

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 TINJAUAN PUSTAKA

- a) Menurut Kongah Dendi dkk (2014) Pembebanan pada Transformator gardu selatan UNTAD berdasarkan kapasitas trafo mencapai 70 %. Terjadinya jatuh tegangan terendah 185 Volt telah melewati ketentuan standar PUIL dimana jatuh tegangan pada jaringan tegangan rendah adalah 4 %. Hal ini disebabkan karena wilayah yang disuplai oleh gardu selatan sangat luas dan panjang jaringan yang cukup jauh sehingga telah melebihi ketentuan SPLN yaitu maksimal 350 meter (SPLN D3.002-1, 2007). Ketidakseimbangan beban yang terukur pada gardu selatan diakibatkan oleh pembebanan tiap fasa tidak sama pada beberapa gedung dan walaupun pembagian beban tiap fasanya sudah sama tetapi pemakaian alat-alat Laboratorium dan elektronika tidak secara bersamaan di gunakan.

- b) Menurut Sriwati (2013). Laju pertumbuhan beban transformator distribusi pada Transformator I sebesar 5,92 % per triwulan, artinya bila diperkirakan transformator distribusi ini dipakai selama $100 \% : 5,92 \% = 16,89$ triwulan atau 4,22 Tahun. Untuk memprediksi beban (VA) transformator distribusi ditemukan model persamaan ini, adalah $Y = 38\ 415,14 + 2545,19 X$. Transformator ini telah diganti dengan kapasitas 100 kVA pada triwulan III

Tahun 2006, lalu menurut prediksi model, pada triwulan II tahun 2011 bebannya mencapai 99.499,70 VA selanjutnya diganti dengan kapasitas 200 kVA, lalu pada triwulan IV tahun 2020 bebannya akan maksimum mencapai 196.216,92 VA, dan harus diganti menjadi kapasitas 315 kVA.

- c) Safriyudin (2011), penelitian terhadap transformator jaringan distribusi 20 KV di APJ Yogyakarta. Dalam perhitungan regresi linier yang dilakukan pada transformator 20KV mendapat nilai error 13,3% dari standarisasi PLN sebesar batas pemakaian transformator. Maka waktu pakai transformator berkurang selama 8 bulan dari standarisasi pemakaian transformator selama 5 tahun. Maka sisa waktu pemakaian transformator adalah 4 tahun 4 bulan.
- d) Elias K. B (2013) ,penelitian terhadap pembebanan transformator Gardu Induk 150 KV Wirobrajan. Standar toleransi kelayakan kapasitas transformator wirobrajan sebesar 85% yaitu 50,89 MVA untuk fungsi eksponensial dan 48.07 MVA dengan fungsi polynomial dengan arus pembebanan 84,81% yaitu sebesar 230,72 ampere tercapai pada tahun 2025.
- e) AryNugraha T, S (2014) Penelitian penulis terhadap perkembangan beban listrik di kecamatan Ranah Pesisir. Prediksi beban listrik Kec. Ranah Pesisir mulai tahun 2010 sampai tahun 2025 menggunakan metode persamaan eksponensial dengan nilai standard errorestimasi yang terkecil, sehingga didapatkan hasil prediksi pada tahun 2010 pelanggan akan diperkirakan menjadi 4.078,17 pelanggan dan tahun 2025 menjadi 9.575,38

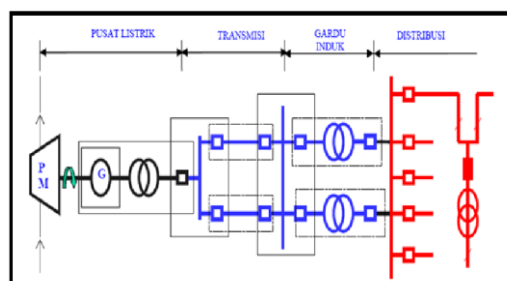
pelanggan, untuk daya tersambung pada tahun 2010 diperkirakan menjadi 3.190.010,45 VA dan tahun 2025 menjadi 14.401.741,92, dan untuk pemakaian energy listrik diperkirakan menjadi 326.464,06 kWh dan tahun 2025 menjadi 1.602.199,84 kWh

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 Penyaluran Tenaga listrik

Sistem penyaluran tenaga listrik dari pembangkit tenaga listrik kekonsumen (beban), prosesnya melalui beberapa tahap, yaitu dari pembangkit tenaga listrik penghasil energi listrik, di salurkannya ke jaringan distribusi primer (SUTM), dan melalui gardu distribusi langsung ke jaringan distribusi skunder (SUTR), tenaga listrik dialirkan ke konsumen.

