

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1. Tinjauan Pustaka**

Studi literature adalah mencari refrensi teori yang relefan dengan kasus atau permasalahan yang ditemukan, refrensi ini dapat dicari dari buku, jurnal, artikel laporan penelitian, dan situs – situs internet. Output dari studi literature ini adalah terkoneksinya refrensi yang relefan dengan perumusan masalah. Tujuannya adalah untuk memperkuat permasalahan serta sebagai dasar teori dalam melakukan studi, oleh karena itu dapat kita lihat beberapa penelitian dibawah ini:

Felicita, Nadya (2018) dalam jurnal yang berjudul “Analisa Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan *Losses* Pada Transformator Gedung Citylofts Sudirman”. Ketidakseimbangan beban pada transformator distribusi terjadi karena ketidakseimbangan beban pada tiap fasa ( fasa R, fasa T, dan fasa S) akibatnya muncul lah arus netral yang mengalir pada transformator dan *losses* (rugi-rugi). Transformator dikatakan tidak seimbang jika tingkat ketidakseimbangannya lebih dari 20%. pengukuran pembebanan siang dan malam hari adanya perbedaan yaitu pada siang hari 15% sedangkan pada malam hari yaitu 13% ini karena, tingkat pemakaian listrik sesuai tingkat hunian setiap hari nya. Semakin besar ketidakseimbangan beban semakin besar arus netral yang mengalir pada

transformator. Dari hasil perhitungan diperoleh besarnya arus netral yang mengalir pada transformator pada waktu siang hari yaitu 0,24% atau 4,82 kW dan waktu malam hari yaitu 0,16% atau 3,16% . Biaya *losses* energi pada siang hari lebih kecil yaitu Rp 6.971.054,4 sedangkan pada malam hari sebesar Rp 7.5353.103,1. Semakin besar ketidakseimbangan beban maka, semakin besar arus netral, yang mengalir pada penghantar dan arus netral yang mengalir ke tanah.

Muhamad Arifin Siregar (2013) dalam jurnalnya melakukan “Analisis Ketidakseimbangan Beban Pada Transformator Distribusi di PT. PLN (Persero) Rayon Penakam Pekan Baru”. Terjadi karena ketidaksamaan pemakaian listrik yang menimbulkan arus netral yang mengalir pada penghantar transformator. Arus netral ini menyebabkan terjadinya rugi-rugi. Hasil pengukuran arus pada masing-masing fasa dimana arus yang mengalir dimasing masing fasa berbeda dengan waktu yang berbeda yaitu waktu siang dan malam dengan hasil besarnya arus yang mengalir pada fasa R, S, T dikatakan beban transformator dalam keadaan tidak seimbang pada malam hari. beban puncak terjadi malam hari yaitu sebesar 28,84%. Semakin besar arus yang mengalir di penghantar netral transformator akan menyebabkan semakin besar rugi daya dan semakin besar presentase rugi daya. Efisiensi transformator lebih besar pada malam hari yaitu 97,7% hal ini dapat terjadi karena pemakaian beban lebih banyak terjadi pada malam hari. Semakin besar pemakaian beban listrik maka akan semakin besar efisiensi transformator dan semakin kecil rugi daya akan semakin besar efisiensi transformator.

Dani Supriyadi (2018) dalam jurnal yang berjudul “Analisa Ketidakseimbangan Beban Pada Penyulang mahoni PT. PLN (Persero) Area Bandengan”. Hasil pengukuran pada penyulang mahoni diketahui presentase ketidakseimbangan beban rata-rata sebesar 11,01% dan rugi daya yang terjadi pada penyulang mahoni akibat

daya yang tidak seimbang 182,87 Watt. Presentase pembebanan pada penyulang mahoni belum ada yang melebihi 80% jadi pembebanan transformator pada penyulang mahoni masih memenuhi standar. Presentasi ketidakseimbangan beban pada penyulang mahoni banyak yang diatas 5 % jadi harus dilakukan pemerataan beban supaya tidak terjadi rugi-rugi daya yang besar. Rugi rugi daya pada penyulang mahoni sebesar 18287.97 Watt ini sangat merugikan pihak PLN yaitu kwh yang terjual jadi berkurang karna adanya rugi-rugi daya yang terjadi pada netral transformator akibat pembebanan yang tidak seimbang.

