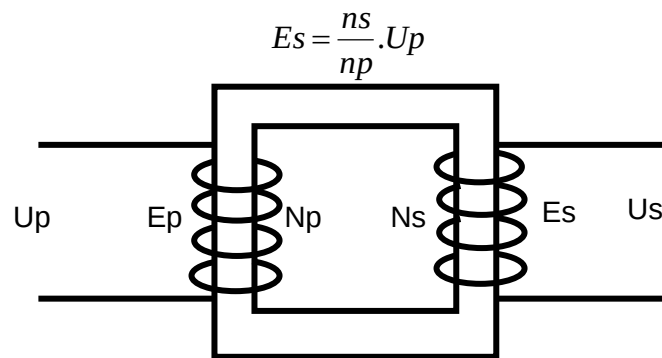
Kumparan primer diberi tegangan, dan ini akan menimbulkan arus sinusiode. Arus tersebut menyebabkan terjadi medan magnet pada inti magnet yang disebut flux yang juga berbentuk sinusiode. Pada kumparan sekunder yang mendapat perubahan flux dari inti, yang disebut induksi akan timbul gerak gaya listrik (ggl) yang bentuknya juga sinusiode. Ggl sekunder hampir terlambat 180° terhadap tegangan primer.



Gambar 2.21 prinsip kerja trafo

Trafo dapat digunakan untuk menaikkan dan menurunkan tegangan. Turun atau naiknya tegangan pada sisi sekunder tergantung pada perbandingan jumlah lilitan kumparan. Bila jumlah lilitan kumparan pada sekunder = n_s , pada primer = n_p , tegangan pada kumparan primer = U_p maka pada sisi sekunder timbul ggl

Dengan rumus persamaan $E_s : U_p = n_s : n_p$.

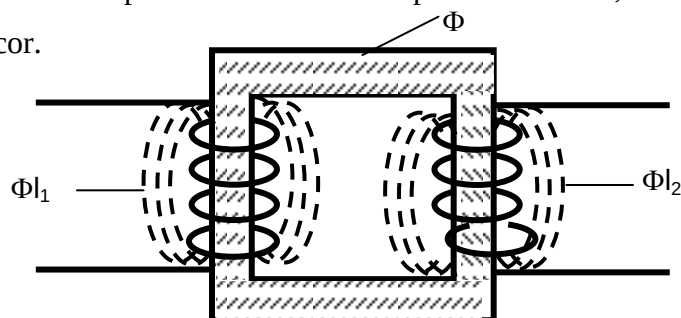


Gambar 2.22 perbandingan kumparan

Perbandingan antara n_s dan n_p disebut dengan perbandingan transformasi :

$$a = \frac{n_s}{n_p}$$

“a” lebih besar dari 1, berarti fungsi trafo untuk menaikkan tegangan (step up) dan “a” lebih kecil dari 1, berarti fungsi trafo untuk menurunkan tegangan (step down). Perbandingan transformasi teoritis dan praktis dianggap sama, tetapi sebenarnya ada perbedaan, karena tidak semua flux primer melewati kumparan sekunder, dan itu disebut flux bocor.

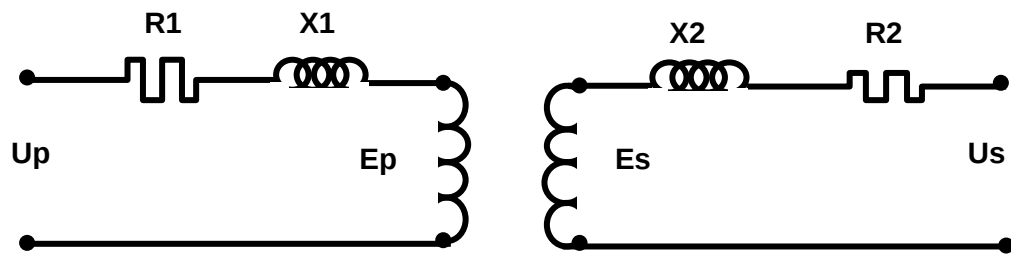


Gambar 2.23 fluks pada trafo

Φ_{l1} = flux bocor pada kumparan primer.

Φ_{l2} = flux bocor pada kumparan sekunder

Φ_{l1} menimbulkan x_1 dan Φ_{l2} menimbulkan x_2 , kumparan primer mempunyai tahanan r_1 dan kumparan sekunder mempunyai tahanan r_2 . Sehingga rangkaiannya.



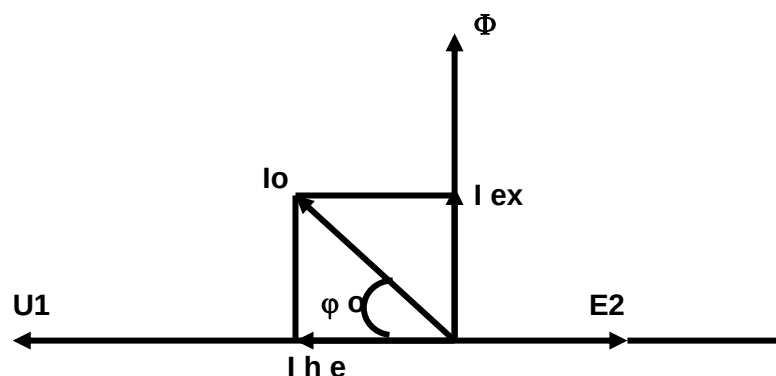
Gambar 2.24 rangk. Untuk mengurangi fluks bocor

Untuk mengurangi flux bocor tersebut, maka dibuatlah kedua kumparan pada inti yang sama.

2.2.2. Rugi – rugi pada transformator

2.2.2.1. Trafo tanpa beban

Trafo tanpa beban menyerap arus listrik untuk kumparan primer disebut dengan I_o yang terdiri dari arus penguatan (I_{ex}) dan arus histeristis + eddy current (I_{he})



Gambar 2.25 fektor rugi – rugi trafo

I_{ex} 90° ketinggalan dari E_1 , sedangkan I_{he} sefasa dengan E_1 , jumlah vektor antara I_{ex} dan I_{he} merupakan I_o

$$\overline{I_o} = \overline{I_{ex}} + \overline{I_{he}}$$

$$\cos \phi_o = \frac{I_{he}}{I_o}$$

Adanya I_{he} menimbulkan rugi – rugi inti = P_c

$$P_c = E_1 \cdot I_o \cdot \cos \phi_o \text{ atau}$$

$$P_c = E_1 \cdot I_{he} \text{ disebut juga rugi – rugi besi}$$

Besarnya rugi – rugi besi disebabkan oleh arus foucault dan arus hysteresis, besarnya tidak tergantung pada beban sehingga bisa disebut dengan rugi – rugi trafo tanpa beban. Rugi – rugi ini tidak bisa diturunkan kecuali dalam pembuatannya inti dibuat berlapis – lapis dan dari bahan yang kurva histerisisnya kurus.

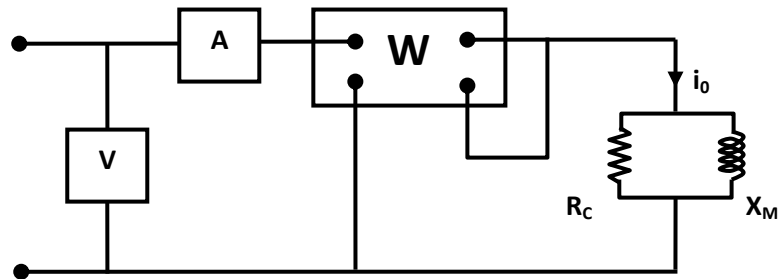
2.2.2.2. Pengukuran beban nol.

Dalam keadaan tanpa beban bila kumparan primer dihubungkan dengan sumber V_1 , seperti telah diterangkan terdahulu maka hanya I_o yang mengalir. Dari pengukuran daya yang masuk (P_1), arus I_o dan tegangan V_1 akan diperoleh harga

$$R_c = V^2 / P$$

$$Z_o = V_1 / I_o = j (X_M R_c) / (R_c + jX_m)$$

Dengan demikian, dari pengukuran beban nol dapat diketahui Harga R_c dan X_M



Gambar 2.26 pengukuran beban nol

2.2.2.3. Trafo berbeban

Pada keadaan berbeban, rugi trafo selain oleh rugi – rugi besi, kerugian juga ditimbulkan pada kumparan – kumparannya.

Bila kumparan primer dengan tahanan R_1 dan arus yang mengalir I_1 , kumparan sekunder dengan tahanan R_2 dan arus yang mengalir I_2 , maka akan timbul rugi – rugi yang disebut dengan rugi – rugi tembaga yang besarnya adalah :

$$P_{cu} = I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2$$

Jadi trafo berbeban rugi – rugi yang timbul

$$P_{total} = P_C + P_{CU}.$$

2.2.2.4. Efisiensi trafo

Rugi – rugi besi pada trafo besarnya tetap tidak tergantung pada beban, sedang rugi – rugi tembaga besarnya sebanding dengan beban, efisiensi trafo dalam keadaan berbeban, besarnya berubah – ubah tergantung besarnya beban

$$\eta (\%) = \left(100 - \frac{P_C + K^2 \cdot P_{cu}}{S \cdot \cos. \gamma} \right) \times 100\%$$

