

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Elias K. B (2013) melakukan 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 230,72 ampere tercapai pada tahun 2025.

Ary Nugraha T, S (2014) melakukan penelitian terhadap perkembangan beban listrik di kecamatan Ranah Pesisir. Prediksi beban listrik Kec. Ranah Pesisir mulai tahun 2010 sampai dengan tahun 2025 menggunakan metode persamaan eksponensial dengan nilai standar 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 2010 diperkirakan menjadi 3.190.010,45 VA dan tahun 2025 menjadi 14.401.741,92 VA. Untuk pemakaian energi listrik diperkirakan menjadi 326.464,06 kWh dan tahun 2025 menjadi 1.602.199,84 kWh.

Nugroho, F. A. (2016) melakukan penelitian terhadap evaluasi kemampuan transformator gardu induk cilegon lama 150KV. Penulis melakukan peramalan terhadap 2 buah trafo yang ada di gardu induk cilegon lama 150 KV. Berdasarkan perhitungan dengan menggunakan metode regresi linier ganda, penulis memprediksi pada 15 tahun yang akan datang untuk trafo I 56 MVA. Dengan hasil

bahwa 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. Kemudian pada prediksi trafo unit II yang berkapasitas 60 MVA pada tahun 2030 masih dalam batas standar optimal operasi trafo yaitu sebesar 47,025 MVA (78%). Sehingga trafo masih dapat bekerja dengan optimal dalam 15 tahun mendatang.

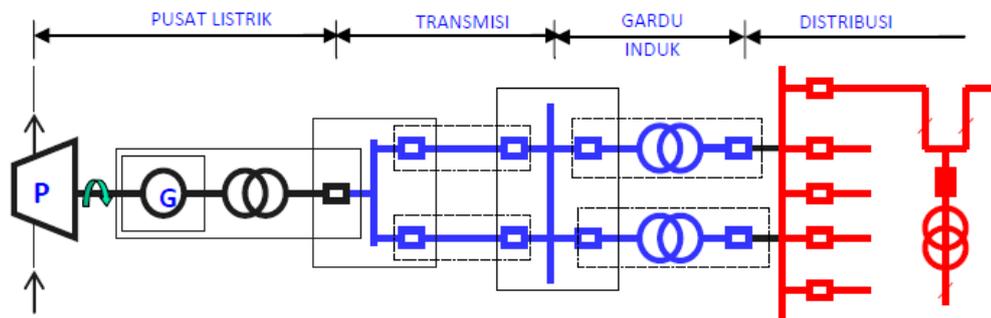
2.2 Dasar Teori

2.2.1 Proses Penyampaian Energi Listrik ke Konsumen

Tenaga listrik dibangkitkan dalam Pusat-pusat Listrik seperti PLTA, PLTU, PLTG, PLTP dan PLTD kemudian disalurkan melalui saluran transmisi setelah terlebih dahulu dinaikkan tegangannya oleh transformator penaik tegangan (step up transformator) yang ada di Pusat Listrik. Saluran transmisi tegangan tinggi di PLN kebanyakan mempunyai tegangan 66KV, 150KV, dan 500KV. Khusus untuk tegangan 500 KV dalam praktek saat ini disebut sebagai tegangan ekstra tinggi.

Setelah tenaga listrik disalurkan melalui saluran transmisi maka sampailah tenaga listrik ke Gardu Induk (GI) untuk diturunkan tegangannya melalui transformator penurun tegangan (step down transformator) menjadi tegangan menengah atau yang juga disebut sebagai tegangan distribusi primer. Tegangan distribusi primer yang dipakai PLN adalah 20 KV, 12 KV, dan 6 KV. Kecenderungan saat ini menunjukkan bahwa tegangan distribusi primer PLN yang berkembang adalah 20 KV.

Jaringan setelah keluar dari GI biasa disebut jaringan distribusi, sedangkan jaringan antara Pusat Listrik dengan GI disebut jaringan transmisi. Setelah tenaga listrik disalurkan melalui jaringan distribusi primer maka kemudian tenaga listrik diturunkan tegangannya dalam gardu-gardu distribusi menjadi tegangan rendah dengan tegangan 380/220 Volt atau 220/127 Volt, kemudian disalurkan melalui Jaringan Rendah untuk selanjutnya disalurkan ke rumah-rumah pelanggan (konsumen) PLN melalui Sambungan Rumah. Konsumen yang mempunyai daya tersambung besar tidak dapat disambung melalui Jaringan Tegangan Rendah melainkan disambung langsung pada jaringan Tegangan Menengah bahkan ada pula yang disambung pada jaringan Transmisi Tegangan Tinggi, tergantung besarnya daya yang tersambung.



Gambar 2.1 Komponen utama sistem tenaga listrik

2.2.2 Pengertian Gardu Induk

Gardu Induk adalah suatu instalasi yang terdiri dari sekumpulan peralatan listrik yang disusun menurut pola tertentu dengan pertimbangan teknis, ekonomis serta keindahan.

Fungsi dari Gardu induk adalah sebagai berikut :

1. Mentransformasikan tenaga listrik tegangan tinggi yang satu ketegangan yang lainnya atau tegangan menengah.
2. Pengukuran pengawasan operasi serta pengaturan pengamanan dari sistem tenaga listrik.
3. Pengaturan daya ke gardu-gardu lainnya melalui tegangan tinggi dan gardu distribusi melalui feeder tegangan menengah.

