

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring dengan berkembangnya kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang mencakup ilmu kelistrikan didalamnya, yang diikuti dengan bertambahnya jumlah penduduk, sehingga semakin tinggi pula kebutuhan masyarakat akan konsumsi energi listrik. Oleh karena itu, harus diimbangi dengan peningkatan kualitas energi listrik. Dalam hal ini PT. PLN (Persero) sebagai penyedia akses listrik yang dipercaya negara untuk mendistribusikan listrik ke seluruh wilayah Indonesia, diharapkan mampu untuk memenuhi kebutuhan listrik secara kontinu dan dengan keandalan yang tinggi. Dalam usahanya memenuhi kebutuhan energi listrik ini PT. PLN (Persero) tentunya akan menemui berbagai kendala dan kesulitan. Kendala dan kesulitan yang muncul di PT. PLN (Persero) dalam hal menyediakan jasa ketenaga listrikan merupakan tantangan yang harus dihadapi dalam rangka menjadikan PT. PLN (Persero) sebagai *World Class Company*. Namun dalam kenyataannya masih terjadi banyak gangguan baik berupa drop tegangan pada jaringan, arus bocor, rugi – rugi pembangkit, rugi daya pada saluran dan masih banyak lainnya. Dari daerah pembangkit tenaga listrik di salurkan ke gardu induk melalui saluran transmisi yang kemudian diturunkan menjadi tegangan menengah distribusi, yang nilai tegangannya dipilih tegangan 20 kV yang biasa disebut sebagai saluran udara tegangan menengah (SUTM) atau jaringan distribusi tegangan menengah (JDTM). Tegangan menengah tersebut diturunkan lagi dengan menggunakan transformator distribusi menjadi jaringan distribusi tegangan rendah yang nilai tegangannya dipilih sebesar 380 Volt atau 220 volt.

Yang melatar belakangi penulisan tugas akhir ini adalah, untuk mengerti sistem Gardu distribusi yang melayani konsumen dan selaku sarjana teknik elektro yang akan terjun ke masyarakat wajib mengerti dan mengetahui teknik menentukan berapa ukuran kapasitas trafo distribusi yang akan melayani

misalnya konsumen Perumahan, Pabrik, Mall, Perkantoran, Perguruan tinggi dan lain sebagainya

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan hasil uraian di atas dapat dirumuskan beberapa permasalahan Bagaimana merancang sistem gardu distribusi dan menentukan kavasitas trafo terpasang, Bagaimana pengawatan komponen sistem gardu distribusin yang baik dan sesuai dengan standar yang berlaku, Bagaimana mewujudkan sistem gardu distribusi yang memiliki kehandalan yang baik, dan sesuai judul tugas akhir ini Bagaimana teknik menentukan kapasitas terpasang pada sistem gardu distribusi

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah diperlukan agar masalah yang akan dibahas menjadi jelas dan tidak banyak menyimpang dari topik yang akan dibahas, maka dalam penulisan tugas akhir ini penulis menekankan, bahwa hal yang akan dibahas adalah sistem instalasi gardu distribusi indoor/outdoor dan teknik menentukan kavasitas trafo.

1.4. Tujuan Penulisan

Adapun tujuan penulisan tugas akhir ini adalah agar mengenal dan memahami sistem instalasi gardu indoor/outdoor dan teknik menentukan kapasitas trafo.

1.5. Metodologi Penelitian

Melakukan Studi literature yaitu dengan mempelajari buku–buku referensi yang tersedia dari media cetak maupun internet dan juga buku ataupun catatan kuliah yang mendukung untuk penulisan tugas akhir ini.

Melakukan peninjauan lapangan dan bimbingan untuk melihat dengan jelas secara langsung sistem gardu distribusi selanjutnya melakukan diskusi atau konsultasi dengan dosen pembimbing tugas akhir.

1.6. Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah pembahasan, maka Tugas Akhir ini akan dibagi menjadi lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Merupakan bab pendahuluan yang berisikan tentang latar belakang masalah, tujuan penulis, batasan masalah, metodologi penulisan, dan sistematika penulisan.

BAB II : TEORI DASAR GARDU DISTRIBUSI

Pada bab ini dijelaskan kajian teoritis dan konsep- dasar dalam karya ilmiah ini terutama tentang gardu distribusi.

BAB III : SISTEM DISTRIBUSI TEGANGAN RENDAH

Bab ini menerangkan sistem distribusi tegangan rendah.

BAB IV : PERANCANGAN JARINGAN DISTRIBUSI TEGANGAN RENDAH DAN TEKNIK MENENTUKAN KAPASITAS TRAFU

Bab ini menjelaskan perhitungan teknik menentukan kapasitas trafo.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Berisikan tentang kesimpulan dan saran dari penulisan Tugas Akhir ini.

BAB II

TEORI DASAR GARDU DISTRIBUSI

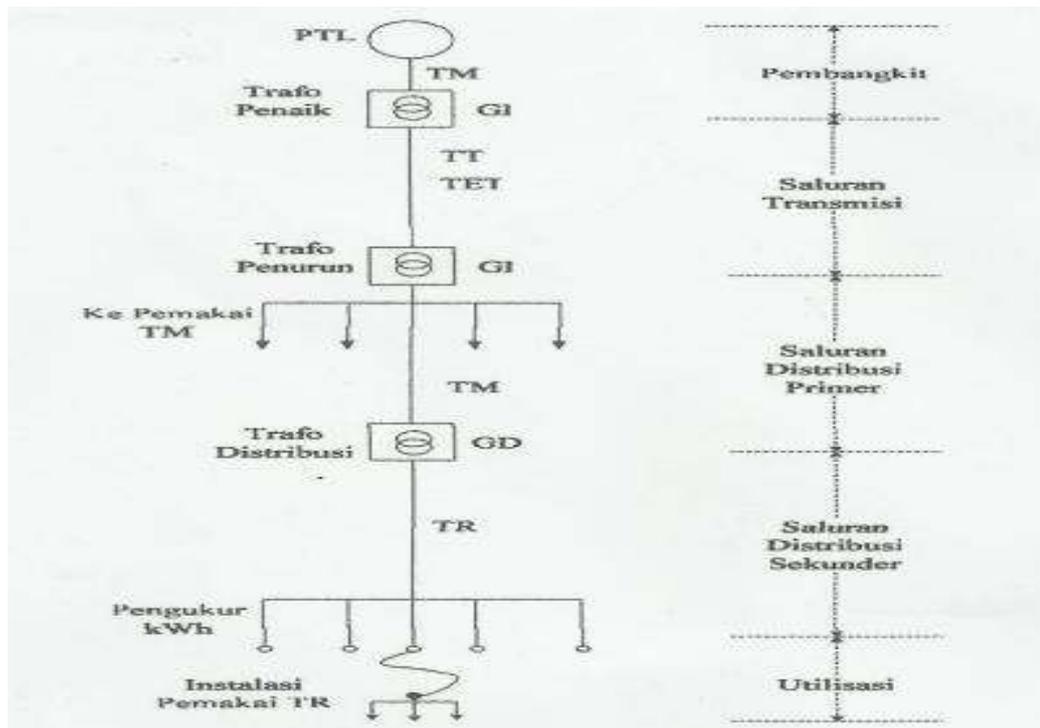
2.1 Konsep Dasar Sistem Tenaga Listrik

Suatu sistem tenaga listrik secara sederhana terdiri atas beberapa bagian yaitu, Sistem pembangkit, Sistem transmisi dan gardu induk, Sistem distribusidan Sistem sambungan pelayanan konsumen. Sistem-sistem ini saling berkaitan dan membentuk suatu sistem tenaga listrik. Sistem distribusi adalah sistem yang berfungsi mendistribusikan tenaga listrik kepada para pelanggan.

