

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

1. Safriyudin (2011), penelitian terhadap transformator jaringan distribusi 20kV di APJ Yogyakarta. Dalam perhitungan regresi linier yang dilakukan pada transformator 20 kV mendapatkan nilai error 13,33 % 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.
2. Elias K. B (2013), penelitian terhadap pembebanan transformator GI 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.
3. Arie Nugraha 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 standart error estimasi 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 2018 diperkirakan menjadi 3.190.010,45 VA dan tahun 2025 menjadi 14.401.741,92 VA, dan untuk pemakaian energi listrik diperkirakan menjadi 326.464,06 kWh dan tahun 2025 menjadi 1.602.199,84 kWh.
4. Fazha A. N (2016), penelitian terhadap Evaluasi kemampuan transformator gardu induk cilegon lama 150 kV. Prediksi kebutuhan beban 15 tahun mendatang untuk GI cilegon lama trafo I 56 MVA pada tahun 2022 mencapai batas minimal standar optimal beban trafo sebesar 34,15 MVA (61%), kemudian mencapai batas maksimal standar optimal beban trafo

pada tahun 2026 sebesar 44,27 MVA (79%) dan pada tahun 2030 kondisi trafo I sudah tidak mampu lagi melayani beban yang tinggi sebesar 59,24 MVA (106%). Sementara ketersediaan kapasitas trafo yang terpasang sebesar 56 MVA, sehingga perlu penggantian trafo dengan daya yang lebih besar atau menambah trafo baru di GI Cilegon lama. Prediksi kebutuhan beban 15 tahun mendatang untuk GI Cilegon lama trafo II 60 MVA pada tahun 2025 mencapai batas minimal standar optimal trafo sebesar 35,86 MVA (60%) dan masih dalam batas standar optimal trafo pada tahun 2030 sebesar 47,025 MVA (78%). Sehingga trafo tetap dapat bekerja dengan optimal dalam 15 tahun mendatang. Perawatan dan pengawasan berkala yang intens perlu dilakukan karena beban tiap tahunnya meningkat cukup signifikan dengan adanya pertumbuhan penduduk.

5. Donny S. A(2017), penelitian terhadap Evaluasi kemampuan transformator tenaga gardu induk 150 kv purworejo. Prakiraan pertumbuhan beban pada Transformator 1 30 MVA pada tahun 2016 sampai dengan 2020 pada kondisi beban optimal dengan 23,76 MVA dengan presentase pembebanan 79,19%. Selanjutnya, pada tahun 2021 mulai memasuki beban berat dengan presentase pembebanan 80,45% sampai dengan 2035 dengan presentase pembebanan 99,21%. Prakiraan pertumbuhan beban pada Transformator 2 60 MVA pada tahun 2016 pada kondisi beban ringan dengan presentase pembebanan 40,96% sampai dengan 2029 dengan presentase pembebanan 59,91%. Selanjutnya, pada tahun 2030 transformator 2 pada kondisi beban optimal dengan presentase pembebanan 61,96% sampai dengan 2035 dengan presentase pembebanan 73,88%. Perlunya rekonfigurasi untuk mengurangi beban pada transformator 1 disisi lain kondisi pembebanan transformator 2 masih ringan . Jika transformator 1 mengalami beban berat maka akan banyak rugi-rugi daya, adapun untuk transformator 2 masih beban ringan juga tidak efisien karena kapasitas 60 MVA hanya dibebani sekitar 40% dari kapasitas transformator 2.

6. Rihan M (2017), penelitian terhadap perhitungan proyeksi beban transformator dalam perencanaan kapasitas gardu induk di Yogyakarta. Permintaan Beban Listrik yang di hasilkan selalu naik tiap tahun ke tahun 2015 0,400 menjadi 0,685 pada tahun 2025. Pengaruh penambahan beban membuat trafo harus selalu melakukan pengecekan beban karna tiap tahun ke tahun beban semakin naik dan akan berpengaruh terhadap kinerja trafo itu sendiri dan harus ada penambahan trafo kalo sudah hampir batas maksimal kekuatan trafo. Prediksi kebutuhan beban 15 tahun mendatang untuk GI di Yogyakarta trafo pada tahun 2015 mencapai batas minimal standar optimal beban trafo sebesar 0,49GW(61%), kemudian mencapai batas maksimal standar optimal beban trafo pada tahun 2019 dan pada tahun 2024 kondisi trafo sudah tidak mampu lagi melayani beban yang tinggi sebesar.Sementa raketer sediaan kapasitas trafo yang terpasang sebesar 0,648 GW/810 MVA, sehingga perlu penggantian trafo dengan daya yang lebih besar atau menambah trafo baru di GI Yogyakarta.
7. Muammar Z dan Luthfi W (2016), penelitian terhadap Analisa Masuknya Gardu Induk Angrek dan Rekonfigurasi Jaringan terhadap Kualitas Tegangan dan Rugi-rugi Daya (Studi Kasus PLN Rayon Kwandang Area Gorontalo). Perbaikan nilai tegangan dengan mengganti penghantar ke ukuran penampang yang lebih besar yaitu 95, 120 dan 150 mm dapat memperkecil jatuh tegangan yang terjadi, meskipun setelah dilakukan uprating penghantar jatuh tegangan masih terjadi dibawah standard operasi pelayanan. Rekonfigurasi jaringan pada penyulang LK.01 wilayah kerja PLN Rayon Kwandang dengan masuknya GI Angrek yang ditampilkan pada skenario-2 dan skenario-3 dapat memperbaiki nilai tegangan diseluruh wilayah kerja PLN Rayon Kwandang. Dari perbaikan tegangan tersebut, maka simulasi skenario yang diusulkan dapat diterapkan untuk menurunkan jatuh tegangan pada penyulang. Susut daya pada semua skenario menghasilkan susut daya yang semakin berkurang dari kondisi awalnya. Penurunan susut daya pada skenario-3 adalah kondisi yang terbaik diantara seluruh skenario yang digunakan. Penurunan susut daya terbaik pada

skenario-3 disebabkan oleh pengaruh masuknya GI. Anggrek yang dekat dengan pusat beban dan nilai impedansi yang semakin kecil.