2.2.3 Klasifikasi Gardu Induk

1. Menurut Pemasangan Peralatan

Berdasarkan Pemasangan Peralatan, Gardu induk dapat dibedakan menjadi 4 macam yaitu :

a) Gardu Induk Pasang Luar

Gardu induk jenis pasangan luar terdiri dari peralatan tegangan tinggi pasangan luar. Pasangan luar yang dimaksud adalah diluar gedung atau bangunan. Walaupun ada beberapa peralatan yang lain berada didalam gedung, seperti peralatan panel kontrol, meja penghubung (*switch board*)

dan baterai. Gardu Induk jenis ini ini memerlukan tanah yang begitu luas namun biaya konstruksinya lebih murah dan pendinginannya murah.

b) Gardu Induk Pasangan Dalam

Disebut Gardu induk pasangan dalam karena sebagian besar peralatannya berada dalam suatu bangunan. Peralatan ini seperti halnya pada gardu induk pasangan luar. Dari transformator utama, rangkaian switch gear dan panel kontrol serta batere semuanya. Jenis pasangan dalam ini dipakai untuk menjaga keselarasan dengan daerah sekitarnya dan untuk menghindari bahaya kebakaran dan gangguan suara.

c) Gardu Induk Setengah Pasangan Luar

Sebagian dari peralatan tegangan tingginya terpasang di dalam gedung dan yang lainnya dipasang diluar dengan mempertimbangkan situasi dan kondisi lingkungan. Karena konstruksi yang berimbang antara pasangan dalam dengan pasangan luar inilah tipe gardu induk ini disebut juga gardu induk semi pasangan dalam.

d) Gardu Induk Pasangan Bawah Tanah

Hampir semua peralatannya terpasang dalam bangunan bawah tanah. Hanya alat pendinginan biasanya berada diatas tanah, dan peralatanperalatan yang tidak memungkinkan untuk ditempatkan di bangunan bawah tanah. Biasanya di bagian kota yang sangat ramai, dijalan-jalan pertokoan dan dijalan-jalan dengan gedung bertingkat tinggi. Kebanyakan gardu induk ini dibangun dibawah jalan raya.

2. Menurut Tegangan

Berdasarkan tegangan, gardu induk dapat dibedakan menjadi 2 macam yaitu :

a) Gardu Induk Transmisi

Yaitu gardu induk yang mendapat daya dari saluran transmisi untuk kemudian menyalurkannya ke daerah beban (industri, kota, dan sebagainya). Gardu induk transmisi yang ada di PLN adalah tegangan tinggi 150 KV dan tegangan tinggi 70 KV.

b) Gardu Induk Distribusi

Yaitu gardu induk yang menerima tenaga dari gardu induk transmisi dengan menurunkan tegangannya melalui transformator tenaga menjadi tegangan menengah (20 KV, 12 KV atau 6 KV) untuk kemudian tegangan tersebut diturunkan kembali menjadi tegangan rendah (127/220 V) atau (220/380 V) sesuai dengan kebutuhan.

3. Menurut Fungsinya

Berdasarkan fungsinya, gardu induk dapat dibedakan menjadi 5 macam yaitu :

a) Gardu Induk Penaik Tegangan

Merupakan gardu induk yang berfungsi untuk menaikkan tegangan, yaitu tegangan pembangkit (generator) dinaikkan menjadi tegangan sistem. Gardu Induk ini berada di lokasi pembangkit tenaga listrik. Karena output voltage yang dihasilkan pembangkit listrik kecil dan harus disalurkan pada jarak yang jauh, maka dengan pertimbangan efisiensi, tegangannya dinaikkan menjadi tegangan ekstra tinggi atau tegangan tinggi.

b) Gardu Induk Penurun Tegangan

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

c) Gardu Induk Pengatur Tegangan

Pada umumnya gardu induk jenis ini terletak jauh dari pembangkit tenaga listrik. Karena listrik disalurkan sangat jauh, maka terjadi tegangan jatuh (*voltage drop*) transmisi yang cukup besar. Oleh karena diperlukan alat penaik tegangan, seperti bank kapasitor, sehingga tegangan kembali dalam keadaan normal.

d) Gardu Induk Pengatur Beban

Berfungsi untuk mengatur beban. 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

e) Gardu Distribusi

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

2.2.4 Fasilitas dan Peralatan Gardu Induk

Agar gardu induk dapat menjalankan fungsi dan tujuannya, maka gardu dilengkapi dengan peralatan serta fasilitas. Secara garis besar, peralatan-peralatan pada gardu induk tersebut adalah sebagai berikut :

1. Transformator Daya

Transformator Daya berfungsi untuk mentransformasikan daya listrik, dengan merubah besaran tegangannya sedangkan frekuensinya tetap. Transformator daya juga berfungsi sebagai pengatur tegangan. Trafo daya dilengkapi oleh trafo pentanahan yang berfungsi untuk mendapatkan titik netral dari trafo daya. Perlengkapan lainnya adalah pentanahan trafo yang disebut Neutral Grounding Resistance (NGR).



Gambar 2.2 Transformator Daya

2. Neutral Grounding Resistance (NGR)

Neutral Grounding Resistance (NGR) adalah komponen yang dipasang antara titik netral trafo dengan pentanahan. Neutral Grounding Resistance (NGR) berfungsi untuk memperkecil arus gangguan yang terjadi.

3. *Current Transformer (CT)*

Transformator Arus (CT) berfungsi untuk merubah besaran arus, dari arus yang besar ke arus yang kecil. Atau memperkecil besaran arus listrik pada sistem tenaga listrik, menjadi arus untuk sistem pengukuran dan proteksi.



Gambar 2.3 CT

4. *Potential Transformer (PT)*

Transformator Tegangan (PT) berfungsi untuk merubah besaran tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau memperkecil besaran tegangan listrik pada system tenaga listrik, menjadi besaran tegangan untuk pengukuran dan proteksi.



