

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

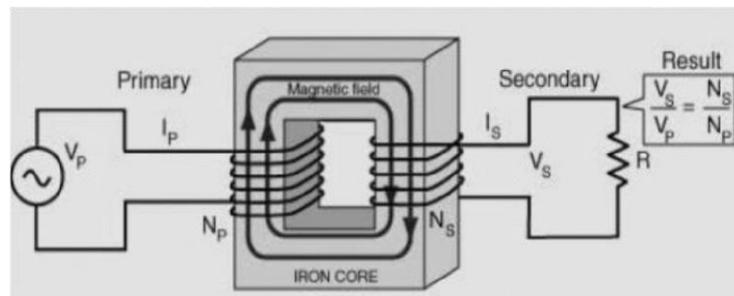
#### **2.1. Distribusi Listrik di Kotaraja**

Pelanggan perumahan murah di sekitaran kantor otonom dan sekitarnya merupakan salah satu daerah yang mempunyai jumlah konsumen yang cukup banyak. Selain itu, banyak bangunan-bangunan dan kantor yang dibuat tempat itu.

Kotaraja adalah sebuah distrik di ibukota Jayapura, Papua, Indonesia. Sistem kelistrikan di Kotaraja terdiri dari 26 penyulang, dengan total gardu distribusi sebesar 485 buah. di antara 15 penyulang ada 9 penyulang yang memiliki gardu terbanyak, diantaranya penyulang Anggrek, penyulang Bougenville, penyulang Tanah Hitam, penyulang Teratai, penyulang Koya, penyulang Sakura, penyulang DPRD Kota, penyulang Melati, penyulang Saga Mall, penyulang Soka, penyulang Dahlia, penyulang Mawar, penyulang Edelweiss, penyulang PLBN, penyulang Koya Barat, penyulang Koya Timur, penyulang Koya Gapura, penyulang Interkoneksi 4 Waena, penyulang Interkoneksi 1 Waena, penyulang Interkoneksi 2 Waena, penyulang Interkoneksi 5 Waena, penyulang Express 1 Abe, penyulang Express 2 Abe, penyulang Express Koya, penyulang Express Otonom, sistem di kotaraja juga terhubung dengan dalam sistem pendistribusian di Kotaraja banyak terjadi ketidakseimbangan beban yang menyebabkan arus mengalir di netral, sehingga dapat menyebabkan rugi - rugi daya.

### 2.3.1. Transformator Satu Fasa

Prinsip kerja transformator adalah berdasarkan hukum ampere dan faraday yaitu “ arus listrik dapat menimbulkan medan magnet dan sebaliknya medan magnet dapat menimbulkan arus listrik”. Jika salah satu kumparan pada transformator dialiri arus listrik, maka timbul gaya garis magnet yang berubah– ubah. Kumparan sekunder akan menerima garis gaya magnet dari kumparan primer yang besarnya berubah–ubah dan di kumparan sekunder juga timbul induksi yang diakibatkan antara dua ujung kumparan terdapat beda tegangan. Jumlah garis gaya (fluks,  $\Phi$ ) yang masuk kumparan sekunder adalah sama dengan garis gaya yang keluar dari kumparan primer.



Gambar 2.2 Teori Dasar Transformator Satu Fasa

### 2.3.2. Transformator Tiga Fasa

Prinsip kerja Transformator Tiga Fasa sama dengan transformator satu fasa yang membedakan yaitu transformator tiga fasa dapat di hubung bintang, segitiga, atau zig zag. Kelebihan lainnya yaitu dapat mengurangi berat dan lebar kerangka sehingga dapat mengurangi berat dan lebar kerangka. Sehingga harga nya dapat

dikurangi bila di bandingkan dengan penggabungan tiga buah transformator satu fasa dengan rating daya yang sama.

Transformator 3 fasa yang mana kita ketahui bahwa Transformator adalah alat digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan dengan cara induksi elektromagnetik. Transformator sering kita jumpai pada jaringan distribusi listrik PLN yang biasa disebut gardu dan kita ketahui bahwa gardu tersebut adalah Transformator 3 fasa atau Transformator biasa atau 1 fasa. Karena sebuah Transformator 3 fasa terdapat 3 kumparan primer dan 3 kumparan sekunder yang dapat dimasuki dengan 3 tegangan listrik dan mengeluarkan 3 tegangan listrik sementara transformatornya 1. Sebagai pertimbangan ekonomis, Transformator 3 fasa banyak mengurangi berat dan lebar dari kerangka Transformator. Maka dari itu, harga dapat dikurangi bila disbanding dengan menggabungkan Transformator (trafo) 1 fasa menjadi 3.

