

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

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 2010 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.

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. 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%).

Donny S. A (2017), penelitian tentang evaluasi kemampuan transformator tenaga gardu induk 150 kv purworejo menyimpulkan 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.

Rahmat Basuki (2017) melakukan penelitian Analisis kemampuan transformator berdasarkan pertumbuhan beban di gardu induk 150 kV purbalingga. Peneliti menyimpulkan bahwa beban untuk 20 tahun yang akan datang pada Gardu Induk 150 KV Purbalingga trafo I 60 MVA pada tahun 2017 hingga 2029 beban trafo masih dalam kategori beban ringan dalam melayani beban dengan beban di tahun 2029 sebesar 35,68 MVA (59%). Untuk trafo 1 masih sanggup melayani beban hingga 20 tahun mendatang. Sedangkan peramalan untuk trafo 2 pada tahun 2017 hingga 2020 beban trafo masih dalam kategori ringan dalam melayani beban dengan batas beban ringan ringan di tahun 2020 sebsar 35,51 MVA (59%). Sedangkan di tahun 2030 transformator tidak bisa lagi melayani beban yang tinggi sekitar 63,59 MVA (105%).

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Gardu Induk

Gardu induk merupakan sekumpulan peralatan yang dimana sistem tenaga dipusatkan pada suatu tempat aliran transmisi dan distribusi. Di dalam gardu induk terdapat banyak komponen yang perlengkapan hubung seperti transformator dan sistem proteksi. Serta peralatan control yang berfungsi sebagai berikut :

- 1.menyalurkan daya listrik dari saluran transmisi ke taransmisi dan kesaluran transmisi lainnya dan kemudian dialurkan kepada pelanggan.
- 2.Sebagai pengaman suatu operasi sistem dan tempat pengontrol sistem tersebut
- 3.Sebagai tempat untuk menurunkan tegangan transmisi menjadi tegangan distribusi.

Maka dari itu jika dilihat dari segi fungsi gardu induk dan manfaatnya maka harus diperlukan peralatan dan komponen penunjang keamanan gardu induk tersebut yang dimana memeiliki keandalan yang tinggi dan optimal dalam kinerjanya sehingga konsumen tidak merasa dirugikan oleh kinerjanya.sesuatu yang memiliki hubungan rekonstruksi pembangunan gardu induk harus memikiki syarat-syarat yang berlaku dan pembangunan gardu induk harus diperhatikan besarnya beban.

Gardu induk yang berhubungan langsung dengan pendistribusian listrik disebut dengan gardu induk beban dan dengan kapasitas 150 kV/20 kV atau dengan kata lain gardu induk tersebut menjembatani antara saluran transmisi dan

konsumen.pada gardu induk ini terdapat tafo step down yang berfungsi untuk menurunkan tegangan tinggi dari 150 kV menjadi 20 kV.

2.2.2 Peralatan Gardu Induk

sebuah gardu induk mempunyai peralatan kelistrikan.peralatan gardu induk tergantung dari tipe gardu induk dari tingkat fungsi,proteksi yang diinginkan.secara umum gardu induk mempunyai peralatan sebagai berikut:

1.Transformator daya

Transformator daya merupakan suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah dengan frekuensi yang tetap. Transformator juga berfungsi sebagai pengatur tegangan yang dimana dilengkapi dengan trafo pentanahan berfungsi untuk mendapatkan titik neutral dari trafo daya atau disebut dengan alat *neutral current transformer* (NCT).



Gambar 2.1 Transformator

<http://blog.umy.ac.id/dhibud/files/2012/06/Trafo-GI-Bantul.jpg>

Didalam penyaluran tenaga listrik ini transformator diharapkan dapat beroperasi secara maksimal atau secara terus menerus dikarenakan transformator yang merupakan jantung dari transmisi dan distribusi.

Melihat dari kerja transformator tersebut maka cara pemeliharaan transformator juga di tuntut sebaik mungkin.

2. Sakelar Pemutus Tenaga (PMT) atau Circuit Breaker (CB)

PMT ini berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan rangkaian pada saat berbeban (pada kondisi arus beban normal atau pada saat terjadi arus gangguan). Pada waktu menghubungkan atau memutus beban, akan terjadi tegangan recovery yaitu suatu fenomena tegangan lebih dari busur api, oleh karena itu sakelar pemutus dilengkapi dengan media peredaman busur api tersebut, seperti media suara dan gas SF₆.