Jaringan tenaga listrik secara garis besar terdiri dari pusat pembangkit jaringan transmisi (gardu induk dan saluran transmisi) dan jaringan distribusi, seperti gambar 2.1 (Nugroho FA, 2016)



Gambar 2.1 Jaringan system tenaga listrik

<http://www.pustakalistrik.tk/2016/09/proses-penyaluran-energi-listrik.html>

2.2.2 Gardu Induk

Gardu Induk merupakan sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik, atau merupakan satu kesatuan dari sistem penyaluran (transmisi), Penyaluran (transmisi) merupakan sub sistem dari sistem tenaga listrik. Berarti, gardu induk merupakan sub-sub sistem dari sistem tenaga listrik. Sebagai sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi), gardu induk mempunyai peranan penting, dalam pengoperasiannya tidak dapat dipisahkan dari sistem penyaluran (transmisi) secara keseluruhan. Dalam pembahasan ini difokuskan pada masalah gardu induk yang pada umumnya terpasang di Indonesia, pembahasannya bersifat praktis (terapan) sesuai konstruksi yang terpasang di lapangan. Tegangan yang dibangkitkan generator terbatas dalam belasan kilovolt, sedangkan transmisi membutuhkan tegangan dalam puluhan sampai ratusan kilovolt, sehingga diantara pembangkit dan transmisi dibutuhkan trafo daya step up. Oleh karena itu, semua peralatan yang terpasang di sisi sekunder trafo ini harus mampu memikul tegangan tinggi. Tegangan transmisi dalam puluhan sampai ratusan kilovolt sedangkan konsumen membutuhkan tegangan ratusan sampai dua puluhan kilovolt, sehingga diantara transmisi dan konsumen dibutuhkan trafo daya step down. Semua perlengkapan yang terpasang di sisi primer trafo ini juga harus mampu memikul tegangan tinggi. Trafo- trafo daya ini bersama perlengkapan-perengkapannya disebut gardu induk. (Baihaqy Caesar dkk, 2011)

2.2.3 Fungsi Gardu Induk

1. Mentransformasikan daya listrik :
 - a) Dari tegangan ekstra tinggi ke tegangan tinggi (500 KV/150 KV).
 - b) Dari tegangan tinggi ke tegangan yang lebih rendah (150 KV/ 70 KV).
 - c) Dari tegangan tinggi ke tegangan menengah (150 KV/ 20 KV, 70 KV/20 KV).
 - d) Dengan frekuensi tetap (di Indonesia 50 Hertz).
 - e) Untuk pengukuran, pengawasan operasi serta pengamanan dari sistem tenaga listrik.
 - f) Pengaturan pelayanan beban ke gardu induk-gardu induk lain melalui tegangan tinggi dan ke gardu distribusi-gardu distribusi, setelah melalui proses penurunan tegangan melalui penyulang-penyulang (*feeder- feeder*) tegangan menengah yang ada di gardu induk.
 - g) Untuk sarana telekomunikasi (pada umumnya untuk internal PLN), yang kita kenal dengan istilah SCADA

(Baihaqy Caesar dkk, 2011)

2.2.4 Jenis Gardu Induk

1. Jenis Gardu Induk bisa dibedakan menjadi beberapa bagian yaitu :
 - a) Berdasarkan besaran tegangannya.
 - b) Berdasarkan pemasangan peralatan

- c) Berdasarkan fungsinya.
 - d) Berdasarkan isolasi yang digunakan.
 - e) Berdasarkan sistem (*busbar*).
2. Dilihat dari jenis komponen yang digunakan, secara umum antara GITET dengan GI mempunyai banyak kesamaan. Perbedaan mendasar adalah :
- a) Pada GITET transformator daya yang digunakan berupa 3 buah transformator daya masing – masing 1 phasa (bank tranformer) dan dilengkapi peralatan reaktor yang berfungsi mengkompensasikan daya rekatif jaringan.
 - b) Sedangkan pada GI (150 KV, 70 KV) menggunakan Transformator daya 3 phasa dan tidak ada peralatan reaktor.
3. Berdasarkan besaran tegangannya, terdiri dari :
- a) Gardu Induk Tegangan Ekstra Tinggi (GITET) 275 KV, 500 KV.
 - b) Gardu Induk Tegangan Tinggi (GI) 150 KV dan 70 KV.
4. Berdasarkan Pemasangan Peralatan
- 1. Gardu Induk Pasangan Luar :
 - a) Adalah gardu induk yang sebagian besar komponennya di tempatkan di luar gedung, kecuali komponen kontrol, sistem proteksi dan sistem kendali serta komponen bantu lainnya, ada di dalam gedung.
 - b) Gardu Induk semacam ini biasa disebut dengan gardu induk konvensional.

c) Sebagian besar gardu induk di Indonesia adalah gardu induk konvensional.

d) Untuk daerah-daerah yang padat pemukiman dan di kota-kota besar di Pulau Jawa, sebagian menggunakan gardu induk pasangan dalam, yang disebut *Gas Insulated Substation* atau *Gas Insulated Switchgear* (GIS).