Energi listrik dibangkitkan pada pembangkit tenaga listrik (PTL) yang dapat berupa suatu pembangkit listrik tenaga uap (PLTU), pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pembangkit listrik tenaga gas (PLTG), pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD), ataupun pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN). Jenis PTL yang dipakai, pada umumnya tergantung dari jenis bahan bakar atau energi yang digunakan. Pada sistem besar sering ditemukan beberapa jenis PTL. Perlu pula dikemukakan bahwa PLTD biasanya dipakai pada sistem yang lebih kecil. PTL biasanya membangkitkan energi pada tegangan menengah (TM), yaitu pada tegangan 6 kV dan 20 kV. Pada sistem tenaga listrik yang besar dan lokasi PTL terletak jauh dari pemakaian, maka energi listrik itu perlu dialirkan melalui saluran transmisi, dan tegangannya harus dinaikkan dari tegangan menengah menjadi tegangan tinggi atau tegangan ekstra tinggi (TET). Menaikkan tegangan dilakukan di gardu induk (GI) dengan menggunakan transformator penaik tegangan (*step up transformer*). Tegangan tinggi di Indonesia adalah 70 kV, 150 kV, dan 275 kV, sedangkan tegangan ekstra tinggi 500 kV. Mendekati pusat pemakai listrik, tenaga listrik tegangan tinggi diturunkan menjadi tegangan menengah pada suatu GI dengan menggunakan transformator penurun tegangan (*step-down transformer*). Di Indonesia tegangan menengah adalah 20 kV, dengan besaran tegangan tersebut penyaluran tenaga listrik dilakukan oleh saluran distribusi primer. Dari saluran distribusi primer inilah gardu-gardu distribusimengambil tegangan untuk diturunkan tegangannya melalui transformator distribusi (*distribution transformer*)

menjadi tegangan rendah, yaitu 220/380 volt dan merupakan sistem distribusi sekunder. Selanjutnya energi listrik tegangan rendah disalurkan kepada pelanggan.

Energi diterima pelanggan melalui konduktor atau kawat yang dinamakan sambungan rumah (SR) dan berakhir pada alat pengukur listrik yang sekaligus merupakan titik akhir pemilikan PLN.



Gambar 2.1 Sistem Tenaga listrik

2.2. Sistem Jaringan Distribusi

Sistem jaringan distribusi adalah bagian dari suatu sistem tenaga listrik antara gardu induk, jaringan distribusi primer, gardu distribusi, jaringan distribusi sekunder, dan sampai ke pelayanan pelanggan. Proses distribusi merupakan salah satu rangkaian penting dalam melayani kebutuhan energi listrik, dimulai dari pembangkit sampai ke pelanggan. Kualitas energi listrik yang diterima pelanggan sangat dipengaruhi oleh sistem pendistribusian. Untuk itu diperlukan sistem distribusi listrik dengan kehandalan yang tinggi. Sistem distribusi di bedakan menjadi dua, yaitu sistem distribusi primer dan sistem distribusi sekunder.

2.2.1. Jaringan Sistem Distribusi Primer

Sistem distribusi primer digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu induk distribusi ke pusat-pusat beban. Sistem ini dapat menggunakan saluran udara, kabel udara, maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan yang diinginkan dan kondisi serta situasi lingkungan. Saluran distribusi ini direntangkan sepanjang daerah yang akan di suplai tenaga listrik sampai ke pusat beban. Terdapat bermacam-macam bentuk rangkaian jaringan distribusi primer, yaitu Jaringan distribusi radial dengan model: radial tipe pohon, radial dengan tie dan switch pemisah, radial dengan pusat beban dan radial dengan pembagian phase area, Jaringan distribusi ring (loop), dengan model: bentuk open loop dan bentuk close loop, Jaringan distribusi jaring-jaring (NET), Jaringan distribusi spindle, Saluran radial interkoneksi

2.2.2. Jaringan Sistem Distribusi Sekunder

Sistem distribusi sekunder digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari gardu distribusi ke beban-beban yang ada di pelanggan. Pada sistem distribusi sekunder bentuk saluran yang paling banyak digunakan ialah sistem radial. Sistem ini dapat menggunakan kabel yang berisolasi maupun konduktor tanpa isolasi. Sistem ini biasanya disebut sistem tegangan rendah yang langsung akan dihubungkan kepada pelanggan dengan melalui peralatan-peralatan Papan pembagi (PHB) pada trafo distribusi, Hantaran tegangan rendah (saluran distribusi sekunder), Saluran layanan pelanggan (SLP) ke pelanggan, Alat pembatas dan pengukur daya (kWh meter) serta fuse atau pengaman pada pelanggan.

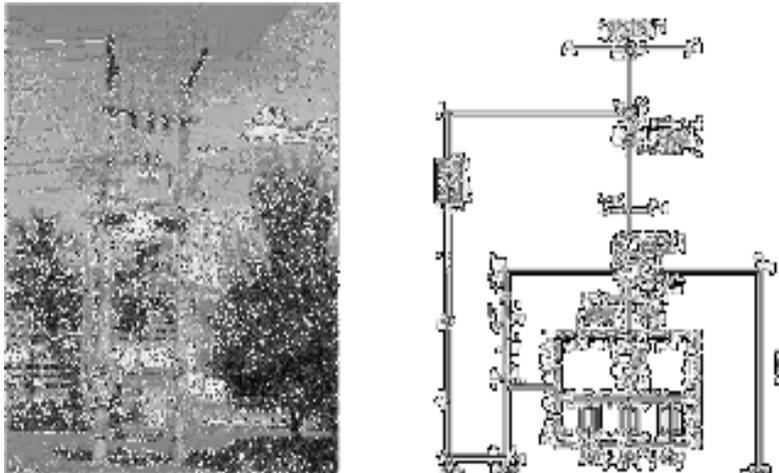
2.3. Gardu Distribusi

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 (20 kV) maupun tegangan rendah (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 Jenis pemasangannya seperti Gardu pasangan luar : gardu portal, gardu cantol, Gardu pasangan dalam : gardu beton, gardu kios. Dari Jenis konstruksinya terdiri dari Gardu beton (bangunan sipil : batu, beton), Gardu tiang : gardu portal dan gardu cantolGardu kiosJenis Penggunaannya :Gardu pelanggan umum dan 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.

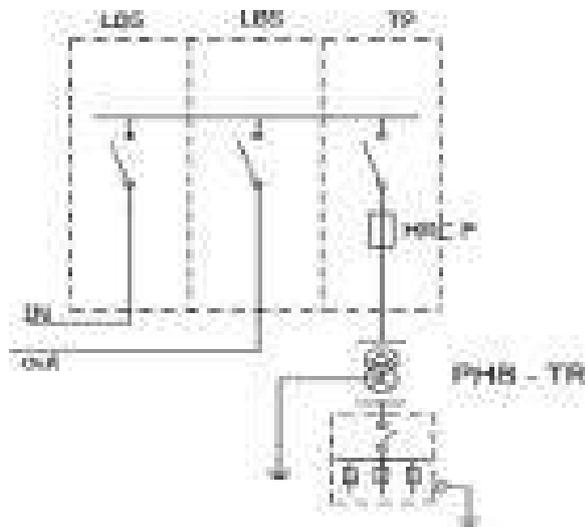
2.3.1. Gardu Portal

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.