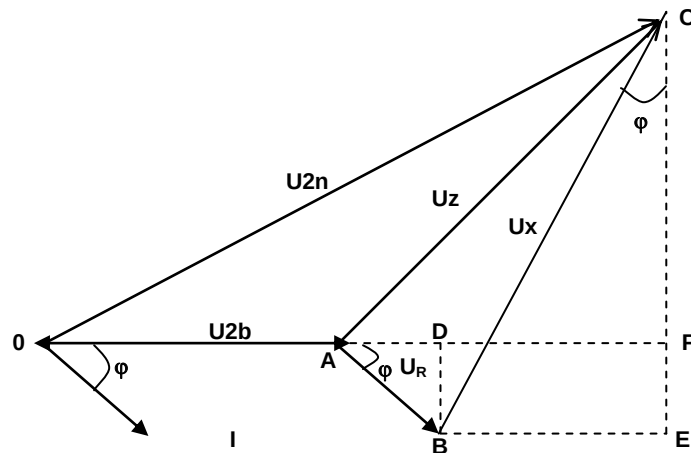
S = daya semu trafo

P_{cu} = rugi – rugi tembaga pada keadaan beban penuh

P_C = rugi – rugi besi

2.2.2.5. Pengaturan tegangan trafo

Adalah selisih tegangan belitan tanpa beban dengan tegangan pada keadaan berbeban pada terminal tersebut pada beban dan faktor daya yang ditentukan pada terminal tersebut



Gambar 2.27 selisih tegangan belitan

U_{2n} = tegangan sekunder nominal tanpa beban : oc

U2b = tegangan sekunder berbeban : 04

$$U_r = \text{rugi tegangan karena tahanan } r : ab$$

U_x = rugi tegangan karena reaktansi x : bc

Secara empiris dianggap $OC = OF = OA + AF = OA +$

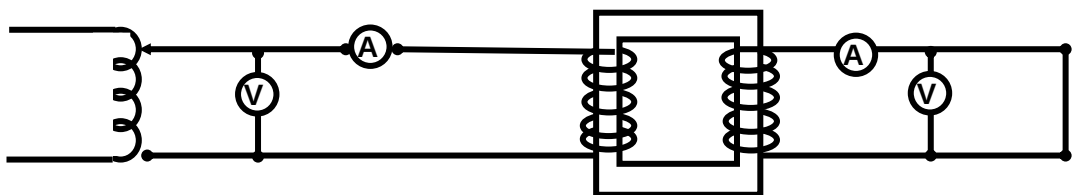
$$(AO + AF)AD + DF = \text{rugi tegangan}$$

$$= U_r \cos \varphi + U_x \sin \varphi$$

$$= I \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \sin \varphi)$$

2.2.2.6. Tegangan hubung singkat

Adalah besarnya tegangan yang harus diberikan pada frekwensi nominal ke terminal saluran trafo, untuk mengalirkan arus nominal melalui terminal ini, bila terminal lainnya di hubung singkat



Gambar 2.28 rang. Tegangan hubung singkat

- Ampere meter menunjukkan arus nominal trafo (sekunder atau primer)
- Volt meter menunjukkan tegangan hubung singkat trafo, disebut juga dengan inpedansi.

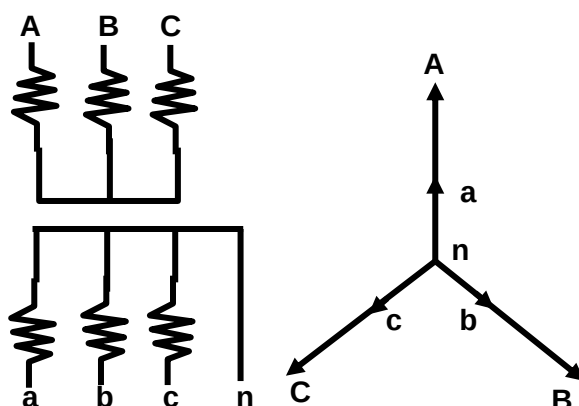
Besarnya tegangan hubung singkat dalam volt berbeda untuk sekunder dan primer, tetapi dalam % (prosen) sama. Penggunaan nilai tersebut pada pengoperasian trafo adalah untuk menentukan selain itu merupakan salah satu persyaratan pada parallel trafo

2.2.2.7. Vektor group trafo

Pada umumnya vektor group diberlakukan pada transformator 3 fasa digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik pada sistem tegangan 3 fasa (arus bolak-balik). Pada sisi primer dan skunder masing-masing mempunyai lilitan identik dengan 3 buah transformator satu fasa, yang pangkal dan ujung kumparan primer dan skunder dapat disambung (dihubungkan) secara bintang (Y) atau segi-tiga (Δ). Kadang-kadang untuk suatu maksud tertentu sisi sekunder dihubungkan secara zig-zag (Z) yang mempunyai 6 belitan. Bila tegangan nominal kumparan primer sama dengan tegangan antara fasa dari sistem sumber, maka kumparan tersebut tersambung secara segi tiga.

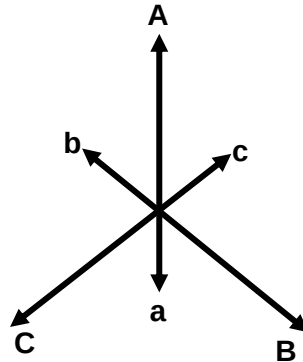
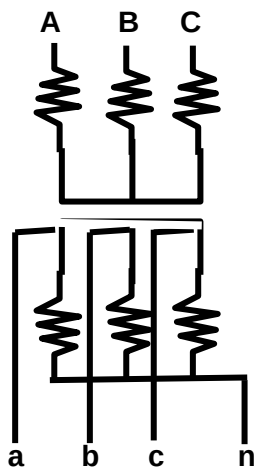
Vektor group sering juga disebut bilangan “ jam ” yaitu menunjukkan perbedaan fasa antara ggl sekunder dan tegangan primer antara terminal yang sejenis.

Contoh :



Vektor group “Yyn 0 ”

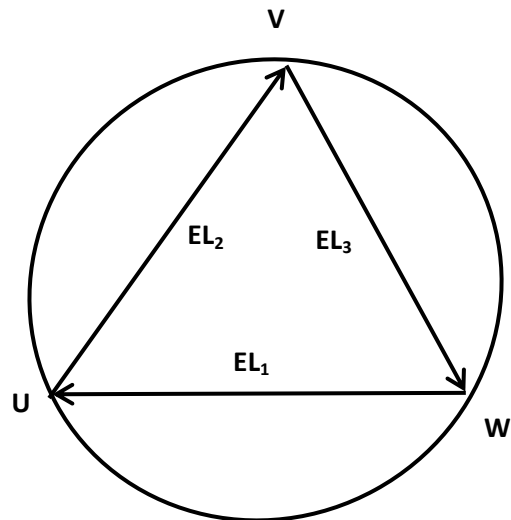
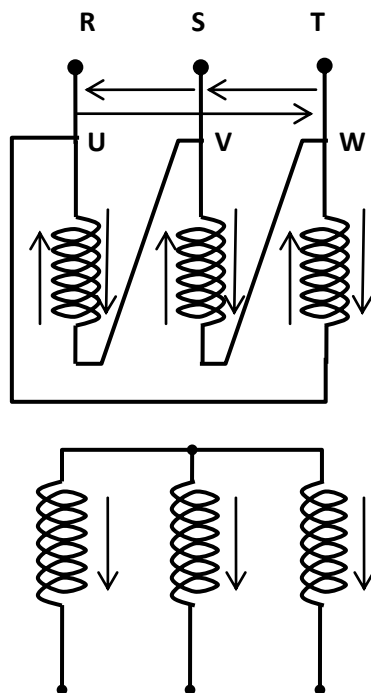
- Kumparan primer dihubungkan bintang
- Kumparan sekunder dihubungkan bintang dengan netral dikeluarkan



- Selisih fasa antara primer dan sekunder = 0°

Vektor group “Yyn 6”

- Kumparan primer dihubungkan bintang
- Kumparan sekunder dihubungkan bintang dengan netral dikeluarkan
- Selisih fasa antara primer dan sekunder = 180°



Gambar 2.29 contoh fektor group

Vektor grup Dy 5 seperti gambar di atas jika pada kumparan skundernya sambungan netralnya dibalik, maka vektor grup menjadi Dy

2.2.2.8. Spesifikasi trafo distribusi

a. Tegangan pengenalan dan penyiapan

- Tegangan primer

Disesuaikan dengan tegangan nominal sistem pada jaringan tegangan menengah yaitu 6 kv dan 20 kv.

- ✓ Trafo tegangan primer 6 kv dan 20 kv
- ✓ Trafo tegangan primer 20 kv
- ✓ Trafo tegangan primer 6 kv dan 20 kv yang dapat dipindahkan dengan pemindah tegangan

Pada sistem distribusi fasa tiga - 4 kawat, trafo fasa tunggal yang dipasang mempunyai tegangan $20 \text{ kv} / \sqrt{3} = 12 \text{ kv}$.

- Tegangan sekunder

Sistem tegangan nominal pada jaringan tegangan rendah (jtr) yang berlaku di pln adalah 127 dan 220 untuk sistem fasa tunggal, 127 / 220 v dan 220 / 380 untuk sistem fasa tiga.

Tegangan sekunder nominal trafo pada keadaan tanpa beban adalah sebagai berikut :

- ✓ Trafo bertegangan sekunder 133 / 231 v
- ✓ Trafo bertegangan sekunder 231 / 400 v
- ✓ Trafo bertegangan sekunder 133 / 231 v dan 231 / 400 v yang dapat digunakan secara serentak (bila digunakan tidak serentak dengan tegangan 231 / 400 v daya trafo tetap 100 % daya pengenalan, sedang dengan tegangan sekunder 133 / 231 dayanya hanya 75 % daya pengenalan)
- ✓ Trafo bertegangan sekunder 133 / 231 dan 231 / 400 v yang digunakan terpisah

- Penyiapan

Penyiapan dilakukan dengan komutator pada sisi primernya ada tiga macam penyiapan tanpa beban, yaitu :

- ✓ Sadapan tiga langkah : 21, 20, 19 kv
- ✓ Sadapan lima langkah : 22, 21, 20, 19, 18 kv
- ✓ Sadapan lima langkah : 21, 20, 5, 20, 19, 5, 19 kv

b. Daya pengenalan dan pembebanannya

Daya pengenalan untuk trafo fasa tunggal yang banyak dipakai adalah 25 dan 50 kva. Sedangkan daya pengenalan trafo tiga fasa yang banyak dipakai adalah : 50, 100, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250 dan 1600 kva.