3. Sakelar pemisah (PMS) atau Disconnecting Switch (DS)

Sakelar pemisah ini berfungsi untuk mengisolasi peralatan listrik dari peralatan lain atau instalasi lain yang bertegangan. PMS ini boleh dibuka atau ditutup hanya pada rangkaian yang tidak berbeban.

4. load breaker

Atau saklar pemutus beban adalah peralatan penghubung yang digunakan sebagai pemisah ataupun pemutus tenaga dengan beban nominal. Berfungsi untuk membuka dan menutup aliran listrik dalam keadaan berbeban atau tidak berbeban, termasuk memutus pada saat terjadi gangguan hubung singkat.

5. Sistem Busbar Tunggal (Single Busbar Sistem)

Pada sistem busbar ini semua trafo, generator dan feeder yang ada pada sistem dihubungkan ke busbar. Rel daya tunggal adalah sistem rel daya yang paling sederhana karena hanya menggunakan satu rel daya saja. Semua rangkaian baik

saluran masuk ataupun saluran keluar disambungkan dengan rel tersebut melalui pemutus daya dan saklar pemisah.

6. Lighting arester

Arester adalah suatu alat untuk melindungi isolasi atau peralatan listrik terhadap tegangan lebih yang diakibatkan oleh sambaran petir atau tegangan transient yang tinggi dari suatu penyambungan atau pemutus rangkaian (sirkuit), dengan jalan mengalirkan arus denyut (*surge current*) ketanah serta membatasi berlangsungnya arus ikutan (*follow current*) serta mengembalikan keadaan jaringan ke keadaan semula tanpa mengganggu sistem. Prinsip kerja arester yaitu dengan mengalirkan arus surge (*surge current*) ke tanah, kemudian setelah tegangan normal kembali arester tersebut harus segera memutus arus yang mengikuti kemudian (*follow current*).

7. Sakelar pentanahan

Sakelar ini digunakan menghubungkan kawat konduktor dengan tanah/bumi yang berfungsi untuk menghilangkan/mentanahkan tegangan induksi pada konduktor pada saat akan dilakukan perawatan atau pengisolasi suatu sistem. Sakelar pentanahan ini dibuka dan ditutup hanya apabila sistem dalam keadaan tidak bertegangan (PMS dan PMT sudah membuka).

8. Rel Daya

Rel daya adalah suatu bagian dari sistem tenaga listrik yang bertujuan dalam penggunaannya untuk mengkombinasikan bermacam feeder yang

akan turut dibagi dalam melayani beban. Dalam sistem tenaga listrik rel daya disebut juga dengan istilah busbar. Busbar adalah konduktor berkapasitas arus besar yang berfungsi untuk terminal penampang arus yang masuk dan keluar melalui saluran masuk dan keluar melalui gardu induk. Busbar berfungsi untuk titik pertemuan atau hubungan antara transformator, SUTT dan peralatan-peralatan listrik lainnya untuk menerima dan mendistribusikan tenaga listrik. Rel ini pada umumnya terdiri dari bahan tembaga, aluminium atau ACSR.

9. Isolator

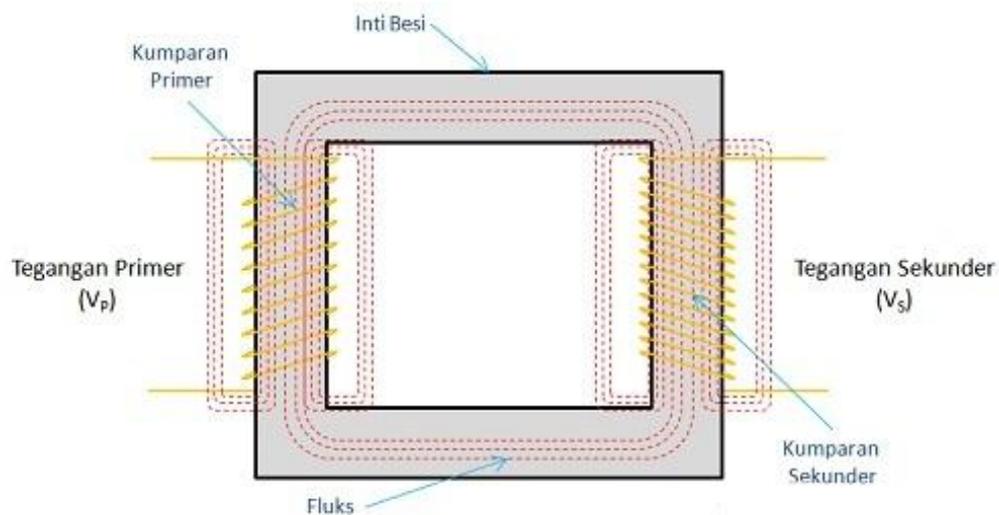
Isolator adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk mengisolasi konduktor atau penghantar dengan tiang listrik. Isolator juga dibedakan menjadi dua jenis antara lain dari fungsi segi elektrik dan fungsi dari segi mekanis. Dari segi elektrik isolator berfungsi untuk menyekat/mengisolasi antara kawat fasa dengan tanah dan kawat fasa lainnya. Sedangkan untuk segi mekanisnya untuk menahan berat dari konduktor/ kawat penghantar, mengatur jarak dan sudut antar konduktor serta menahan adanya perubahan pada kawat penghantar akibat terpaan angin.