Gambar 2.2 Gardu portal dan bagian satu garis

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.



Gambar 2.3 Bagan satu garis konfigurasi π section gardu portal

Guna mengatasi faktor keterbatasan ruang pada gardu portal, maka digunakan konfigurasi switching/proteksi yang sudah terakit ringkas sebagai RMU (*RingMain 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.

2.3.2. Gardu 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 dipasang terpisah dengan penghantar pembumiannya yang dihubungkan langsung dengan badan transformator. Perlengkapan hubung bagi tegangan rendah 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.



Gambar 2.4 Gardu tipe cantol

2.3.3. 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.



Gambar 2.5 Gardu beton

2.3.4. Gardu Kios

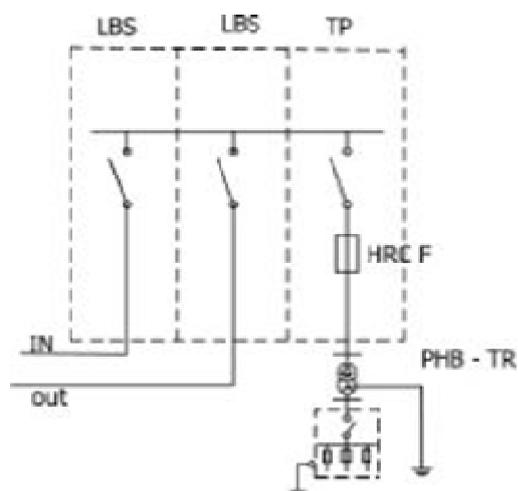
Gardu tipe ini adalah bangunan *prefabricated* terbuat dari konstruksi baja, fiberglass atau kombinasinya, yang dapat dirangkai di lokasi rencana pembangunan gardu distribusi. Terdapat beberapa jenis konstruksi, yaitu kios kompak, kios modular dan kios bertingkat. Gardu ini dibangun pada tempat-tempat 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 2.6 Gardu kios

2.3.5. Gardu Pelanggan Umum

Umumnya konfigurasi peralatan gardu pelanggan umum adalah π section, sama halnya seperti dengan gardu tiang yang dicatu dari SKTM. Karena

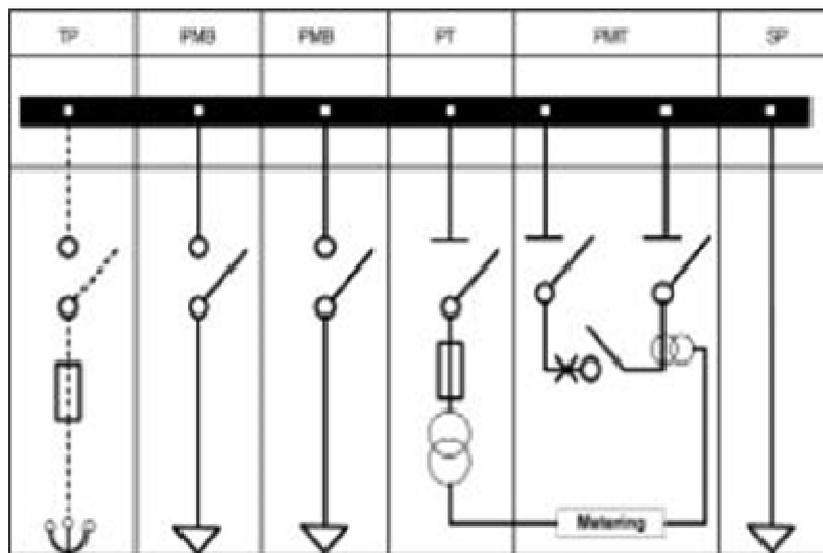


Gambar 2.7 Bagan satu garis konfigurasi π section gardu pelanggan umum

2.3.6. 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 2.8. Bagan satu garis gardu pelanggan khusus

Pada Gambar 2.8 , TP = Pengaman Transformator, PMB= Pemutus Beban – LBS

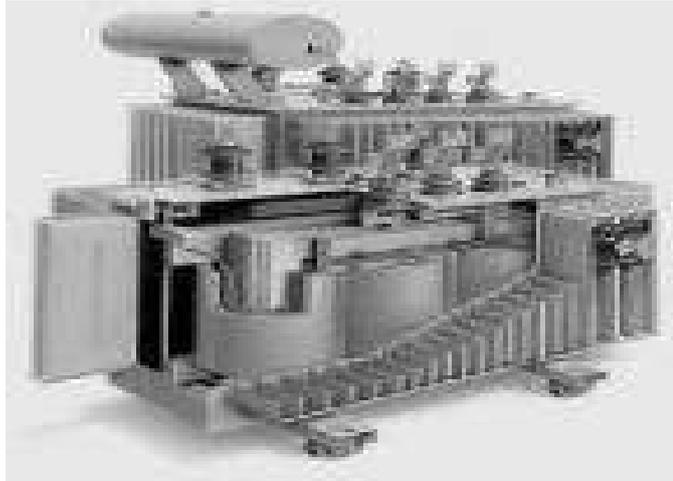
PT= Trafo Tegangan, PMT = Pembatas Beban Pelanggan, SP= Sambungan Pelanggan

2.3.7. 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 (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.

2.4. Transformator Distribusi

Transformator distribusi adalah suatu peralatan listrik utama yang berperan penting untuk penyaluran daya listrik dalam suatu sistem distribusi yang berfungsi untuk menurunkan tegangan distribusi primer yang merupakan tegangan menengah menjadi tegangan rendah pada sisi sekunder. Trafo distribusi yang umum digunakan adalah trafo stepdown 20/0,4 kV, tegangan fasa-fasa sistem JTR adalah 380 volt, karena terjadi drop tegangan maka tegangan rak TR dibuat diatas 380 volt agar tegangan pada ujung beban menjadi 380 volt. Untuk transformator fase tiga, merujuk pada SPLN, ada tiga tipe vektor grup yang digunakan oleh PLN, yaitu **Yzn5**, **Dyn5** dan **Ynyn0**. Titik netral langsung dihubungkan dengan tanah. Untuk konstruksi, peralatan transformator distribusi sepenuhnya harus merujuk pada SPLN D3.002-1: 2007. Transformator gardu pasangan luar dilengkapi bushing tegangan menengah isolator keramik. Sedangkan transformator gardu pasangan dalam dilengkapi bushing tegangan menengah isolator keramik atau menggunakan isolator *plug-in premoulded*.



Gambar 2.9 Transformator distribusi fasa 3 yang dibelah.

Tabel 2.1 Vektor grup dan daya transformator.

No	Vektor Daya	Daya (kVA)	Keterangan
1	Yzn5	50 100 160	Untuk sistem 3 Kawat
2	Dyn5	200 250 315 400 500 630	Untuk sistem 3 Kawat
		50 100 160	

3	Ynyn0	200	Untuk sistem 4 kawat
		250	
		315	
		400	
		500	
		630	

2.5. Perhitungan Terapan Beban Tersambung Transformator

Kapasitas daya transformator adalah sesuai dengan data teknis transformator pada nameplate-nya. Transformator dapat dibebani terus-menerus sesuai kapasitas dayanya dan dapat dibebani lebih besar dari kapasitas transformator dengan merujuk pada standar PLN yang berlaku. Daya tersambung pada transformator adalah total daya tersambung pada suatu transformator. Untuk menghitung besarnya beban pada transformator perlu diperhatikan faktor kebersamaan pelanggan sebagai berikut :

Tabel 2.2 Faktor kebersamaan.