Gambar 2.4 PT

5. *Circuit Breaker (CB)*

Adalah peralatan pemutus, yang berfungsi untuk memutus rangkaian listrik dalam keadaan berbeban (berarus). CB dapat dioperasikan pada saat jaringan dalam kondisi normal maupun pada saat terjadi gangguan. Karena pada saat bekerja, CB mengeluarkan busur api, maka pada CB dilengkapi dengan pemadam busur api. Pemadam busur api dapat berupa :

- Minyak (OCB)
- Udara (ACB)
- Gas (GCB)

6. *Disconnecting Switch (DS)*

Adalah peralatan pemisah yang berfungsi untuk memisahkan rangkaian listrik dalam keadaan tidak berbeban. Dalam gardu induk, DS terpasang pada :

- Transformator Bay (TR Bay)
- Transmission Line Bay (TL Bay)

- Busbar
- Bus Couple

Karena DS hanya dapat dioperasikan pada kondisi jaringan tidak berbeban, maka yang harus dioperasikan terlebih dahulu adalah CB. Setelah rangkaian diputus oleh CB, baru DS dioperasikan.

7. *Lightning Arrester (LA)*

Berfungsi untuk melindungi (pengaman) peralatan listrik di gardu induk dari tegangan lebih akibat terjadinya sambaran petir (lightning surge) pada kawat transmisi, maupun disebabkan oleh surya hubung (switching surge). Dalam keadaan normal (tidak terjadi gangguan). LA bersifat isolatif atau tidak bisa menyalurkan arus listrik. Dalam keadaan terjadi gangguan yang menyebabkan LA bekerja, maka LA bersifat konduktif atau menyalurkan arus listrik ke bumi.

8. Trafo Pemakaian Sendiri (TPS)

Berfungsi sebagai sumber tegangan AC 3 fasa 220/380 Volt. Digunakan untuk kebutuhan internal gardu induk, antara lain adalah untuk :

- Penerangan di switch yard, gedung kontrol, halaman GI dan sekeliling GI
- Alat pendingin (AC)
- Recifier
- Pompa air dan motor-motor listrik
- Peralatan lain yang memerlukan listrik tegangan rendah.



Gambar 2.5 Trafo Pemakaian Sendiri

9. Pemutus Tenaga (PMT)

Berfungsi untuk memutuskan hubungan tenaga listrik dalam keadaan gangguan maupun dalam keadaan berbeban dan proses ini harus dilakukan dengan cepat. Pemutus tenaga listrik dalam keadaan gangguan akan menimbulkan arus yang relatif besar, pada saat tersebut pemutus beban bekerja sangat berat. Bila kondisi peralatan pemutus tenaga menurun karena kurangnya pemeliharaan, sehingga tidak sesuai lagi kemampuan dengan daya yang diputuskannya, maka pemutus tenaga tersebut akan dapat rusak (meledak).

10. Pemisah Tenaga (PMS)

Pemilihan jenis pemisah (*disconnect switch*) ditentukan oleh lokasi, tata bangunan luar (*outdoor structure*) dan sebagainya. Pada umumnya pemisah tidak dapat memutuskan arus. Meskipun ia dapat memutuskan arus yang kecil, misalnya arus pembangkit Trafo, tetapi pembukaan atau

penutupannya harus dilakukan setelah pemutus tenaga lebih dahulu dibuka. Untuk menjamin bahwa kesalahan urutan operasi tidak terjadi, maka harus ada keadaan saling mengunci (*interlock*), antara pemisah dengan pemutus bebannya.

Sesuai dengan fungsi dan kegunaannya, maka PMS dibagi menjadi 2 macam yaitu :

- 1) Pemisah Tanah, berfungsi untuk mengamankan peralatan dari sisi tegangan yang timbul sesudah SUTT / SUTM diputuskan.
- 2) Pemisah Peralatan, berfungsi untuk mengisolasikan peralatan listrik dari peralatan yang bertegangan. Pemisah ini dioperasikan tanpa beban.



Gambar 2.6 PMS

11. Panel hubung

Panel hubung (meja, switch board) merupakan pusat syaraf sebagai suatu GI. Pada panel hubung inilah operator dapat mengamati keadaan peralatan, melakukan operasi peralatan serta pengukuran-pengukuran tegangan dan arus, daya dan sebagainya.

Bila terjadi gangguan, panel hubung ini membuka pemutus beban secara otomatis melalui rele pengaman dan memisahkan bagian yang terganggu. Karena tegangan dan arus tidak dapat diukur langsung pada sisi tegangan tinggi, maka transformator ukur (*instrument*) mengubah menjadi tegangan dan arus rendah, sekaligus memisahkan alat-alat tadi dari sisi tegangan tinggi. Adapun tiga jenis transformator ukur yaitu transformator tegangan, transformator arus, serta transformator tegangan dan arus.



Gambar 2.7 Panel Hubung

12. Baterai

Sumber tenaga untuk sistem kontrol dan proteksi selalu mempunyai keandalan dan stabilitas yang tinggi, maka baterai dipakai sebagai sumber tenaga kontrol dan proteksi pada gardu induk. Peranan dari baterai sangat penting karena pada saat gangguan terjadi, baterai sebagai sumber tenaga untuk menggerakkan alat-alat kontrol dan proteksi.



Gambar 2.8 Baterry

13. Gedung Gardu Induk

Gedung G.I (gardu induk) berbeda – beda tergantung pada skala dan jenis Gardu induk. Pada Gardu Induk pemasangan luar, disamping panel hubung dan sumber tenaga untuk kontrol, hanyalah peralatan komunikasi dan kantor yang harus ada di dalam gedung. Oleh karena itu gedungnya lebih kecil bila dibandingkan dengan gardu induk jenis pemasangan dalam.