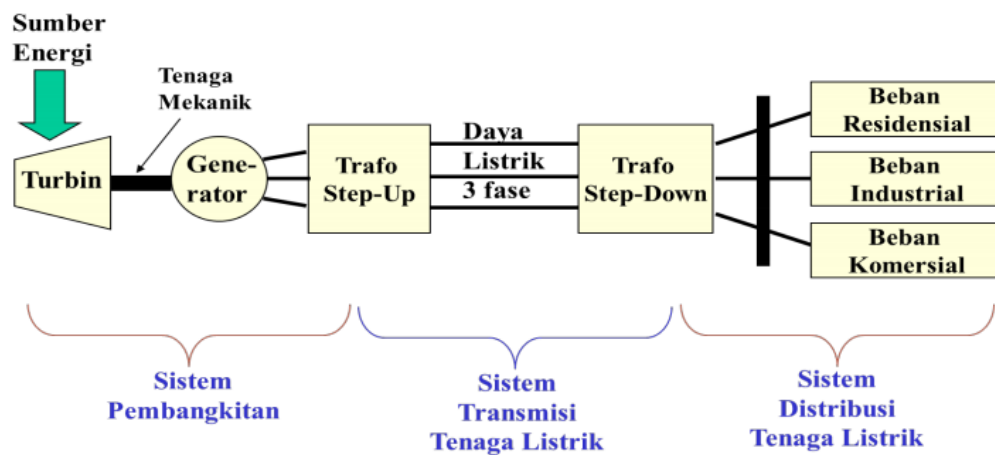
8. Qari W. C (2017), penelitian terhadap Evaluasi Kemampuan Transformator Tenaga Pada Gardu Induk Kentungan 150 kV. Prakiraan kebutuhan beban 10 tahun mendatang untuk GI Kentungan trafo II 60 MVA pada tahun 2016 sudah melebihi batas maksimal beban optimal trafo sebesar 52,21 MVA (87%), kemudian pada tahun 2027 sebesar 54,16 MVA (90%). Ketersediaan kapasitas trafo II yang terpasang sebesar 60 MVA, sehingga trafo II pada gardu induk kentungan masih mampu melayani beban dan tidak harus melakukan penggantian trafo dengan daya yang lebih besar atau menambah trafo baru di GI Kentungan. Perawatan dan pengawasan berkala yang intens perlu dilakukan karena beban tiap tahunnya meningkat cukup signifikan dengan adanya pertumbuhan penduduk agar trafo tetap bekerja secara ideal.
9. Samuel M. G dan Julius S (2013), penelitian terhadap Analisa Perancangan Gardu Induk Sistem Outdoor 150 kV di Tallasa, Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan. Dari hasil analisa dan perhitungan dapat disimpulkan bahwa pemilihan *rating circuit breaker*, *disconnecting switch*, *current transformer*, *potensial transformer*, *lightning arrester* dan jarak aman tiap – tiap komponen di Gardu Induk Tallasa telah sesuai dengan standard SPLN, IEC dan IEEE. Sedangkan kapasitas trafo terlalu kecil bila dibandingkan dengan hasil perhitungan.
10. I Gusti A. M. S, dkk (2014), penelitian terhadap Analisis Pengaruh Rekonfigurasi Jaringan Terhadap Pembebanan Transformator Pada Gardu Distribusi KA 1316 Penyulang Sriwijaya. Besarnya pembebanan transformator gardu distribusi KA 1316 (160 kVA) Penyulang Sriwijaya pada saat beban puncak diperoleh persentase pembebanan tertinggi sebesar 96,27%. Transformator KA1316 mengalami kelebihan beban sebesar 20,34% dari 80% arus nominal (I_n) pada transformator. Solusi yang dilakukan untuk mengatasi pembebanan transformator KA1316 yaitu dilakukan rekonfigurasi jaringan dengan memindahkan sebagian beban pada tiang B6 sampai B6C6 gardu distribusi KA 1316 ke gardu distribusi

KA 1763. Setelah dilakukan rekonfigurasi jaringan, pembebanan transformator KA 1316 menjadi sebesar 59,57 % dan pembebanan transformator KA 1763 sebesar 57,66%.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Sistem Tenaga Listrik

Salah satu cara paling ekonomis, mudah dan aman untuk mengirimkan energi adalah melalui bentuk energi listrik. Energi listrik dapat secara kontinu dikirimkan dari satu tempat ke tempat lain yang jaraknya berjauhan dalam suatu sistem tenaga listrik (Syahputra, 2017). Siklus aliran tenaga listrik secara garis besar terdiri dari pusat pembangkit, jaringan transmisi (gardu induk dan saluran transmisi) dan jaringan distribusi, seperti diperlihatkan pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Siklus aliran tenaga listrik

Sistem tenaga listrik merupakan 3 komponen yang menjadi suatu rangkaian yang terpadu yaitu :

- a. Pusat pembangkit seperti : PLTGU, PLTS, PLTU, PLTA dan PLTS, mempunyai fungsi menyediakan energi listrik kemudian disalurkan yang sebelumnya sudah dinaikkan tegangannya melalui saluran transmisi

b. Saluran transmisi, mempunyai fungsi menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit ke GI atau beban.

c. Jaringan distribusi, mempunyai fungsi mendistribusikan energi listrik dari GI ke setiap beban. Jaringan distribusi terbagi menjadi beberapa komponen utama sistem distribusi, yaitu :

1. Jaringan distribusi primer menyalurkan energi listrik dari sisi sekunder trafo GI ke sisi primer transfo distribusi. Tegangan jaringan distribusi Pada umumnya sebesar 20 kV.