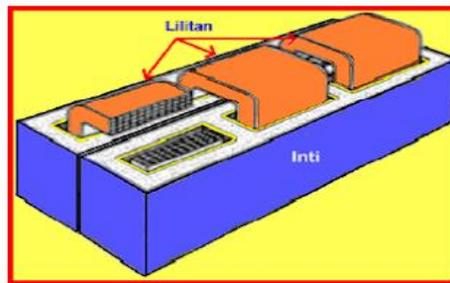
Selain dari pada transformator yang telah disebutkan diatas, ada suatu kekurangan dari Transformator 3 fasa ini, salah satu yang paling merugikan adalah, bila salah satu tegangan mengalami gangguan (kerusakan dan kelalaian) maka seluruh fasa akan terkena dampaknya dan menyebabkan seluruh Transformator dipindahkan (diganti). Berbeda jika menggunakan Transformator 1 fasa 3 buah yang mana bila salah satu mengalami gangguan, tidak akan mempengaruhi transformator lainnya. Secara umum bagian-bagian Transformator meliputi :

a. Kumparan Transformator

Kumparan Transformator terdiri dari lilitan kawat berisolasi dan membentuk kumparan. Kawat yang digunakan adalah kawat tembaga berisolasi yang berbentuk bulat atau plat kumparan tersebut terlapis isolasi sehingga tidak akan terjadi hubung singkat. Selain itu, isolasi juga terdapat pada inti yang dimaksud tidak ada arus yang terbuang pada inti besi tanpa induksi.

b. Inti Besi Transformator

Inti besi pada transformator adalah tempat dimana mengalirnya fluks electromagnetic dari kumparan (lilitan) primer ke lilitan sekundaer (keluaran). Berdasarkan cara melilit kumparan ada dua jenis, yaitu tipe inti dan tipe cangkang.



Sumber: <https://www.kelistrikanku.com/transformator-3-fasa.html>

Gambar 2.3 Inti Besi Transformator

c. Tangki Transformator

Tangki pada Transformator berfungsi untuk menyimpan minyak transformator sebagai pelindung bagian-bagian Transformator yang direndam dalam minyak.

d. Minyak Transformator

Minyak Transformator berfungsi untuk mendinginkan kumparan dan inti besi, selain itu minyak dapat berfungsi untuk isolasi. Karena fungsinya tersebut, ada beberapa syarat yang harus dipenuhi yaitu :

1. Mempunyai kekuatan isolasi (dielectric strength);
2. Penyalur panas yang baik dengan berat jenis yang kecil, sehingga partikel-partikel kecil dapat mengendap dengan cepat
3. Viskositas yang rendah agar lebih mudah bersirkulasi dan kemampuan pendingin jadi lebih baik.
4. Tidak mudah menguap
5. Sifat kimia yang stabil

e. Sistem Pendingin Transformator

Berfungsi untuk membantu minyak mendinginkan transformator. System ini dirangkai agar panas pada trafo dapat disalurkan keluar. Media yang digunakan dalam

sistem ini berupa udara, minyak, dan air. Sirkulasi dilakukan secara alamiah dan dipaksakan.

f. Bushing Transformator

Bushing pada Transformator berfungsi untuk menghubungkan kumparan Transformator dengan rangkaian luar yang diberi selubung isolasi (bushing adalah sebuah konduktor). Selain itu, bushing pada Transformator berfungsi sebagai penyekat antara konduktor dengan tangki Transformator (trafo).

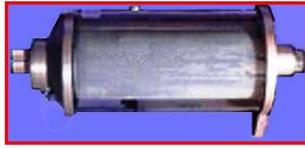


*Sumber: <https://www.kelistrikanku.com/transformator-3-fasa.html>*

Gambar 2.4 Bushing Transformator

g. Alat Pernapasan

Alat pernapasan ini berfungsi sebagai sarana keluarnya uap minyak dan udara pada Transformator yang diakibatkan naik turunnya beban pada Transformator dan suhu udara sekeliling Transformator, suhu minyak berubah-ubah mengikuti perubahan tersebut. Bila suhu minyak naik, minyak memuai dan mendesak udara diatas permukaan minyak keluar dari tangki dan bila temperature suhu turun maka, udara akan masuk.