2.3 Peramalan

Peramalan (forecasting) adalah kegiatan memperkirakan atau memprediksikan apa yang akan terjadi pada masa yang akan datang dengan waktu yang relative 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.

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 masa lalu.
- 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.

2.3.1 Peramalan Beban Sistem

Beban sistem tenaga listrik merupakan pemakaian tenaga listrik dari para pelanggan listrik. Oleh karenanya besar kecilnya beban beserta perubahannya tergantung pada kebutuhan para pelanggan akan tenaga listrik. Tidak ada perhitungan yang eksak mengenai berapa besarnya beban sistem pada suatu saat, yang bisa dilakukan hanyalah membuat perkiraan beban.

Maka masalah perkiraan beban merupakan masalah yang sangat menentukan bagi perusahaan listrik baik dari segi managerial maupun segi operasional. Untuk dapat membuat perkiraan yang sebaik mungkin perlu beban sistem tenaga listrik yang sudah terjadi dimasa lalu untuk dianalisa.

Penulis membuat tiga kelompok perkiraan beban yaitu :

1. **Perkiraan Beban Jangka Panjang**

Perkiraan beban jangka panjang adalah untuk jangka waktu diatas satu tahun. Dalam perkiraan beban jangka panjang masalah-masalah

makro ekonomi yang merupakan masalah eksternal perusahaan listrik merupakan faktor utama yang menentukan arah perkiraan beban. Faktor makro tersebut misalnya pendapatan per kapita penduduk Indonesia. Karena perkiraan beban jangka panjang banyak menyangkut masalah makro ekonomi yang bersifat eksternal perusahaan listrik, maka penyusunannya perlu dimintakan pengarahan dari pemerintah.

2. Perkiraan Beban Jangka Menengah

Perkiraan beban jangka menengah adalah untuk jangka waktu dari satu bulan sampai satu tahun. Poros untuk perkiraan jangka menengah adalah perkiraan beban jangka panjang, sehingga perkiraan beban jangka menengah tidaklah menyimpang terlalu jauh terhadap perkiraan beban jangka panjang. Dalam perkiraan beban jangka menengah masalah-masalah managerial perusahaan merupakan faktor utama yang menentukan. Masalah manager perusahaan misalnya kemampuan teknik memperluas jaringan distribusi, menyelesaikan proyek saluran transmisi. Dalam perkiraan beban jangka menengah tidak banyak lagi yang dapat dilakukan dalam segi pengembangan. Oleh karenanya perkiraan mengenai besarnya beban minimum juga diperlukan karena beban yang rendah dapat menimbulkan persoalan operasional seperti timbulnya tegangan yang berlebihan.

3. Perkiraan Beban Jangka Pendek

Perkiraan beban jangka pendek adalah untuk jangka waktu beberapa jam sampai satu minggu (168 jam). Dalam perkiraan beban jangka pendek terdapat batas atas untuk beban maksimum dan batas bawah untuk beban minimum yang ditentukan oleh perkiraan beban jangka menengah. Besarnya beban untuk setiap jam ditentukan dengan memperhatikan banyaknya beban diwaktu lalu dengan memperhatikan berbagai informasi yang dapat mempengaruhi besarnya beban sistem seperti acara televisi, cuaca dan suhu udara.

2.3.2 Metode Peramalan Beban

Perkiraan beban dalam sistem tenaga listrik tidaklah mungkin ditemukan rumus yang eksak untuk menentukan besarnya beban. Tetapi beban dapat diperkirakan besarnya berdasarkan pengalaman-pengalaman dan pengamatan di masa lalu kemudian diadakan perkiraan untuk masa yang akan datang.

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk menghitung prakiraan beban antara lain yaitu metode analitis, ekonometri dan gabungan. Setelah pemilihan metode lalu dilakukan pembuatan model yang akan mempresentasikan data dan informasi menjadi suatu fungsi matematis untuk menghitung proyeksi kebutuhan daya listrik. Dalam hal ini pendekatan yang digunakan dalam menghitung kebutuhan listrik adalah dengan model yang meninjau secara umum dengan menyederhanakan variabel yang mempengaruhi penjualan energi listrik.

1. Metode Analisis

Metode ini dibangun berdasarkan data dari analisa penggunaan akhir tenaga listrik pada setiap konsumen pemakai. perolehan data merupakan hasil survei ke lapangan. Pada umumnya data diperlukan ialah data yang memberi gambaran penggunaan peralatan listrik di masyarakat atau kemampuan masyarakat membeli peralatan listrik.

Keuntungan metode ini ialah hasil prakiraan merupakan hasil simulasi dari penggunaan tenaga listrik dimasyarakat, sederhana dan mengurangi masalah validitas parameter model. Sebaliknya metode ini tidak tanggap terhadap perubahan parameter ekonomi, sebagai contoh pengaruh kenaikan tarif listrik, pendapatan (PDRB) dan sebagainya.

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 seperti pendapatan (Produk Domestik regional Bruto), harga dan penggunaan peralatan listrik. Metode ekonometri ini cocok diterapkan untuk suatu kasus, misalnya hanya berlaku untuk suatu daerah atau wilayah.

3. Metode *Times Series*

Metode *Times Series* adalah metode yang disusun berdasarkan hubungan data-data masa lalu tanpa memperhatikan faktor-faktor penyebab, misalnya pengaruh ekonomi, iklim, dan teknologi.