2. Jaringan distribusi sekunder atau jaringan tegangan rendah mempunyai fungsi menyalurkan energi listrik dari gardu distribusi sampai kepada konsumen. Tegangan jaringan distribusi sekunder pada umumnya sebesar 220 Volt, secara garis besar sistem distribusi tenaga listrik dari pusat pembangkit sampai ke beban tegangan rendah.

2.2.2 Gardu Induk

Gardu Induk (GI) sebagai komponen utama dalam sistem tenaga listrik memegang peranan penting dalam penyaluran daya listrik ke konsumen (Zainuddin, 2016). Gardu Induk adalah suatu instalasi dari sekumpulan alat listrik yang dirancang dengan pola tertentu dan pertimbangan teknis, ekonomis serta estetika. Gardu Induk berfungsi untuk :

1. Menaikkan dan menurunkan tenaga listrik atau mentransformasikan tenaga listrik

2. Menerima dan menyalurkan tenaga listrik sesuai dengan kebutuhan yang aman dan dapat diandalkan

3. Pengaturan tenaga listrik yang disalurkan ke gardu-gardu lainnya melalui tegangan tinggi dan gardu distribusi melalui feeder tegangan menengah.

2.2.2.1 Jenis Gardu Induk

1. Berdasarkan pemasangan peralatan

a. Gardu induk pemasangan luar adalah gardu induk yang sebagian besar peralatannya ditempatkan diluar gedung kecuali peralatan *control*, proteksi dan sistem kendali serta alat bantu lainnya. Gardu induk ini disebut gardu induk konvensional.

b. Gardu induk pemasangan dalam adalah gardu induk yang hampir sebagian besar peralatan listriknya dipasang didalam gedung atau diruang tertutup. Gardu induk ini pada umumnya berada di daerah perkotaan atau daerah padat penduduk

c. Gardu induk kombinasi pemasangan dalam dan pemasangan luar adalah gardu induk yang komponennya *switch gear* berada didalam gedung dan sebagian komponen *switch gear* berada diluar gedung

2. Berdasarkan tegangan

a. Gardu induk transmisi

Gardu induk ini merupakan gardu induk yang mendapat daya dari saluran transmisi dan kemudian disalurkan ke beban. Gardu induk transmisi PLN adalah tegangan tinggi 150 KV dan tegangan tinggi 70 KV.

b. Gardu induk distribusi

Gardu induk ini merupakan Gardu induk yang disuplai daya dari gardu induk transmisi dan menurunkan tegangannya dengan transformator menjadi tegangan menengah 20 KV, 12 KV atau 6 KV kemudian tegangan menengah diturunkan kembali menjadi tegangan rendah (127/220 V) atau (220/380 V) disesuaikan kebutuhan.

3. Berdasarkan fungsi

a. Gardu induk penurun tegangan

Gardu induk ini mempunyai fungsi menurunkan tegangan, seperti dari tegangan ekstra tinggi menjadi tegangan tinggi, dan tegangan tinggi menjadi tegangan menengah atau distribusi.

b. Gardu induk penaik tegangan

Gardu induk ini mempunyai fungsi untuk menaikkan tegangan, tegangan dari pembangkit dinaikkan menjadi tegangan sistem, Gardu induk ini berada di

lokasi pembangkit tenaga listrik. Dengan mempertimbangkan efisiensi, output tegangan yang dihasilkan dari generator kecil maka harus dinaikkan menjadi tegangan ekstra tinggi atau tegangan tinggi yang nantinya disalurkan pada pusat beban dengan jarak yang cukup jauh.

c. Gardu induk pengatur tegangan

Gardu induk pengatur tegangan pada umumnya berada jauh dari pusat pembangkit sehingga terjadi tegangan jatuh (*drop voltage*) transmisi cukup besar sehingga diperlukan alat penaik tegangan seperti kapasitor bank sehingga tegangan kembali normal.

d. Gardu induk distribusi

Gardu induk distribusi mempunyai fungsi menyalurkan tenaga listrik dari tegangan sistem ke tegangan distribusi. Pada umumnya gardu induk ini berada di dekat pusat beban.

e. Gardu induk pengatur beban

Gardu induk pengatur beban mempunyai fungsi mengatur beban. Gardu induk ini mempunyai motor yang pada saat tertentu menjadi pembangkit tenaga listrik, dan pada saat tertentu juga motor menjadi beban.

2.2.2.2 Peralatan Gardu Induk dan Fungsinya

Peralatan sebuah gardu induk bergantung pada model Gardu induk, fungsi serta proteksi yang diinginkan. Secara umum, Gardu induk memiliki peralatan utama sebagai berikut:

1. Transformator Daya

Transformator Daya mempunyai fungsi mentransformasikan daya listrik, dengan mengubah besarnya tegangan dan frekuensinya tetap. Transformator daya juga mempunyai fungsi pengaturan tegangan. Transformator daya dilengkapi dengan transformator pentanahan yang berfungsi untuk mendapatkan titik netral dari transformator daya. Transformator daya ditunjukkan pada gambar 2.1



Gambar 2.1 Transformator Daya

2. *Neutral Grounding Resistance* (NGR)

Neutral Grounding Resistance merupakan komponen yang dipasang diantara titik netral transformator dengan pentanahan. Suatu tindakan pengamanan yang baik maka harus adanya sistem pentanahan yang dirancang secara baik dan benar. Tujuan dipasang *Neutral Grounding Resistance* adalah memperkecil arus gangguan yang terjadi. *Neutral Grounding Resistance* ditunjukkan pada gambar 2.2



Gambar 2.2 *Neutral Grounding Resistance*

3. *Circuit Breaker* (CB)

Circuit Breaker merupakan peralatan saklar yang mengalirkan dan memutus arus beban, mengalirkan jika tidak ada masalah dan memutus arus beban jika kondisi abnormal / hubung singkat. *Circuit Breaker* dapat dioperasikan pada saat dalam keadaan normal ataupun saat terjadi gangguan. Pada saat bekerja, *Circuit Breaker* mengeluarkan busur api, maka pada *Circuit Breaker* dilengkapi dengan pemadam busur api. Pemadam busur api berupa :

