

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

#### **2.1 TINJAUAN PUSTAKA**

- Safriyudin (2011), penelitian terhadap transformator jaringan distribusi 20 KV di APJ Yogyakarta. Dalam perhitungan regresi linier yang dilakukan pada transformator 20KV mendapat nilai error 13,3% dari standarisasi PLN sebesar batas pemakaian transformator. Maka waktu pakai transformator berkurang selama 8 bulan dari standarisasi pemakaian transformator selama 5 tahun. Maka sisa waktu pemakaian transformator adalah 4 tahun 4 bulan.
- Elias K. B (2013) ,penelitian terhadap pembebanan transformator Gardu Induk 150 KV Wirobrajan. Standar toleransi kelayakan kapasitas transformator wirobrajan sebesar 85% yaitu 50,89 MVA untuk fungsi eksponensial dan 48.07 MVA dengan fungsi polynomial dengan arus pembebanan 84,81% yaitu sebesar 230,72 ampere tercapai pada tahun 2025.
- Ary 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 standard 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, dan untuk pemakaian energy listrik diperkirakan menjadi 326.464,06 kWh dan tahun 2025 menjadi 1.602.199,84 kWh

- Fazha Arief N (2016), Penelitian terhadap evaluasi kemampuan tranformator Gardu Induk Cilegon lama 150KV. Penulis melakukan peramalan terhadap dua buah trafo yang ada di Gardu Induk Cilegon lama 150KV. 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.

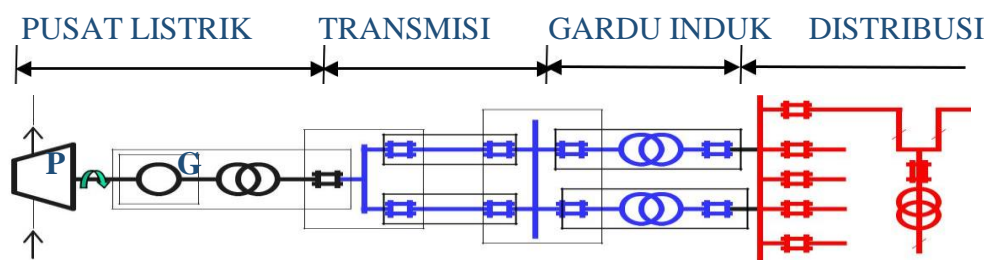
## **2.2 DASAR TEORI**

### **2.2.1 Penyaluran Tenaga Listrik**

Sistem penyaluran tenaga listrik dari pembangkit tenaga listrik kekonsumen (beban), prosesnya melalui beberapa tahap, yaitu dari pembangkit tenaga listrik penghasil energi listrik, disalurkan ke jaringan transmisi (SUTET) langsung ke gardu induk. Dari gardu induk tenaga listrik disalurkan ke jaringan distribusi primer (SUTM), dan melalui

gardu distribusi langsung ke jaringan distribusi sekunder (SUTR), tenaga listrik dialirkan kekonsumen.

Jaringan 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 Jaringan Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik secara keseluruhan merupakan suatu rangkaian terpadu yang terdiri dari 3 komponen yaitu :

- a. Pusat listrik/ pembangkit tenaga listrik seperti : PLTU, PLTA, PLTG, PLTS dan PLTGU, yang berfungsi untuk menyediakan tenaga listrik kemudian disalurkan melalui saluran transmisi setelah terlebih dahulu dinaikkan tegangannya.
- b. Saluran transmisi, berfungsi menyalurkan daya listrik dari pusat pembangkit ke pusat beban atau gardu induk.
- c. Jaringan distribusi, yang berfungsi mendistribusikan daya listrik dari gardu induk ketiap-tiap beban.

Jaringan distribusi dibagi lagi menjadi beberapa bagian yang mempunyai komponen utama sistem distribusi, yaitu :

1. Jaringan distribusi primer

Jaringan distribusi primer menyalurkan daya dari sisi sekunder trafo gardu induk ke sisi primer transformator distribusi. Pada umumnya memiliki tegangan 20 kV.