2. Gardu Induk Pasangan Dalam :

a) Gardu induk pemasangan dalam adalah gardu induk yang hampir semua komponennya (*switchgear, busbar, isolator*, komponen kontrol, komponen kendali, *cubicle*, dan lain-lain) dipasang di dalam gedung. Kecuali transformator daya, pada umumnya dipasang di luar gedung.

b) Gardu Induk semacam ini biasa disebut *Gas Insulated Substation* (GIS).

c) GIS merupakan bentuk pengembangan gardu induk, yang pada umumnya dibangun di daerah perkotaan atau padat pemukiman yang sulit untuk mendapatkan lahan.

3. Beberapa keunggulan GIS dibanding GI konvensional :

a) Hanya membutuhkan lahan seluas ± 3.000 meter persegi atau $\pm 6\%$ dari luas lahan GI konvensional.

b) Mampu menghasilkan kapasitas daya (*power capacity*) sebesar 3×60 MVA bahkan bisa ditingkatkan sampai dengan 3×100 MVA.

c) Jumlah penyulang keluaran (*output feeder*) sebanyak 24 penyulang (*feeder*) dengan tegangan kerja masing-masing 20 KV.

- d) Bisa dipasang di tengah kota yang padat pemukiman.
- e) Keunggulan dari segi estetika dan arsitektural, karena bangunan bisa didesain sesuai kondisi disekitarnya. Gardu Induk kombinasi pasangan luar dan pasangan dalam Adalah gardu induk yang komponen switchgear-nya ditempatkan di dalam gedung dan sebagian komponen switchgear ditempatkan di luar gedung, misalnya *gantry (tie line)* dan saluran udara tegangan tinggi (SUTT) sebelum masuk ke dalam switchgear. Transformator daya juga ditempatkan di luar gedung.

5. Berdasarkan Fungsinya Gardu Induk Penaik Tegangan Mempunyai Karakteristik

1. Gardu Induk Penurun Tegangan :

- a) Adalah gardu induk yang berfungsi untuk menurunkan tegangan, dari tegangan tinggi menjadi tegangan tinggi yang lebih rendah dan menengah atau tegangan distribusi.
- b) Gardu Induk terletak di daerah pusat-pusat beban, karena di gardu induk inilah pelanggan (beban) dilayani.

2. Gardu Induk Pengatur Tegangan :

- a) Pada umumnya gardu induk jenis ini terletak jauh dari pembangkit tenaga listrik.
- b) Karena listrik disalurkan sangat jauh, maka terjadi tegangan jatuh (*voltage drop*) transmisi yang cukup besar.

c) Oleh karena diperlukan alat penaik tegangan, seperti *bank capacitor*, sehingga tegangan kembali dalam keadaan normal.

3. Gardu Induk Pengatur Beban :

- a) Berfungsi untuk mengatur beban.
- b) Pada gardu induk ini terpasang beban motor, yang pada saat tertentu menjadi pembangkit tenaga listrik, motor berubah menjadi generator dan suatu saat generator menjadi motor atau menjadi beban, dengan generator berubah menjadi motor yang memompakan air kembali ke kolam utama.

4. Gardu Induk Distribusi :

- a) Gardu induk yang menyalurkan tenaga listrik dari tegangan sistem ke tegangan distribusi.
- b) Gardu induk ini terletak di dekat pusat-pusat beban.

6. Berdasarkan Isolasi Yang digunakan Gardu Induk yang menggunakan isolasi udara

- 1. Adalah gardu induk yang menggunakan isolasi udara antara bagian yang bertegangan yang satu dengan bagian yang bertegangan lainnya.
- 2. Gardu Induk ini berupa gardu induk konvensional (lihat gambar 2.2), memerlukan tempat terbuka yang cukup luas.



Gambar 2.2 Gardu induk konvensional

http://www.kompasiana.com/trojanganjen/mengenal-gardu-induk-listrik_55301d746ea83463298b45b7

3. Gardu Induk yang menggunakan isolasi gas SF 6 :

- a) Gardu induk yang menggunakan gas SF 6 sebagai isolasi antara bagian yang bertegangan yang satu dengan bagian lain yang bertegangan, maupun antara bagian yang bertegangan dengan bagian yang tidak bertegangan.
- b) Gardu induk ini disebut Gas Insulated Substation atau Gas
- c) Insulated Switchgear (GIS), yang memerlukan tempat yang sempit.

(Baihaqy Caesar dkk, 2011)



Gambar 2.3 Gas Insulated Substation

http://www.kompasiana.com/trojanganjen/mengenal-gardu-induk-listrik_55301d746ea83463298b45b7