1. Minyak (OCB)
2. Udara (ACB)
3. Gas (GCB)

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3



(a)

(b)

(c)

Gambar 2.3 (a) *Air Circuit Breaker*, (b) *Oil Circuit Breaker*, (c) *Gas Circuit Breaker*

4. *Disconnecting Switch (DS)*

Disconnecting Switch atau pemisah (PMS) adalah sebuah alat pemisah yang menyatakan secara visual bahwa suatu peralatan dalam keadaan masih terhubung atau sudah tidak terhubung. *Disconnecting Switch* hanya dapat dioperasikan saat kondisi tidak berbeban, maka *Circuit Breaker* yang harus dioperasikan terlebih dahulu. Pada Gardu induk *Disconnecting Switch* terpasang di :

1. Transformator Bay (TR Bay)
2. Transmission Line Bay (TL Bay)
3. Busbar
4. Bus Couple

seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4



Gambar 2.4 *Disconnecting Switch*

5. *Lightning Arrester (LA)*

Lightning arrester merupakan sebuah alat yang biasanya dipasang pada gardu induk dan juga di jaringan transmisi. *Lightning Arrester* mempunyai fungsi untuk melindungi peralatan di Gardu induk dan jaringan transmisi dari tegangan lebih akibat terjadinya sambaran petir ataupun surja hubung. Dalam keadaan normal *lightning arrester* bersifat isolative, tidak menyalurkan arus listrik. *Lightning arrester* akan bersifat konduktif jika adanya gangguan maka *lightning arrester* menyalurkan arus listrik ke bumi, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5



Gambar 2.5 *Lightning Arrester*

6. *Current Transformer (CT)*

Current transformer (CT) merupakan jenis trafo instrumen yang digunakan untuk mengubah arus listrik skala besar ke skala yang lebih kecil atau memperkecil besaran arus listrik dengan menyesuaikan kemampuan arus pada alat ukur atau alat proteksi, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6



Gambar 2.6 *Current Transformer*

7. *Potential Transformer (PT)*

Potential Transformer (PT) atau Trafo tegangan merupakan peralatan yang mentransformasi tegangan sistem yang lebih tinggi ke suatu tegangan sistem yang lebih rendah untuk kebutuhan alat pengukuran dan proteksi, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7



Gambar 2.7 *Potential Transformer*

8. Transformator Pemakaian Sendiri (TPS)

Transformator Pemakaian Sendiri digunakan untuk kebutuhan itemn Gardu induk karena sebagai sumber tegangan AC 3 phase 220/380 volt. Digunakan untuk Gardu induk, antara lain:

1. Penerangan di *switch yard*, gedung kontrol, halaman gardu induk dan sekeliling gardu induk.
2. Alat pendingin (AC).
3. *Rectifier*.
4. Pompa air dan motor-motor listrik.
5. Peralatan lain yang memerlukan listrik tegangan rendah.

9. Rel (Busbar)

Rel atau busbar berfungsi sebagai titik pertemuan antara trafo daya, SUTT, SKTT dan komponen listrik lainnya yang berada di *switch yard*. Komponen rel (busbar) antara lain :

1. Konduktor (AAAC, HAL, THAL, BC, HDCC).
2. Insulator String dan Fitting (Insulator, Tension Clamp, Suspension Clamp, Socket Eye, Anchor Sackle, Spacer)

2.3 Prakiraan Beban

Prakiraan merupakan suatu prediksi atas kejadian yang akan dihadapi pada waktu yang akan datang. Prakiraan ini diperlukan karena adanya kesadaran akan kebutuhan pada waktu yang akan datang. Apabila perbedaan waktu tersebut panjang maka suatu prakiraan sangat dibutuhkan terutama dalam penentuan suatu kejadian yang akan datang dengan berdasarkan data-data di masa lampau, sehingga kejadian tersebut dapat di antisipasi guna untuk menghadapi kejadian tersebut. Prakiraan dapat dipercaya ketetapanannya dengan berdasarkan data masa lampau yang di analisis menggunakan metode statistika.

Prakiraan dibedakan menjadi dua macam yaitu :

1. Prakiraan Kualitatif Prakiraan

Prakiraan kualitatif adalah prakiraan yang didasari atas data kumulatif pada masa lalu. Hasil prakiraan yang dibuat sangat tergantung pada penyusun. Hal

ini dikarenakan hasil prakiraan tersebut ditentukan berdasarkan intuisi, pendapat, pengetahuan dan pengalaman penyusun.

2. Prakiraan Kuantitatif Prakiraan

Prakiraan kuantitatif adalah prakiraan yang sangat tergantung dengan metode yang digunakan. Baik ataupun tidaknya metode yang digunakan ditentukan oleh perbedaan antara hasil prakiraan dengan kenyataan yang terjadi. Semakin kecil perbedaan antara hasil prakiraan dengan kenyataan yang terjadi maka metode prakiraan tersebut semakin baik.

Dengan menurut jangka waktunya, prakiraan terbagi menjadi tiga periode, sesuai dengan materi prakiraan. Dalam prakiraan beban listrik, periode prakiraannya dibagi menjadi 3, yaitu :

1. Prakiraan Jangka Panjang

Prakiraan jangka Panjang adalah prakiraan yang memperkirakan kejadian dalam jangka waktu beberapa tahun ke depan. Tujuannya untuk mempersiapkan ketersediaan unit pembangkit, sistem transmisi dan distribusi.

2. Prakiraan Jangka Menengah

Prakiraan Jangka Menengah adalah prakiraan dalam jangka waktu mingguan atau bulanan. Tujuannya untuk mempersiapkan jadwal persiapan dan operasional pembangkit.