Sumber: <https://www.kelistrikanku.com/transformator-3-fasa.html>

Gambar 2.5 Alat Pernapasan

h. Konservator Transformator

Alat ini merupakan tabung berisi minyak Transformator yang disimpan (diletakan) pada bagian atas tengki. Konservator berfungsi untuk menjaga ekspansi atau meluapnya minyak akibat pemanasan, selain itu dapat juga menjadi saluran pengisian minyak Transformator.

i. Alat Indicator

Alat indikator berfungsi untuk memonitor kondisi komponen utama atau media bantu yang ada pada Transformator (trafo) saat beroperasi yaitu :

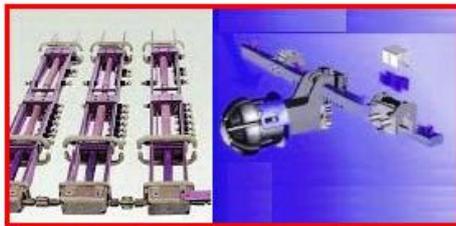


Sumber: <https://www.kelistrikanku.com/transformator-3-fasa.html>

Gambar 2.6 Indikator Level Minyak Dan Indikator Temperatur

j. Tap Changer

Tap changer pada Transformator berfungsi untuk mengubah perbandingan lilitan Transformator (trafo) untuk mendapatkan tegangan operasi pada sisi sekunder sesuai yang dibutuhkan oleh tegangan jaringan (beban) atau karena tegangan sisi primer yang berubah-ubah.



*Sumber: <https://www.kelistrikanku.com/transformator-3-fasa.html>*

Gambar 2.7 Tap Changer

k. Sirip-Sirip Pendingin Atau Radiator

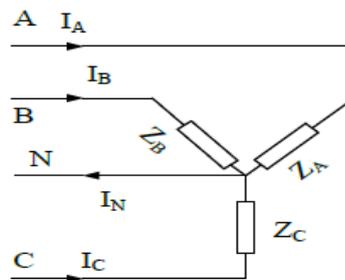
Radiator pada Transformator (trafo) 3 fasa berguna untuk memperluas daerah pendingin, yaitu daerah yang berhubungan langsung dengan udara luar dan sebagai tempat sirkulasi panas. Sistem pendingin, Suhu minyak, Posisi tap, Permukaan minyak.

Kekurangan Transformator Tiga Fasa bila salah satu fasa mengalami kerusakan, maka, seluruh transformator harus dipindahkan (diganti) tetapi apabila transformator terdiri dari tiga buah transformator satu fasa. Bila salah satu transformator mengalami

kerusakan. Sistem masih bisa dioperasikan dengan sistem wye-delta.  
 Secara umum ada 3 jenis hubungan pada transformator tiga fasa yaitu:

a. Transformator Hubungan Bintang

Hubungan bintang ialah hubungan transformator tiga fasa, dimana ujung-ujung awal atau akhir lilitan disatukan. Titik dimana tempat penyatuan dari ujung-ujung lilitan merupakan titik netral. Arus transformator tiga fasa dengan kumparan yang dihubungkan bintang yaitu;  $I_A$ ,  $I_B$ ,  $I_C$  masing-masing berbeda  $120^\circ$ .



Gambar 2.8 Hubung Bintang

Dari gambar diperoleh bahwa :

$$I_A = I_B = I_C = I_L$$

$$I_L = I_{ph}$$

$$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_{L-L}$$

$$V_{L-L} = V_{ph}$$

Dimana :

$V_{L-L}$  = tegangan line to line (Volt)

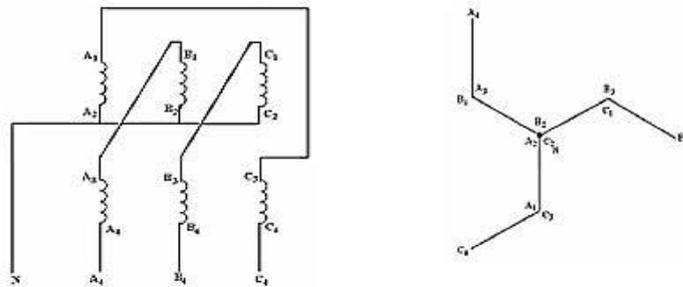
$V_{ph}$  = tegangan fasa (Volt)

$I_L$  = arus line (Ampere)

$I_{ph}$  = arus fasa (Ampere)

b. Transformator Hubung Zig Zag

Transformator zig-zag merupakan transformator dengan tujuan khusus. Salah satu aplikasinya adalah menyediakan titik netral untuk sistem listrik yang tidak memiliki titik netral. Pada transformator zig-zag masing-masing lilitan tiga fasa dibagi menjadi dua bagian dan masing-masing dihubungkan pada kaki yang berlainan. Transformator tiga fasa hubungan zig-zag. Perbandingan Rugi-rugi untuk tiap kumparan yang terhubung Y,  $\Delta$ , Zig-zag

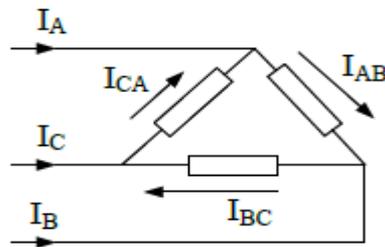


Gambar 2.9 Transformator Hubung Zig-Zag

c. Transformator Hubungan Segitiga/ Delta ( $\Delta$ )

Hubungan segitiga adalah suatu hubungan transformator tiga fasa, dimana cara penyambungannya ialah ujung akhir lilitan fasa pertama disambung dengan ujung mula lilitan fasa kedua, akhir fasa kedua dengan ujung mula fasa

ketiga dan akhir fasa ketiga dengan ujung mula fasa pertama. Tegangan transformator tiga fasa dengan kumparan yang dihubungkan segitiga yaitu:  $V_A$ ,  $V_B$ ,  $V_C$  masing masing berbeda  $120^\circ$ . Transformator tiga fasa hubungan segitiga/delta.