2.2.5 Transformator

1. Umum

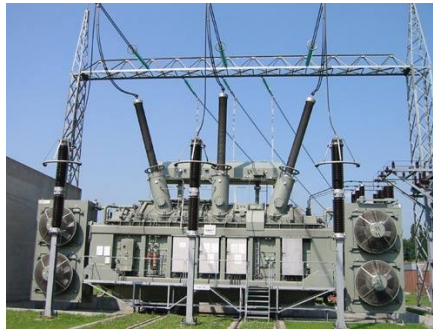
Transformator merupakan suatu alat listrik yang termasuk ke dalam klasifikasi mesin listrik static yang berfungsi menyalurkan tenaga/daya listrik dari tinggi ke tegangan rendah dan sebaliknya. Atau dapat juga diartikan mengubah tegangan arus bolak-balik dari satu tingkat ke tingkat yang lain melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip-prinsip induksi-elektromagnet. Transformator terdiri atas sebuah inti, yang terbuat dari besi berlapis dan dua buah kumparan, yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder. Transformator digunakan secara luas, baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga listrik memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan, misalnya kebutuhan akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh. Dasar teori dari transformator adalah apabila ada arus listrik bolak-balik yang mengalir mengelilingi suatu inti besi maka inti besi itu akan berubah menjadi magnet dan apabila magnet tersebut dikelilingi oleh suatu belitan maka pada kedua ujung belitan tersebut akan terjadi beda tegangan mengelilingi magnet, sehingga akan timbul Gaya Gerak Listrik (GGL). (Kadir Abdul, 1976)

2. Jenis-jenis Transformator

Ada beberapa jenis trafo yang dikenal dan digunakan secara luas di masyarakat, diantaranya adalah :

- a) Transformator Daya

Adalah trafo yang biasa digunakan di GI baik itu GI baik itu GI Pembangkit dan GI Distribusi dimana trafo tersebut memiliki kapasitas daya yang besar. Di GI Pembangkit, trafo digunakan untuk menaikkan tegangan ke tegangan transmisi/tinggi (150/500kV). Sedangkan di GI Distribusi, trafo digunakan untuk menurunkan tegangan transmisi ke tegangan primer/menengah (11,6/20kV).



Gambar 2.4 Transformator Daya

[http://4.bp.blogspot.com/-](http://4.bp.blogspot.com/-a2EclGuaM60/T_bjMQpmLpI/AAAAAAAAEuY/GIWZd6f4SHk/s1600/Core-and-coil+assembly+of+a+power+transformer.jpg)

[a2EclGuaM60/T_bjMQpmLpI/AAAAAAAAEuY/GIWZd6f4SHk/s1600/Core-and-coil+assembly+of+a+power+transformer.jpg](http://4.bp.blogspot.com/-a2EclGuaM60/T_bjMQpmLpI/AAAAAAAAEuY/GIWZd6f4SHk/s1600/Core-and-coil+assembly+of+a+power+transformer.jpg)

b) Transformator Distribusi

Adalah trafo yang digunakan untuk menurunkan tegangan menengah (11,6/20kV) menjadi tegangan rendah (220/380V). Trafo ini tersebar luas di lingkungan masyarakat dan mudah mengenalinya karena biasa dicantol di tiang. Oleh karena itu, biasa juga disebut dengan gardu cantol. Dalam tulisan ini, penulis hanya membahas tentang trafo ini saja.



Gambar 2.5 Transformator Distribusi

<http://muhamadrizkifauzikadili.blogspot.co.id/2012/06/trafo-distribusi.html>

c) Trafo Tegangan

Adalah trafo yang digunakan untuk mengambil input data masukan berupa besaran tegangan dengan cara perbandingan belitan pada belitan primer atau sekunder. Trafo ini biasa digunakan untuk pengukuran tak langsung beban yang mengalir ke pelanggan kemudian membatasinya. Selain itu bisa juga besaran tegangannya diambil sebagai input data masukan peralatan pengaman jaringan.



Gambar 2.6 Transformator Tegangan

<http://all-thewin.blogspot.co.id/2012/04/transformator-trafo-arus-dan-trafo.html>

d) Transformator Arus

Adalah trafo yang digunakan untuk mengambil input data masukan berupa besaran arus dengan cara perbandingan belitan pada belitan primer atau sekunder. Trafo ini biasa digunakan untuk pengukuran tak langsung beban arus yang mengalir ke pelanggan kemudian membatasinya. Selain itu bisa juga besaran arusnya diambil sebagai input data masukan peralatan pengaman jaringan. (Kadir abdul, 1976)



Gambar 2.7 Transformator Arus

<http://all-thewin.blogspot.co.id/2012/04/transformator-trafo-arus-dan-trafo.html>

3. Prinsip Kerja Transformator

Transformator (trafo) adalah alat yang digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan bolak-balik (AC). Transformator terdiri dari 3 komponen pokok yaitu: kumparan pertama (primer) yang bertindak sebagai input, kumparan kedua (skunder) yang bertindak sebagai output, dan inti besi yang berfungsi untuk memperkuat medan magnet yang dihasilkan.

Prinsip kerja dari sebuah transformator adalah sebagai berikut. Ketika Kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, perubahan arus listrik pada kumparan primer menimbulkan medan magnet yang berubah.

Medan magnet yang berubah diperkuat oleh adanya inti besi dan dihantarkan inti besi ke kumparan sekunder, sehingga pada ujung-ujung kumparan sekunder akan timbul ggl induksi. Efek ini dinamakan induktansi timbal-balik (mutual inductance).