3. Prakiraan Jangka Pendek

Prakiraan Jangka Pendek adalah prakiraan dalam jangka waktu harian sampai tiap jamnya. Pada umumnya digunakan untuk perbandingan beban listrik perkiraan aktual.

2.3.1 Metode Prakiraan

Metode Prakiraan Beban yang digunakan perusahaan listrik secara umum terbagi menjadi lima kelompok, yaitu:

1. Metode Analitis (*End Use*)

Metode analitis merupakan metode yang berdasarkan data analisis penggunaan akhir tenaga listrik pada setiap sektor pemakai.

2. Metode Ekonometri

Metode Ekonometri merupakan metode yang disusun berdasarkan kaidah ekonomi dan statistik.

3. Metode *Time Series*

Metode *Time Series* merupakan metode yang disusun berdasarkan hubungan data-data masa lampau dengan tidak memperhatikan faktor-faktor penyebab (pengaruh ekonomi, iklim, teknologi dan sebagainya).

4. Metode Gabungan (Metode Analitis dan Metode Ekonometri)

Metode Gabungan merupakan metode gabungan dari beberapa metode (analitis dan ekonometri). Sehingga mendapatkan suatu metode yang tanggap terhadap pengaruh harga listrik, aktivitas ekonomi, pergeseran pola penggunaan, kebijaksanaan pemerintah, kemajuan teknologi dan sosio demografi.

5. Metode regresi

Metode Regresi merupakan metode yang paling sering digunakan dalam perhitungan statistik. Prakiraan regresi beban listrik biasa digunakan untuk mencari hubungan antara konsumsi energi dan faktor lain seperti tipe hari, cuaca, maupun jenis konsumen. Metode regresi merupakan metode perkiraan yang mengasumsikan faktor yang diperkirakan menunjukkan hubungan sebab – akibat dengan satu atau lebih variabel bebas, sehingga metode ini bertujuan untuk mengetahui bentuk hubungan tersebut dan memperkirakan nilai mendatang dari variabel tidak bebas. Ada beberapa metode regresi yang dapat digunakan untuk memperkirakan beban GI, diantaranya adalah metode regresi linier dan regresi eksponensial.

1. Regresi Linier

Regresi Linier adalah regresi yang variabel bebasnya (variabel X) berpangkat paling tinggi satu. Untuk regresi sederhana, yaitu regresi linier yg hanya melibatkan dua variabel (variabel X dan Y). Persamaan umum dari regresi linier ini adalah :

$$Y = a + bx \quad (2.1)$$

Dimana :

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{(n)(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (2.2)$$

$$b = \frac{(n)(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{(n)(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (2.3)$$

$$c = \frac{\sum y}{n} - b \frac{\sum x}{n} \quad (2.4)$$

Keterangan :

y = variabel tidak bebas

b = koefisien kemiringan

x = variable bebas

a = koefisien intersepsi

2. Regresi Eksponensial

Ada beberapa jenis *trend* yang tidak linier akan tetapi bisa dibuat linier dengan cara melakukan transformasi. Misalkan *trend* eksponensial $y = e^{a+bx}$ dapat diubah menjadi :

$$\ln y = \ln e^{(a + bx)} \quad (2.5)$$

Karena $\log e = 1$, maka :

$$\ln y = a + bx \quad (2.6)$$

Jika $\ln y = \ln y'$, maka persamaannya akan menjadi persamaan linier, yaitu :

$y' = a + bx$. Nilai koefisien a dan b dicari melalui persamaan (2.2) dan (2.3).

3. Regresi Linier Berganda

Regresi linier berganda merupakan analisis regresi yang menjelaskan hubungan antara peubah respon (*variable dependen*) dengan faktor-faktor yang mempengaruhi lebih dari satu prediktor (*variable 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 :

$$Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 \quad (2.7)$$

Untuk mendapatkan nilai b_1 , b_2 dan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\sum x_1^2 = \sum X_1^2 - \frac{(\sum X_1)^2}{n}$$

$$\sum x_2^2 = \sum X_2^2 - \frac{(\sum X_2)^2}{n}$$

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

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

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

$$\sum X_1X_2 = \sum X_1.X_2 - \frac{\sum X_1X_2}{n}$$

Sehingga,

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

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

$$a = \frac{(\sum y) - (b_1 \sum X_1) - (b_2 \sum X_2)}{n}$$

Keterangan :

| | |
|------------------------|-------------------------------------|
| y | = Variabel terikat / tidak bebas |
| x_1, x_2, \dots, x_k | = Variabel bebas |
| b_1, b_2, \dots, b_k | = Koefisien regresi linier berganda |
| a | = Konstanta |

2.3.2 Model Prakiraan

Tahapan akhir dari penyusunan prakiraan beban adalah pembuatan model. Dengan model tersebut akan dihitung kebutuhan daya listrik. Model yang dimaksud merupakan suatu fungsi matematis guna memformulasikan kebutuhan daya listrik sebagai fungsi variabel yang dipilih. Keperluan untuk penyusunan prakiraan kebutuhan daya listrik, model yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Model Sektoral

Model Sektoral ini menggunakan pendekatan sektoral pemakai dan dengan menggunakan metode dan dengan menggunakan metode gabungan. Model ini digunakan untuk menyusun prakiraan tingkat distribusi atau wilayah.

2. Model Lokasi

Model Lokasi ini hampir sama dengan model sektoral, dengan menyederhanakan beberapa variabel atau asumsi. Metode Lokasi digunakan untuk menyusun prakiraan tingkat pusat beban (*Load Centre*).

3. Model Gardu Induk

Model Gardu Induk ini menggunakan metode time series (*Moving average time series*), dengan menginput tunggal beban puncak bulanan gardu induk. Model Gardu induk digunakan untuk menyusun beban gardu induk.