Jumlah sambungan jenis pelanggan Heterogen	Faktor Kebersamaan (coincidence faktor) Fk
2 – 4	0,85
6–10	0,8

11–20	0,7
21–40	0,6
>40	0,4

Metoda faktor kebersamaan ini efektif untuk variasi pelanggan yang heterogen (pertokoan, perumahan, dll). Untuk pelanggan dengan karakteristik yang sama misalnya pelanggan pada perumahan BTN/Perumnas/Rusun harus diambil angka kebersamaan yang lebih tinggi (sekitar 0,8–0,9). Berdasarkan perhitungan kapasitas trafo dapat dibagi menjadi 2 cara, tergantung pelanggan yang digunakan seperti heterogen dan homogen.

Rumus kapasitas transformator pada pelanggan heterogen

$$S_{\text{total tersambung}} = S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n \dots \dots \dots (2.1)$$

$$S_{\text{trafo}} = f_k \sum \text{pelanggan} \times S_{\text{total}} \times f_k \sum \text{jurusan/saluran JTR} \dots \dots \dots (2.2)$$

Rumus kapasitas trafo pada pelanggan homogeny

$$S_{\text{trafo}} = f_k \text{pelanggan homogen} \times S_{\text{total}} \times f_k \sum \text{jurusan/saluran JTR} \dots \dots \dots (2.3)$$

Di mana,

$$S_{\text{trafo}} = \text{daya semu trafo (KVA)}$$

$$f_k = \text{Faktor Kebersamaan}$$

2.6. Kapasitas Transformator

Didalam sistem distribusi terdapat dua jenis transformator yang digunakan, yaitu: Jenis pemasangan luar pada gardu portal, cantol, Jenis pemasangan dalam, pada gardu beton, kios atau pemasangan dalam ruang. Untuk pemakaian pemasangan dalam ruang diperkirakan faktor temperatur ruang (*ambient temperature*) sebesar 30°C dengan pendinginan alami (ONAN). Data persentasi (%) impedansi transformator fasa-3 dan fasa-1, lihat Tabel 2.3

Tabel 2.3 Persentasi (%) impedansi transformator fasa-3 dan fasa -1.

No.	Kapasitas	Sistem	Impedansi (%)
1	25 KVA	Fasa -2	4 %
		Fasa -1	4 %
2	50 KVA	Fasa -3	4 %
		Fasa -2	4 %
		Fasa -1	4 %
3	100 KVA	Fasa -3	4 %
4	160 KVA	Fasa -3	4 %
5	250 KVA	Fasa -3	4 %
6	315 KVA	Fasa -3	4 %
7	400 KVA	Fasa -3	4 %
8	630 KVA	Fasa -3	4 %
9	1000 KVA	Fasa -3	4,5–5%

BAB III

SISTEM DISTRIBUSI TEGANGAN RENDAH

3.1. Ketentuan Umum

Sistem Distribusi Tegangan Rendah merupakan bagian hilir dari suatu sistem tenaga listrik pada tegangan distribusi dibawah 1 Kilo Volt langsung kepada para pelanggantegangan rendah. Radius operasi jaringan distribusi tegangan rendah dibatasi oleh : Susut Tegangan yang disyaratkan, Luas penghantar jaringan, Distribusi pelanggan sepanjang jalur jaringan distribusi., Sifat daerah pelayanan (desa, kota), Kelas pelanggan (pada beban rendah, pada beban tinggi), Umumnya radius pelayanan berkisar 350 meter. Di Indonesia (PLN) susut tegangan diizinkan $\pm 5\% - 10\%$ dari tegangan operasi.

Struktur jaringan adalah radial murni atau radial open loop (bentuk tertutup namun operasi radial).Jarang sekali pelanggan dipasok dengan tingkat keandalan tinggi secara tertutup (loop) baik dari satu sumber ataupun dari sumber berlainan.

Bahan Penghantar memakai 2 jenis yaitu Bare Conductor atau tak berisolasi (BCC, A2C, A3C) dan Kabel baik kabel tunggal, jamak atau berpilin (twisted).Tiang penyangga memakai Tiang besi panjang 7 meter, 9 meter atau dibawah saluran udara, . Tiang beton, dengan panjang yang sama, Tiang kayu (sudah jarang dipakai).Pada daerah padat bangunan penghantar dengan konstruksi khusus.

3.2. Konsep Teknis Sistem Tegangan

Jaringan distribusi tegangan rendah dimulai dari sumber yang disebut Gardu Distribusi mulaidari panel hubung bagi TR (Rak TR) keluar didistribusikan.Untuk setiap sirkit keluar melalui pengaman arus disebut "*penyulang/feeder*". Sistem tegangan yang dianut ada 3 macam : Sistem 3 fasa (fasa tiga) 380 Volt / 220 VoltSistem 2 fasa (fasa dua)440 / 220, 220 Volt,

Sistem 1 fasa (fasa satu) 110 Volt, 220 Volt, 250 Volt, Sistem tegangan dipilih mengikuti konsep teknis (Distribution System Engineering) yang dianut satu sama lain dapat berbeda, misalnya Sistem Kontinental 3 fasa – 3 kawat (Distribution Substation Concept) 3 fasa – 4 kawat Sistem Amerika 2 fasa – 3 netral (Multi Grounded, Sistem Kanada 1 kawat (Swel).

Tiang penyangga mengalami gaya-gaya mekanis terutama adalah gaya-gaya beban penghantar yang dipikul, Beban akibat tiupan angin pada penghantar dan pada tiang itu sendiri, Regangan (tensile stress) penghantar logam akibat perubahan suhu lingkungan atau akibat adanya sambungan pelanggan), Beban akibat air hujan atau suhu didaerah dingin. Beban-beban tersebut mempengaruhi kekuatan tiang penyangga. Kekuatan tiang penyangga didimensikan dalam satuan Newton atau daN (0,98 kg). Kekuatan tiang dihitung pada kondisi-kondisi yang minimum, sehingga didapatkan harga yang realistis. Misalnya kondisi tekanan angin maksimum. Temperatur kerja maksimum penghantar (60° C), angka keamanan mekanis 0,5 (50%). Sehingga tiang dengan fungsi sebagai penyangga diujung (akhir jaringan), di tengah, tiang sudut, akan mengalami total gaya mekanis yang berbeda.

3.3. Tinggi Tiang

Sebagai pegangan pelaksanaan lapangan bagian yang tertanam pada tiang adalah sepanjang $\frac{1}{6}$ x panjang total. Gaya – gaya mekanis terbesar pada 10 cm dibawah ujung tiang pada $\frac{1}{6}$ tiang dan didalam tanah, Sehingga pada bagian-bagian tersebut perlu diperhatikan kemampuan menahan bebannya.