2. Jaringan distribusi sekunder

Jaringan distribusi sekunder atau jaringan tegangan rendah berfungsi menyalurkan daya dari gardu distribusi sampai kepada para pemakai atau konsumen. Jaringan distribusi sekunder pada umumnya mempunyai tegangan 220 Volt, secara umum sistem distribusi tenaga listrik dari pembangkit sampai ke beban tegangan rendah.

### **2.2.2 Gardu Induk**

Gardu induk adalah suatu instalansi yang terdiri dari peralatan listrik yang berfungsi untuk :

1. Meningkatkan dan menurunkan tegangan system.
2. Pengukuran, pengawasan operasi serta pengaturan pengaman dari sistem tenaga listrik.
3. Penyaluran daya ke gardu lain melalui jaringan transmisi.

### 2.2.3 Jenis Gardu Induk

1. Berdasarkan pemasangan peralatan dibagi menjadi:

a) Gardu induk pemasangan dalam

Adalah gardu induk listrik dimana semua peralatannya dipasang didalam gedung atau diruang tertutup.

b) Gardu induk pemasangan luar

Adalah gardu induk semua atau sebagian besar peralatannya ditempatkan diluar gedung kecuali peralatan control, proteksi, dan sistem kendali serta alat bantu lainnya.

c) Gardu induk kombinasi a dan b

Adalah gardu induk yang peralatan *swicth gear* berada didalam gedung dan sebagian dari *swicth gear* ada diluar gedung seperti gantri (tie line) dari SUTT sebelum masuk kedalam *swicth gear* dan transformator berada diluar gedung.

2. Berdasarkan fungsi gardu induk dibedakan menjadi:

a) Gardu induk distribusi

Gardu induk yang menyalurkan tenaga listrik dari tegangan sistem ke sistem tegangan distribusi.

b) Gardu induk pengatur beban

Gardu induk yang berfungsi mengatur beban, pada gardu induk tersebut terpasang beban motor yang pada saat tertentu menjadi pembangkit tenaga listrik, motor menjadi generator atau menjadi beban dengan generator.

c) Gardu induk pengatur tegangan

Gardu induk jenis ini biasanya terletak jauh dari pusat pembangkit sehingga tegangan jatuh (*voltage drop*) transmisi sangat besar sehingga diperlukan alat penaik tegangan seperti bank kapasitor sehingga tegangan menjadi baik.

d) Gardu induk penurun tegangan

Adalah gardu induk yang berfungsi menurunkan tegangan seperti tegangan sistem primer menjadi tegangan rendah yaitu tegangan distribusi.

e) Gardu induk penaik tegangan

Adalah gardu induk yang mempunyai fasilitas untuk menaikkan tegangan yaitu tegangan pembangkit dinaikkan dari tegangan sistem untuk efisiensi sehingga dapat dihubungkan dengan pusat beban yang lokasinya sangat jauh.

## 2.2.4 Komponen dan Fungsi Gardu Induk

### 1. Transformator Daya

Berfungsi mentransformasikan daya listrik, dengan merubah besaran tegangannya, sedangkan frekuensinya tetap. Transformator daya juga berfungsi untuk pengaturan tegangan. Transformator daya dilengkapi dengan trafo pentanahan yang berfungsi untuk mendapatkan titik neutral dari trafo daya. Peralatan ini disebut Neutral Current Transformer (NCT). Perlengkapan lainnya adalah pentanahan trafo, yang disebut Neutral Grounding Resistance (NGR).



Gambar 2.2 Transformator Daya

## 2. *Neutral Grounding Resistance (NGR)*

Komponen yang dipasang antara titik neutral trafo dengan pentanahan. Berfungsi untuk memperkecil arus gangguan yang terjadi. Diperlukan proteksi yang praktis dan biasanya tidak terlalu mahal, karena karakteristik *relay* dipengaruhi oleh sistem pentanahan neutral.

## 3. *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 (menyebabkan timbulnya) busur api, maka pada CB dilengkapi dengan pemadam busur api. Pemadam busur api berupa :

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

#### 4. *Disconnecting Switch (DS)*

Adalah peralatan pemisah, yang berfungsi untuk memisahkan rangkaian listrik dalam keadaan tidak berbeban. Dalam GI, DS terpasang di :

- 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.