Gambar 2.10 Hubungan Segitiga/ Delta ( $\Delta$ )

Dari gambar diperoleh bahwa :

$$I_A = I_B = I_C = I_L$$

$$I_L = I_{ph}$$

$$V_{AB} = V_{BC} = V_{CA} = V_{L-L}$$

$$V_{L-L} = V_{ph}$$

Dimana :

$V_{L-L}$  = tegangan line to line (Volt)

$V_{ph}$  = tegangan fasa (Volt)

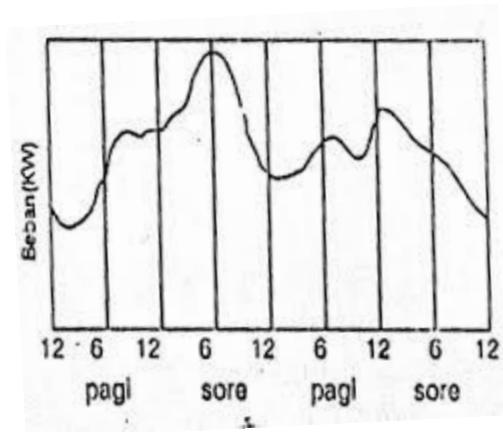
$I_L$  = arus line (Ampere)

$I_{ph}$  = arus fasa (Ampere)

#### 2.4. Jenis Beban Rumah Tangga (Residensial)

Pada umumnya beban rumah tangga berupa lampu untuk penerangan, alat rumah tangga seperti kipas angin, pemanas air, lemari es, penyejuk udara, mixer, oven, motor pompa air dan sebagainya. Beban rumah tangga biasanya memuncak pada malam hari. Beban

rumah tangga akan maksimum pada jam 6 sore sampai kira-kira jam 12.00 malam dan akan menurun sesudah jam 12 malam.



Gambar 2.11 Kurva Beban Rumah Tangga

## 2.5. Karakteristik Umum Beban Listrik

Tujuan utama dari sistem distribusi tenaga listrik ialah mendistribusikan tenaga listrik dari gardu induk atau sumber ke sejumlah pelanggan atau beban. Suatu faktor utama yang paling penting, dalam perencanaan sistem distribusi adalah karakteristik dari berbagai beban. Karakteristik beban diperlukan agar sistem tegangan dan pengaruh thermis dari pembebanan dapat dianalisis dengan baik. Analisis tersebut termasuk dalam menentukan keadaan awal yang akan diproyeksikan dalam perencanaan selanjutnya. Penentuan karakteristik beban listrik suatu gardu distribusi sangat penting artinya untuk mengevaluasi pembebanan gardu distribusi tersebut, ataupun dalam merencanakan suatu gardu distribusi yang baru. Karakteristik beban ini sangat memegang peranan penting dalam memilih kapasitas transformator secara tepat dan ekonomis.

Di lain pihak sangat penting artinya dalam menentukan rating peralatan pemutus rangkaian, analisa rugi-rugi dan menentukan kapasitas pembebanan dan cadangan tersedia dan suatu gardu. karakteristik beban listrik suatu gardu sangat tergantung pada jenis beban yang dilayaninya. Hal ini akan jelas terlihat dan hasil pencatatan kurva beban suatu interval waktu. Berikut ini beberapa faktor yang menentukan karakteristik beban.

### **2.5.1 Faktor Beban (*load factor*)**

Faktor beban adalah perbandingan antara beban rata-rata terhadap beban puncak yang diukur dalam suatu periode tertentu. Beban rata – rata dan beban puncak dapat dinyatakan dalam kilowatt, kilovolt – amper, amper dan sebagainya, tetapi satuan dari keduanya harus sama. faktor beban dapat dihitung untuk periode tertentu biasanya dipakai harian, bulanan atau tahunan. Beban puncak yang dimaksud disini adalah beban puncak sesaat atau beban puncak rata-rata dalam interval tertentu (Demand maksimum), pada umumnya dipakai demand maksimum 15 menit atau 30 menit. Definisi dari faktor beban ini dapat dituliskan dalam persamaan berikut ini:

Faktor beban dapat diketahui dari kurva bebannya. Sedangkan untuk perkiraan besaran faktor beban di masa yang akan datang dapat didekati dengan kata data statistik yang ada berdasarkan jenis bebannya.