Kondisi tanah yang rawan/ lunak dapat menyebabkan robohnya tiang penyangga, Pada dasarnya perlu diperhitungkan kekuatan tanah sehingga dapat diketahui jenis tanah lunak atau tidak berdasarkan hitungan tersebut dapat ditentukan perlu tidaknya memakai pondasi. Namun untuk tiang-tiang awal/ akhir, tetap diperlukan pondasi

Kawat penegang dapat mengurangi beban mekanis tiang, demikian juga pemakaian tiang penopang Sehingga tiang dengan kekuatan mekanis yang kecil dapat dipergunakan untuk menahan beban mekanis yang lebih besar. Konstruksi

ini umum dipakai pada tiang-tiang akhir penghantar kecil dan tiang-tiang sudut. Masalah kekuatan mekanis penghantar besarnya beban pada titik tumpu dapat menyebabkan penghantar retak/ putus pada titik tersebut. Masalah lingkungan, terlalu panjangnya bentangan penghantar menyulitkan penarikan penghantar baik dari sudut konstruksi ataupun operasional atau dari segi keamanan lingkungan dan estika. Pengaruh rute geografis jalur/lintasan, tidak semua jalur jaringan padalintasan yang lurus. Sehingga jarak gawang/ span hantar tiang penyangga di standarisir 40 meter dengan titik terendah jaringan pada lalu lintas berat dengan permukaan jalan minimum 6 meter pada temperatur menghantar 60° C.

3.4. Perlengkapan Hubung Bagi Jaring Distribusi Kabel Tegangan Rendah PHB TR

Pada jaringan distribusi kabel tegangan rendah, PHB-TR berfungsi sebagai titik pencabangan jaringan dan sambungan pelayanan. Instalasi PHB – TR pasangan luar dan pasangan dalam harus memnuhi persyaratan keamanan dan keselamatan lingkungan dan persyaratan teknis baik elektrik maupun mekanis. Instalasi PHB – TR tersebut juga harus dilindungi dari kemungkinan kerusakan mekanis. Pada setiap kotak PHB-TR harus mempunyai setidaknya-tidaknya satu sakelar masuk sirkit masuk, satu proteksi arus pada sirkit keluar atau kombinasi proteksi dan sakelar (misalnya MCB/ MCCB). Arus minimum sakelar masuk minimal sama besar dengan arus nominal penghantar masuk atau arus maksimum beban penuh. Jumlah maksimum pencabangan dari suatu PHB – TR adalah sirkit keluar.

Besar arus yang mengalir pada rel harus diperhitungkan sesuai kemampuan rel menurut temperatur ruang dan temperatur kerja tidak boleh melebihi 65° C. Pemasangan rel telanjang adalah sedemikian rupa sehingga memenuhi persyaratan jarak 5 cm + 2/3 kilo volt sistem tegangan nominal.

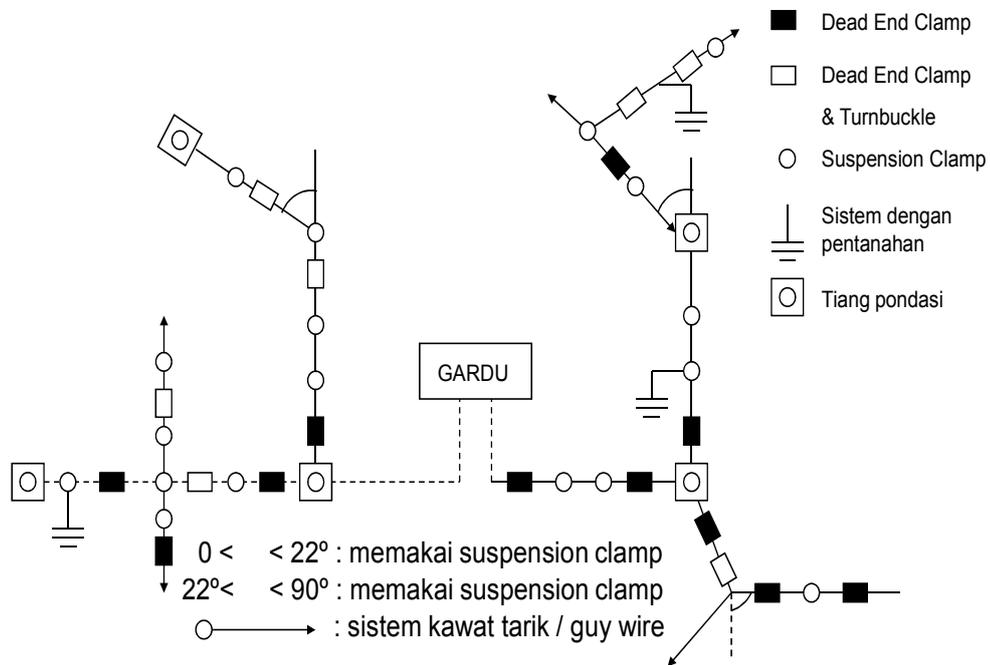
Sakelar, pemisah, pengaman lebur dan pemutus :Semua kutub saklar, pemisah, pemutus harus dapat dibuka secara serentak. Untuk jaringan tegangan rendah dengan Pembumian Netral Pengaman (TNC) harus menggunakan 3 kutub, membuka kutub fasanya saja, kutub netral tidak boleh dibuka. Untuk jaringan

tegangan rendah dengan sistem penghantar pengaman harus menggunakan kutub jadi netral juga diputus. Untuk jaringan tegangan rendah dengan sistem penghantar pengaman (IT) juga harus menggunakan 4 kutub, termasuk overswitch ke generator cadangan.

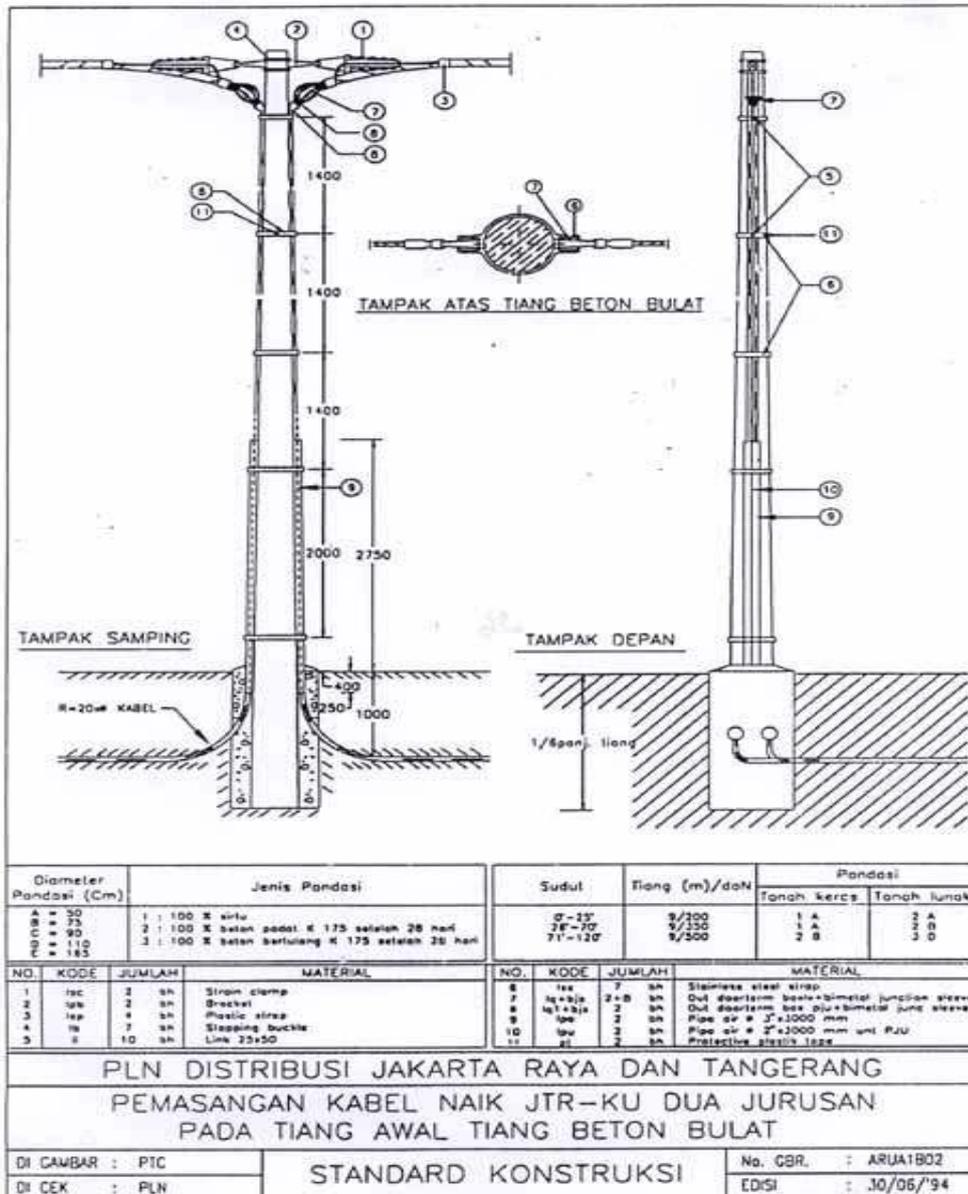
Bagian bertegangan dari PHB tidak boleh sisi yang bergerak dan tidak dapat bergerak walau oleh sebab gaya mekanis/gaya berat. Pemisah tidak boleh dibuka dalam keadaan berbeban. Persyaratan konstruksi PHB adalah PHB harus dipasang ditempat yang cukup tinggi, bebas banjir dan kokoh, terlindung secara fisik/ mekanis.