#### 5. *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.



## 6. *Current Transformer (CT)*

Current transformator adalah peralatan pada system tenaga listrik yang mengubah besaran arus dari tinggi ke rendah ataupun sebaliknya sesuai dengan kebutuhan yang di perlukan.



Gambar 2.3 *Current Transformer*

## 7. *Potential Transformer (PT)*

Berfungsi untuk merubah besaran tegangan dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau memperkecil besaran tegangan listrik pada sistem tenaga listrik, menjadi besaran tegangan untuk pengukuran dan proteksi. Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer, dengan memisahkan instalasi pengukuran dan proteksi tegangan tinggi.



Gambar 2.4 *Potential Transformer*

#### 8. Trafo Pemakaian Sendiri (TPS)

Berfungsi sebagai sumber tegangan AC 3 phasa 220/ 380 Volt.

Digunakan untuk kebutuhan intern gardu induk, antara lain untuk :

- a. Penerangan di *switch yard*, gedung kontrol, halaman GI dan sekeliling GI.
- b. Alat pendingin (AC).
- c. *Rectifier*.
- d. Pompa air dan motor-motor listrik.
- e. 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).



Gambar 2.6 Pemutus Tenaga

## 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 2.7 Pemisah Tenaga

## 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 2.8 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 2.9 *Battery*

### 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.

### 14. Rel (Busbar)

Berfungsi sebagai titik pertemuan/hubungan (*connecting*) antara transformator daya, SUTT, SKTT serta komponen listrik lainnya yang ada pada *switch yard*.

Komponen rel (busbar) antara lain :

- Konduktor (AAAC, HAL, THAL, BC, HDCC).

- Insulator String & Fitting (Insulator, Tension Clamp, Suspension Clamp, Socket Eye, Anchor Sackle, Spacer)

### 2.3 PERAMALAN

Pada dasarnya peramalan merupakan suatu dugaan atau perkiraan atas terjadinya kejadian di waktu yang akan datang. Peramalan ini diperlukan karena adanya perbedaan waktu antara kesadaran akan peristiwa atas kebutuhan mendatang dengan waktu peristiwa itu sendiri. Apa bila perbedaan waktu tersebut panjang maka suatu peramalan akan sangat dibutuhkan terutama dalam penentuan suatu peristiwa yang muncul sehingga dapat dipersiapkan langkah-langkah antisipasi yang diperlukan guna menghadapi peristiwa tersebut.

Peramalan dibedakan menjadi dua macam (Assauri,1984) yaitu :

a) Permalan kualitatif

Peramalan kualitatif merupakan peramalan yang didasrakan atas data kumulatif pada masa lalu. Hasil peramalan yang dibuat sangat tergantung pada orang yang menyusunnya. Hal ini penting sebab hasil peramalan tersebut ditentukan berdasarkan intuisi, pendapat dan pengetahuan serta pengalaman penyusun.

b) Peramalan kuantitatif

Peramalan kuantitatif merupakan peramalan yangng dibuat sangat tergantung pada metode yang digunakan dalam peramalan tersebut. Baik tidaknya metode yang digunakan ditentukan oleh perbedaan

antara hasil peramalan dengan kenyataan yang terjadi. Semakin kecil penyimpangan antara hasil peramalan dan kenyataan maka metode peramalan tersebut semakin baik.

Menurut jangka waktunya, peramalan dibagi menjadi tiga periode, sesuai dengan materi yang diramalkannya. Dalam peramalan beban listrik, periode peramalannya dibagi menjadi 3 yaitu:

1. Peramalan Jangka Panjang

Merupakan peramalan yang memperkirakan keadaan dalam waktu beberapa tahun ke depan. Tujuannya adalah untuk mempersiapkan ketersediaan unit pembangkit, sistem transmisi, dan distribusi.

2. Peramalan Jangka Menengah

Merupakan peramalan dalam jangka waktu bulanan atau mingguan. Tujuannya untuk mempersiapkan jadwal persiapan dan operasional pembangkit.

3. Peramalan Jangka Pendek

Merupakan peramalan dalam jangka waktu harian hingga tiap jam. Biasa digunakan untuk studi perbandingan beban listrik perkiraan aktual.