I Putu Gede Putra Aditya (2017) dalam jurnal yang berjudul “Rugi-rugi Pada Penghantar Netral Akibat Ketidakseimbangan beban Transformator Distribusi SP277 Dan KJ352 PT.PLN Area Kebon Jeruk”. Rugi-rugi penghantar jaringan tegangan rendah disebabkan oleh adanya ketidakseimbangan beban pada masing masing fasanya. Rugi-rugi pada penghantar netral sebesar 13,9 kW pada luar beban (LWBP). Sedangkan pada waktu beban puncak sebesar 10,6 pada gardu SP277. Jika dikonversikan di dalam rupiah maka rugi penghantar netral gardu SP277 adalah sebesar Rp 387.651 pada waktu luar beban Puncak (LWBP) serta Rp 86569 waktu beban puncak (WBP) dengan total rupiah hilang akibat rugi-rugi  $P_N$  selama 1 hari adalah sebesar 242.689. Besar pembebanan transformator tidak mempengaruhi besar ketidakseimbangan dan juga besar rugi-rugi yang timbul pada penghantar netral ( $P_N$ ) melainkan pembebanan yang tidak seimbang dari ketiga fasa lah yang mempengaruhi besarnya nilai  $P_N$ . Semakin tinggi nilai ketidakseimbangan pada transformator maka semakin besar pula arus yang timbul pada penghantar netral. Dan akan berbanding lurus untuk nilai rugi-rugi yang dihasilkan.

Pada Jurnal oleh Hajriani, Syarifudin, dan akhmad pada tahun 2018 “Evaluasi Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Trafo Distribusi 20 kV Penyulang Toddopuli”. Penelitian dilakukan di penyulang toddopuli pada PT. PLN (Persero) Rayon Panakkukang dengan menggunakan metode analisis secara deskriptif dan simulasi menggunakan ETAP *Power Station* 12.6.0 kV Pada Penyulang toddopuli sebesar 0,14 dengan nilai ini dikatakan masih dalam keadaan seimbang. Pengaruh adanya ketidakseimbangan beban transformator distribusi 20 kV adalah muncul nya arus netral di netral transformator. Berdasarkan perhitungan dan analisis faktor ketidakseimbangan beban adalah sebesar 0,14. Rugi-rugi daya yang terjadi pada penyulang toddopuli sebesar 415.70 kW. Transformator memiliki nilai rugi-rugi dengan daya jaringan yang terbesar adalah transformator dengan kode GT. PTP033.

## **2.2. Transformator**

Transformator merupakan suatu peralatan listrik elektromagnetik statis yang berfungsi untuk memindahkan dan mengubah daya listrik dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya, dengan frekuensi yang sama dan perbandingan transformasi tertentu melalui suatu magnet dan bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetis, dimana perbandingan tegangan antara sisi primer dan sisi sekunder berbanding lurus dengan perbandingan jumlah lilitan dan berbanding terbalik dengan perbandingan arusnya.

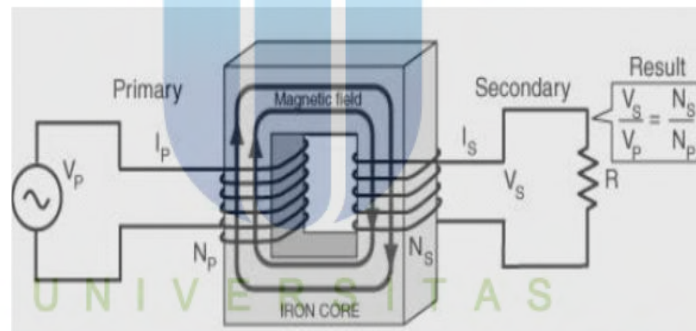
## **2.3. Jenis Transformator Berdasarkan Koneksi Fasa Delta**

Berdasarkan koneksi fasa delta transformator dibagi menjadi dua yaitu

1. Transformator Satu Fasa
2. Transformator Tiga Fasa

### 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 (  $\Phi$ , fluks ) yang masuk kumparan sekunder adalah sama dengan garis gaya yang keluar dari kumparan primer.



Gambar 2.1 Teori Dasar Transformator Satu Fasa  
(Sumber: Google)

### 2.3.2. Transformator Tiga Fasa

Prinsip kerja Transformator Tiga Fasa sama dengan transformator satu fasayange 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. Kekurangan

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

Hubungang 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; IA, IB, IC masing-masing berbeda  $120^\circ$ .

Transformator tiga fasa hubungan bintang.