2.3.3 Faktor Penting Prakiraan

Ada beberapa faktor-faktor yang perlu diperhatikan yang pertama factor cuaca dan yang kedua kelompok konsumen dan waktu. Prakiraan untuk jangka menengah dan untuk jangka panjang menggunakan data masa lampau

beban dan cuaca, banyak pelanggan dalam suatu kelompok yang berbeda dan banyaknya listrik pada suatu area. Keadaan beban dalam minggu yang berbeda juga berbeda-beda sifat. Kondisi cuaca juga mempengaruhi beban listrik. Faktanya, parameter ramalan cuaca merupakan faktor yang paling penting pada prakiraan beban jangka pendek.

2.4 Kebutuhan Beban

Kebutuhan sistem tenaga listrik merupakan beban terminal terima secara rata-rata dengan selang waktu tertentu. Kebutuhan listrik pada suatu daerah tergantung pada keadaan penduduk di daerah tersebut, keadaan pertumbuhan ekonomi dan rencana pengembangan pada masa mendatang.

2.4.1 Karakteristik Beban

Pada umumnya kegiatan pemakaian listrik dapat dikelompokkan menjadi beberapa konsumen, yaitu: rumah tangga, komersil, publik dan industri. Para konsumen tentunya memiliki karakteristik beban yang berbeda, hal ini dikarenakan berhubungan dengan pola pemakaian energi listrik pada masing-masing konsumen. Pada konsumen rumah tangga adanya fluktuasi konsumsi listrik yang cukup besar untuk pola pembebanannya. Untuk konsumen industri fluktuasi energi listrik hampir sama karna perbandingan antara beban rata-rata dengan beban puncak hampir mendekati satu, sedangkan untuk konsumen komersil beban puncak pada malam hari.

2.4.2 Beban Rata-rata

Beban rata-rata (Br) dikatakan sebagai perbandingan antara energi yang dipakai dengan waktu periode tertentu. Untuk periode satu tahun persamaannya, sebagai berikut:

$$Br = \frac{KWhProduksiTotal\ 1\ tahun}{8760\ Jam} \quad (2.8)$$

2.4.3 Faktor Beban

Faktor Beban (Fb) dikatakan sebagai perbandingan antara beban rata-rata dengan beban puncak yang diukur pada waktu tertentu. Beban puncak yang dimaksud adalah beban puncak sesaat dengan selang waktu tertentu. Untuk faktor beban persamaannya, sebagai berikut :

$$Fb = \frac{\text{Beban rata-rata}}{\text{Beban puncak}} \quad (2.9)$$

Untuk beban rata-rata selalu akan lebih kecil dari pada beban puncak , maka faktor beban yang dihitung akan selalu lebih kecil dari satu.

2.5 Evaluasi Kemampuan Trafo

Menurut kamus besar Bahasa Indonesia (KBBI)

1. Kemampuan : Kesanggupan melakukan sesuatu atau kecakapan melakukan sesuatu.
2. Kapasitas : Kemampuan daya tampung atau ruang yang tersedia.
3. Evaluasi : Penilaian terhadap suatu kemajuan serta pertumbuhan kearah tujuan atau nilai nilai.
4. Kemampuan Trafo : Kemampuan transformator digunakan untuk menaikkan atau menurunkan daya atau listrik dari tegangan rendah ke tegangan tinggi ataupun sebaliknya sesuai kebutuhan dari kapasitas transformator yang ditetapkan.

Dari definisi di atas maka evaluasi kemampuan transformator bisa diartikan sebagai penilaian kemampuan transformator untuk digunakan menaikkan atau menurunkan daya atau listrik dari tegangan rendah ke tegangan tinggi atau sebaliknya sesuai kebutuhan dari kapasitas transformator yang ditetapkan.

2.5.1 Transformator

Transformator merupakan suatu peralatan listrik yang digunakan untuk memindahkan dan mengubah daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah begitu pula sebaliknya, melalui suatu gandengan magnet dan bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetis. Prinsip transformator adalah arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik, prinsip tersebut merupakan hukum ampere dan hukum faraday. Transformator digunakan dalam bidang tenaga listrik ataupun elektronika. Dalam sistem tenaga listrik dipilihnya tegangan yang sesuai dengan kebutuhan; misalnya, kebutuhan untuk tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik dengan jarak yang jauh, sedangkan dalam bidang elektronika, transformator digunakan untuk memisahkan satu rangkaian dari rangkaian lain dan menghambat arus searah dan tetap melakkan arus bolak-balik antara rangkaian.

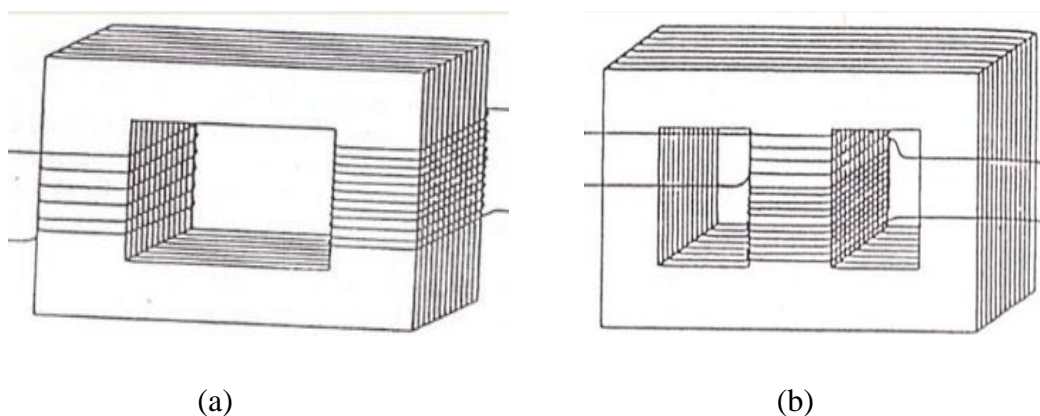
Berdasarkan frekuensi, transformator dapat dikelompokkan sebagai berikut

1. Frekuensi daya, 50-60c/s.
2. Frekuensi pendengaran, 50 c/s-20kc/s.
3. Frekuensi radio, di atas 30kc/s.

Dalam bidang teknik listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi:

1. Transformator daya
2. Transformator distribusi
3. Transformator pengukuran; yang terdiri dari transformator arus dan transformator tegangan.