Badan PHB harus dibumikan secara sempurna melalui penghantar fleksibel. Mempunyai ruang ventilasi yang cukup. Pintu PHB harus terkunci.

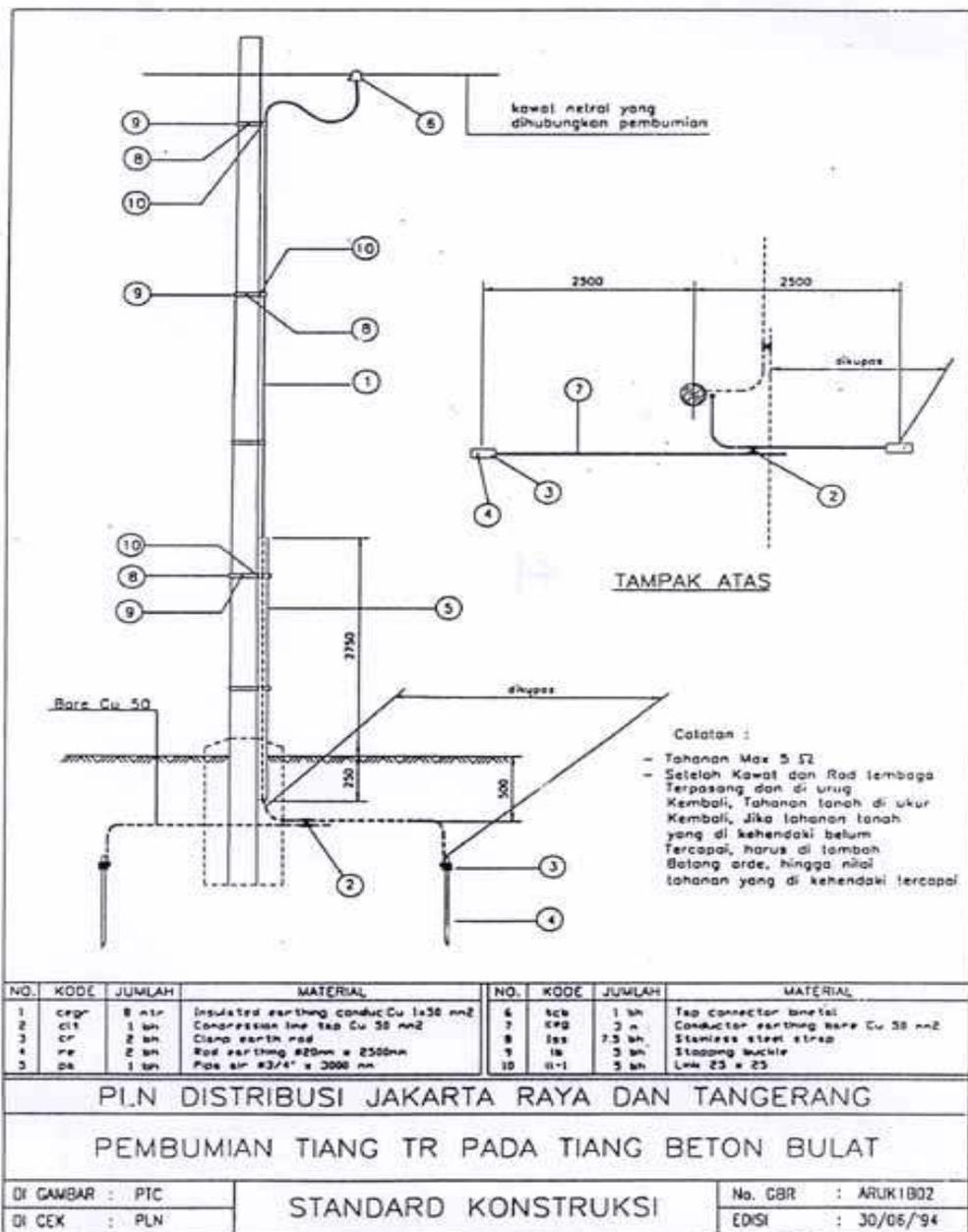
Gambar berikut adalah gambar nomogram aplikasi suatu konstruksi jaringan tegangan rendah (JTR) kabel udara