Dari gambar diperoleh bahwa :

$$I_A = I_B = I_C = I_L$$

$$I_L = I_{ph}$$

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

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

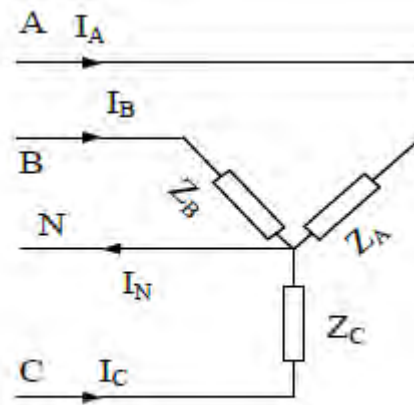
Dimana : UNIVERSITAS

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

$V_{ph}$  = tegangan phasa (*Volt*)

$I_L$  = arus line (*Ampere*)

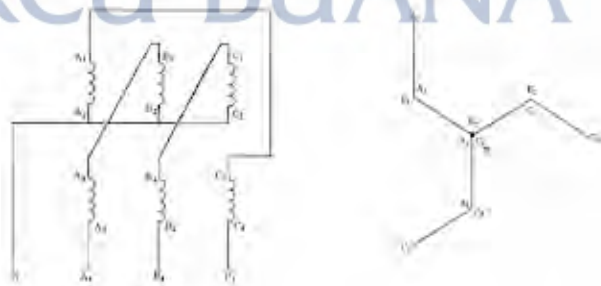
$I_{ph}$  = arus phasa (*Ampere*)



Gambar 2.2 Hubung Bintang  
(Sumber <http://blog.unnes.ac.id/>)

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.



Gambar 2.3 Transformator Hubung Zig-Zag

(Sumber <http://blog.unnes.ac.id/>)

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: VA, VB, VC masing-masing berbeda  $120^\circ$ . Transformator tiga fasa hubungan segitiga/delta. Dari gambar diperoleh bahwa :

$$I_A = I_B = I_C = I_L$$

$$I_L = I_{ph}$$

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

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

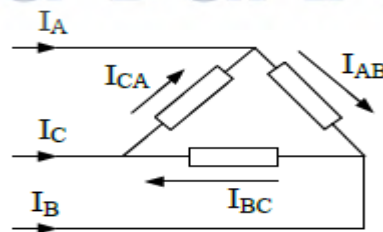
Dimana :

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

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

$I_L$  = arus line (*Ampere*)

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



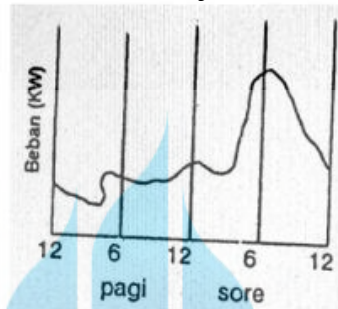
Gambar 2.4 Hubungan Segitiga/ Delta ( $\Delta$ )

(Sumber <http://blog.unnes.ac.id/>)



#### 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 2.5 Kurva Beban Rumah Tangga

(Sumber : daman48.files.wordpress.com)

#### 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 termis 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.

#### 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.

$$\text{Faktor Beban (FB)} = \frac{\text{BebanRata-ratadalamperiodetertentu}}{\text{BebanPuncakdalamperiodetersebut}}$$

Bila diterapkan pada pusat pembangkit maka didapat, menurut definisi,

$$\text{Faktor Beban} = \frac{P_{\text{Rata-rata}}}{P_{\text{Puncak}}} \times \frac{T}{T}$$

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  $P_{rata}$  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. 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.

## 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.

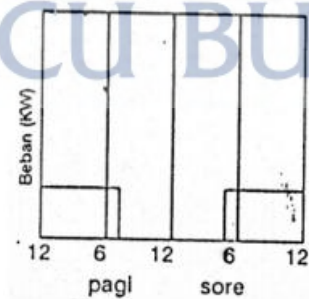
### 2.5.1. Kurva Beban dan Beban Puncak

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

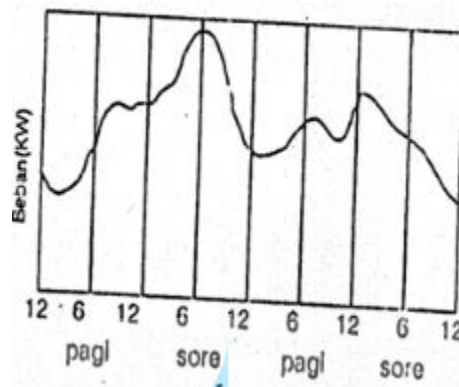
kemungkinan terjadinya beban tersebut. Contoh, beban harian dari transformator distribusi di mana beban puncaknya selama selang waktu 1 jam, yaitu antara pukul 19.00 (titik A) dan pukul 20.00 (titik B). Nilai rata – rata kurva A – B, merupakan kebutuhan puncaknya (kebutuhan maksimum). Perlu diingatkan 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.

### 1. 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.



Beban untuk penerangan kota akan konstan dari jam 6 sore sampai jam 6 pagi.