2.3 Transformator

2.3.1 Pengertian Transformator

Transformator merupakan suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik AC dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Pengertian lain dari transformator ini juga dapat diartikan untuk mengubah tegangan tinggi ke rendah atau sebaliknya pada arus bolak balik

melalui suatu gandengan magnet dan berdasarkan prinsip-prinsip induksi elektromagnetik. Transformator pada dasarnya terdiri dari 2 lilitan atau kumparan kawat logam yang diisolasi. Kawat tersebut yaitu kumparan primer dan kumparan sekunder yang dililitkan pada sebuah inti besi. Saat kumparan primer dialiri oleh arus AC maka akan menimbulkan fluks magnet atau medan magnet di sekitar inti besi tersebut. Kekuatan fluks magnet tersebut dipengaruhi oleh besarnya arus listrik yang dimana arus listrik yang mengalir lebih besar maka medan magnet yang terjadi semakin besar. Medan magnet yang terjadi pada kumparan primer mengakibatkan GGL (Gaya Gerak Listrik) dalam kumparan sekunder sehingga menyebabkan pertumpahan daya dari sisi primer menuju sisi sekunder. Sehingga taraf tegangan listrik dari kumparan sisi primer akan mengalami perubahan pada kumparan sekunder. Dengan demikian apabila trafo step down mendapatkan sumber tegangan yang tinggi maka akan keluar dengan tegangan rendah.



Gambar 2.2 Induksi magnet pada transformator

<http://teknikelektronika.com/pengertian-transformator-prinsip-kerja-trafo/>

Syahputra (2015:104-105 dan 107) menyebutkan secara umum bagian-bagian transformator yaitu:

1. Bagian masukan

Bagian masukan atau yang disebut juga sebagai bagian primer trafo. Bagian inilah yang dihubungkan dengan sumber energi listrik yang akan diubah.

2. Bagian keluaran

Bagian keluaran atau yang disebut juga sebagai sekunder trafo. Bagian inilah yang dihubungkan dengan beban.

3. Bagian belitan atau koil.

Transformator memiliki dua macam belitan, yaitu belitan primer dan belitan sekunder. Belitan primer menarik energi listrik dari sumber untuk kemudian ditransformasikan (diubah tegangannya) ke beban. Pada umumnya bagian primer dan sekunder transformator dipisah-pisahkan menjadi beberapa koil (belitan). Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi pembentukan fluks yang tidak menghubungkan bagian primer dan sekunder. Pentransformasian hanya akan terjadi saat fluks (*mutual flux*) menghubungkan bagian primer dan sekunder transformator, sementara untuk fluks yang tidak menghubungkan bagian primer dan sekunder disebut fluks bocor (*leakage flux*). Belitannya pun biasanya dibagi-bagi untuk menurunkan besar tegangan per koil. Hal ini sangat penting pada penggunaan untuk transformator tegangan tinggi, karena ketebalan isolasi antar belitan akan memengaruhi konstruksi transformator.