$$\text{Faktor Beban(FB)} = \frac{\text{Beban rata-rata dalam periode tertentu}}{\text{Beban puncak dalam periode tersebut}}$$

Bila diterapkan pada pusat pembangkit maka didapat, menurut definisi,

$$\text{Faktor Beban} = \frac{P \text{ rata-rata}}{P \text{ puncak}} = \frac{P \text{ puncak}}{P \text{ puncak}} \times \frac{T}{T}$$

Bila diterapkan pada pusat pembangkit maka didapat, menurut definisi, Faktor Beban:

Dimana :

T = periode waktu

$P_{\text{rata-rata}}$  = Beban rata – rata dalam periode T

$P_p$  = beban puncak yang terjadi dalam periode T pada selang waktu tertentu (15 menit atau 30 menit). Bila  $P_{\text{rata}}$  dan P dalam kW dan T dalam jam. Bila T dalam setahun, maka didapat faktor beban tahunan, bila dalam satu bulan didapat faktor beban bulanan dan bila harian, faktor beban harian.

### 2.5.2 Beban Harian

Faktor beban harian, bervariasi menurut karakteristik dari daerah beban tersebut, apakah daerah pemukiman, daerah industri, perdagangan ataupun gabungan dari bermacam pemakai/pelanggan, juga bagaimana keadaan cuaca atau juga apakah hari libur dan sebagainya. Pada daerah beban tersebut memiliki waktu beban puncak yang berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan dari beberapa

karakteristik pada jam tertentu mengalami kenaikan pemakaian listrik.

### **2.5.3. Faktor beban harian rata – rata**

Faktor beban harian rata – rata, merupakan dasar dari pada faktor beban tahunan total. Pada beban rata-rata harian berdasarkan pembebanan harian kemudian ada juga rata-rata pembebanan bulanan dan tahunan.

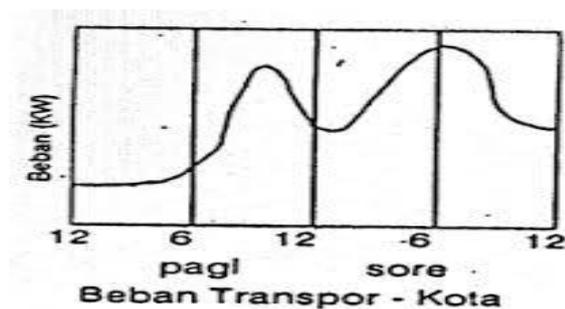
## **2.6. Kurva Beban dan Beban Puncak**

Kepadatan beban selalu dipakai sebagai ukuran dalam menentukan kebutuhan listrik. Sesuatu daerah kepadatan beban satuannya dapat berupa  $mVA/km^2$  atau  $kVA/m^2$  umumnya satuan yang dipakai adalah  $mVA/km^2$ . Beban puncak (kebutuhan maksimum) didefinisikan sebagai beban (kebutuhan) terbesar/tertinggi yang terjadi selama periode tertentu. Periode tertentu dapat berupa sehari, sebulan maupun dalam setahun. Periode harian, yaitu variasi pembebanan transformator distribusi selama sehari. Selanjutnya beban puncak harus diartikan beban rata – rata selama selang waktu tertentu, dimana kemungkinan terjadinya beban tersebut. Contoh, beban harian dari transformator distribusi di mana beban puncaknya selama selang waktu 1 jam, yaitu antara pukul 19.00 (titik A) dan pukul 20.00 (titik B). Nilai rata – rata kurva A – B, merupakan kebutuhan puncaknya (kebutuhan maksimum). Perlu diingatkan disini bahwa kebutuhan puncak

(kebutuhan max) bukan merupakan nilai sesaat, tetapi nilai rata-rata selama selang waktu tertentu, biasanya selang waktu tertentu tersebut adalah 15 menit, 30 menit atau satu jam.

## 2.7 Kurva Beban

Kurva beban menggambarkan variasi perbebanan terhadap suatu gardu yang diukur dengan kW, Ampere atau kVA Sebagai fungsi dari waktu. Interval waktu pengukuran biasanya ditentukan berdasarkan pada penggunaan hasil pengukuran, misal : interval waktu 30 menit atau 60 menit sangat berguna dalam penentuan kapasitas rangkaian. Biasanya beban diukur untuk interval waktu 15 menit, 30 menit, satu hari atau 1 minggu. Kurva Beban menunjukkan permintaan (Demand) atau kebutuhan tenaga pada interval waktu yang berlain-lainan. Dengan bantuan kurva beban kita dapat menentukan besaran dari beban-terbesar dan selanjutnya kapasitas pembangkit dapat ditentukan juga.