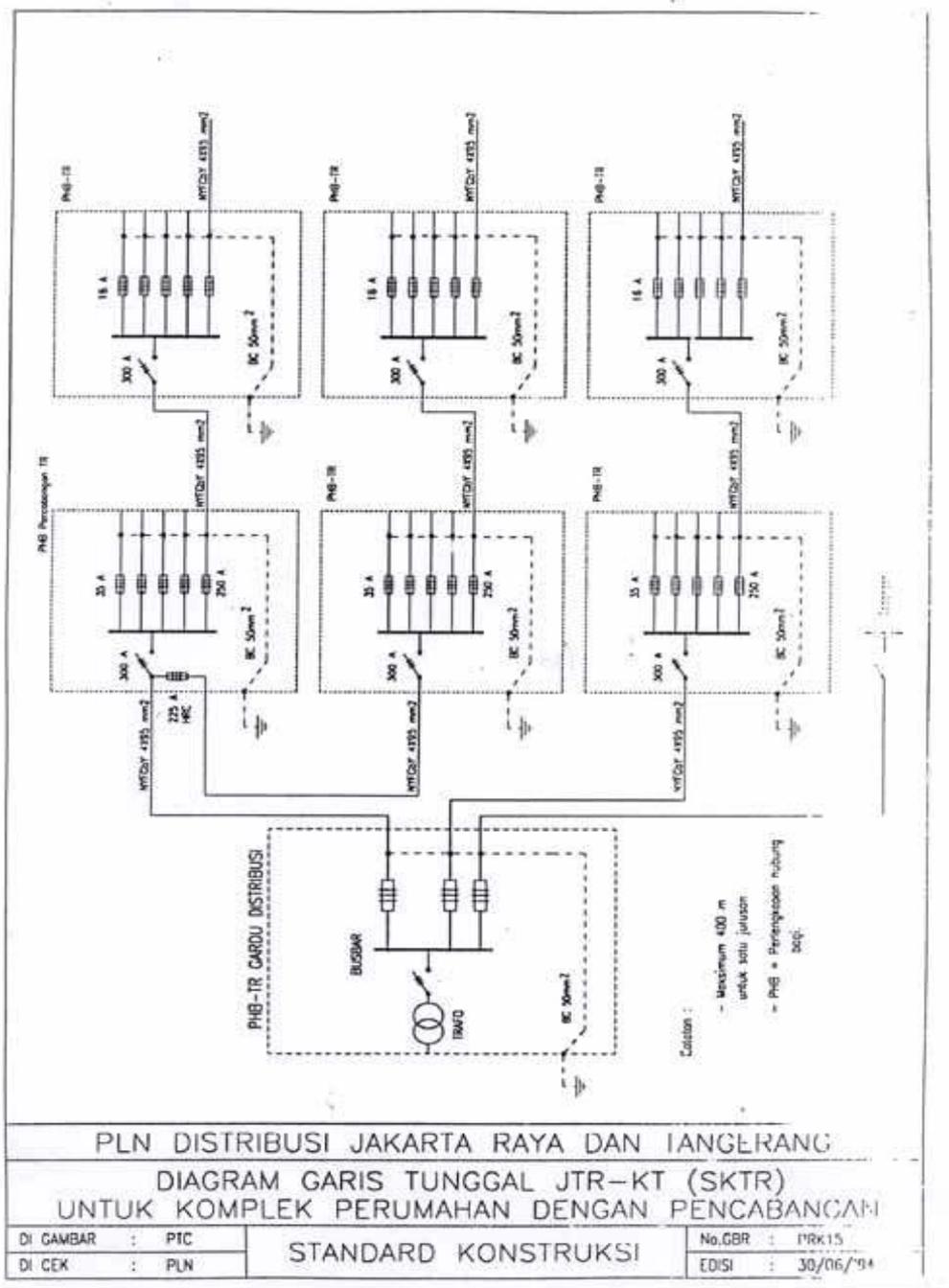
Gambar 3.1. Gambar nomogram JTR



Gambar 3.2. Gambar Tiang Awal Dengan 2 JTR



Gambar 3.3. Gambar Tiang Beton JTR



Gambar 3.4. Gambar Sambungan JTR Kabel Tanah

3.5. Perhitungan KVA Trafo Menggunakan Variabel Umum

Dalam perancangan kapasitas suatu trafo satu phasa atau tiga phasa untuk melayani konsumen disebut dengan menentukan ukuran atau menentukan rating KVA trafo yang akan dipasang. Dengan menggunakan variabel umum, seseorang

dapat menghitung rating KVA yang diperlukan atau ukuran trafo untuk suatu proyek, atau permintaan dari konsumen industri atau konsumen domestik seperti perguruan Tinggi besar atau Mall. Teori umum untuk menentukan kapasitas trafo tersebut adalah menggunakan tegangan beban dan arus beban

3.5.1. Perhitungan KVA Fase Tunggal

Rumus untuk menemukan ukuran KVA atau transformator yang diperlukan untuk daya fase tunggal adalah sebagai berikut:

$$\text{Volts} \times \text{Amps} / 1,000 = \text{KVA} \dots\dots\dots (3.1)$$

Berdasarkan persamaan, seseorang perlu memasukkan tegangan/arus keluaran (sekunder) dan arus (amp) yang tepat untuk menghitung untuk KVA. Perhatikan bahwa tegangan beban tidak sama dengan tegangan listrik, yang juga dikenal sebagai tegangan atau input primer. Misalnya ingin menentukan KVA atau ukuran trafo untuk tegangan beban 120V 1xPH dan arus beban 50 amp.

$$\text{Maka } 120 \times 50 / 1,000 = \text{KVA}, \quad 6,000 / 1,000 = \text{KVA} = 6 \text{ KVA}$$

3.5.2. Perhitungan KVA Tiga Fase

Bisnis yang memerlukan daya tiga fase perlu menambahkan komponen tambahan dalam rumus untuk mencapai ukuran trafo yang benar, yaitu akar kuadrat dari 3 ($\sqrt{3}$) atau 1.732. Angka ini adalah konstanta yang ditemukan dalam tiga fase, karena fase tidak menghasilkan jumlah daya yang sama (secara bersamaan). Selanjutnya, transformator fase-tiga menangani tiga garis daya AC, dengan masing-masing dari tiga garis 120 derajat keluar dari fase dari dua garis lainnya.

Dengan pemikiran ini, formula baru dapat ditemukan di bawah ini:

$$\text{Volts} \times \text{Amps} \times \sqrt{3} / 1,000 = \text{KVA}$$

Seandainya ditemukan ukuran KVA atau trafo untuk tegangan beban 240 3PH dan arus beban amp 60.

Dengan demikian kapasitas trafo $240 \times 60 \times 1.732 / 1,000 = \text{KVA}$

= 24.94 KVA (atau 25 KVA setelah pembulatan)

Ukuran Ekspansi Masa Depan dan Ukuran Transformator Standar

Komputasi untuk KVA yang diperlukan bukan merupakan langkah terakhir dalam menentukan ukuran trafo yang tepat. Sebagian besar perhitungan (terutama untuk beban tiga fase) tidak menyediakan seluruh angka. Akibatnya, nilai harus dibulatkan, seperti yang terlihat pada contoh di atas. Ini adalah praktik terbaik untuk selalu mengumpulkan dan tidak turun. Selanjutnya, untuk faktor dalam ekspansi masa depan dan mencegah risiko yang terkait dengan overloading yang tidak disengaja, seseorang harus menambahkan 20 persen dari kapasitas cadangan. Dengan mengambil sampel tiga fase lagi, kami cukup menambahkan 20 persen ke gambar bulat: $25 \text{ KVA} + 5 = 30 \text{ KVA}$. Terakhir, orang mungkin menemukan bahwa ukuran transformator khusus yang dibutuhkan tidak ditawarkan atau tidak tersedia oleh toko atau produsen yang disukai. Dalam kebanyakan kasus, ini karena ada ukuran KVA standar untuk transformer. Jika Anda tidak dapat menemukan ukuran yang Anda butuhkan, cukup bulatkan lagi ke ukuran KVA standar berikutnya. Untuk referensi, di bawah ini adalah ukuran KVA standar untuk transformator fase tunggal adalah 1, 1.5, 2, 3, 5, 7.5, 10, 15, 25, 37.5, 50, 75, 100, 167, 200, 250, dan 333 (KVA). Mengambil jawaban dari contoh fase tunggal di atas - 6 KVA atau 7.2 KVA (dengan kapasitas cadangan 20 persen); kita dapat melihat bahwa tidak ada standar satu fase setara yang tersedia. Sebagai solusinya, cukup bulatkan ke ukuran KVA fase tunggal standar berikutnya: 7.5 KVA.