Kerja transformator yang berdasarkan induksi elektromagnet, menghendaki adanya gandengan mangnet antara rangakain primer dan rangkain sekunder. Gandengan magnet ini berupa tipe inti dan tipe cangkang, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.8



Gambar 2.8 (a) Tipe inti ,(b) Tipe cangkang

Berikut merupakan bagian utama transformator, yaitu sebagai berikut :

1. Inti Besi

Inti besi berguna untuk mempermudah jalan fluks, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang melewati kumparan. Inti besi terdiri dari lempengan-lempengan besi tipis yang berisolasi, karna untuk mengurangi kalor yang ditimbulkan oleh arus pusar atau *eddy current*.

2. Kumparan Transformator

Kumparan transformator merupakan beberapa lilitan kawat yang terisolasi akan membentuk suatu kumparan. Kumparan tersebut terisolasi, baik terhadap inti besi ataupun terhadap kumparan lain disebelahnya dengan isolasi padat, seperti karton, pertinax. Pada transformator terdapat kumparan primer dan kumparan sekunder. Jika kumparan primer dihubungkan dengan tegangan/ arus bolak-balik maka pada kumparan tersebut timbul fluks yang menimbulkan induksi tegangan, bila pada rangkaian sekunder ditutup (rangkaiian beban) maka mengalir arus pada kumparan tersebut, sehingga kumparan ini berfungsi sebagai alat transformasi tegangan dan arus.

3. Minyak Transformator

Sebagian besar trafo tenaga, memiliki kumparan-kumparan dengan intinya direndam dalam minyak transformator, terutama pada transformator tenaga yang berkapasitas besar, karena minyak trafo memiliki sifat untuk media memindahkan panas dan juga bersifat untuk isolasi, oleh karena itu minyak trafo berguna untuk media pendingin dan isolasi.

4. Bushing

Hubungan antara kumparan trafo dengan jaringan luar melewati sebuah bushing, yaitu sebuah konduktor yang diselubungi dengan isolator, yang sekaligus berguna untuk membatasi antara konduktor tersebut dengan tangki trafo.

5. Tangki dan Konsektor

Kebanyakan dari bagian-bagian trafo yang direndam minyak trafo berada di dalam tangki. Karena dipergunakan tempat menampung pemuatan minyak trafo, dan tangki dilengkapi dengan konservator.

2.5.2 Rugi Tembaga (P_{cu})

Rugi yang disebabkan karena arus beban yang mengalir pada tembaga dapat ditulis sebagai berikut:

$$P_{cu} = I^2 R \text{ (watt)} \quad (2.10)$$

Disebabkan arus beban yang berubah-ubah, sehingga rugi tembaga tidak konstan karena bergantung dengan beban.

2.5.3 Rugi Inti Besi (P_i)

Rugi inti besi (P_i) terdiri atas :

1. Rugi histerisis adalah rugi yang disebabkan fluks bolak-balik pada inti Besi, yang dinyatakan sebagai berikut:

$$P_h = K_h f B_{maks}^{1,6} \text{ (watt)} \quad (2.11)$$

Keterangan:

K_h = Konstanta

B_{maks} = Fluk Maksimum (*weber*)

2. Rugi arus eddy, yaitu rugi yang disebabkan arus pusar pada inti besi.

Dirumuskan sebagai berikut:

$$P_e = K_e f^2 B^2_{maks} \text{ (watt)}$$

Keterangan :

K_e = Konstanta

B_{maks} = Fluks maksimum (*weber*)

Jadi, rugi inti besi (P_i) adalah :

$$P_i = P_h + P_e \quad (2.12)$$

2.5.4 Efisiensi Transformator

Efisiensi merupakan perbandingan antara daya keluar dengan daya masuk.

Efisiensi dinyatakan sebagai berikut :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (2.13)$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + \sum rugi - rugi} = 1 - \frac{\sum rugi - rugi}{P_{in}}$$

Keterangan :

P_{in} = Daya input trafo

P_{out} = Daya output trafo

$\sum rugi - rugi$ = $P_{cu} + P_i$

2.5.5 Pembebanan Transformator

Pembebanan transformator didapatkan dari hasil prakiraan beban dibagi dengan kapasitas transformator, kapasitas transformator tergantung pada transformator yang dipakai

Klasifikasi pembebanan dibagi menjadi empat, yaitu :

1. Beban Kecil

Pada kondisi beban kecil transformator terjadi ketika beban transformator kurang dari 60%. Pada kondisi ini, arus yang mengalir pada transformator kecil sehingga hanya mempengaruhi rugi tembaga dan tidak akan mempengaruhi rugi inti besi (rugi inti besi tetap), sehingga transformator bekerja tidak efisien.

2. Beban Optimal

Pada kondisi beban optimal transformator terjadi ketika beban transformator diantara 60% sampai dengan 80%. Pada kondisi ini, kerja transformator optimal.

3. Beban Berat

Pada kondisi beban berat transformator terjadi ketika beban transformator diatas 80% sampai dengan 100%. Pada kondisi ini, kerja transformator berat sehingga menyebabkan panas yang berlebih pada transformator.