4. Bagian inti (*core*)

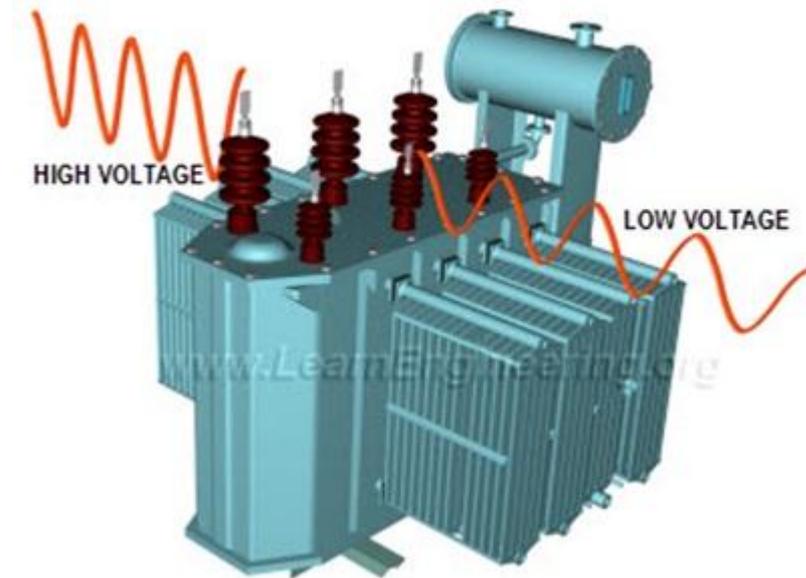
Bagian ini digunakan agar fluks magnetisasi yang terbentuk lebih terarah. Inti transformator tidak berupa suatu besi yang padat, namun berupa lapisan-lapisan besi tipis yang ditumpuk. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi panas yang terbentuk sehingga mengurangi rugi-rugi daya trafo. Karena rangkaian primer dan sekunder tidak terhubung secara elektronis, maka inti besi ini memiliki peranan penting dalam pengiriman tenaga listrik dari primer ke sekunder melalui induksi magnetik.

2.3.2 Prinsip Kerja Transformator

Transformator merupakan alat yang digunakan untuk menurunkan atau menaikkan tegangan bolak-balik (AC). Terdapat 3 komponen pada transformator yaitu yang pertama merupakan kumparan pertama (Primer) yang berfungsi sebagai input, kemudian kumparan yang kedua (skunder) yang berfungsi sebagai output dari transformator, dan yang ketiga merupakan inti besi yang berfungsi sebagai memperkuat medan magnet yang dihasilkan.

Prinsip kerja dari transformator adalah ketika kumparan primer dihubungkan oleh arus tegangan bolak-balik, maka terjadi perubahan arus listrik dan perubahan medan magnet. Medan magnet yang berubah diperkuat dengan adanya inti besi di dalam transformator yang di hantarkan inti besi ke kumparan skunder, sehingga ujung-ujung kumparan skunder akan mengalami ggl induksi. Dengan kata lain efek ini dinamakan dengan induktansi timbal-balik.

Pada transformator ketika arus listrik dari sumber mengalir melalui kumparan primer maka tegangan polaritasnya berbalik arah dan medan magnet yang dihasilkan akan berubah arah pula sehingga arus listrik yang dihasilkan akan berubah polaritasnya di kumparan sekunder.



Gambar 2.3 Simulasi sederhana Transformator

<http://www.insinyoer.com/prinsip-kerja-transformator/>

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

Berdasarkan perbandingan antara jumlah lilitan primer dan jumlah lilitan sekunder 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 ($N_p > N_s$).

2.3.3 Transformator 3 Fasa

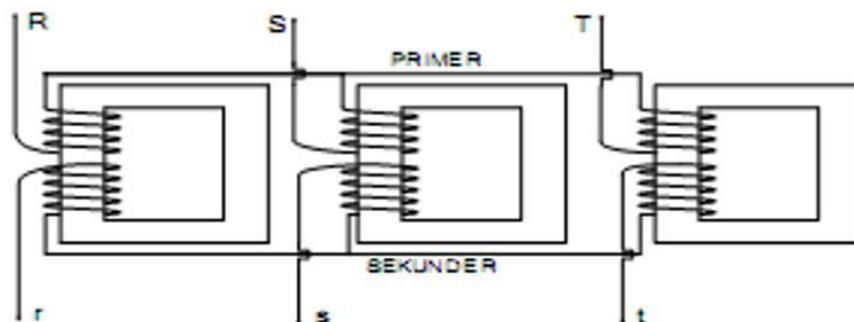
Transformator 3 fasa pada prinsipnya sama dengan transformator satu fasa, perbedaan antara kedua transformator ini hanya terletak pada transformator tiga fasa yang mengenal adanya hubungan bintang, segitiga dan hubungan zig-zag, dan juga sistem bilangan jam yang sangat menentukan kerja paralel tiga fasa. Transformator di kembangkan dengan alasan lebih ekonomis atau biaya yang digunakan untuk pembuatan lebih murah karena menggunakan bahan yang lebih sedikit dibandingkan menggunakan tiga buah transformator satu fasa dengan jumlah daya yang sama dengan satu buah transformator tiga fasa, sehingga pembuatan transformator bisa dikatakan lebih cepat. Cara menganalisa transformator tiga fasa dilakukan dengan menganggap bahwa transformator tiga fasa dianggap sebagai transformator satu fasa. dengan kata lain tekni perhitungan transformator tiga fasa juga sama.