Gambar 2.12 Kurva beban suatu metropolitan

## 2.8 Beban Puncak

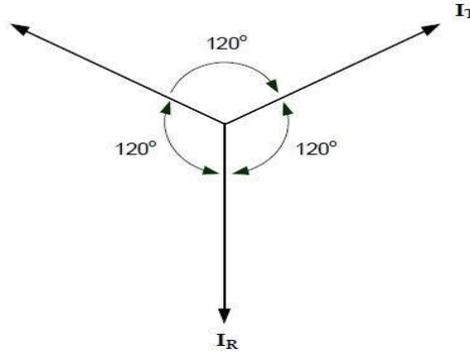
Kepadatan beban selalu dipakai sebagai ukuran dalam menentukan kebutuhan listrik. Sesuatu daerah kepadatan beban satuannya dapat berupa  $mVA/km^2$  atau  $kVA/m^2$  umumnya satuan yang dipakai adalah  $mVA/km^2$ . Beban puncak (kebutuhan maksimum) didefinisikan sebagai beban (kebutuhan) terbesar/tertinggi yang terjadi selama periode tertentu. Periode tertentu dapat berupa sehari, sebulan maupun dalam setahun. Periode harian, yaitu variasi pembebanan transformator distribusi selama sehari. Selanjutnya beban puncak harus diartikan beban rata – rata selama selang waktu tertentu, dimana kemungkinan terjadinya beban tersebut. Contoh, beban harian dari transformator distribusi di mana beban puncaknya selama selang waktu 1 jam, yaitu antara pukul 19.00 (titik A) dan pukul 20.00 (titik B). Nilai rata – rata kurva A – B, merupakan kebutuhan puncaknya (kebutuhan maksimum). Perlu diingatkan disini bahwa kebutuhan puncak (kebutuhan max) bukan merupakan nilai sesaat, tetapi nilai rata – rata selama selang waktu tertentu, 20 biasanya selang waktu tertentu tersebut adalah 15 menit, 30 menit atau satu jam.

## 2.9 Ketidakseimbangan Beban

Yang dimaksud dengan keadaan seimbang adalah suatu keadaan dimana :

1. Ketiga vektor arus / tegangan adalah sama besar

2. Ketiga vektor saling membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain, seperti yang terlihat pada Gambar di bawah ini :

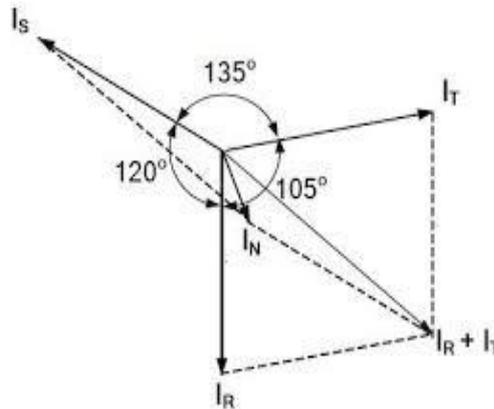


Gambar 2.13 Vektor Diagram Arus Keadaan Seimbang

Dari gambar di atas menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan seimbang. Di sini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya ( $I_R$   $I_S$   $I_T$ ) adalah sama dengan nol. Sehingga tidak muncul arus netral. Sedangkan yang dimaksud dengan keadaan tidak seimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan setimbang tidak terpenuhi. Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada tiga yaitu :

1. Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain
2. Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain
3. Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak membentuk sudut  $120^\circ$  satu sama lain.

Seperti yang terlihat pada Gambar 2.10 di bawah ini :



Gambar 2.14 Vektor Diagram Arus Keadaan Tidak Seimbang

Dari gambar diatas menunjukkan vektor diagram arus dalam keadaan tidak seimbang. Disini terlihat bahwa penjumlahan ketiga vektor arusnya ( $I_R$   $I_S$   $I_T$ ) adalah tidak sama dengan nol sehingga muncul suatu besaran yaitu arus netral ( $I_N$ ) yang besarnya bergantung pada seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.

Ketidakseimbangan beban pada suatu sistem distribusi tenaga listrik selalu terjadi dan penyebab ketidakseimbangan tersebut adalah pada beban-beban satu fasa pelanggan jaringan tegangan rendah. Akibat ketidakseimbangan beban tersebut muncullah arus di netral transformator. Arus yang mengalir di netral transformator menyebabkan terjadinya rugi-rugi, yaitu rugi-rugi akibat adanya arus netral pada kabel netral transformator dan rugi-rugi akibat arus netral pada kabel netral transformator. Ketidakseimbangan beban akan dilakukan perbandingan dan presentase pada siang hari waktu luar beban puncak (WLBP). Dan malam hari waktu luar bebanpuncak(WBP).