4. Metode Gabungan

Metode yang merupakan gabungan dari beberapa metode (analisis dan ekonometri). Sehingga akan didapat suatu metode yang tanggap terhadap pengaruh aktivitas ekonomi. Harga listrik, pergeseran pola penggunaan, kemajuan teknologi, kebijaksanaan pemerintah, dan sosial demografi.

5. Metode Regresi

Metode ini merupakan metode yang paling banyak digunakan dalam perhitungan statistika. Metode regresi dapat dipakai untuk mencari hubungan antara konsumsi energi listrik dan faktor lain seperti cuaca, tipe hari, dan pemakai energi listrik. Metode ini dapat digunakan untuk mengansumsikan faktor yang diperkirakan menunjukkan hubungan sebab dan akibat dengan satu atau lebih variabel bebas, sehingga metode ini bertujuan untuk mengetahui bentuk hubungan tersebut dan memperkirakan nilai yang akan datang dari variabel tidan bebas.

2.3.3 Penggunaan Metode Regresi untuk Peramalan Beban

Untuk melakukan sebuah peramalan beban, ada beberapa metode regresi yang dapat digunakan untuk memperkirakan beban pada sebuah gardu induk, diantaranya adalah metode regresi linier sederhana dan metode regresi linier berganda.

1. Metode Regresi Linier Sederhana

Persamaan umum dari regresi linier ini adalah sebagai berikut :

$$y = a + bx$$

dimana :

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

$$a = \frac{\sum y}{n} - b \frac{\sum x}{n}$$

keterangan :

y = variabel tidak bebas

x = variabel bebas

a = koefisien intersepsi

b = koefisien kemiringan

2. Regresi Linier Berganda

Regresi linier berganda adalah sebuah metode yang dapat digunakan untuk menjelaskan hubungan antara peubah respon (*variabel dependen*) dengan faktor-faktor yang mempengaruhi lebih dari satu prediktor (*variabel independen*).

Dalam penggunaannya metode ini hampir sama dengan metode linier sederhana, yang membedakan hanyalah 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 persamaan model regresi linier berganda adalah sebagai berikut :

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2$$

Untuk mendapatkan nilai b_1 b_2 dan a , dapat menggunakan persamaan sebagai berikut :

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

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

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

$$\Sigma X_1Y = \Sigma X_1Y - \frac{\Sigma X_1 * \Sigma Y}{n}$$

$$\Sigma X_2Y = \Sigma X_2Y - \frac{\Sigma X_2 * \Sigma Y}{n}$$

$$\Sigma X_1X_2 = \Sigma X_1X_2 - \frac{\Sigma X_1 * \Sigma X_2}{n}$$

Sehingga, dari persamaan diatas untuk mencari nilai b_1 dan b_2 , dan a dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$b_1 = \frac{[(\Sigma X_2^2 \times \Sigma X_1Y) - (\Sigma X_2Y \times \Sigma X_1X_2)]}{[(\Sigma X_1^2 \times \Sigma X_2^2) - (\Sigma X_1X_2)^2]}$$

Kemudian untuk mencari nilai b_2 dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$b_2 = \frac{[(\sum X_1^2 \times \sum X_2 Y) - (\sum X_1 Y \times \sum X_1 X_2)]}{[(\sum X_1^2 \times \sum X_2^2) - (\sum X_1 X_2)^2]}$$

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

2.3.4 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 menformulasikan kebutuhan tenaga listrik sebagai fungsi variable yang dipilih. Untuk keperluan penyusunan peramalan kebutuhan tenaga listrik, model yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Model Sektoral

Model sektoral adalah cara model peramalan beban dengan menggunakan pendekatan sektoral pemakai dengan memakai metode gabungan. Pada umumnya model ini digunakan untuk menyusun peramalan tingkat distribusi atau wilayah.

2. Model Lokasi

Model ini hampir mirip dengan model sektoral, model lokasi yaitu model peramalan dengan cara penyederhanaan pada beberapa variabel atau asumsi. Metode ini digunakan untuk menyusun peramalan tingkat pusat beban (*load centre*).

3. Model Gardu Induk

Metode ini menggunakan metode time series (*moving average time series*), dengan input tunggal beban puncak bulanan gardu induk. Model ini digunakan untuk menyusun peramalan beban gardu induk.

2.3.5 Faktor Penting dalam Sebuah Peramalan Beban

Dalam melakukan sebuah peramalan beberapa faktor perlu untuk diperhatikan seperti faktor cuaca, kelompok konsumen, dan waktu. Dalam peramalan jangka menengah dan jangka panjang menggunakan data historis beban dan cuaca, banyaknya pelanggan dalam kelompok yang berbeda dan banyaknya listrik dalam suatu area. Kondisi cuaca juga mempengaruhi beban listrik. Dalam peramalan jangka pendek faktor cuaca merupakan parameter yang sangat penting dalam melakukan suatu peramalan.

2.4 Kebutuhan Beban

Kebutuhan sistem listrik adalah beban pada terminal terima secara rata-rata dalam suatu selang (interval) waktu tertentu. Beban tersebut bisa dalam satuan ampere, watts, dan volt ampere.

Kebutuhan beban listrik pada suatu daerah tergantung dari keadaan penduduk, pertumbuhan ekonomi, rencana pengembangannya dalam waktu dekat dan waktu yang akan datang. Sehingga kebutuhan mendatang sangat bergantung pada faktor-faktor yang dapat diketahui tersebut.