Transformator tiga fasa sering digunakan karena beberapa alasan seperti tidak memerlukan ruangan yang besar untuk daya yang sama, pemeliharaan persatuan barang lebih murah dan lebih mudah sehingga mempunyai nilai ekonomis bila di bandingkan dengan transformator satu fasa.

2.3.4 Prinsip Kerja Transformator 3 fasa

Transformator tiga fasa mempunyai prinsip kerja yang sama dengan transformator satu fasa, perbedaan hanya terletak pada sistem kelistrikannya yaitu satu fasa dan tiga fasa. Sehingga transformator tiga fasa dapat dihubungkan secara bintar, segitiga, atau zig-zag. Penggunaan transformator ini pada sistem transmisi dan distribusi tenaga listrik karena pertimbangan ekonomis. Penggunaan beban dan ruang yang lebih sedikit ini pula yang menguntungkan pada transformator tiga fasa dan harga yang lebih murah.

Selain mempunyai kelebihan tersebut, kekurangan dari transformator tiga fasa ini yakni apabila salah satu sisi fasa mengalami kerusakan, maka seluruh transformator harus dipindahkan atau diganti. Berbeda dengan transformator satu fasa bila mengalami salah satu transformator mengalami kerusakan dari tiga transformator fasa, maka sistem masih bisa dioperasikan dengan sistem *open delta*.



Gambar 2.4 Skema Transformator 3 fasa

<http://industrielektrik.blogspot.co.id/2012/05/transformator.html>

2.4 Prakiraan

Prakiraan atau ramalan merupakan suatu situasi atau kondisi yang akan terjadi pada masa yang akan datang. Peramalan Pada dasarnya merupakan suatu dugaan atau prakiraan mengenai terjadinya suatu kejadian atau peristiwa dimasa yang akan datang (Suswanto, 2009:201). Sehingga peramalan merupakan kegiatan atau memprediksikan apa yang akan terjadi pada masa yang akan datang dengan masa waktu yang relatif lama. Dalam dunia listrik peramalan digunakan untuk memperkirakan kebutuhan energi listrik dan perkiraan beban tenaga listrik yang biasa disebut dengan *Demand and Load Forecasting*. Hasil dari prakiraan tersebut akan digunakan sebagai pemenuhan kebutuhan energi listrik dimasa mendatang. Dalam melakukan peramalan dibutuhkan data yang akurat dimasa lampau untuk melihat prospek situasi dan kondisi dimasa datang. Kegunaan dari peramalan sebagai berikut :

1. Sebagai alat bantu dalam perencanaan yang efektif.
2. Untuk menentukan kebutuhan sumber daya dimasa mendatang.
3. Membuat keputusan yang tepat.

2.4.1 Jenis-Jenis Prakiraan/Peramalan

Peramalan dapat dilakukan secara kuantitatif maupun secara kualitatif. Pengukuran secara kuantitatif menggunakan metode statistik, sedangkan secara kualitatif berdasarkan pendapat dari yang melakukan peramalan.

Dalam peramalan dikenal suatu istilah yaitu prediksi. Prediksi secara umum didefinisikan sebagai suatu proses peramalan suatu kejadian (variabel) di masa mendatang dengan berdasarkan data variabel itu pada masa sebelumnya.

Data masa lampau tersebut secara sistematis digabungkan menggunakan suatu metode tertentu kemudian diolah untuk memperoleh prakiraan keadaan pada masa mendatang. Pada umumnya terdapat dua jenis peramalan yang sering digunakan yakni peramalan kualitatif dan peramalan kuantitatif.

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.

2.4.2 Metode Prakiraan/Peramalan

Metode peramalan adalah cara memperkirakan secara kuantitatif apa yang akan terjadi di masa depan berdasarkan data yang relevan dari masa lampau. Maksud penggunaan metode peramalan ini ialah untuk lebih memudahkan dalam meramalkan sesuatu di masa mendatang. Metode peramalan beban secara umum dapat dibagi menjadi empat kelompok yaitu sebagai berikut :

1. Metode Analisi

Suatu metode yang berdasarkan data dari analisis penggunaan tenaga listrik pada setiap konsumen pemakai. Data didapatkan dari hasil survei ke lapangan

2. Metode Ekonometri

Metode ini dibangun dengan mengikuti indikator-indikator ekonomi. Prakiraan beban berdasarkan hubungan antara penjualan energi listrik dan beban puncak dengan beberapa variabel ekonomi.