2.2.2.9. Konstruksi transformator

Trafo yang umum dipergunakan untuk sistem distribusi adalah trafo 3 fasa dan satu fasa sedangkan trafo tiga fasa merupakan trafo yang paling banyak dipakai hal ini dikarenakan .

- Untuk daya yang sama tidak memerlukan ruang yang besar.
- Mempunyai nilai ekonomis.
- Pemeliharaan persatuan barang lebih murah dan mudah.

a. Transformator konvensional

Trafo konvensional tidak memiliki alat pengaman seperti arester, pengaman beban lebih sebagai suatu kesatuan unit trafo . namun alat alat pengaman tersebut di sdapat dan dipasang secara terpisah

Untuk nilai pengenalan (rating) yang tidak terlalu besar tipe konvesional adalah dalam bentuk pasangan tiang , sedang untuk rating yang besar ditempatkan pada gardu distribusi.



Gambar 2.30 trafo konvensional

b. Transformator Completely Self Protection (CSP)

Trafo distribusi tipe CSP ini memiliki pengaman sebagai kesatuan unit trafo pengaman yang terdapat adalah pengaman terhadap gangguan surja petir dan surja hubung , pengaman beban lebih dan pengaman hubung singkat. Selain itu trafo ini juga dilengkapi dengan lampu merah peringatan yang akan menyala bila temperatur kumparan melebihi batas yang di ijinakan untuk isolasinya. Kondisi ini apabila tidak diambil tindakan dan temperatur mencapai batas bahaya maka CB (circuit breaker) akan bekerja membuka

Apabila diperlukan CB dapat diset pada posiusi darurat untuk melakukan beban lebih sementara. Dalam gambar terlihat bentuk trafo tipe CSP satu fasa dan alat - alat proteksi



1 phasa transformator

3 phasa transformator

Gambar 2.31 Transformator CSP

2.3. PERALATAN PENGAMAN PADA GARDU DISTRIBUSI

2.3.1. Fuse Cut Out

Fuse Cut Out merupakan sebuah alat pemutus rangkaian listrik yang berbeban pada jaringan distribusi yang bekerja dengan cara meleburkan bagian dari komponennya (*fuse link*) yang telah dirancang khusus dan disesuaikan ukurannya untuk itu. Perlengkapan fuse ini terdiri dari sebuah rumah fuse (*fuse support*), pemegang fuse (*fuse holder*) dan fuse link sebagai pisau pemisahannya dan dapat diidentifikasi dengan hal-hal seperti berikut

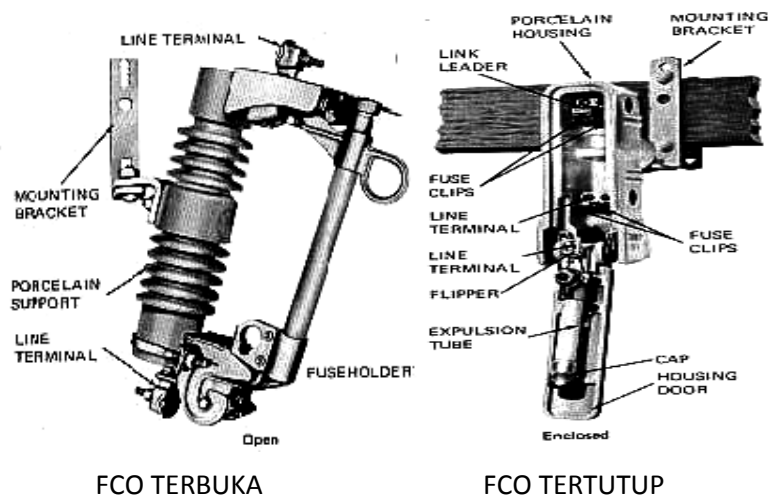
- Tegangan Isolasi Dasar (TID) pada tingkat distribusi
- Utamanya digunakan untuk penyulang (*feeders*) TM dan proteksi trafo
- Konstruksi mekanis didasarkan pemasangan pada tiang atau pada crossarm
- Dihubungkan ke sistim distribusi dengan batas-batas tegangan operasinya

Fuse cutout distribusi diklasifikasi dalam 2 macam fuse yaitu :

2.3.1.1. Fuse cut out letupan bertabung fiber

Fuse cut-out bertabung fiber mempunyai fuse link yang dapat diganti-ganti (*interchangeability*) dan terpasang didalam pemegang fuse (*fuse holder*) berbentuk tabung yang terbuat dari bahan serat selulosa. Fuse ini dapat dipergunakan baik untuk Fuse Cut-Out terbuka (*open fuse cut-out*) atau Fuse Cut-Out tertutup (*enclosed fuse cutout*)

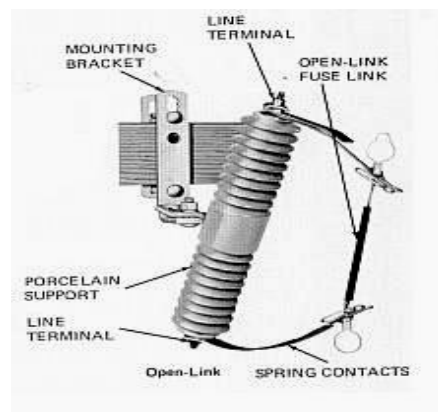
Kedua Fuse Cutout ini dapat dipergunakan pada jaringan-jaringan dengan sistim delta atau jaringan dengan sistim bintang tanpa pentanahan demikian juga pada jaringan - jaringan yang menggunakan sistim netral ditanahkan apabila tegangan pemutusan fuse cutout secara individual tidak melebihi tegangan maksimum pengenal rancangan dan tahanan isolasi ketanah sesuai dengan kebutuhan operasinya



Gambar 2.32 fco

2.3.1.2. Fuse cut out link terbuka

Fuse cutout link terbuka terdiri dari sebuah fuse link yang tertutup didalam sebuah tabung fiber yang relatif kecil dengan dilengkapi kabel penghubung tambahan pada fuse link-nya untuk memperpanjang kedua ujung tabungnya.



Gambar 2.33 FCO link terbuka

Kabel penghubung tambahan ini kemudian dihubungkan ke pegas kontak beban pada rumah fuse (*fuse support*) untuk kerja secara mekanik. Kerja pegas ini dimaksudkan untuk menjamin pemisahan agar kedua ujung dari fuse terbuka pada saat fuse bekerja dan ini dipakai karena

kemampuan pemutusan pada tabung fiber yang kecil relatif terbatas. Fuse cutout ini dirancang untuk dipakai pada tegangan 17 kV, selain itu fuse ini mempunyai arus pengenal pemutusan yang lebih rendah dari pada fuse cutout bertabung fiber

2.3.1.3. Fuse link

Ada 2 category yang disebut dengan fusible link, yaitu : fuse element cartridge dan fusible link itu sendiri., namun secara fungsi antara fuse dengan fusible link adalah sama yaitu sebagai pengaman listrik. Perbedaan yang paling terlihat adalah kapasitas arus yang diamankan, fusible link fuse element cartridge aplikasinya adalah untuk pengamanan arus di atas 30 ampere.

Fuse element adalah tipe fusible link yang berbentuk cartridge atau kadang juga disebut pacific fuse. Element Fuse yang digunakan dilengkapi dengan terminal dan housing. Secara umum fuse element yang sering kita jumpai di pasaran adalah yang cara pasanganya dengan cara plug-in atau dengan menggunakan bolt.

Fusible link berbentuk kawat penghantar yang didesain akan meleleh dan putus saat dilewati oleh arus lebih yang melebihi kapasitas arusnya, karena desainnya yang seperti itu maka isolation nya terbuat dari bahan yang tidak mudah terbakar.



Gambar 2.34 Fuse link

2.3.2. Lightning Arrester

Lightning arrester adalah suatu alat yang digunakan untuk melindungi peralatan listrik terhadap sambaran petir. Dipasang pada atau dekat peralatan yang dihubungkan dari fasa konduktor ke tanah. Lightning arrester membentuk jalan yang mudah dilalui petir atau surja, sehingga tidak timbul tegangan lebih yang tinggi pada peralatan. Jalan pintas tersebut harus sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu aliran daya sistem 50 Hz. Pada kerja normal, lightning arrester berfungsi sebagai isolator dan bila terkena sambaran petir akan berlaku sebagai konduktor yang mengalirkan petir ke bumi. Setelah petir hilang, lightning arrester harus cepat kembali menjadi isolator, sehingga pemutus tenaga (PMT) tidak sempat membuka. Pada kondisi normal (tidak terkena petir), arus bocor lightning arrester tidak boleh melebihi 2 mA. Apabila melebihi angka tersebut berarti kemungkinan besar lightning arrester mengalami kerusakan.



Gambar 2.35 Lightning Arrester

2.3.3. NH – Fuse (Niederspannungs Hochleistungs)

NH Fuse merupakan pengaman trafo terhadap arus lebih yang terpasang di sisi tegangan rendah (380/220 Volt), untuk melindungi trafo terhadap gangguan arus lebih yang disebabkan karena hubung singkat di jaringan tegangan rendah maupun karena beban lebih.