2.5 Karakteristik Beban

Berdasarkan kegiatan pemakaian energi listrik, konsumen listrik dapat dikelompokkan menjadi konsumsi listrik rumah tangga, komersil, publik dan industri. Konsumen-konsumen ini mempunyai karakteristik beban yang berbeda, hal ini dapat terjadi karena masing-masing konsumen memiliki konsumsi energi listrik yang berbeda. Pada konsumen rumah tangga (perumahan) pola pembebanan ditunjukkan oleh adanya fluktuasi konsumsi energi listrik yang cukup besar. Pada konsumen industri fluktuasi energi listrik hampir sama, sehingga perbandingan beban rata-rata terhadap beban puncak hampir mendekati satu, sedangkan pada konsumen komersil akan mempunyai beban puncak yang lebih tinggi pada malam hari.

2.6 Beban Terpasang

Beban terpasang dimaksudkan adalah jumlah kapasitas dari semua beban dengan kapasitas yang tertera pada papan nama (name plate) dan peralatan-peralatan listrik. perbandingan beban puncak terhadap beban terpasang merupakan derajat pelayanan serentak pada seluruh beban terpasang. Hal ini dapat dijelaskan besarnya jumlah beban terpasang sangat mempengaruhi pola pelayanan beban, sebagai contoh, konsumen komersil dan industri memiliki derajat pelayanan yang tinggi jika dibandingkan dengan konsumen rumah tangga (residential).

Beban terpasang ini dapat diketahui dengan melakukan survei ke lapangan ataupun data sekunder dari perusahaan penyedia daya listrik.

2.7 Beban Rata-rata

Beban rata-rata (Br) dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara energi yang terpakai dengan waktu pada periode tertentu, Dalam periode satu tahun persamaan dalam mencari beban rata-rata dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Br = \frac{\text{KWH yang terpakai selama satu tahun}}{365 \times 24}$$

2.8 Faktor Dalam Beban

Didefinisikan sebagai perbandingan antara beban rata-rata dengan beban puncak yang diukur untuk suatu periode waktu tertentu. Beban puncak (L_f) yang dimaksud adalah beban puncak sesaat atau beban puncak rata-rata dalam interval tertentu, pada umumnya dipakai beban puncak pada waktu 15 menit atau 30 menit. Untuk prakiraan besarnya faktor beban pada masa yang akan datang dapat didekati dengan data statistik yang ada. Untuk mencari faktor beban dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$L_f = \frac{Br \text{ (Beban rata-rata)}}{Bp \text{ (Beban puncak)}}$$

Berdasarkan rumus tersebut dapat dilihat bahwa beban rata-rata akan selalu akan lebih kecil dari beban puncak, sehingga faktor beban akan selalu lebih kecil dari satu.

2.9 Faktor Kebutuhan

Faktor kebutuhan adalah perbandingan beban puncak dengan seluruh beban terpasang pada sistem. Definisi ini dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$F_d = \frac{B_p \text{ (Beban puncak)}}{B_c \text{ (Beban terpasang)}}$$

Faktor kebutuhan selalu bernilai lebih kecil dari satu. Besarnya faktor kebutuhan dipengaruhi oleh beberapa hal :

1. Besarnya beban terpasang
2. Sifat pemakaian, sebagai contoh toko-toko, pusat perbelanjaan, kantor-kantor dan industri memiliki faktor kebutuhan tinggi sedangkan gudang dan tempat rekreasi memiliki faktor kebutuhan rendah.

2.10 Analisis Kemampuan Transformator

1. Definisi analisis

Analisis (Wiradi) adalah aktivitas yang memuat sejumlah kegiatan seperti mengurai, membedakan, memilah sesuatu untuk digolongkan dan dikelompokkan kembali menurut kriteria tertentu kemudian dicari kaitannya dan ditaksir maknanya.

2. Definisi kemampuan

Kemampuan adalah segala sesuatu misalnya benda yang dapat digunakan atau memproduksi atau menghasilkan.

3. Kemampuan transformator

Kemampuan transformator untuk digunakan mentransformasikan daya atau listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya sesuai dengan nilai dari kapasitas transformator yang telah ditetapkan.

Dari beberapa definisi diatas maka analisis kemampuan transformator dapat diartikan sebagai penaksiran atau memilah terhadap kemampuan transformator untuk digunakan mentransformasikan daya atau listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya sesuai dengan kemampuan transformator yang telah ditetapkan.

2.11 Transformator

Transformator merupakan suatu peralatan listrik elektromagnetik statis yang berfungsi untuk memindahkan dan mengubah daya listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik yang lainnya, dengan frekuensi yang sama. Transformator juga dapat berfungsi untuk mentransformasikan daya atau listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya, melalui suatu gandengan magnet yang berdasarkan prinsip induksi elektro magnet. Prinsip yang dipakai dalam transformator adalah mengikuti hukum ampere dan hukum faraday. Dimana arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik.

Didalam transformator terdapat dua sisi, yaitu sisi primer dan sisi sekunder. Perbandingan tegangan anatara sisi primer dan sisi sekunder berbanding lurus dengan perbandingan jumlah lilitan dan berbanding terbalik dengan perbandingan

arusnya. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai, dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh.

Dalam bidang teknik listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi transformator daya, transformator distribusi, dan transformator pengukuran yang terdiri dari transformator arus dan transformator tegangan.