Pada skema transformator di bawah ini, ketika arus listrik dari sumber tegangan yang mengalir pada kumparan primer berbalik arah (berubah polaritasnya) medan magnet yang dihasilkan akan berubah arah sehingga arus listrik yang dihasilkan pada kumparan sekunder akan berubah polaritasnya.

(Parlindung Gustaf, 2010)

Hubungan antara tegangan primer, jumlah lilitan primer, tegangan sekunder, dan jumlah lilitan sekunder, dapat dinyatakan dalam persamaan

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad (2.1)$$

V_p = tegangan primer (volt)

V_s = tegangan sekunder (volt)

N_p = jumlah lilitan primer

N_s = jumlah lilitan sekunder

Simbol Transformator

Berdasarkan perbandingan antara jumlah lilitan primer dan jumlah lilitan skunder transformator ada dua jenis yaitu:

1. Transformator step up yaitu transformator yang mengubah tegangan bolak-balik rendah menjadi tinggi, transformator ini mempunyai jumlah lilitan kumparan sekunder lebih banyak daripada jumlah lilitan primer ($N_s > N_p$).

2. Transformator step down yaitu transformator yang mengubah tegangan bolak-balik tinggi menjadi rendah, transformator ini mempunyai jumlah lilitan kumparan primer lebih banyak daripada jumlah lilitan sekunder ($N_p > N_s$).

Pada transformator (trafo) besarnya tegangan yang dikeluarkan oleh kumparan sekunder adalah:

1. Sebanding dengan banyaknya lilitan sekunder ($V_s \sim N_s$).

2. Sebanding dengan besarnya tegangan primer ($V_s \sim V_p$).

3. Berbanding terbalik dengan banyaknya lilitan primer,

$$\left(V_s \sim \frac{1}{N_p} \right) \quad (2.2)$$

Sehingga dapat dituliskan:

$$\underline{V_s = \frac{N_s}{N_p} \times V_p} \quad (2.3)$$

Penggunaan Transformator

Transformator (trafo) digunakan pada peralatan listrik terutama yang memerlukan perubahan atau penyesuaian besarnya tegangan bolak-balik. Misal radio memerlukan tegangan 12 volt padahal listrik dari PLN 220 volt, maka diperlukan transformator untuk mengubah tegangan listrik bolak-balik 220 volt menjadi

tegangan listrik bolak-balik 12 volt. Contoh alat listrik yang memerlukan transformator adalah: TV, komputer, mesin foto kopi, gardu listrik dan sebagainya. (Parlindung Gustaf, 2010)

Contoh cara menghitung jumlah lilitan sekunder:

Untuk menyalakan lampu 10 volt dengan tegangan listrik dari PLN 220 volt digunakan transformator step down. Jika jumlah lilitan primer transformator 1.100 lilitan, berapakah jumlah lilitan pada kumparan sekundernya ?

Penyelesaian:

Diketahui: $V_p = 220 \text{ V}$

$V_s = 10 \text{ V}$

$N_p = 1100$ lilitan

Ditanyakan: $N_s = \dots\dots\dots ?$

Jawab:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s}$$
$$\frac{220}{10} = \frac{1100}{N_s}$$
$$N_s = \left(\frac{10V}{220V} \right) \times 1100$$
$$N_s = 50$$

Jadi, banyaknya lilitan sekunder adalah 50 lilitan

2.2.6 Transformator 3 fasa

Transformator tiga fasa pada prinsipnya sama dengan transformator satu fasa, perbedaannya adalah pada transformator tiga fasa mengenal adanya hubungan bintang, segitiga dan hubungan zig-zag, dan juga system bilangan jam yang sangat menentukan kerja paralel tiga fasa. Untuk menganalisa transformator tiga fasa dilakukan dengan cara menganggap bahwa transformator tiga fasa sebagai transformator satu fasa, teknik perhitungannya pun sama, hanya untuk nilai akhir biasanya parameter tertentu (arus, tegangan, dan daya) transformator tiga fasa dikalikan dengan nilai $\sqrt{3}$. Transformator tiga fasa dikembangkan untuk alasan ekonomis, biaya lebih murah karena bahan yang digunakan lebih sedikit dibandingkan tiga buah transformator satu fasa dengan jumlah daya yang sama dengan satu buah transformator tiga fasa, penerjaannya lebih cepat.

Transformator tiga fasa adalah trafo yang sering dipakai hal ini dikarenakan :

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

(Caesar furqon, 2016)

2.2.7 Prinsip kerja Traro 3 Fase

Sebuah transformator tiga fasa secara prinsip sama dengan sebuah transformator satu fasa, perbedaan yang paling mendasar adalah pada sistem

kelistrikkannya yaitu sistem satu fasa dan tiga fasa. Sehingga sebuah transformator tiga fasa bisa dihubung bintang, segitiga, atau zig-zag. Transformator tiga fasa banyak digunakan pada sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik karena pertimbangan ekonomis. Transformator tiga fasa banyak sekali mengurangi berat dan lebar kerangka, sehingga harganya dapat dikurangi bila dibandingkan dengan penggabungan tiga buah transformator satu fasa dengan “rating” daya yang sama.