2.36 NH fuse

2.3.4. Tabel 2.3 kapasitas penggunaan fuse link dan NH fuse pada gardu distribusi

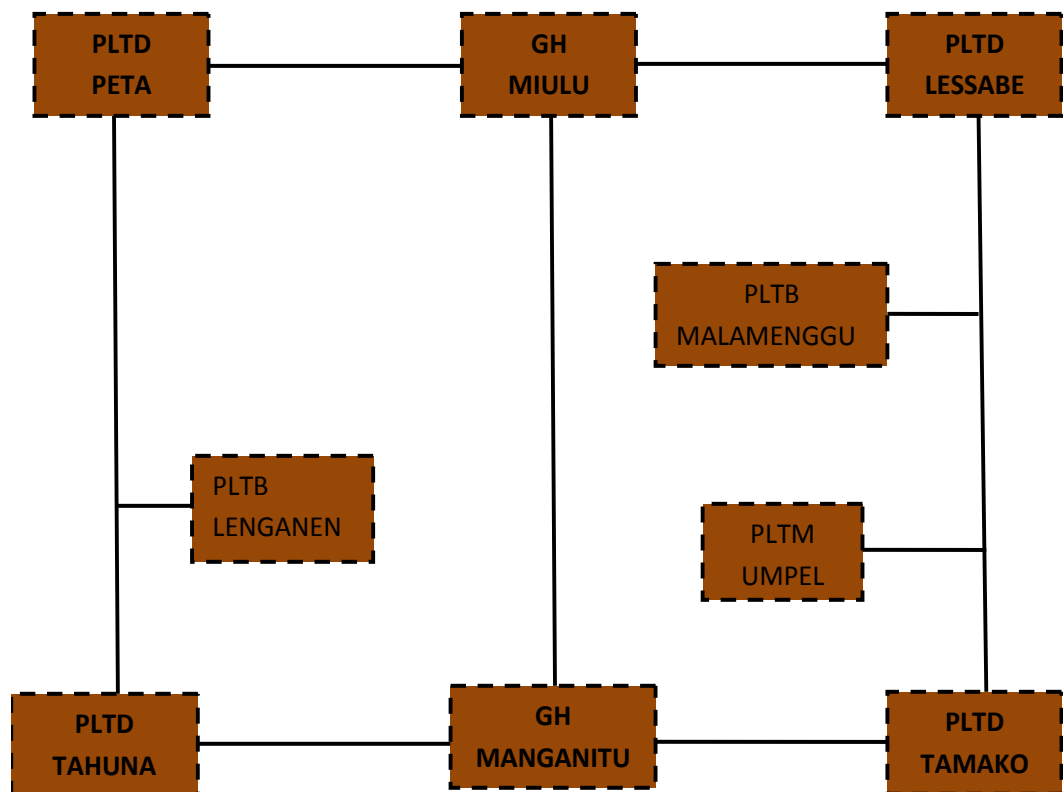
Trafo distribusi			Fuse link	NH fuse (A)					
Daya	Arus (A)		(A)	1 jur	2 jur	3 jur	4 jur	5 jur	6 jur
(kva)	P	S							
25	54	1,25	2	50	36				
50	72	1,45	2	80	50				
100	145	2,9	3	160	80	50	50		
160	231	4,6	5	250	125	80	50		
200	289	5,8	6	315	160	100	80		
250	361	7,2	8	400	200	125	100		
315	455	9,1	10	500	250	160	125		
400	578	11,6	12	630	315	200	160	125	100
630	910	18,2	20	1000	500	315	250	200	160

BAB III

HASIL DAN PEMBAHASAN

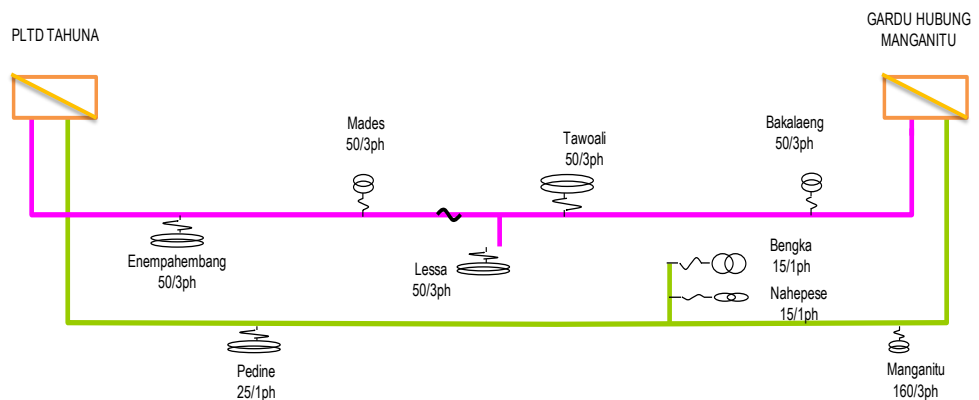
3.1. SISTEM DISTRIBUSI PADA PT PLN (Persero) AREA TAHUNA