### 2.3.1 Metode Peramalan

Metode Peramalan Beban yang biasa digunakan oleh banyak perusahaan listrik dewasa ini secara umum dapat dibagi menjadi lima kelompok besar yaitu sebagai berikut :

1. Metode Analitis (*End Use*)

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

2. Metode Ekonometri

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

3. Metode Time Series

Metode Time Series adalah metode yang disusun berdasarkan hubungan data-data masa lalu tanpa memperhatikan faktor-faktor penyebab (pengaruh ekonomi, iklim, teknologi dan sebagainya).

4. Metode Gabungan (Metode Analitis dan Metode Ekonometri)

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

5. Metode regresi

Regresi merupakan metode yang paling sering digunakan dalam perhitungan statistik. Peramalan regresi beban listrik biasa digunakan untuk

mencari hubungan antara konsumsi energi dan faktor lain seperti cuaca, tipe hari, maupun jenis konsumen. Metode regresi merupakan metode perkiraan yang mengasumsikan faktor yang diperkirakan menunjukkan hubungan sebab – akibat dengan satu atau lebih variable 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.

#### Regresi Linier

Persamaan umum dari regresi linier ini adalah :

$$y = a + bx(1)$$

Dimana :

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

$$a = \frac{\sum y}{n} - b \frac{\sum x}{n} (3)$$

keterangan :

y = variable tidak bebas

x = variable bebas

$\alpha$  = koefisien intersepsi

b = koefisien kemiringan

Ada beberapa jenis *trend* yang tidak linier tetapi dapat dibuat linier dengan jalan melakukan transformasi. Misalkan trend eksponensial  $y = ea + bx$  yang dapat diubah menjadi:

$$\ln y = \ln e(a + bx) \quad (4)$$

Karena  $\log e = 1$ , maka:

$$\ln y = a + bx \quad (5)$$

Jika  $\ln y = y'$ , maka persamaanya akan menjadi persamaan linier, yaitu:  $y' = a + bx$ . Nilai koefisien  $a$  dan  $b$  di cari melalui persamaan (2) dan (3).

#### Regresi Linier Berganda

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

Regresi linier berganda hampir sama dengan regresi linier sederhana, hanya saja pada regresi linier berganda variabel bebasnya lebih dari satu variabel penduga. Tujuan analisis regresi linier berganda adalah untuk mengukur intensitas hubungan antara dua variabel atau lebih dan membuat prediksi perkiraan nilai  $Y$  atas  $X$ .

Secara umum model regresi linier berganda untuk populasi adalah sebagai berikut:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2$$

untuk mendapatkan nilai  $b_1$   $b_2$  dan  $a$ , 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,

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

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

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

### 2.3.2 Model Peramalan Beban

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

### 1. Model Sektoral

Pada model ini menggunakan pendekatan sektoral pemakai dan dengan menggunakan metode gabungan. Model ini digunakan untuk menyusun peramalan tingkat distribusi/wilayah.

### 2. Model Lokasi

Model ini serupa dengan model sektoral, dengan penyederhanaan pada beberapavariabel/asumsi. Metode ini digunakan untukmenyusun peramalan tingkat pusat beban (*LoadCentre*).

### 3. Model Gardu Induk

Metode ini menggunakan metode time series(*moving average time series*), dengan inputtunggal beban puncak bulanan gardu induk.Model ini digunakan untuk menyusunperamalan beban gardu induk.

#### **2.3.3 Faktor Penting Untuk Peramalan**

Beberapa faktor yang perlu diperhatikan adalah faktor cuaca, kelompok konsumen dan waktu. Peramalan jangka menengah dan panjang menggunakan data historis beban dan cuaca, banyaknya pelanggan dalam kelompok yang berbeda dan banyaknya listrik dalam suatu area. 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 peramalan beban jangka pendek.

## 2.4 KEBUTUHAN BEBAN

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

### 2.4.1 Karakteristik Beban

Secara umum menurut kegiatan pemakaian listrik, konsumen listrik dapat dikelompokkan menjadi konsumen rumah tangga, komersil, publik dan industri. Konsumen-konsumen tersebut memiliki karakteristik beban yang berbeda, hal ini berhubungan dengan pola konsumsi energi listrik pada masing-masing konsumen. Untuk konsumen rumah tangga pola pembebanan ditunjukkan oleh adanya fluktuasi konsumsi listrik yang cukup besar. Pada konsumen industri fluktuasi energi listrik hampir sama sehingga perbandingan beban rata-rata dengan beban puncak hampir mendekati satu, sedangkan pada konsumen komersil akan mempunyai beban puncak pada malam hari.