Tetapi transformator tiga fasa juga mempunyai kekurangan, di antaranya bila salah satu fasa mengalami kerusakan, maka seluruh transformator harus dipindahkan (diganti), tetapi bila transformator terdiri dari tiga buah transformator satu fasa, bila salah satu fasa transformator mengalami kerusakan. Sistem masih bisa dioperasikan dengan sistem “open delta”.

(Parlindung Gustaf, 2010)

2.3 Peramalan

Peramalan (*forecasting*) adalah kegiatan memperkirakan atau memprediksikan apa yang akan terjadi pada masa yang akan datang dengan waktu yang relatif lama. Sedangkan ramalan adalah suatu situasi atau kondisi yang akan diperkirakan akan terjadi pada masa yang akan datang. Untuk memprediksi hal tersebut diperlukan data yang akurat di masa lalu, sehingga dapat dilihat prospek situasi dan kondisi di masa yang akan datang. Pada umumnya kegunaan peramalan adalah sebagai berikut :

1. Sebagai alat bantu dalam perencanaan yang efektif dan efisien.

2. Untuk menentukan kebutuhan sumber daya di masa mendatang.
3. Untuk membuat keputusan yang tepat.

Kegunaan peramalan terlihat pada suatu pengambilan keputusan. Keputusan yang baik adalah keputusan yang didasarkan atas pertimbangan apa yang akan terjadi pada waktu keputusan dalam berbagai kegiatan perusahaan. Baik tidaknya hasil suatu penelitian sangat ditentukan oleh ketetapan ramalan yang dibuat. Walaupun demikian perlu diketahui bahwa ramalan selalu ada unsur kesalahannya, sehingga yang perlu diperhatikan adalah usaha untuk memperkecil kesalahan dari ramalan tersebut. (Makridakis, 2005)

2.3.1 Jenis-jenis Peramalan

1. Peramalan Kualitatif

Peramalan kualitatif adalah peramalan yang didasarkan atas data kualitatif pada masa lalu. Hasil peramalan yang dibuat sangat bergantung pada orang yang menyusunnya. Hal ini penting karena hasil peramalan tersebut ditentukan berdasarkan pendapat dan pengetahuan serta pengalaman penyusunnya.

2. Peramalan Kuantitatif

Peramalan kuantitatif adalah peramalan yang didasarkan atas data kuantitatif masa lalu. Hasil peramalan yang dibuat sangat tergantung pada metode yang dipergunakan dalam peramalan tersebut. Baik tidaknya metode yang dipergunakan oleh perbedaan atau penyimpangan antara hasil ramalan dengan

kenyataan yang terjadi. Semakin kecil penyimpangan antara hasil ramalan dengan kenyataan yang terjadi maka semakin baik pula metode yang digunakan.

Peramalan Kuantitatif dapat diterapkan bila terdapat kondisi berikut :

- a. Tersedia informasi (data) tentang masalah
- b. Informasi (data) tersebut dapat dikuantitatifkan dalam bentuk data numerik
- c. Dapat diasumsikan bahwa beberapa aspek pola masa lalu akan terus berlanjut pada masa yang akan datang.

2.3.2 Metode Peramalan

Ramalan adalah suatu kondisi yang diperkirakan akan terjadi pada masa yang akan datang. Sedangkan peramalan / prakiraan adalah kegiatan memperkirakan apa yang akan terjadi pada masa yang akan datang. Metode peramalan adalah cara memperkirakan secara kuantitatif apa yang akan terjadi di masa depan, berdasarkan data yang relevan pada masa lalu, sehingga dapat dikatakan metode peramalan ini digunakan dalam peramalan yang objektif. Metode peramalan secara umum dapat dibagi menjadi empat kelompok yaitu sebagai berikut:

1) Metode Analisis

Metode ini dibangun berdasarkan data dari analisis penggunaan akhir tenaga listrik pada setiap konsumen pemakai. Perolehan data merupakan hasil survei ke lapangan.

2) Metode Ekonometri

Suatu metode yang dibangun dengan mengikuti indikator-indikator ekonomi. Prakiraan beban ini didasarkan adanya hubungan antara penjualan energi listrik dan beban puncak dengan beberapa variabel ekonomi.

3) Metode Kecenderungan (*Black Box*)

Metode ini disebut juga metode *trend* yaitu metode yang dibuat berdasarkan kecenderungan hubungan data masa lalu tanpa memperhatikan penyebab atau hal-hal yang mempengaruhinya (pengaruh ekonomi, iklim, teknologi, dan lain-lain).

4) Metode Gabungan

Metode yang merupakan gabungan dari beberapa metode (analitis, ekonometri dan kecenderungan).