3. Metode Kecenderungan (*Black Box*)

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

4. Metode Gabungan

Metode ini merupakan gabungan dari metode analisis dan metode ekonometri. Dengan penggabungan ini didapatkan suatu metode yang tanggap terhadap pengaruh aktifitas ekonomi.

5. Metode Regresi

Metode ini merupakan metode yang sering digunakan dalam perhitungan statistic. Metode regresi beban listrik digunakan untuk mencari hubungan antara konsumsi energi dan faktor lain seperti cuaca, tipe hari, maupun jenis konsumen yang lebih mengasumsikan hubungan antara sebab-akibat dengan satu atau lebih variabel bebas. Tujuan dari metode ini adalah mengetahui atau memprakirakan nilai mendatang dengan variabel tidak bebas. Berikut merupakan metode regresi untuk memperkirakan beban gardu induk.

a. Regresi linear

Regresi linear ini digunakan untuk menguji hubungan antara dua kelompok data yaitu kelompok dengan variabel tak bebas (Y) dengan kelompok variabel bebas (X). Persamaan model linear dirumuskan sebagai berikut

$$Y=a+bX \quad (2.2)$$

Keterangan:

Y = Variabel tak bebas

a = Koefisien intersepsi

b = koefisien kemiringan

X = Variabel bebas

Nilai a dan b dapat dicari dengan menggunakan persamaan

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

$$b = \frac{(n)(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{(n)(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (2.4)$$

Dimana n = Jumlah data

b. Regresi Linear Berganda

Regresi linear berganda adalah analisis yang menjelaskan hubungan antara perubahan respon (*Variable dependen*) dengan faktor-faktor yang mempengaruhi lebih dari satu prediktor (*variabel independen*). regresi linear berganda mempunyai variabel bebasnya lebih dari satu variabel. Regresi linear berganda bertujuan untuk mengukur intensitas hubungan antara dua variabel atau lebih dan membuat prediksi perkiraan nilai Y atas X . Bentuk pemodelan regresi linear berganda ini adalah sebagai berikut :

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k \quad (2.5)$$

Keterangan:

Y = Variabel tak bebas

a = Konstanta regresi

b_1b_2 = Koefisien regresi

X_1X_2 = Variabel bebas

Dari persamaan diatas dibutuhkan nilai dari b_1, b_2, a dengan menggunakan persamaan berikut:

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

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

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

$$\sum X_1 Y = \sum X_1 Y - \frac{(\sum X_1 Y)}{n}$$

$$\sum X_2 Y = \sum X_2 Y - \frac{(\sum X_2 Y)}{n}$$

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

sehingga

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

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

$$a = \frac{(\sum y)(b_1 \sum x_1) - (b_2 \sum x_2)}{(n)}$$

Keterangan :

y = Variabel terikat / tidak bebas

x_1, x_2, \dots, x_k = Variabel bebas

b_1, b_2, \dots, b_k = Koefisien regresi linear

a = Kontanta

2.4.3 Permasalahan Pada Regresi

2.4.3.1 Autokorelasi

Autokorelasi adalah korelasi antara variabel serangkaian observasi yang diurutkan menurut waktu (seperti dalam deret waktu). cara untuk medeteksi ada atau tidaknya autokorelasi dilakukan dengan membandingkan nilai *statistic Durbin-Waston* yang diperoleh dari progam SPSS dengan nilai yang diperoleh dari *Durbin waston*.

2.4.3.2 Heteroskedastisitas

Pengujian *Heteroskedastisitas* merupakan pengujian untuk menentukan apakah model regresi terjadi ketidaksamaan *variance* dari residual satu pengamatan ke pengamatan lain.jika *variance* dari residual satu pengamat ke pengamat lain tetap maka terjadi homoskedastitas.

2.4.3.3 Multikolinieritas

Pada analisis regresi berganda , multikolinieritas adalah suatu istilah yang diberikan kepada satu atau ebebrapa kondisi berikut :

- a. dua variabel bebas berkorelasi sempurna (nilai $r = 1$ atau $r = -1$).
- b. dua variabel bebas hampir berkorelasi sempurna (nilai r mendekati 1 atau -1).
- c. kombinasi linear dari bebrapa variabel bebas berkorelasi sempurna atau mendekati sempurna dengan variabel bebas lainnya.

- d. kombinasi linear dari satu sub-himpunan variabel bebas berkorelasi sempurna ataupun mendekati sempurna dengan suatu kombinasi linear dari sub-himpunan variabel bebas.