Ukuran standar untuk transformator fase-tiga: 3, 6, 9, 15, 30, 45, 75, 112.5, 150, 225, 300, 500, 750, dan 1,000 (KVA). Dengan mengambil gambar tiga fase terakhir dari 30 KVA, kita dapat melihat bahwa itu cocok dengan ukuran trafo tiga fase standar di atas, yaitu, 30 KVA. Tidak diperlukan pembulatan atau konversi lebih lanjut, karena 30 KVA adalah ukuran transformator tiga fase standar.

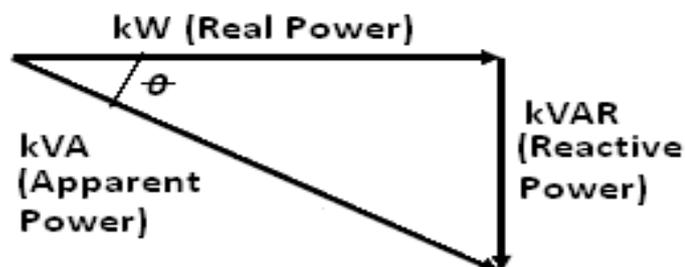
Kapasitas transformator dan kemampuan beban yang disupplynya – Sebuah transformator dilengkapi dengan nameplate yang menampilkan beberapa

informasi terkait spesifikasi transformator tersebut, terutama kapasitas transformator yang satuannya adalah VA, kVA atau MVA.

Dari pengalaman yang sering dapat dilapangan mengenai pemahaman tentang kapasitas transformator dengan besarnya kemampuan daya yang dapat disuplaynya untuk memenuhi kebutuhan beban yang terpasang.

Permasalahan yang ditemui adalah, masih banyaknya yang menganggap nilai sebuah kapasitas transformator (VA) menandakan besarnya nilai daya (kW) yang dapat disuplay oleh transformator tersebut.

Dari pemahaman tersebut tidak sepenuhnya salah bila kita berhadapan dengan bebanyang resistif, karena pada beban yang resistif hanya mengenal beban tahanan murni yaitu R dalam satuan ohm. Sehingga bila beban yang disuplay oleh sebuah transformator adalah tahanan murni maka daya yang diserapnya cukup dengan rumusan $V \times I$, cocok dengan satuan kapasitas transformator yaitu VA (Volt-Ampere). Pembahasan mengenai kapasitas daya dari transformator tidak lepas dari aturan dasar dari segi tiga daya, S (VA), P (kW) dan Q (kVAR) sbb :



Dimana $P = kW$, $Q = kVAR$ dan $S = kVA$

Bila beban resistif, sudut θ adalah 0° , karena nilai Q adalah 0 maka garis S berhimpit dengan garis P, sehingga nilai S sama dengan P atau nilai VA = kW. Lain halnya kalau beban yang akan disuplay bersifat kapasitif atau induktif. Sehingga nilai Q akan muncul, dan sudut θ akan berubah menyesuaikan dengan besar kecilnya nilai Q.

$\cos \theta$ merupakan nilai cosinus dari besarnya sudut yang dibentuk yang sering dikenal dengan istilah faktor daya. Dalam hal ini, yang penting untuk diingat adalah rumus segitiga daya, dimana :

Untuk 3 phasa dinyatakan dengan :

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \theta, Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \theta, \dots\dots\dots (3.2)$$

$$S = \sqrt{3} \times V \times I = \sqrt{(P^2 + Q^2)} \dots\dots\dots (3.3)$$

Untuk 1 phasa dinyatakan dengan

$$P = V \times I \times \cos \theta, Q = V \times I \times \sin \theta, S = V \times I = \sqrt{(P^2 + Q^2)} \dots\dots\dots (3.4)$$

Untuk merencanakan berapa besar kapasitas transformator yang dibutuhkan untuk menyuplay suatu beban tidak semudah yang diperkirakan, tidak cukup dengan formula segi tiga daya saja, perlu kajian mendalam mengenai load flow analisis, karakteristik beban, pola pembebanan dan sebagainya. Dalam tugas akhir ini tidak akan membahas hal – hal rumit tersebut, disini akan dicoba menyampaikan secara sederhana terkait kapasitas transformator yang akan digunakan.

Pada prakteknya, beban yang ditemui tidak selamanya bersifat resistif, disana ada komponen induktif dan komponen kapasitif. Sehingga dengan adanya sifat beban tersebut, maka nilai Q pada segitiga daya akan muncul. Bisa minus ataupun plus. Dan segi tiga dayapun bisa mengarah keatas ataupun kebawah, sesuai dengan sudut θ yang dibentuk akibat berubahnya nilai Q.

Kapasitas transformator, sampai kapanpun satuan kapasitas transformator adalah VA, bisa kVA ataupun MVA. **Pertanyaannya** adalah, kenapa tidak kW menyesuaikan dengan satuan beban yang akan disuplaynya. **Jawabannya** adalah, karena transformator bukanlah sebuah beban, transformator berfungsi untuk menyuplai beban dengan arus maksimum yang sesuai dengan kapasitasnya. Apabila sebuah transformator tiga phasa memiliki kapasitas tertentu, misalkan 1000 kVA dengan tegangan sisi LV adalah 380 V. Berarti berdasarkan rumus, $S = \sqrt{3} \times V \times I$, arus maksimum yang bisa dialirkannya adalah : $S = \sqrt{3} \times V \times I, I = S / (\sqrt{3} \times V)$ maka $I = 1000 \text{ kVA} / ((\sqrt{3} \times 380)) = 1519 \text{ A}$. Dari hasil perhitungan diatas, transformator dibebani 100% pada arus sebesar 1519 A. Sekarang kita beralih ke beban yang akan disuplaynya. Perlu diingat bahwa beban yang ditemui dilapangan tidak selalu murni resistif, kadangkala bersifat induktif maupun kapasitif. Dikarenakan sifat beban tersebut, maka nilai Q akan timbul. Dikarenakan adanya nilai Q, maka akan ada sudut θ . Sehingga ada nilai

faktor daya disana sesuai dengan nilai Cosinus dari sudut yang dibentuk. Pada rumusan segitiga daya, nilai P untuk tiga phasa dihitung dari : $P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \theta$, Dikarenakan S untuk tiga phasa adalah $= \sqrt{3} \times V \times I$, Maka P bisa disederhanakan menjadi,

$$P = S \times \cos \theta \dots\dots\dots (3.5)$$

Kapasitas transformator untuk menyuplai beban tertentu harus sesuai dengan VA nya (S), tapi pada daya berapa P (kW) sebuah transformator bisa menyuplai 100% tergantung dari besarnya nilai Faktor daya yang ditimbulkan oleh sifat beban yang akan disuplaynya.

Nilai maksimum $\cos \theta$ atau faktor daya adalah 1 yaitu pada sudut $\theta = 0^\circ$ pada segitiga daya, dimana nilai $Q = 0$, sehingga $S = P$. Hal ini sesuai dengan kaidah trigonometri , $\cos 0^\circ = 1$. Ketika beban yang disuplay transformator bersifat induktif atau kapasitif, nilai Q akan berubah, sehingga sudut θ akan terbentuk, membesar atau mengecil sesuai dengan nilai Q. Sudut θ yang terbentuk ada dalam range $0^\circ - 90^\circ$. Sehingga nilai $\cos \theta$ (faktor daya) ada pada range nilai $1 - 0$.