5) Metode Regresi

a) Regresi Linear

Persamaan rumus dari regresi linear

$$Y = a + bX$$

dimana: Y = variabel tergantung (dependent)

X = variabel bebas

a = nilai konstanta

b = koefisien arah regresi

Harga a dapat dihitung dengan rumus:

$$a = \frac{\Sigma Y(\Sigma X^2) - \Sigma X \cdot \Sigma Y}{n\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2}$$

Harga b dapat dihitung dengan rumus:

$$b = \frac{n\Sigma XY - \Sigma X \cdot \Sigma Y}{n\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2}$$

(2.4)

b) Metode eksponensial

Model eksponensial Ini Diberikan oleh persamaan berikut :

$$z = b_0 * e * b_1 x$$

Dari persamaan di atas, nilai - nya dapat dicari dengan mengambil logaritma asli - nya sebagai berikut :

$$\ln z = \ln b_0 + b_1 x * \ln e$$

$$\ln z = \ln b_0 + b_1 x$$

Untuk mendapatkan persamaan regresi model eksponensial, maka harus dicari dengan melihat persamaan regresi linier - nya, yaitu :

$$y = A_0 + A_1 x$$

$$\ln z = \ln b_0 + b_1 x$$

Jadi, $y = \ln z$, $A_0 = \ln b_0$, dan $A_1 = b_1$

Jadi, $z = e^y$, $b_0 = e^a$, Dan $b_1 = A_1$

d) Regresi Linear Berganda

Regresi linier berganda adalah analisis regresi yang menjelaskan hubungan antara peubah respon (*variabel dependen*) dengan faktor-faktor yang mempengaruhi lebih dari satu prediktor (*variabel independen*).

Regresi linier berganda hampir sama dengan regresi linier sederhana, hanya saja pada regresi linier berganda variabel bebasnya lebih dari satu variabel penduga. Tujuan analisis regresi linier berganda adalah

untuk mengukur intensitas hubungan antara dua variabel atau lebih dan membuat prediksi perkiraan nilai Y atas X secara umum model regresi linier berganda untuk populasi adalah sebagai berikut (Nugroho FA, 2016)

$$Y = a + b_1x_1 + b_2x_2$$

Dengan Persamaan

$$\sum x_1^2 = \sum x_1^2 - \frac{(\sum x_1)^2}{n}$$

$$\sum x_2^2 = \sum x_2^2 - \frac{(\sum x_2)^2}{n}$$

$$\sum Y^2 = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n}$$

$$\sum X_1Y = \sum X_1Y - \frac{\sum X_1Y}{n}$$

$$\sum X_2Y = \sum X_2Y - \frac{\sum X_2Y}{n}$$

$$\sum X_1X_2 = \sum X_1X_2 - \frac{\sum X_1X_2}{n}$$

Sehingga,

$$b_1 = \frac{(\sum x_2^2)(\sum x_1y) - (\sum x_1x_2)(\sum x_2y)}{(\sum x_1^2)(\sum x_2^2) - (\sum x_1x_2)^2}$$

$$b_2 = \frac{(\sum x_1^2)(\sum x_2y) - (\sum x_1x_2)(\sum x_1y)}{(\sum x_1^2)(\sum x_2^2) - (\sum x_1x_2)^2}$$

$$a = \frac{(\sum Y) - (b_1 * \sum x_1) - (b_2 * \sum x_2)}{n} \tag{2.5}$$

2.3.3 Model Peramalan Beban

Tahapan akhir dari penyusunan peramalan beban adalah pembuatan model. Dari model tersebut akan dihitung kebutuhan tenaga listrik. Model yang dimaksud disini adalah suatu fungsi matematis untuk memformulasikan kebutuhan tenaga listrik sebagai fungsi variabel yang dipilih. Untuk keperluan penyusunan peramalan kebutuhan tenaga listrik, model yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Model Sektoral

Pada model ini menggunakan pendekatan sektoral pemakai dengan menggunakan

Metode gabungan. Model ini digunakan untuk menyusun peramalan tingkat distribusi atau wilayah

2. Model Lokasi

Model ini serupa dengan model sektoral dengan penyederhanaan pada beberapa

Variabel atau asumsi. Metode ini digunakan untuk menyusun peramalan tingkat pusat beban (*load centre*).

3. Model Gardu Induk

Model ini menggunakan metode *time series*, dengan input tunggal beban puncak

(Nugroho FA, 2016)

2.3.4 Faktor Penting Untuk Peramalan

Beberapa faktor yang perlu di perhatikan adalah faktor cuaca, kelompok konsumen dan waktu. Peramalan jangka menengah dan panjang menggunakan data historis beban dan cuaca. Banyaknya pelanggan dalam kelompok yang berbeda dan banyaknya daya listrik dalam suatu area. Beban dalam minggu berbeda dan jua bebeda beda sifat. Kondisi cuaca juga mempengaruhi beban listrik faktanya, parameter ramalan cuaca merupakan faktor yang paling penting pada peramalan beban jangka pendek. (Nugroho FA, 2016)

2.4 Kebutuhan Beban

Kebutuhan sistem tenaga listrik adalah beban terminal terima secara rata-rata dalam suatu selang waktu tertentu. Kebutuhan listrik pada suatu daerah tergantung dari keadaan penduduk, pertumbuhan ekonomi dan rencana pengembangan pada waktu mendatang. (Nugroho FA, 2016)

2.4.1 Karakteristik Beban

Tujuan utama dari sistem distribusi tenaga listrik ialah mendistribusikan tenaga listrik dari Gardu Induk atau sumber ke sejumlah pelanggan atau beban. Suatu faktor utama yang paling penting, dalam perencanaan sistem distribusi adalah karakteristik dari berbagai beban. Karakteristik beban diperlukan agar sistem tegangan dan pengaruh *thermis* dari pembebanan dapat dianalisis dengan baik.