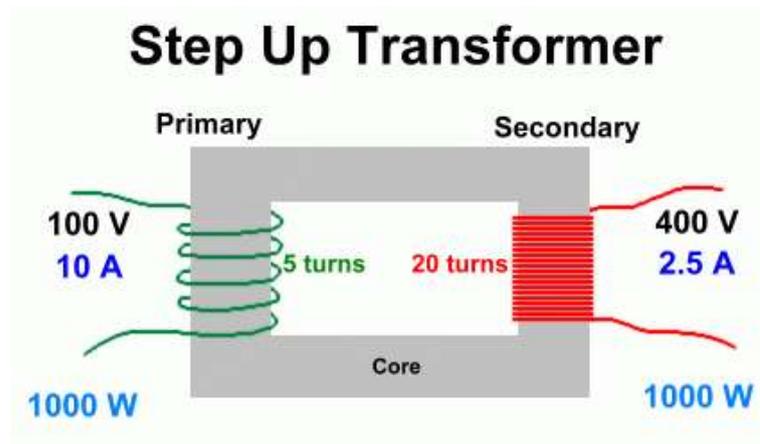
2.11.1 Prinsip Kerja Transformator

Ketika kumparan primer dihubungkan dengan tegangan bolak-balik, besar dan arah medan magnet yang ditimbulkan oleh kumparan primer tersebut akan selalu berubah. Kumparan sekunder berada didekat kumparan primer sehingga perubahan medan magnet yang menembusnya menyebabkan terjadinya GGL induksi pada kumparan sekunder.

“besar atau kecilnya tegangan yang dihasilkan kumparan sekunder diakibatkan oleh jumlah lilitannya”

Prinsip kerja trafo step up

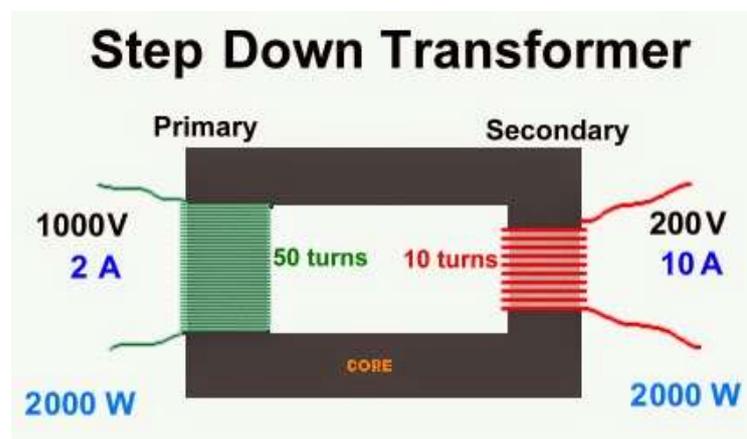
“apabila jumlah lilitan kumparan sekunder lebih banyak dari jumlah lilitan primer, transformator akan menaikkan tegangan. Transformator ini disebut transformator penaik tegangan (transformator step up)”



Gambar 2.9 prinsip kerja trafo step up

Prinsip kerja trafo step down

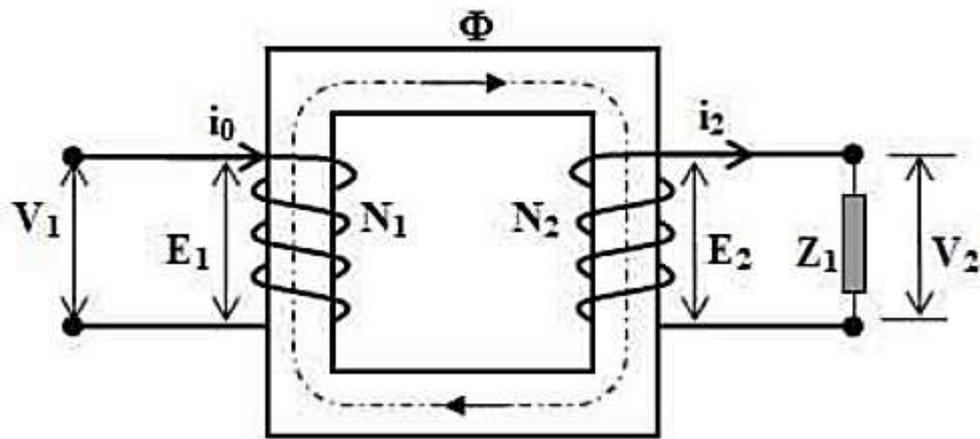
“apabila jumlah lilitan kumparan sekunder lebih sedikit dari jumlah lilitan kumparan primer, transformator akan menurunkan tegangan. Transformator ini disebut transformator penurun tegangan (transformator step down)”



Gambar 2.10 prinsip kerja trafo step down

2.11.2 Transformator dalam Keadaan Berbeban

Apabila kumparan sekunder dihubungkan dengan beban Z_L , I_2 mengalir pada kumparan sekunder dimana $I_2 = V_2/Z_L$ dengan $q^2 =$ faktor kerja beban.



Gambar 2.11 Transformator dalam keadaan berbeban

Arus beban I_2 ini akan menimbulkan gaya gerak magnet (ggm) $N_2 I_2$ yang cenderung menentang fluks (Φ) bersama yang telah ada akibat arus pemagnetan I_M . Agar fluks bersama itu tidak berubah nilainya, pada kumparan primer harus mengalir arus I'_2 , yang menentang fluks yang dibangkitkan oleh arus beban I_2 , sehingga keseluruhan arus yang mengalir pada kumparan primer menjadi :

$$I_1 = I_0 + I'_2$$

Bila rugi besi diabaikan (I_c diabaikan) maka $I_0 = I_M$

$$I_1 = I_M + I'_2$$

Untuk menjaga agar fluks tetap tidak berubah sebesar ggm yang dihasilkan oleh arus pemagnetan I_M saja, berlaku hubungan :