3.1.1. INTERKONEKSI SISTEM SANGIHE

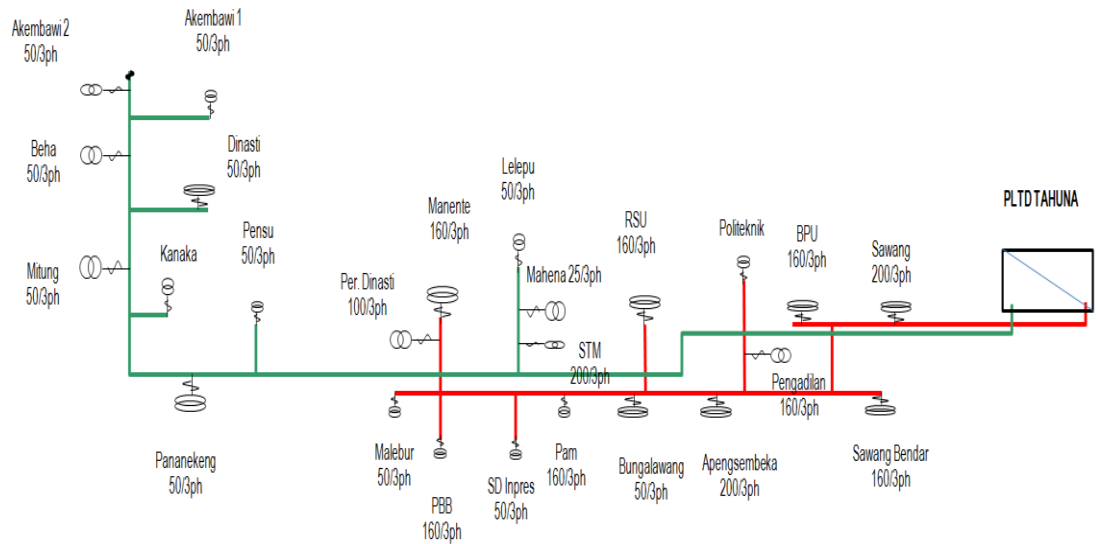


a. PLTD Tahuna

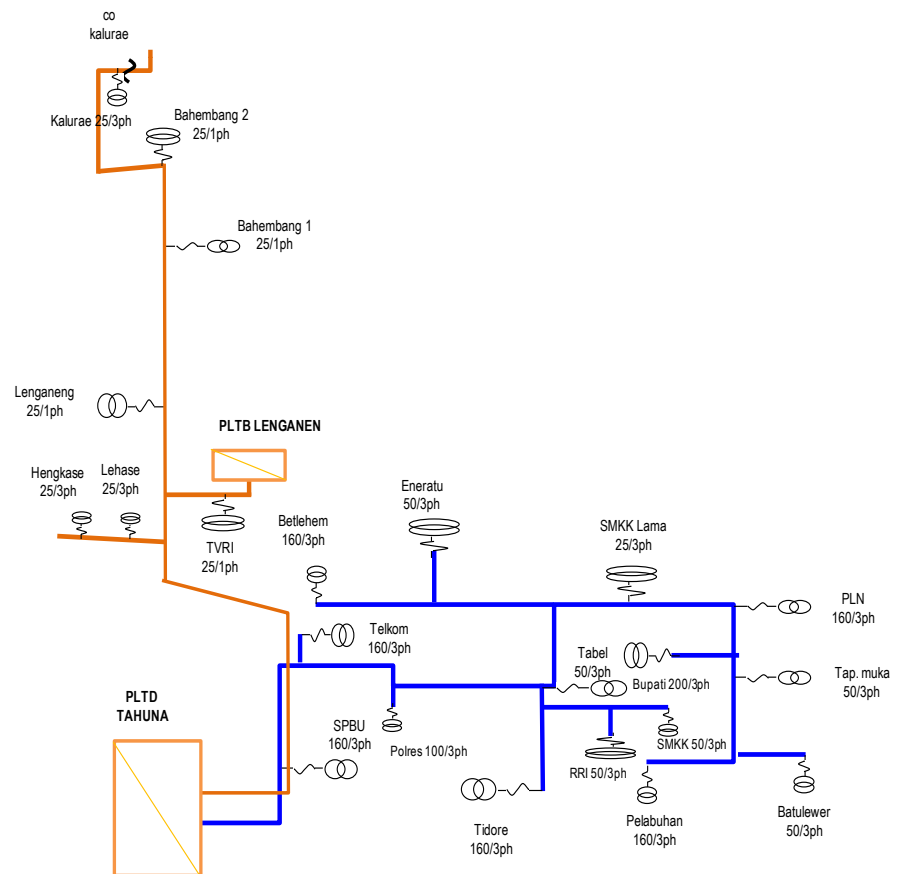
1. Feeder Tamako dan Feeder Lessabe

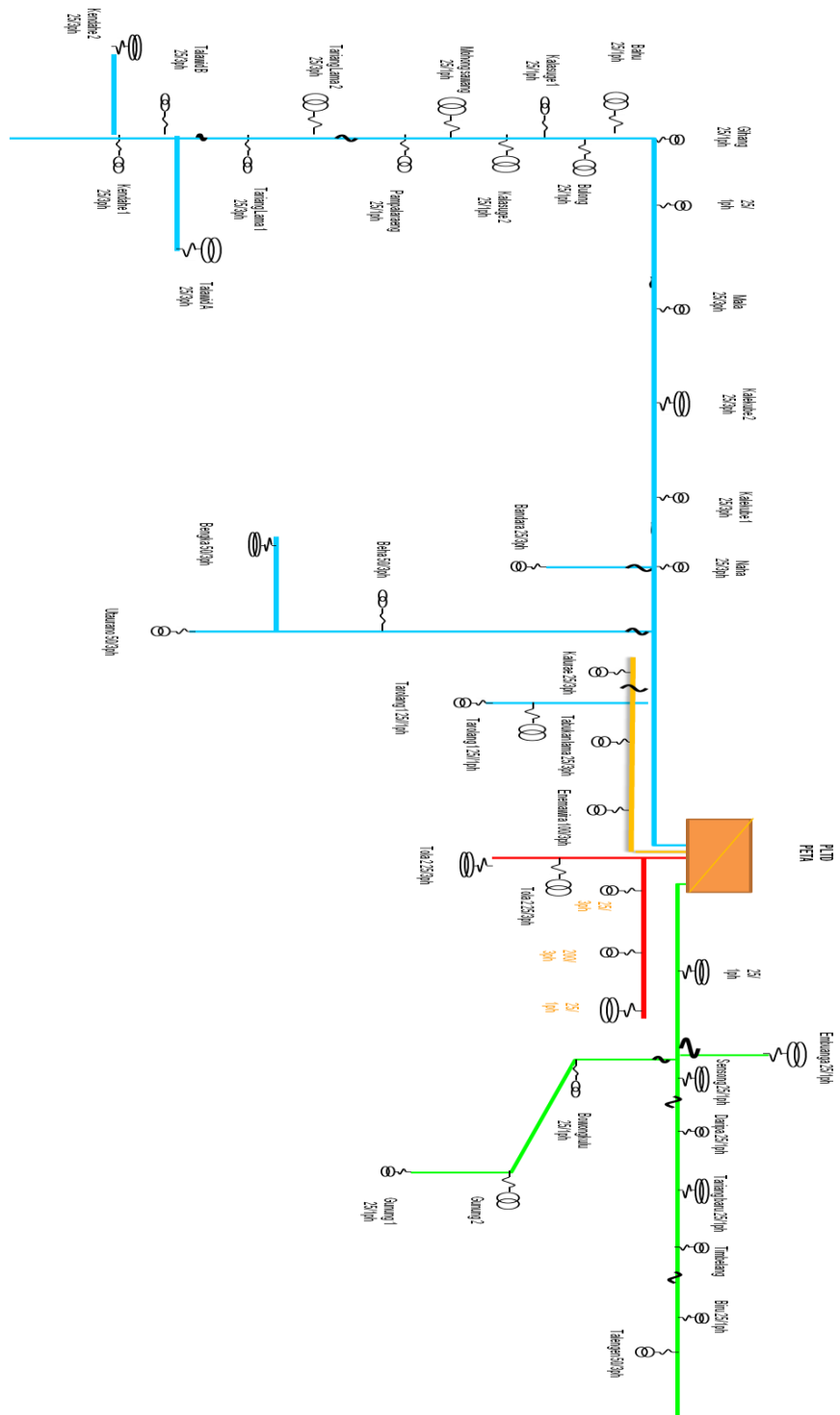


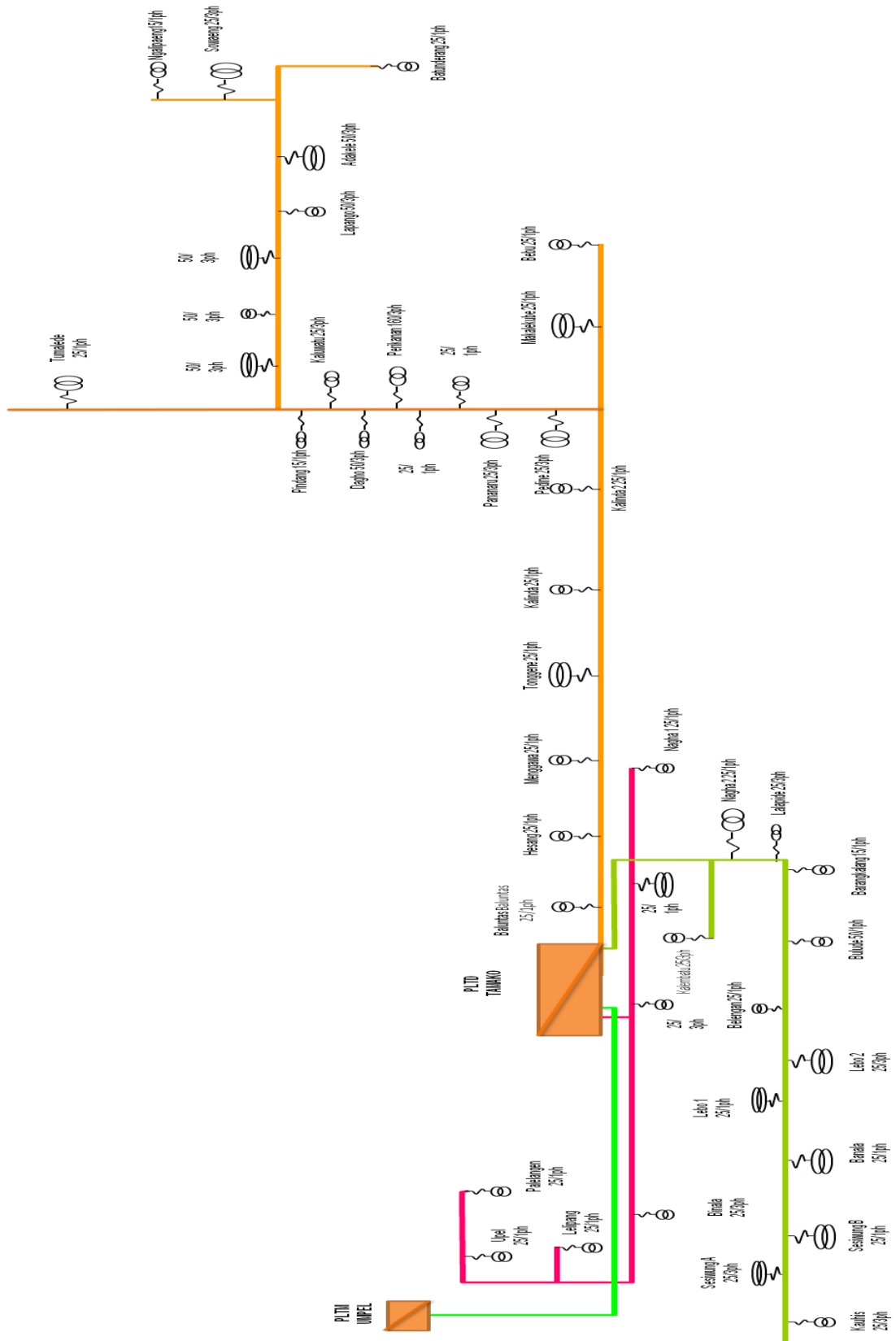
2. Feeder Kota dan Feeder Kolongan



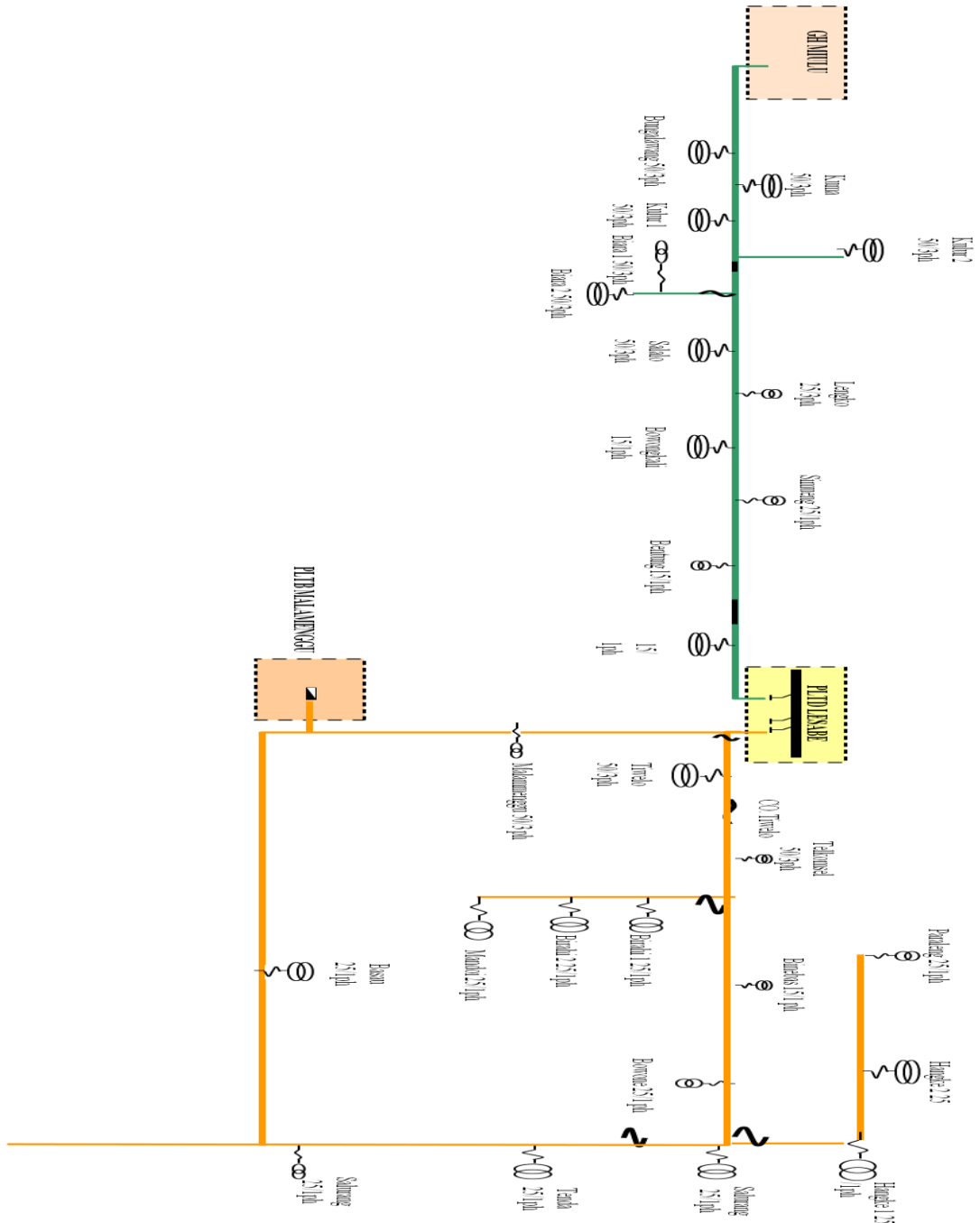
3. Feedere Peta dan Feeder Tona



b. PLTD Peta



d. PLTD Lessabe



3.2. PENGOPERASIAN GARDU DISTRIBUSI



3.1.1. Pengertian Gardu Distribusi

Operasi gardu distribusi adalah segala kegiatan yang mencakup pengaturan, pembagian, pemindahan, dan penyaluran tenaga listrik kepada konsumen secepat mungkin serta menjamin kelangsungan penyaluran / pelayanan. Secara garis besar gardu distribusi dibedakan atas :