2.4.3 Model Prakiraan Beban

Dalam tahapan model prakiraan beban fungsi matematis untuk memformulasikan kebutuhan tenaga listrik sebagai fungsi variabel yang dipilih. sehingga kebutuhan listrik yang akan di hitung dalam model ini. terdapat model yang digunakan dalam keperluan penyusunan prakiraan beban ini yaitu :

1. Model Sektoral

Model ini menggunakan pendekatan sektoral pemakai dengan menggunakan metode gabungan sehingga model ini dapat digunakan untuk menyusun prakiraan tingkat distribusi atau wilayah.

2. Model Lokasi

Model ini mirip dengan model sektoral, dengan penyederhanaan pada beberapa variabel atau asumsi. metode ini digunakan dalam menyusun prakiraan tingkat pusat beban (*load Centre*).

3. Model Gardu Induk

model gardu induk adalah metode *time series (Moving average time series)*, dengan input tunggal beban puncak bukannya gardu induk. model ini digunakan untuk penyusunan beban gardu induk.

2.4.4 Faktor Penting Dalam Prakiraan

Banyak faktor yang perlu diperhatikan seperti faktor cuaca, kelompok, konsumen dan waktu. prakiraan jangka menengah dan panjang menggunakan data riwayat beban dan cuaca. banyaknya pelanggan dalam kelompok yang berbeda dan banyaknya daya listrik dalam suatu area. setiap minggu beban mengalami sifat yang berbeda-beda disertai dengan cuaca yang mempengaruhi beban listrik. fakta yang ada parameter ramalan cuaca adalah faktor yang sangat penting pada prakiraan beban jangka dekat.

2.5 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.

2.5.1 Karakteristik Beban

Karakteristik beban sangat diperlukan agar sistem tegangan dan pengaruh *thermis* pembebanan dapat dianalisis dengan baik karena analisis tersebut berfungsi dalam menentukan keadaan awal yang akan diproyeksikan dalam perencanaan kedepan. penentuan karakteristik beban listrik suatu gardu induk sangat dibutuhkan untuk mengevaluasi pembebanan gardu induk distribusi atau sebagai perencanaan gardu distribusi baru. ketika memilih kapasitas transformator yang tepat maupun ekonomis, karakteristik beban ini sangat memegang peranan penting. disisi lain penggunaannya juga dapat menentukan rating pemutus rangkaian,

analisis rugi-rugi dan penentuan kapasitas pembebanan dan cadangan yang terdapat digardu induk. pola pembebanan dapat ditunjukkan dengan fluktuasi konsumsi listrik yang cukup besar. konsumen industri flutuansi energi listrik hampir sama perbandingan beban rata-rata dengan beban puncak hampir mendekati satu. dipihak lain konsumen komersil akan mempunyai beban puncak waktu malam hari.

2.5.2 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 :

$$\text{Beban rata-rata} = \frac{\text{kWh Produksi Total 1 tahun}}{8760 \text{ jam}} \quad (2.6)$$

2.5.3 Faktor Beban

Faktor beban merupakan prbandingan antara beban rata-rata dengan beban puncak yang diukur dalam periode tertentu. beban puncak yang dimaksud merupakan beban puncak sesaat dalam selang waktu tertentu. persamaan faktor beban dirumuskan sebagai berikut :

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

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

2.6 Prakiraan Pertumbuhan Penduduk

Untuk memprakirakan jumlah pertumbuhan penduduk pertama-tama harus dicari terlebih dahulu nilai persentase pertumbuhannya. Nilai persentase pertumbuhan penduduk dapat diasumsikan menggunakan persamaan berikut:

$$R_{(t-1,t)} = \frac{\text{Penduduk } t - \text{Penduduk}_{t-1}}{\text{Penduduk}_{t-1}} \times 100\% \quad (2.8)$$

Dimana

$R_{(t-1,t)}$ = Tingkat Pertumbuhan (%)

$\text{Penduduk } t$ = Penduduk tahun t (jiwa)

Penduduk _{t-1} = Penduduk tahun sebelum t (jiwa)

Setelah diketahui berapa persen asumsi pertumbuhan penduduknya barulah dapat dihitung jumlah pertumbuhan penduduk untuk tahun-tahun berikutnya. Untuk menghitungnya dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Penduduk } t = (\text{Penduduk }_{t-1} \times R_{(t-1,t)}) + \text{Penduduk }_{t-1} \quad (2.9)$$

Dimana,

$\text{Penduduk } t$ = Penduduk tahun t (jiwa)

Penduduk _{t-1} = Penduduk tahun sebelum t (jiwa)