4. *Overload*

Pada kondisi beban *Overload* transformator terjadi ketika beban transformator diatas 100%. Pada kondisi ini, kerja transformator sangat berat sehingga menyebabkan transformator sangat panas bahkan mempunyai resiko terbakarnya transformator.

$$\% \text{Pemb bebanan} = \frac{Y_x}{K_t} \times 100 \% \quad (2.14)$$

Keterangan :

Y_x = Pemb bebanan pada tahun x (MVA)

K_t = Kapasitas Transformator (MVA)

2.5.6 *Capacity Balance* Gardu Induk

Capacity Balance Gardu Induk adalah cara mengetahui batas kapasitas transformator pada gardu induk dalam mendukung beban, yang dikaitkan peningkatan kebutuhan tenaga listrik berdasarkan prakiraan. Dengan *capacity balance*, dapat ditentukan tahun persiapan ekstensifikasi transformator baru dan pengadaan Gardu Induk baru. Syarat-syarat gardu induk sesuai dengan Perencanaan Sistem Penyaluran dari Pusat Pendidikan dan Pelatihan PT PLN (Persero) adalah :

1. Dalam satu Gardu Induk (GI) 150 kV hanya diijinkan 3(tiga) buah transformator jika kapasitas transformator 60 MVA.
2. Kapasitas gardu induk 3 x 60 MVA untuk GI 150 kV dan 3 x 30 MVA untuk GI 70 kV.
3. Pemb bebanan transformator tidak boleh melebihi dari 100% dari kapasitas transformator.
4. Bila beban transformator mendekati 80%, harus dipersiapkan :
 - a. *Uprating*, bila kapasitas transformator di bawah 60 MVA.

- b. Ditambahkan transformator baru, bila kapasitas transformator sudah 60 MVA dan di Gardu Induk tersebut jumlah transformator masih kurang dari 3.
- c. Jika jumlah transformator setiap Gardu induk sudah 3 x 60 MVA maka harus dilakukan pembangunan gardu induk baru dengan transformator baru.

2.6 MATLAB (*Matrix Laboratory*)

MATLAB merupakan sebuah bahasa dengan kinerja tinggi untuk komputasi masalah teknik. MATLAB mengintegrasikan komputasi, visualisasi, dan pemrograman dalam suatu model yang sangat mudah untuk pakai dimana masalah-masalah dan penyelesaiannya diekspresikan dalam notasi matematika yang familiar. Penggunaan Matlab meliputi:

1. Pembentukan algoritma
2. Matematika dan komputasi
3. Pemodelan, simulasi, dan pembuatan *prototype*
4. Akusisi data
5. Grafik keilmuan dan bidang rekayasa
6. Analisa data, eksplorasi, dan visualisasi

MATLAB adalah singkatan dari *matrix laboratory*. Pada lingkup perguruan tinggi teknik, Matlab adalah perangkat standar untuk mengembangkan dan memperkenalkan penyajian materi matematika, keilmuan dan rekayasa. Pada dunia industri, Matlab sebuah perangkat pilihan yang digunakan untuk penelitian dengan produktifitas yang tinggi, pengembangan dan analisisnya. MATLAB mempunyai fitur-fitur yang sudah banyak dikembangkan, dan lebih kita kenal dengan nama *toolbox*. Sangat penting bagi seorang pengguna MATLAB, *toolbox* mana yang mendukung untuk *learn* dan *apply technology* yang sedang dipelajarinya. *Toolbox* ini merupakan kumpulan dari fungsi-fungsi MATLAB (*M-files*) yang telah dikembangkan ke suatu lingkungan kerja MATLAB untuk memecahkan masalah dalam kelas particular. Area-area yang sudah bisa dipecahkan dengan toolbox saat

ini meliputi pengolahan sinyal, system kontrol, *neural networks*, *fuzzy logic*, *wavelets*, dan lain-lain.

Sebagai sebuah system, MATLAB tersusun dari 5 bagian utama:

1. MATLAB Application Program Interface (API)

merupakan suatu *library* yang memungkinkan program yang telah kita tulis dalam bahasa *C* dan *Fortran* mampu berinteraksi dengan MATLAB. Ini melibatkan fasilitas untuk pemanggilan *routines* dari MATLAB (*dynamic linking*), pemanggilan MATLAB sebagai sebuah *computational engine*, dan untuk membaca dan menuliskan *MAT-files*.

2. Development Environment

Development Environment merupakan sekumpulan perangkat dan fasilitas yang membantu kita untuk menggunakan fungsi-fungsi dan file-file MATLAB. Beberapa perangkat ini merupakan sebuah *Graphical User Interfaces* (GUI). Termasuk didalamnya adalah *MATLAB desktop* dan *Command Window*, *Command History*, sebuah editor dan *debugger*, dan *browsers* untuk melihat *help*, *workspace*, *files*, dan *search path*.

3. MATLAB Language

MATLAB Language merupakan suatu *high level matrix/array language* dengan *control flow statements*, *functions*, *data structures*, *input/output*, dan fitur *object oriented programming*. Ini memungkinkan bagi kita untuk melakukan kedua hal baik “pemrograman dalam lingkup sederhana” untuk mendapatkan hasil yang cepat, dan “pemrograman dalam lingkup yang lebih besar” untuk memperoleh hasil-hasil dan aplikasi yang kompleks.

4. MATLAB Mathematical Function Library

MATLAB Mathematical Function Library merupakan sekumpulan algoritma komputasi mulai dari fungsi-fungsi dasar seperti: *sum*, *sin*, *cos*, dan *complex arithmetic*, sampai dengan fungsi-fungsi yang lebih kompleks seperti *matrix inverse*, *matrix eigenvalues*, *Bessel functions*, dan *fast Fourier transforms*.

5. Graphics

Graphics pada MATLAB memiliki fasilitas untuk menampilkan vector dan matrices sebagai suatu grafik. Didalamnya melibatkan *high-level functions* (fungsi-

fungsi level tinggi) untuk visualisasi data dua dimensi dan data tiga dimensi, *image processing*, *animation*, dan *presentation graphics*. Ini juga melibatkan fungsi level rendah yang memungkinkan bagi kita untuk membiasakan diri untuk memunculkan grafik mulai dari bentuk yang sederhana sampai dengan tingkatan graphical user interfaces pada aplikasi MATLAB.