- a. Jenis pemasangannya :
 - Gardu pasangan luar : Gardu Portal, Gardu Cantol
 - Gardu pasangan dalam : Gardu Beton, Gardu Kios
- b. Jenis Konstruksinya :
 - Gardu Beton (bangunan sipil : batu, beton)
 - Gardu Tiang : Gardu Portal dan Gardu Cantol
 - Gardu Kios
- c. Jenis Penggunaannya :
 - Gardu Pelanggan Umum
 - Gardu Pelanggan Khusus

d. Gardu Hubung

Gardu hubung adalah gardu yang berfungsi untuk membagi beban pada sejumlah gardu atau untuk menghubungkan satu feeder TM dengan feeder TM yang lain.

Dengan demikian pada gardu ini hanya dilengkapi peralatan hubung dan bila perlu misalnya untuk melayani konsumen TM dilengkapi dengan alat pembatas dan pengukur.



Gambar 3.1 gardu hubung

1. Gardu tembok (gardu beton)

Gardu tembok adalah gardu trafo /hubung yang secara keseluruhan konstruksinya tersebut dari tembok/beton. Konstruksi ini dimaksudkan untuk pemenuhan persyaratan terbaik bagi keselamatan ketenagalistrikan.

2. Gardu kios (gardu besi)

Gardu kios adalah gardu yang bangunan keseluruhannya terbuat dari plat besi dengan konstruksi seperti kios. Terdapat beberapa jenis konstruksi, yaitu Kios Kompak, Kios Modular dan Kios Bertingkat.



Gambar 3.3 gardu kios



Gambar 3.2 gardu beton

3. Gardu portal

Gardu portal adalah gardu trafo yang secara keseluruhan instalasinya dipasang pada 2 buah tiang atau lebih.



Gambar 3.4 gardu portal

4. Gardu cantol

Gardu cantol adalah gardu trafo yang secara keseluruhan instalasinya dipasang pada satu tiang. Pada gardu ini terpasang transformator 3 fasa ada juga transformator 1 fasa



Gambar 3.5 gardu cantol

3.1.2. Tolak Ukur Kinerja Pengoperasian

Sebagai tolok ukur atas keberhasilan pada pengoperasian dapat dilihat dari beberapa parameter, yaitu :

3.1.2.1. Mutu listrik harus terjaga

Ada 2 (dua) hal yang menyatakan yang menjadi ukuran mutu listrik yaitu : Tegangan dan frekwensi.

Tegangan pelayanan ditentukan oleh :

- Batasan toleransi tegangan, pada konsumen TM adalah $\pm 5 \%$, sedangkan pada konsumen TR maksimum $+ 5 \%$ dan minimum $- 10 \%$. Sehingga Batas toleransi TM = $+ 21 \text{ kV}$, $- 19 \text{ kV}$

$$\text{TR} = + 231 \text{ V} . - 198 \text{ V (L - N)}$$

- Keseimbangan tegangan pada setiap titik sambungan
- Kedip akibat pembebanan sekecil mungkin
- Hilang tegangan sejenak akibat manuver secepat mungkin

Frekuensi

- Batas toleransi frekuensi adalah $\pm 1 \%$ dari frekuensi standar 50 Hz sehingga nilai toleransiya : $+ 50,5 \text{ Hz}$, $- 49,5 \text{ Hz}$

Faktor yang membuat baik-tidaknya mutu listrik tersebut dari sisi distribusi adalah faktor pembebanan pada sistem distribusi yaitu pembebanan yang tidak stabil oleh karena pengoperasian normal atau karena lebih banyak akibat gangguan pada suplai dari GI dan penyulang.

3.1.2.2. Keandalan Penyaluran Tenaga Listrik Tinggi

Sebagai indikator penyaluran adalah angka lama dan atau seringnya pemadaman pada pelanggan yang disebut dengan angka SAIDI dan SAIFI.

Angka lama padam : SAIDI (system average interruption duration index)

lama padam x jumlah pelanggan padam

SAIDI = ----- = ... menit /
 pelanggan . tahun

jumlah pelanggan x 1 tahun

Atau,

lama padam x daya tidak tersalurkan

SAIDI = ----- = ...menit /
 pelanggan . tahun

daya total x 1 tahun

Angka sering padam : SAIFI (system average interuption frequency index)

seringnya padam x pelanggan padam

SAIFI = ----- = ... kali /
 pelanggan . tahun

jumlah pelanggan x 1 tahun

Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai SAIDI dan SAIFI dari sisi distribusi adalah :

- a. Konfigurasi jaringan yang berkaitan dengan manuver
- b. Kondisi jaringan yang rentan terhadap gangguan dari dalam sistem maupun dari luar sistem
- c. Cara pengoperasian yang tidak memperhatikan kemampuan peralatan maupun kemampuan pasokan daya.

Menurunkan angka SAIDI dan SAIFI dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu :

- Meningkatkan kualitas konfigurasi jaringan
- Meningkatkan pasokan tenaga listrik alternatif
- Meningkatkan kualitas pemeliharaan
- Meningkatkan pengetahuan & ketrampilan petugas
- Menyiapkan jumlah petugas dengan perbandingan yang memadai dengan jumlah pelanggan
- Menggunakan material sesuai standar
- Mengidentifikasi peralatan yang sering rusak
- Meningkatkan kualitas teknik informasi pelanggan
- Memutakhirkan data teknik jaringan

3.2.2.3. Keamanan Dan keselamatan terjamin

Sebagai indikator adalah jumlah angka kecelakaan akibat listrik pada personil dan kerusakan pada instalasi / peralatan serta lingkungan

Meningkatkan keamanan dan keselamatan

- Kondisi instalasi memenuhi persyaratan
- Sistem proteksi berfungsi dengan baik
- Pemeliharaan instalasi sesuai jadwal
- Alat kerja dan peralatan keselamatan kerja memenuhi syarat
- Koordinasi kerja baik
- Sikap dan cara kerja memperhatikan aturan K3 / K2
- Menginformasikan kepada masyarakat tentang bahaya listrik dan menghindarinya

3.2.2.4. Biaya pengoperasian efisien

Sebagai indikator adalah angka susut jaringan, yaitu selisih antara energi yang dikeluarkan oleh gardu / pembangkit dengan energi yang digunakan oleh pelanggan.

Penyebab susut jaringan :

- Pencurian listrik
- Kesalahan alat ukur
- Kesalahan rasio CT
- Kesalahan ukuran penghantar
- Jaringan terlalu panjang
- Faktor daya rendah
- Kualitas konektor dan pemasangannya jelek

3.2.3. Mempertahankan Kepuasan Pelanggan

Mempertahankan kepuasan pelanggan dapat terjadi bila kebutuhan akan listrik oleh konsumen baik kuantitas, kualitas dan kontinuitas pelayanan terpenuhi, untuk itu hal yang perlu dilakukan adalah :

- Pengendalian tegangan, yaitu mengadakan pengaturan mulai dari tingkat suplai sampai ke titik ujung tegangan pada batas toleransi yang diijinkan.
- Pengendalian beban, yaitu membatasi pembebanan sesuai kemampuan sumber pasokan tenaga listrik, maupun peralatan dan material jaringan.

3.1.3.Faktor Yang Mempengaruhi Kelangsungann Pelayanan

Ada 2 (dua) faktor yang mempengaruhi kelangsungan pelayanan, yaitu dari faktor ketersediaan pasokan energi dari pembangkit sampai gardu induk dan faktor dari sisi distribusi sendiri sebagai akibat dari :

- Adanya pekerjaan jaringan
- Kecepatan mengisolasi gangguan dan manuver beban
- Ketahanan peralatan terhadap gangguan tegangan lebih, hubungan singkat, pembebanan.

3.1.4. Persyaratan Operasi Gardu Distribusi

- Memeriksa kerja mekanis peralatan hubung dalam keadaan baik
- Menguji tahanan isolasi peralatan hubung sesuai dengan ketentuan
- Menguji tahanan kontak peralatan hubung (kubikel nilainya maksimal 200 micro-ohm) .
- Menguji tahanan pentanahan, body trafo, body kubikel, kerangka PHB- TR, Rak Rel TM, Rak Kabel dan pintu gardu nilainya maksimal 1,7 ohm
- Menguji tahanan pembumian netral TR, nilainya maksimal 5 ohm
- Menguji tahanan isolasi trafo .