### 2.4.2 Beban Rata-Rata

Beban rata-rata ( $Br$ ) didefinisikan sebagai perbandingan antara energi yang terpakai dengan waktu periode tertentu. Untuk periode satu tahun persamaannya adalah sebagai berikut:

$$Br = \frac{KWh \text{ Produksi Total 1 Tahun}}{8760 \text{ Jam}} \quad (6)$$

### 2.4.3 Faktor Beban

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

$$L_f \frac{B_r \text{ (Beban rata-rata)}}{\text{Beban puncak}} \quad (7)$$

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

## 2.5 EVALUASI KEMAMPUAN TRANSFORMATOR

- Definisi **kemampuan** : kemampuan suatu benda untuk digunakan atau memproduksi atau menghasilkan.
- Definisi **kapasitas**: ruang yang tersedia atau kemampuan daya tampung.
- Definisi **evaluasi** menurut *Wrightstone (1956)*: penaksiran atau penilaian terhadap pertumbuhan dan kemajuan kearah tujuan atau nilai nilai yang telah ditetapkan.
- **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 definisi definisi tersebut maka evaluasi kemampuan transformator dapat diartikan sebagai penaksiran atau penilaian terhadap 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.

### **2.5.1 Tentang Transformator**

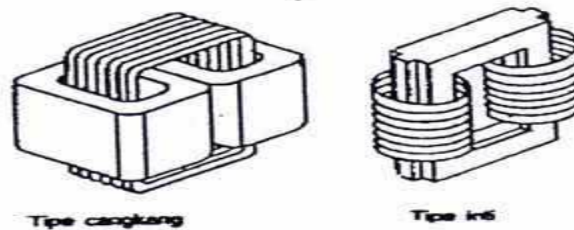
Transformator adalah suatu alat listrik yang digunakan untuk mentransformasikan daya atau listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya, melalui suatu gandingan magnet yang berdasarkan prinsip induksi elektro magnet. Prinsip transformator adalah hukum ampere dan hukum faraday, yaitu: arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik. Transformator digunakan secara luas baik dalam bidang tenaga listrik maupun elektronika. Penggunaan transformator dalam sistem tenaga memungkinkan terpilihnya tegangan yang sesuai, dan ekonomis untuk tiap-tiap keperluan misalnya akan tegangan tinggi dalam pengiriman daya listrik jarak jauh. Dalam bidang tenaga listrik pemakaian transformator dikelompokkan menjadi

1. Transformasi daya
2. Transformator distribusi
3. Transformator pengukuran (transformator arus dan transformator tegangan).

Kerja transformator berdasarkan induksi elektro magnet, menghendaki adanya gandingan magnet antara rangkain primer dan rangkain sekunder. Gandingan magnet ini berupa inti besi tempat melakukan fluks

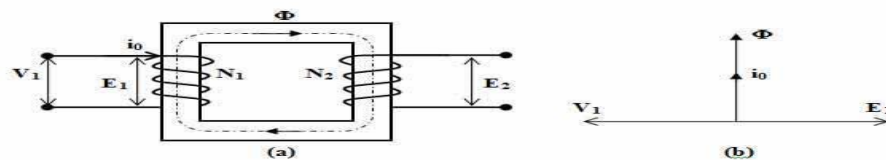


bersama. Berdasarkan cara melilitkan kumparan pada inti, dikenal dua macam transformator yaitu tipe inti dan tipe cangkang.



Gambar 2.10 Tipe Cangkang dan Tipe Inti Kumparan Transformator

### 2.5.2 Transformator Tanpa Beban



Gambar 2.11 Rangkain Trafo Tanpa Beban

Bila kumparan primer suatu transformator dihubungkan dengan sumber tegangan  $V_1$  yang sinusoid, akan mengalir arus primer  $I_0$  yang juga sinusoid dan dengan menganggap belitan  $N_1$  reaktif murni,  $I_0$  akan tertinggal  $90^\circ$  dari  $V_1$  (gambar 2.5,.2). Arus primer  $I_0$  menimbulkan fluks ( $\Phi$ ) yang sefasa juga berbentuk sinusoid.