### 2.9.1 Perhitungan Ketidakseimbangan Beban

$$I_{rata - rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \quad (2.1)$$

Dimana besarnya arus fasa dalam keadaan seimbang (I) sama dengan besarnya arus rata-rata, maka koefisien a, b dan c diperoleh dengan :

$$a = \frac{I_R}{I} \quad (2.2)$$

$$b = \frac{I_S}{I} \quad (2.3)$$

$$c = \frac{I_T}{I} \quad (2.4)$$

Pada keadaan seimbang, besarnya koefisien a, b dan c adalah 1 Dengan demikian rata-rata ketidakseimbangan beban (dalam %) adalah :

$$I_{rata - rata} = \frac{\{|a - 1| + |b - 1| + |c - 1|\}}{3} \times 100\% \quad (2.5)$$

### 2.9.2 Presentase Pembebanan pada Transformator

Untuk menentukan besarnya presentase pembebanan transformator maka, harus dihitung besarnya arus beban penuh (Full Load)

Dimana :

$I_{FL}$  = Arus Beban Penuh (A)

S = Daya transformator (kVA)

$V =$  Tegangan Sisi Sekunder Transformator (kV)

Untuk perhitungan Presentase pembebanan yaitu

$$\%I = \frac{I \text{ rata - rata}}{IFL} \times 100\% \quad (2.6)$$

## 2.10 Arus Netral

Arus netral dalam sistem distribusi tenaga listrik dikenal sebagai arus yang mengalir pada kawat netral di sistem distribusi tegangan rendah tiga fasa empat kawat. Arus netral ini muncul karena:

1. Kondisi beban tidak seimbang
2. Karena adanya arus harmonisa akibat beban non-linear.

Pengaruh arus netral pada transformator arus netral ini sangat berpengaruh pada sistem jika arus netralnya berlebihan.

Untuk arus fasa beban tidak seimbang dengan menggunakan notasi- notasi yang sama untuk arus fasanya

$$I_R = I^1 + I_2 + I_0 \quad (2.7)$$

$$I_S = a^2 I_1 + a I_2 + I_0 \quad (2.8)$$

$$I_T = a I_1 + a^2 I_2 + I_0 \quad (2.9)$$

Dengan tiga langkah yang dijabarkan dalam menentukan urutan positif, urutan negatif dan urutan nol terlebih dahulu maka arus – arus urutan juga dapat di tentukan dengan cara yang sama, sehingga didapatkan juga :

$$I_1 = \frac{1}{3} ( I_R + aI_{S+} + a^2 I_T ) \quad (2.10)$$

$$I_2 = \frac{1}{3} ( I_R + aI_{S+} + a^2 I_T ) \quad (2.11)$$

$$I_0 = \frac{1}{3} ( I_R + I_{S+} + I_T ) \quad (2.12)$$

Dengan:

$I_1 =$  Arus urutan positif (A)

$I_2 =$  Arus urutan negatif (A)

$I_0 =$  Arus urutan nol (A)

$\Phi = 120^\circ$

Arus Positif berasal dari komponen urutan positif, komponen ini terdiri dari 3 fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lain dalam fasor  $120^\circ$ , dan mempunyai urutan fasor yang sama dengan fasor aslinya. Pada komponen simetris simbol dipergunakan untuk menunjukkan operator yang menimbulkan suatu perputaran sebesar  $120^\circ$  dengan arah berlawanan jarum jam . Operator semacam ini adalah bilangan kompleks. Dalam sistem tiga fasa empat kawat jumlah arus sama dengan jumlah arus netral sebagai berikut:

$$I_R + I_{S+} + I_T = I_N \quad (2.13)$$

Dari rumus di atas dalam bentuk bilangan rectangular yang kemudian akan dicari besarnya sudut pada netral transformator yang

kemudian akan dikonversi menjadi bilangan polar sebagai berikut r

(abs)

$$= \sqrt{(X^2 + y^2)} \quad (2.14)$$

Selanjutnya menggunakan persamaan sebagai berikut  $\phi$  (angle)

$$= \tan^{-1}(y \div x) \quad (2.15)$$

## 2.11 Segitiga Daya

Daya listrik terbagi menjadi 3 jenis daya yaitu :

### a. Daya Semu (S)

Daya semu adalah daya total penjumlahan dari daya aktif dan daya reaktif. Daya semu ini dibentuk dari hasil perkalian besaran tegangan dengan besaran arus. Rumus untuk daya semu adalah sebagai berikut

: Line to netral atau 1 fasa

$$S = V \times I \quad (2.16)$$

*Line to line* atau 3 fasa

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \quad (2.17)$$

Dimana : S = Daya Semu (VA)

V = Tegangan (V)

I = Arus yang mengalir pada penghantar (A)

b. Daya Aktif (P)