Rumus nilai tahanan isolasi belitan pd suhu = t ° Celsius.

$$\text{Ris pada suhu } t^{\circ} \text{C} \geq \frac{C \times E}{(\sqrt{\text{KVA}}) \times k_s} \dots\dots\dots \text{M}\Omega$$

C = Faktor belitan yang terendam isolasi minyak = 0,8

E = Tegangan Tertinggi VOLT

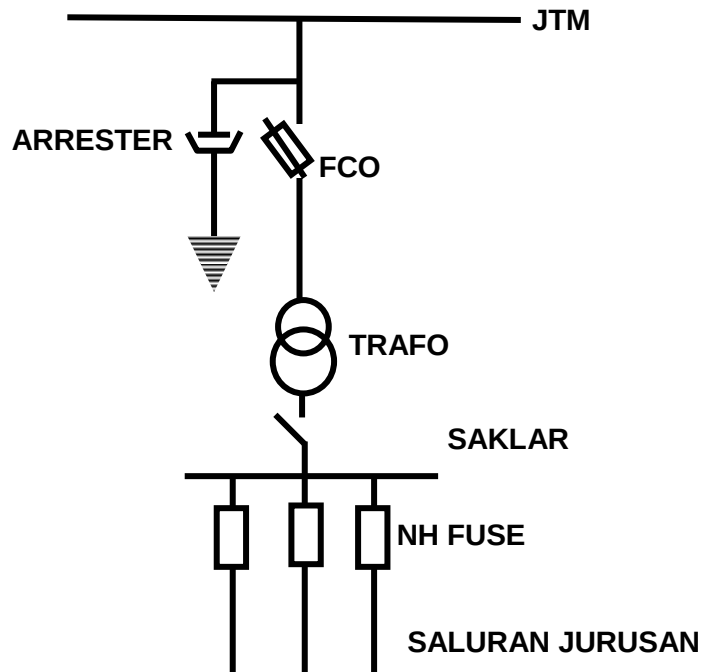
KVA = Daya Trafo KVA.

ks = Faktor koreksi suhu belitan.

- Memeriksa nilai arus nominal Fuse sisi tegangan menengah dan sisi tegangan rendah sesuai dengan ketentuan perusahaan.

3.1.5. Prosedur Teknik Pengoperasian Peralatan Pada Gardu Distribusi

3.1.5.1. Pengoperasian Gardu Distribusi Pasangan Luar



Gambar 3.6.
Single line gardu distrbusi pasang luar

3.1.5.1.1. Persiapan Pengoperasian

- Membaca dan memahami prinsip kerja gardu distribusi dan sistem JTM
- Mampu berkomunikasi dengan pengatur / posko untuk pengoperasian instalasi Gardu Distribusi
- Menyusun rencana kerja yang berisi langkah-langkah pelaksanaan pekerjaan
- Menyiapkan alat kerja, alat K3 / K2 dan alat bantu yang diperlukan dan dalam kondisi siap pakai dan aman

- Memeriksa hasil ukur atau mengukur indikator kondisi peralatan instalasi gardu :
 - Tahanan isolasi trafo sesuai ketentuan
 - Nilai fuse link sesuai dengan kapasitas trafo
 - Nilai NH fuse sesuai dengan ukuran kabel dan kapasitas trafo
 - Tahanan pembumian kerangka peralatan/ konstruksi instalasi gardu sesuai ketentuan
- Menghubungi pihak-pihak yang berwenang untuk memastikan bahwa pekerjaan telah dikoordinasikan secara efektif dengan pihak-pihak terkait
- Memastikan bahwa surat perintah kerja dapat dilaksanakan sesuai SOP
- Memahami dan dapat melaksanakan prosedur dan peraturan K3 / K2

3.1.5.1.2. Prosedur pengoperasian

- Periksa keadaan di sekitar trafo dan yakinkan trafo aman dioperasikan
- Laporkan kepada pihak yang berwenang bahwa pengoperasian siap dilaksanakan , tunggu sampai jawaban izin pengoperasian keluar
- Masukkan FCO
- Periksa urutan fasa
- Ukur tegangan sisi TR, pastikan bahwa penyetelan sadapan trafo sudah benar
- Operasikan saluran jurusan dengan cara :
 - Untuk pelanggan umum : masukkan saklar utama, menyusul kemudian NH fuse satu persatu sambil di test kemungkinan adanya hubung singkat pada saluran jurusan

- Untuk pelanggan industri : masukkan seluruh NH fuse, menyusul kemudian saklar utama

3.1.5.1.3. Prosedur pemadaman untuk pemeliharaan

- Kurangi beban trafo, caranya :
 - Untuk pelanggan umum dan beban kecil, maka bukalah satu persatu NH fuse, kemudian bukalah saklar masuk
 - Untuk pelanggan industri, bukalah saklar utama, kemudian bukalah seluruh NH fuse
- Buka FCO
- Hubungkan kabel pentanahan yang sudah dihubungkan ke elektrode pentanahan dimulai dari ke empat bushing trafo sisi tegangan rendah, lalu ketiga bushing trafo sisi tegangan menengah
- Buka kabel / kawat yang terhubung pada terminal / bushing sisi TR dan TM.
- Kabel / kawat yang sudah terlepas hubungkan jadi satu dan tersambung pada kabel pentanahan
- Lakukan pemeliharaan gardu

3.1.5.1.4. Prosedur Pengoperasian Kembali Sesudah Pemeliharaan

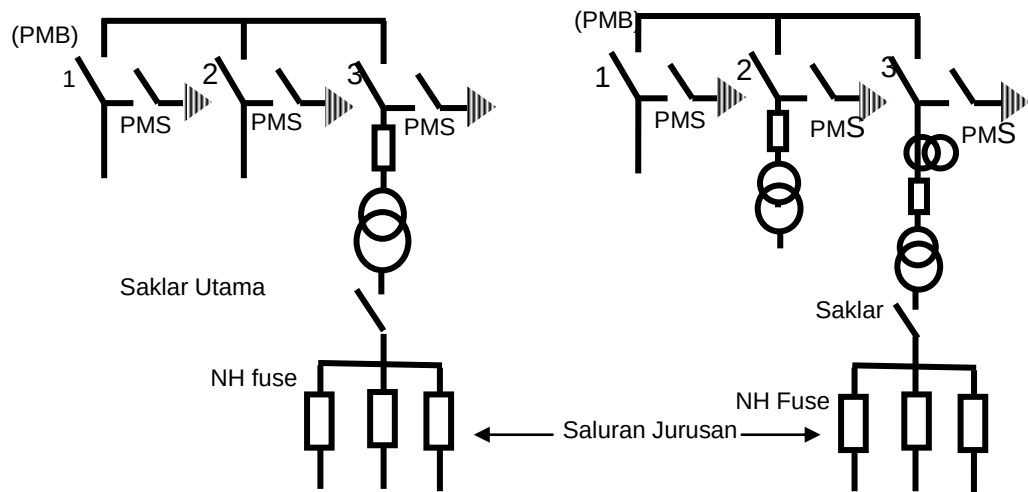
- Pasang kembali kabel / kawat pada terminal/bushing sisi TR maupun TM
- Lepaskan kawat pentanahan
- Periksa keadaan di sekitar trafo dan yakinkan trafo aman dioperasikan
- Laporkan kepada pihak yang berwenang untuk pengoperasian kembali, sampai jawaban izin pengoperasian keluar
- Masukkan FCO

- Ukur tegangan sisi TR, pastikan bahwa penyetelan sadapan trafo sudah benar
- Operasikan saluran jurusan dengan cara :
 - Untuk pelanggan umum : masukkan saklar utama, menyusul kemudian NH fuse satu persatu sambil di test kemungkinan adanya hubung singkat pada saluran jurusan
 - Untuk pelanggan industri : masukkan seluruh nh fuse, menyusul kemudian saklar utama
- Melaporkan pada pengatur, kejadian yang diakibatkan pengoperasian tersebut
- Membuat berita acara serah terima operasi yang berisi antara lain:
 - Kondisi peralatan
 - Posisi peralatan hubung
 - Temuan-temuan kelainan operasi
- Membuat laporan pengoperasian

3.1.5.1.5. Peralatan Kerja, Peralatan Ukur, Alat Pelindung Diri Yang Dibutuhkan

- Single line diagram
- Tangga
- Helm
- Sabuk Pengaman
- Sepatu Isolasi 20 KV
- Sarung tangan Isolasi
- Tongkat / stock FCO
- Grounding Aparatus
- Tool Kit
- Megger 1.000 – 5.000/10.000V
- Fuse holder / fuse puller
- AVO meter
- Phase squence indicator
- Handy-talk

3.1.5.2. Pengoperasian Gardu Distribusi Pasangan Dalam



Gambar 3.7
Single line diagram gardu distribusi pasang dalam

3.1.5.2.1. Persiapan pengoperasian

- Membaca dan memahami prinsip kerja Gardu distribusi pasangan dalam dan sistem JTM
- Berkomunikasi dengan pengatur / posko untuk pengoperasian instalasi Gardu Distribusi
- Menyusun rencana kerja yang berisi langkah-langkah pelaksanaan pekerjaan
- Menyiapkan alat kerja, alat K3 / K2 dan alat bantu yang diperlukan dan dalam kondisi siap pakai dan aman
- Memeriksa hasil ukur atau mengukur indikator kondisi peralatan instalasi gardu :
 - Tahanan isolasi trafo sesuai ketentuan
 - Nilai MV Fuse sesuai dengan kapasitas trafo
 - Nilai NH fuse sesuai dengan ukuran kabel dan kapasitas trafo

- Tahanan isolasi, tahanan kontak kubikel sesuai ketentuan
 - Tahanan pembumian kerangka peralatan/ konstruksi instalasi gardu sesuai ketentuan
- Menghubungi pihak-pihak yang berwenang untuk memastikan bahwa pekerjaan telah dikoordinasikan secara efektif dengan pihak-pihak terkait
 - Memastikan bahwa surat perintah kerja dapat dilaksanakan sesuai SOP
 - Memahami dan dapat melaksanakan prosedur dan peraturan K3 / K2