Analisis tersebut termasuk dalam menentukan keadaan awal yang akan di proyeksikan dalam perencanaan selanjutnya.

Penentuan karakteristik beban listrik suatu gardu distribusi sangat penting artinya untuk mengevaluasi pembebanan gardu distribusi tersebut, ataupun dalam merencanakan suatu gardu distribusi yang baru. Karakteristik beban ini sangat memegang peranan penting dalam memilih kapasitas transformator secara tepat dan ekonomis. Di lain pihak sangat penting artinya dalam menentukan rating peralatan pemutus rangkaian, analisa rugi-rugi dan menentukan kapasitas pembebanan dan cadangan tersedia dan suatu gardu. Karakteristik beban listrik suatu gardu sangat tergantung pada jenis beban yang dilayaninya. Hal ini akan jelas terlihat dan hasil pencatatan kurva beban suatu interval waktu. Berikut ini beberapa faktor yang menentukan karakteristik beban. (Nugroho FA, 2016)

2.4.2 Beban Rata-Rata

Beban rata-rata (Br) di definisikan sebagai perbandingan antara energi yang terpakai dengan waktu periode tertentu. Untuk periode satu tahun persamaanya sebagai berikut :

$$Br = \frac{\text{kwh produksi total 1 tahun}}{8760 \text{ jam}} \quad (2.6)$$

2.4.3 Faktor Beban

Didefinisikan sebagai perbandingan antara beban rata-rata dengan beban puncak yang diukur pada suatu periode tertentu. Beban puncak yang dimaksud adalah beban puncak sesaat dalam selang waktu tertentu. Persamaan faktor beban ditulis sebagai berikut:

$$F_b = \frac{Br \text{ (Beban rata-rata)}}{\text{Beban Puncak}} \quad (2.7)$$

Beban rata-rata akan selalu akan lebih kecil dari beban puncak, sehingga faktor beban akan selalu lebih kecil dari satu.

2.5 Evaluasi Kemampuan Transformator

- Definisi kemampuan: kemampuan suatu benda untuk digunakan atau memproduksi atau menghasilkan
- Definisi kapasitas: ruang yang tersedia atau kemampuan daya tertampung
- Definisi evaluasi: penaksiran atau penilaian terhadap pertumbuhan dan kemajuan karah tujuan nilai atau nilai nilai yang telah di tetakan
- Kemampuan transformator: kemampuan transformator untuk digunakan mentransformasikan daya listrik dari tegangan rendah ke tegangan tinggi dan sebaliknya sesuai dengan nilai kapasitas transformator yang telah ditetapkan

Dari definisi diatas maka evaluasi kemampuan transformator dapat diartikan sebagai penaksiran atau penilaian terhadap kemampuan transformator untuk

digunakan mentransfromasikan daya atau listrik dari tegangan rendah ke tegangan tinggi dan sebaliknya sesuai dengan nilai kapasitas transfromator yang telah ditetapkan. (Nugroho FA, 2016)

2.5.1 Pembebanan Transfromator

Pembebanan transformtaor didapat dari hasil peramalan beban dibagi dengan kapasitas transfromator, kapasitas transfromator didapat dari data transformator yang dipakai.

$$\% \text{ pembenanan} = \frac{sx}{K \text{ transformator}} \times 100 \quad (2.8)$$

Keterangan

Sx : Pemakainan beban pada tahun x

K. transfromator: kapasitas trafo (data)

2.5.2 Peramalan Pembebanan Transfromator

Peramalan beban adalah suatu cara memperkirakan atau menggambarkan beban diman masa yang akan dating, model pendekatan peramalan:

$$S_t = S_0 \left(\frac{y}{a} \right) \quad (2.9)$$

Dimana :

St : pemakaian beban pada tahun t (yang diramalkan)

So: pemakaian beban tenaga listrik (MVA) dasar pada tahun perhitungan tahun pertama

α : pertumbuhan beban rata-rata yang diamati

Y: hasil persamaan pendekatan

Untuk mencari nilai pertumbuhan beban (α) menggunakan rumus:

$$\alpha = \frac{S_n - (S_{n-1})}{(S_{n-1})} \times 100\% \quad (2.10)$$

Dimana :

α : pertumbuhan Beban Pertahun

S_n : rata-rata beban Pertahun ke-n (MVA)

(S_{n-1}) : rata-rata beban trafo tahun n-1 (MVA)

(Nugroho FA, 2016)