Daya aktif adalah daya yang membentuk energi yang sebenarnya per satuan waktu dan dapat diukur dengan kWh meter dan energi yang digunakan oleh beban untuk melakukan aktivitas tertentu. Daya aktif terbentuk dari hasil perkalian antara besaran tegangan, besaran arus dan faktor daya. Rumus untuk daya aktif adalah sebagaiberikut :

*Line to netral* atau 1 fasa

$$P = V \times I \times \cos \varphi \quad (2.18)$$

*Line to line* atau 3 fasa

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \quad (2.19)$$

Dimana :

P = Daya nyata (W)

Cos  $\varphi$  = Faktor daya

c. Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif merupakan daya yang terpakai sebagai energy pembangkitan garis gaya magnet (*flux magnetic*) sehingga timbul magnetisasi dan daya ini dikembalikan ke sistem karena efek elektromagnetik sistem itu sendiri, sehingga daya ini sebenarnya merupakan beban (kebutuhan)

pada sistem tenaga listrik. Daya reaktif ini adalah hasil perkalian antara besaran arus dan besaran tegangan yang dipengaruhi oleh faktor daya. Rumus untuk daya reaktif adalah sebagai berikut:

*Line to netral* atau 1 fasa

$$Q = V \times I \times \sin \varphi \quad (2.20)$$

*Line to line* atau 3 phase

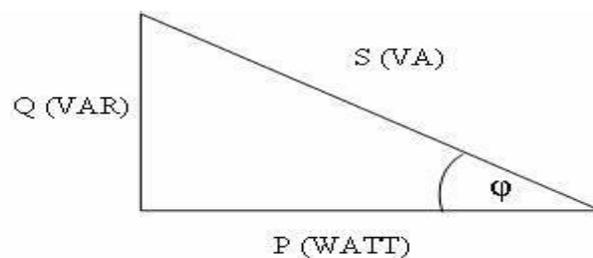
$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \varphi \quad (2.21)$$

Dimana :

Q = Daya Reaktif (VAR)

$\sin \varphi$  = Faktor daya

Penjelasan mengenai ketiga jenis daya diatas dikenal juga sebagai segitiga daya. Dimana definisi umum dari segitiga daya adalah suatu hubungan antara daya nyata, daya semu, dan daya reaktif, yang dapat dilihat hubungannya pada gambar bentuk segitiga berikut ini :



Gambar 2.15 Segitiga Daya

## 2.12 Jenis Kabel Pada Transformator Distribusi

Kabel netral pada transformator menggunakan jenis kabel NYY dengan ukuran 240 mm<sup>2</sup>. Kabel NYY memiliki isolasi PVC yang biasanya berwarna hitam ada yang beinti dua, tiga, atau empat. Memiliki lapisan yang lebih kuat dengan bahan tembaga (Cu).



Gambar 2.16 Kabel NYY

Kabel grounding menggunakan jenis tembaga dengan luas penampang jenisnya BC (Bare Core). Ciri kabel tidak mempunyai isolator atau telanjang hanya terdiri dari inti kabel saja yang disebut bare core. Kabel ini sering digunakan dalam instalasi penangkal petir atau ground sistem seharusnya agar lebih aman kabel ini diberikan isolasi namun dilapangan tidak ada isolasinya.

## 2.13 Rugi - Ketidakseimbangan Pembebanan Transformator Distribusi

Arus netral disebabkan karena ketidakseimbangan beban kemudian pembebanan yang tidak seimbang pada Transformator akan menimbulkan rugi-rugi. Berikut rugirugi pada transformator akibat arus netral. Arus netral ini harus dilihat secara seksama. Berikut rumus tentang rugi-rugi.

1. Rugi-rugi akibat arus netral pada kabel netral Transformator

Sebagai akibat dari ketidakseimbangan beban antara tiap-tiap fasa pada sisi sekunder transformator (fasa R, fasa S, fasa T) mengalirlah arus dikabel netral transformator. Arus yang mengalir pada kabel netral transformator ini menyebabkan rugi-rugi.

Rugi-rugi pada kabel netral transformator ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$PN = I_N^2 \times R_N \quad (2.22)$$

Dimana:

PN = Rugi-rugi pada kabel netral transformator (watt)

IN = Arus netral pada kabel netral transformator (Ampere)

RN = Tahanan netral penghantar transformator (ohm).

2. Presentase rugi-rugi akibat arus netral pada kabel netral Transformator. Perhitungan presentase rugi-rugi pada kabel netral transformator dirumuskan sebagai berikut  $\%PN = \frac{PN}{P} \times 100\%$  (2.23) Dimana : %PN = Presentase rugi-rugi pada kabel netral transformator (Persen) PN = Rugi-rugi pada kabel netral transformator (Watt) P = Daya aktif transformator (Watt).