$$N_1 I_M = N_1 I_1 - N_2 I_2$$

$$N_1 I_M = N_1 (I_1 - I'_M) - N_2 I_2$$

$$\text{Sehingga } N_1 I'_2 = N_2 I_2$$

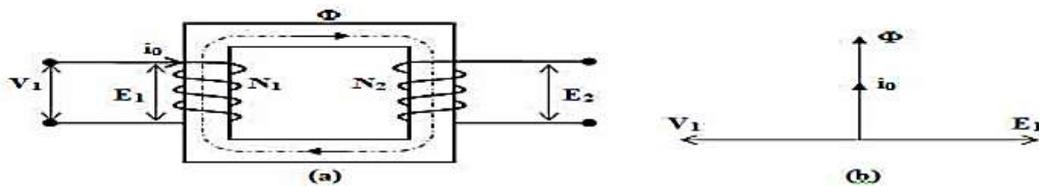
Karena nilai I_M dianggap kecil maka :

$$I_1 = I'_2$$

Jadi a $N_1/I_1 = N_2/I_2$ atau $I_1/I_2 = N_2/I_2$

2.11.3 Transformator Keadaan Tanpa Beban

Bila kumparan primer suatu transformator dihubungkan dengan sumber tegangan V_1 yang sinusoid, akan mengalirkan arus primer I_0 yang juga sinusoid dan dengan menganggap belitan N_1 reaktif murni, I_0 akan tertinggal 90° dari V_1 (gambar). Arus primer I_0 menimbulkan fluks (Φ) yang sefasa juga berbentuk sinusoid.



Gambar 2.12 Transformator keadaan tanpa beban

$$\Phi = \Phi_{\text{maks}} \sin \omega t$$

Fluks yang sinusoid ini akan menghasilkan tegangan induksi e_1 (Hukum Faraday)

$$e_1 = - N_1 \cdot d \Phi / dt$$

$$e_1 = - N_1 \cdot d (\Phi_{\text{maks}} \sin \omega t) / dt = -N_1 \cdot \omega \cdot \Phi_{\text{maks}} \cdot \cos \omega t \text{ (tertinggal } 90^\circ \text{ dari } \Phi)$$

$$\text{harga efektifnya adalah } E_1 = N_1 \cdot 2 \pi f \Phi_{\text{maks}} / \sqrt{2} = 4.44 n_1 \cdot f \Phi_{\text{maks}}$$

Pada rangkaian sekunder, fluks (Φ) bersama tadi menimbulkan

$$e_2 = - N_2 \cdot d \Phi / dt$$

$$e_2 = - N_2 \cdot \omega \cdot \Phi_{\text{maks}} \cdot \cos \omega t$$

$$E_2 = 4.44 N_2 \cdot f \Phi_{\text{maks}}$$

$$E_1 / E_2 = N_1 / N_2$$

Dengan mengabaikan rugi tahanan dan adanya fluks bocor

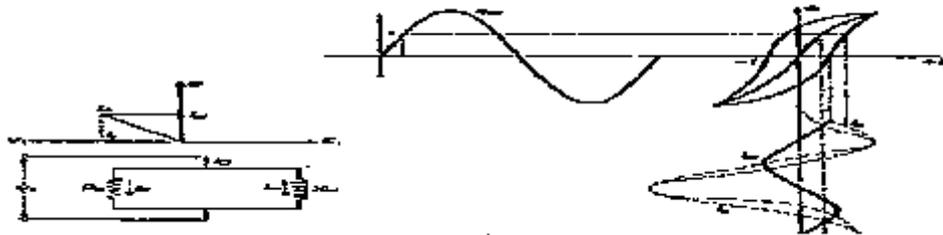
$$E_1 / E_2 = V_1 / V_2 = N_1 / N_2 = a$$

a = perbandingan transformasi

Dalam hal ini tegangan induksi E_1 mempunyai kebesaran yang sama tetapi berlawanan arah dengan tegangan sumber V_1 .

2.11.4 Arus Penguat Transformator

Arus primer I_0 yang mengalir pada saat kumparan sekunder tidak dibebani disebut arus penguat. Dalam kenyataannya arus primer I_0 bukanlah merupakan arus induktif murni, sehingga ia terdiri atas dua komponen (Gambar)



Gambar 2.13 arus penguat

1. Komponen arus pemagnetan I_M , yang menghasilkan fluks (Φ). Karena sifat besi yang non linear (ingat kurva B-H) , maka arus pemagnetan I_M dan juga fluks (Φ) dalam kenyataannya tidak berbentuk sinusoid (Gambar4).
2. Komponen arus rugi tembaga I_c , menyatakan daya yang hilang akibat adanya rugi histerisis dan arus 'eddy'. I_c sefasa dengan V_1 , dengan demikian hasil perkalian ($I_c \times V_1$) merupakan daya (watt) yang hilang.

2.11.5 Pembebanan Transformator

Pembebanan Transformator didapat dari hasil peramalan beban dibagi dengan kapasitas transformator. Sedangkan kapasitas transformator didapat dari data spesifikasi transformator yang dipakai.

Untuk rumus dari pembebanan transformator adalah sebagai berikut :

$$\% \text{ pembebanan} = \frac{S_t}{\text{Kapasitas transformator}} \times 100 \%$$

Dimana :

S_t : pemakaian beban pada bulan t

Kapasitas transformator : Kapasitas trafo (data)

2.11.6 Peramalan Pembebanan transformator

Peramalan beban adalah suatu cara memperkirakan atau menggambarkan beban dimasa yang akan datang. Model pendekatan dari peramalan beban sendiri adalah sebagai berikut :

$$S_t = S_0 \left(\frac{Y}{\alpha} \right)$$

Dimana :

S_t : pemakaian beban pada tahun t (yang nanti akan diramalkan)

S_0 : pemakaian beban tenaga listrik (MVA) dasar pada tahun perhitungan tahun pertama

α : pertumbuhan beban rata-rata yang akan diamati (faktor pengali)

Y : hasil persamaan pendekatan