3.1.5.2.2. Prosedur Pengoperasian Gardu

- Periksa keadaan disekitar gardu dan yakinkan aman untuk dioperasikan
- Laporkan kepada pihak yang berwenang untuk pengoperasian gardu dan tunggu izin pengoperasian keluar
- Masukkan PMB 1, periksa adanya kelainan, lanjutkan pengoperasian bila tidak ada kelainan
- Masukkan PMB 2, periksa adanya kelainan, lanjutkan pengoperasian bila tidak ada kelainan
- Masukkan PMB 3, periksa adanya kelainan, lanjutkan pengoperasian bila tidak ada kelainan
- Periksa urutan fasa keluaran trafo
- Ukur tegangan sisi TR, pastikan bahwa penyetelan sadapan trafo sudah benar
- Operasikan saluran jurusan dengan cara :
 - Untuk pelanggan umum, masukkan saklar utama menyusul kemudian NH fuse satu persatu sambil di test kemungkinan adanya hubung singkat pada saluran jurusan

- Untuk pelanggan industri masukkan saluran NH fuse, menyusul kemudian saklar utama

3.1.5.2.3. Prosedur Pemadaman Untuk Pemeliharaan

- Buka pemutus beban (PMB) 3
- Masukkan pemisah bumi (PMS) 3
- Buka seluruh NH fuse
- Lakukan pemeliharaan
- Lakukan pemeliharaan gardu

3.1.5.2.4. Prosedur Pengoperasian Kembali Sesudah Pemeliharaan

- Periksa keadaan disekitar gardu dan yakinkan aman untuk dioperasikan
- Laporkan kepada pihak yang berwenang untuk pengoperasian kembali, sampai jawaban izin pengoperasian keluar
- Lepaskan PMS bumi (PMS) 3
- Masukkan PMB 3
- Ukur tegangan sisi TR, pastikan bahwa penyetelan sadapan trafo sudah benar
- Operasikan saluran jurusan dengan cara :
 - Untuk pelanggan umum, masukkan saklar utama menyusul kemudian nh fuse satu persatu sambil di test kemungkinan adanya hubung singkat pada saluran jurusan
 - Untuk pelanggan industri masukkan saluran NH fuse, menyusul kemudian saklar utama
- Melaporkan pada pengatur, kejadian yang diakibatkan pengoperasian tersebut
- Membuat berita acara serah terima operasi yang berisi antara lain :
 - Kondisi peralatan
 - Posisi peralatan hubung

- Temuan-temuan kelainan operasi
- Membuat laporan pengoperasian

3.1.5.2.5. Peralatan Kerja Yang Dibutuhkan

1. Single line diagram
2. Handle / tuas kubikel
3. Tool Set
4. Multi meter
5. Phase squence indicator
6. HT
7. Sepatu Isolasi 20 KV
8. Sarung tangan Isolasi
9. AVO meter
10. Fuse holder / fuse puller

3.2. PERMASALAHAN PADA GARDU DISTRIBUSI

Dalam proses pengoperasian gardu distribusi, banyak di temukan permasalahan-permasalahan di lapangan. Pada kesempatan ini penulis mengangkat 2 kasus (gangguan) yang sering terjadi untuk di bahas yaitu :

3.2.1. Ketidak seimbangan beban (asymmetric Load)

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan di mana :

- Ketiga vektor arus / tegangan sama besar.
- Ketiga vektor saling membentuk sudut 120° satu sama lain.

Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan di mana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi.

Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 3 yaitu:

- Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120° satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.

Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder trafo (fasa R, fasa S, fasa T) mengalirlah arus di netral trafo. Arus yang mengalir pada penghantar netral trafo ini menyebabkan *losses* (rugi-rugi). *Losses* pada penghantar netral trafo ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_n = I_n^2 \cdot R_n \quad (1)$$

dimana:

P_n = *losses* pada penghantar netral trafo (watt)

I_n = arus yang mengalir pada netral trafo (A)

R_n = tahanan penghantar netral trafo (Ω)

Misalnya daya sebesar P disalurkan melalui suatu saluran dengan penghantar netral. Apabila pada penyaluran daya ini arus-arus fasa dalam keadaan seimbang, maka besarnya daya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P = 3 \cdot [V] \cdot [I] \cdot \cos \phi \quad (2)$$

dengan:

P = daya pada ujung kirim

V = tegangan pada ujung kirim

$\cos \phi$ = faktor daya

Daya yang sampai ujung terima akan lebih kecil dari P karena terjadi penyusutan dalam saluran. Jika $[I]$ adalah besaran arus fasa dalam penyaluran daya sebesar P pada keadaan seimbang, maka pada penyaluran daya yang sama tetapi dengan keadaan tak seimbang besarnya arus-arus fasa dapat dinyatakan dengan koefisien a , b dan c sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 I_R &= a \cdot I \\
 I_R &= b \cdot I \\
 I_R &= c \cdot I
 \end{aligned}
 \quad (3)$$

Contoh kasus (gardu CANTOL BUKIT KASIH-feeder TONA)

❖ Spesifikasi trafo

- Buatan pabrik = trafindo
- Type = out door
- Daya = 50 kVA
- Teg kerja = 20 kV – 380 V
- Arus = 1,44 – 76 A
- Hubungan = Dyn5
- Trafo = 3 phasa

❖ Hasil pengukuran

Fasa	V_{p-n} (Volt)	I (A)	Cos Phi
R	228	50,2	0,95
S	228	70	0,95
T	228	14	0,95
I_N		64,2	

❖ Analisa pembebanan trafo

$$S = 50 \text{ kVA}$$

$$V = 0,38 \text{ kV}$$

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{50000}{\sqrt{3} \times 380} = 76 \text{ A}$$

$$I_{RATA \text{ RATA}} = I_R + I_S + I_T / 3$$

$$\frac{50,2+70+14}{3} = 44,73$$

❖ Analisa beban tidak seimbang

$$I_R = a \cdot I \text{ maka } a = \frac{IR}{I} = \frac{50,2}{44,73} = 1,12$$

$$I_S = b \cdot I \text{ maka } b = \frac{IS}{I} = \frac{70}{44,73} = 1,56$$

$$I_T = c \cdot I \text{ maka } c = \frac{IT}{I} = \frac{14}{44,73} = 0,31$$

❖ Rata rata ketidakseimbangan beban dalam %

$$= \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{\{|1,12-1|+|1,56-1|+|0,31-1|\}}{3} \times 100\% = 45,66 \%$$

Pada kasus ini beban di gardu tersebut dinyatakan tidak seimbang karena presentase ketidakseimbangan beban sangat besar (> 25%)

3.2.2. Beban lebih (Over Load)

Gangguan beban lebih terjadi karena pembebanan sistem distribusi yang melebihi kapasitas sistem terpasang. Gangguan ini sebenarnya bukan gangguan murni, tetapi bila dibiarkan terus-menerus berlangsung dapat merusak peralatan.

Contoh kasus (gardu NO HT3A10 SMP 3 KOLMITUNG - FEEDER KOLONGAN)

❖ Spesifikasi trafo tiang cantol

Buatan pabrik	: trafindo
Teg. Kerja	: 25 kV – 380 V _{LL}
Arus kerja	: 0,72 – 38 A
Hubungan	: Dyn5
Daya	: 25 kVA
Trafo	: 3 Phasa

❖ Hasil pengukuran

Fasa	V_{p-n} (Volt)	I (A)	Cos Phi
R	212	9,3	0,95
S	212	24,90	0,95
T	212	41,50	0,95
I_N		34,40	

Sebelum dilakukan perhitungan persentase pembebanan terlebih dahulu dihitung besar arus beban penuh (full load) sesuai kapasitas transformator distribusi,

Diketahui : S (Daya Semu) = 25 kVA

$$V_{\text{phasa-phasa}} = 400 \text{ V}$$

$$I_{\text{Full Load}} (I_{FL}) = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} = \frac{25.000}{\sqrt{3} \times 380} = 38 \text{ A}$$

$$\text{Presentase pembebanan } I\% = \frac{I_{\text{fasa}}}{I_{fl}} \times 100\%$$

$$\text{Jadi fasa R} = \frac{9,3}{38} \times 100\% = 24,47 \%$$

$$S = \frac{24,90}{38} \times 100 \% = 83 \%$$

$$T = \frac{41,50}{38} \times 100 \% = 109,21 \%$$

$$\text{Rata - rata pembebanan} = \frac{24,47\% + 83 \% + 109,21 \%}{3} = 72,22 \%$$

Pada kasus ini trafo akan dalam kondisi aman, apabila peralatan pengaman pada panel LV bekerja dengan baik (disconneting) karena rata - rata presentase pembebanan pada pada trafo < 80 %

BAB IV

PENUTUP

4.1. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan di atas, penulis mengambil beberapa kesimpulan yaitu :

1. Faktor yang membuat baik tidaknya mutu listrik dari sisi distribusi adalah faktor pembebanan
2. Kelangsungan pelayanan sangat tergantung pada ketersediaan pasokan energi dan keamanan jaringan listrik
3. Ketidakseimbangan beban berdampak pada munculnya arus netral yang akan mengakibatkan losses (rugi – rugi) daya pada transformator

4.3. SARAN

Adapun saran – saran yang penulis tuangkan untuk perbaikan – perbaikan kedepan bagi dunia kelistrikan :

1. Pengukuran beban pada gardu distribusi harus dilaksanakan secara rutin guna mengetahui hal – hal yang mencurigakan
2. Selalu memperhatikan persyaratan – persyaratan sebelum melakukan pengoperasian pada gardu distribusi
3. Gunakan alat pelindung diri secara baik dan benar sebelum melakukan pekerjaan pengoperasian gardu distribusi

DAFTAR PUSTAKA

- Ginanjara, Adhipamungkas. "Pengaman arus lebih"*
.<https://ginanjaraadhipamungkas.wordpress.com/2012/11/20/pengaman-arus-berlebih/> (di akses 6 juli 2015)
- Pusat pendidikan dan pelatihan, PT. PLN (Persero)*
- Resa, Fauzan. arrester "20 kV". <http://reza-fauzan.blogspot.com> (diakses 6 juli 2015)*