Gambar 2.7 Kurva beban suatu metropolitan  
(Sumber : daman48.files.wordpress.com)

## 2. Beban Puncak

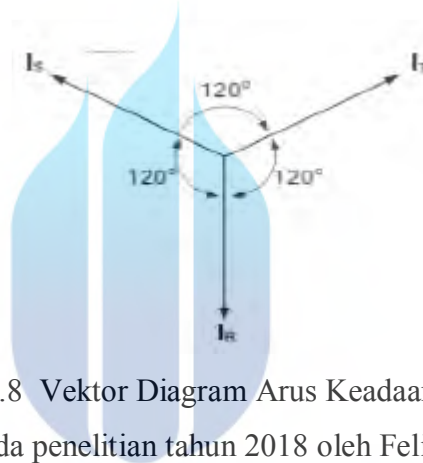
Kepadatan beban selalu dipakai sebagai ukuran dalam menentukan kebutuhan listrik. Sesuatu daerah kepadatan beban satuannya dapat berupa  $mVA/km^2$  atau  $kVA/m^2$  umumnya satuan yang dipakai adalah  $mVA/km^2$ . Beban puncak (kebutuhan maksimum) didefinisikan sebagai beban (kebutuhan) terbesar/tertinggi 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.

## 2.6. 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 :

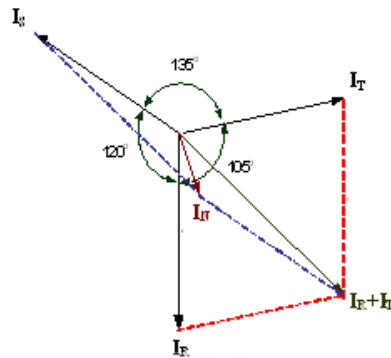


Gambar 2.8 Vektor Diagram Arus Keadaan Seimbang  
(Sumber : pada penelitian tahun 2018 oleh Felicita, Nadya)

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 2.9 di bawah ini :



Gambar 2.9 Vektor Diagram Arus Keadaan Tidak Seimbang  
(Sumber : pada penelitian tahun 2018 oleh Felicita, Nadya)

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).

### 2.6.1. Perhitungan Ketidakseimbangan Beban

$$I_{\text{Rata-rata}} = \frac{IR+IS+IT}{3} \quad (2.1)$$

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

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

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

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

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

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

### 2.6.2. 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

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

### 2.7. 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

$$I_R = I_1 + I_2 + I_0$$

(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 :

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

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

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

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  $a$  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

$$r \text{ (abs)} = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (2.14)$$

selanjutnya menggunakan persamaan sebagai berikut

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

## 2.8. Segitiga Daya

Daya listrik terbagi menjadi 3 jenis daya yaitu :

### 1. 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)

### 2. 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 sebagai berikut :

*Line to netral* atau 1 fasa

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

*Line to line* atau 3 fasa

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

Dimana :

P = Daya nyata (W)

Cos $\theta$  = Faktor daya

### 3. 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

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

*Line to line* atau 3 phase

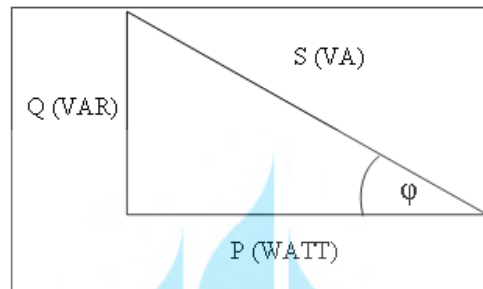
$$Q = \sqrt{3} \times V \times I \times \sin \theta. \quad (2.21)$$

Dimana :

Q = Daya Reaktif (VAR)

Sin $\theta$  = 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 2.10 Segitiga Daya

(Sumber : <https://www.elektronikabersama.web.id>)

## 2.9. Jenis Kabel Pada Transformator Distribusi

1. 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 beintidua, tiga, atau empat. Memiliki lapisan yang lebih kuat dengan bahan tembaga (Cu).



Gambar 2.11 Kabel NYY

(Sumber : PUIL 2011)

## 2. Kabel Grounding pada transformator

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.

### 2.10. Rugi - Ketidakseimbangan Pembebanan Transformator Distribusi

Arus netral disebabkan karena ketidakseimbangan beban kemudian pembebanan yang tidak seimbang pada Transformator akan menimbulkan rugi-rugi. Berikut rugi-rugi 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 di kabel netral transformator. Arus yang mengalir pada kabel netral transformator ini menyebabkan rugi-rugi.

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

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

Dimana:

$P_N$  = Rugi-rugi pada kabel netral transformator (*watt*)

$I_N$  = Arus netral pada kabel netral transformator (*Ampere*)

$R_N$  = 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

$$\%P_N = \frac{P_N}{P} \times 100\% \quad (2.23)$$

Dimana :

$\%P_N$  = Presentase rugi-rugi pada kabel netral transformator (Persen)

$P_N$  = Rugi-rugi pada kabel netral transformator (*Watt*)

$P$  = Daya aktif transformator (*Watt*).