$R_{(t-1,t)}$ = Tingkat Pertumbuhan (%)

2.6.1 Prakiraan Pertumbuhan PDRB

Untuk memprakirakan jumlah pertumbuhan Produ Domesti Regional Bruto (PDRB) langkah awal yang harus di cari adalah nilai persentase

pertumbuhannya. nilai persentase Pertumbuhan PDRB di rumuskan sebagai berikut:

$$R_{(t-1,t)} = \frac{PDRB_t - PDRB_{t-1}}{PDRB_{t-1}} \quad (2.10)$$

dimana

$$R_{(t-1,t)} = \text{Tingkat Pertumbuhan (\%)}$$

$$Penduduk_t = \text{PDRB tahun } t \text{ (Juta jiwa)}$$

$$Penduduk_{t-1} = \text{PDRB tahun sebelum } t \text{ (Juta jiwa)}$$

Setelah diketahui berapa persen asumsi pertumbuhan penduduknya barulah dapat dihitung jumlah pertumbuhan penduduk untuk tahun-tahun berikutnya. Untuk menghitungnya dapat menggunakan persamaan berikut:

$$PDRB_t = (PDRB_{t-1} \times R_{(t-1,t)}) + PDRB_{t-1} \quad (2.11)$$

dengan,

$$R_{(t-1,t)} = \text{Tingkat Pertumbuhan (\%)}$$

$$Penduduk_t = \text{PDRB tahun } t \text{ (Juta jiwa)}$$

$$Penduduk_{t-1} = \text{PDRB tahun sebelum } t \text{ (Juta jiwa)}$$

2.7 Kemampuan Transformator

2.7.1 Pembebanan Transformator

Transsformator merupakan peralatan yang sangat penting dalam penyaluran energi listrik, dalam penyeluranya terdapat beban energi listrik yang digunakan sesuai dengan kebutuhan manusia. Pembebanan transformator dapat

diketahui dengan hasil peramalan beban dibagi dengan kapasitas transformator. Untuk kapasitas transformator didapat dari data spesifikasi transformator tersebut. Berikut merupakan persamaan untuk menghitung beban transformator :

$$\% \text{pembebanan} = \frac{S_t}{\text{Kapasitas Transformator}} \times 100\% \quad (2.12)$$

Dimana :

S_t : pemakaian beban pada bulan t

Kapasitas transformator : data kapasitas transformator

2.7.2 Prakiraan Pembebanan Transformator

Prakiraan beban adalah suatu cara untuk memperkirakan atau meramalkan beban transformator di masa yang akan datang. Model pendekatan dari prakiraan beban transformator di rumuskan sebagai berikut :

$$S_t = S_0 \left(\frac{Y}{a} \right) \quad (2.13)$$

Dimana

S_t : Pemakaian beban pada tahun t (yang akan diramalkan)

S_0 : Pemakaian beban tenaga listrik dalam MVA pada perhitungan tahun pertama

a : Pertumbuhan beban rata-rata yang akan diamati (faktor pengali)

Y : Hasil persamaan pendekatan

Untuk mencari nilai beban pertumbuhan beban (a) menggunakan persamaan :

$$a = \frac{S_n - (S_{n-1})}{(S_{n-1})} \quad (2.14)$$

Dimana :

a : Pertumbuhan beban setiap tahun

S_n : Rata-rata beban pertahun ke-n (MVA)

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

(Nugroho FA, 2016)

2.7.3 Capacity Balance Gardu Induk

Capacity Balance Gardu Induk adalah cara untuk mengetahui batas kapasitas transformator pada gardu induk dalam mendukung beban yang dikaitkan peningkatan kebutuhan energi listrik berdasarkan dengan perkiraan. Capacity balance dapat menentukan persiapan ekstensifikasi transformator baru dan pengadaan gardu induk baru. Dalam PT PLN terdapat syarat gardu induk yaitu :

- 1) dalam satu gardu induk (GI) hanya di ijin 3 buah transformator
- 2) Kapasitas transformator tertinggi dalam setiap gardu induk adalah 60 MVA
- 3) Pembebanan transformator tidak boleh melebihi 80% dari kapasitas transformator
- 4) bila beban transformator mendekati 80% harus dipersiapkan
 - a. Uprating, bila kapasitas transformator masih dibawah 60 MVA
 - b. Ditambahkan Transformator baru, apabila kapasitas transformator sudah 60 MVA dan di gardu induk tersebut jumlah transformator masih kurang dari tiga
 - c. pembangunan gardu induk baru dengan transformator baru