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

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° 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 skunder, fluks ( $\Phi$ ) bersama tadi menimbulkan

$$e_1 = -N_2 \cdot d \Phi / dt$$

$$e_1 = -N_2 \cdot \omega \cdot \Phi_{\text{maks}} \cdot \cos \omega t$$

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

$$E_1/E_2 = N_1/N_2$$

Dengan mengabaikan rugi tahanan dan adanya fluks bocor

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

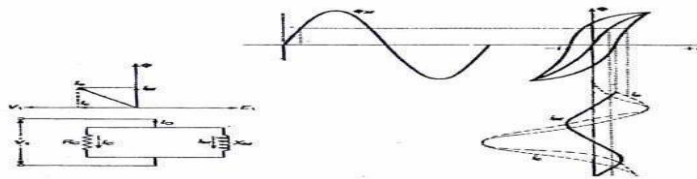
$$a = \text{perbandingan transformasi}$$

Dalam hal ini tegangan induksi  $E_1$  mempunyai kebesaran yang sama tetapi

berlawanan arah dengan tegangan sumber  $V_1$ .

### 2.5.3 Arus Penguat

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 2.4 )

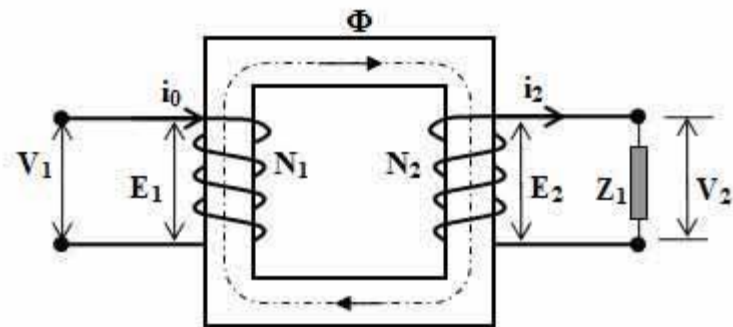


Gambar 2.12 Arus Penguat

1. Komponen arus pemagnetan  $I_M$ , yang menghasilkan fluks ( $\Phi$ ). Karena sifat besi yang non linear (ingat kurva B-H) , maka arus pemagnetan  $I_M$  dan juga fluks ( $\Phi$ ) 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.

### 2.5.4 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 2.13 Transformator Dalam Keadaan Berbeban

Arus beban  $I_2$  ini akan menimbulkan gaya gerak magnet (ggm)  $N_2 I_2$  yang cenderung menentang fluks ( $\Phi$ ) 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  $I_2$ , hingga 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 :

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

$$N_1 I_M = N_1 (I_1 - I''_2) - N_2 I_2$$

$$\text{Hingga} \quad N_1 I_1 = N_2 I_2$$

Karena nilai IM dianggap kecil maka :

$$I_1 = I_2$$

$$\text{Jadi} \rightarrow N_1/I_1 = N_2/I_2 \text{ atau } I_1/I_2 = N_2/I_1$$

### 2.5.5 Pembebanan Transformator

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

$$\% \text{pembebanan} = \frac{S_t}{K_{\text{transformator}}} \times 100\% \quad (8)$$

Keterangan :

$S_t$  : pemakaian beban pada bulan t

$K_{\text{transformator}}$  : kapasitas trafo (data)

### 2.5.6 Peramalan Pembebanan Transformator

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

$$S_t = S_o \frac{Y}{a} \quad (9)$$

Dimana,

$S_t$  : pemakaian beban pada tahun t (yang diramalkan)

$S_o$  : Pemakaian beban tenaga listrik (MVA) dasar pada tahun perhitungan tahun pertama

$a$  : Pertumbuhan beban rata-rata yang diamati

(faktor pengali)

$Y$  : Hasil persamaan pendekatan

b. Untuk mencari nilai Pertumbuhan beban ( $a$ ) menggunakan rumus :

$$a = \frac{S_n - (S_{n-1})}{(S_{n-1})} \times 100\% \quad (10)$$

Dengan,

$a$  : Pertumbuhan beban pertahun

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

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