

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Studi Pustaka

Menurut Elih Mulyana (2008), pada studi kasus yang berjudul “ Pengukuran Harmonisa Tegangan dan Arus Listrik di Gedung Direktorat TIK Universitas Pendidikan Indonesia “ diketahui bahwa kandungan harmonisa tegangan (%THDV) di Gedung Direktorat TIK secara umum berada diatas standar yang diizinkan (5%), kecuali pada waktu-waktu tertentu pada saat sedikitnya penggunaan komputer/peralatan elektronik lainnya di gedung tersebut,

Nugroho, Febrianto Cahyo (2017) telah melakukan studi kasus mengenai penggunaan filter pasif untuk mereduksi harmonisa akibat pemakaian mesin las listrik. Hasil dari studi tersebut menyatakan bahwa untuk mengatasi THD yang tinggi pada mesin las perlu dilakukan pendesainan filter untuk mereduksi harmonik akibat pemakaian mesin las. Filter pasif dirancang dari rangkaian seri resistor, induktor, dan kapasitor.

Menurut Willy Prasetyadi dkk (2012), pada judul studi kasus “Evaluasi Harmonisa dan Perencanaan Filter Pasif pada Sisi Tegangan 20 kV Akibat Penambahan Beban pada Sistem Kelistrikan Pabrik Semen Tuban” diketahui bahwa Untuk mengatasi permasalahan tersebut didesain *capacitor bank* dan filter harmonisa untuk dipasang pada bus yang bermasalah.

Dari tinjauan pustaka dari beberapa sumber yang sudah dicantumkan, maka penulis berharap hasil penelitian yang dilakukan penulis dapat mengacu pada hasil studi-studi kasus yang sudah dilakukan terlebih dahulu.

## **2.2 Audit Kualitas Daya Listrik**

### **2.2.1 Pengertian Audit Kualitas Daya Listrik**

Kualitas daya listrik merupakan hal yang paling penting didalam dunia kelistrikan saat ini. Dimana selain pemerintah sebagai penyuply pasokan daya listrik yang harus memenuhi kualitas listrik yang baik, konsumen juga harus bisa dalam menjaga maupun memanfaatkan kualitas yang disuply oleh pemerintah khususnya PLN.

Beban-beban non-linier merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi kualitas daya listrik pada konsumen. Beban ini merupakan sumber harmonik yang dapat menurunkan kualitas daya listrik. Beban non-linier pada umumnya merupakan komponen semikonduktor, yang dimana beban ini membutuhkan arus yang tidak tetap pada periode waktunya. Adapun peralatan yang dapat menyebabkan harmonisa contohnya yaitu, AC drives, DC drives, Converter Statis dan sebagainya.

Masalah *Power quality* adalah persoalan perubahan bentuk tegangan, arus atau frekuensi yang bisa menyebabkan kegagalan atau misoperation peralatan, baik peralatan milik PLN maupun milik konsumen; artinya masalah Power Quality bisa merugikan pelanggan maupun PLN. Peningkatan penggunaan peralatan listrik yang sensitif terhadap gangguan

sistem tenaga dan aspek ekonominya, peningkatan terhadap kekhawatiran pada isu kualitas daya dan regulasinya, menciptakan kebutuhan untuk memantau operasi sistem tenaga. Konsumen yang memiliki peralatan berbasis solidstate yang sangat sensitif seperti: pengendali kecepatan terkendali, elektronika daya atau komputer, memerlukan mekanisme pemantauan untuk menentukan sumber masalah yang mungkin terjadi dan berusaha menentukan metode yang tepat untuk menyelesaikan atau mengurangi kemungkinan munculnya masalah tersebut. Disisi lain, pengelola sistem tenaga harus memenuhi permintaan konsumennya, memantau kualitas daya yang dihasilkan agar tetap memenuhi tingkatan standar yang diperbolehkan dan memperoleh informasi yang diperlukan untuk mengatasi masalah tersebut. Akhirnya, deregulasi menciptakan suatu tantangan dan kompetisi dimana kualitas daya menjadi sebuah komoditi yang harus dipantau dan diukur secara berkesinambungan.

Tujuan mendasar dari audit kualitas daya listrik adalah untuk menciptakan produksi yang baik dan meningkatkan layanan dengan biaya yang murah dan memberi efek rendah pada lingkungan. Istilah manajemen energi memiliki banyak pengertian, salah satu definisi dari manajemen energi yaitu *The judicious and effective use of energy to maximize profits (minimize costs) and enhance competitive positions* (Cape Hart, Turner and Kennedy, Guide to Energy Management Fairmont press inc. 1997). Audit kualitas daya listrik merupakan salah satu faktor penting dalam dunia kelistrikan. Audit energi adalah kunci pendekatan sistematis untuk

pengambilan keputusan di bidang pengelolaan energi. Secara garis besar audit energi bertujuan untuk menyeimbangkan total input energi terhadap penggunaannya, dan mengidentifikasi aliran energi disebuah fasilitas.

### 2.3 Faktor Daya

Faktor Daya atau *Cos phi* dapat didefinisikan sebagai rasio perbandingan antara daya aktif (Watt) dengan daya nyata (VA) yang digunakan dalam suatu rangkaian AC atau merupakan beda sudut fasa antara teggangan (V) dan arus (I).

$$\begin{aligned}\text{Power Faktor} &= \frac{\text{Daya Aktif (P)}}{\text{Daya Nyata (S)}} \\ &= \frac{\text{kW}}{\text{kVA}} \\ &= \frac{V.I \text{ Cos } \varphi}{V.I} \\ &= \text{Cos } \varphi\end{aligned}$$

Standar dari faktor daya pada industri, rumah tangga, maupun sosial telah ditetapkan oleh PLN yaitu, sebesar 0,85. Apabila terjadi penurunan nilai faktor daya, maka PLN akan memberikan denda berupa biaya kelebihan daya reaktif (KVArh). Denda tersebut hanya berlaku bagi konsumen golongan industri, bisnis, dan juga sosial tidak berlaku untuk konsumen golongan rumah tangga. Besarnya biaya denda kelebihan daya reaktif (KVArh) sudah diatur oleh PLN sesuai dengan tarif masing-masing golongan konsumen.

### 2.3.1 Daya Aktif

Daya aktif (*Active Power*) adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi sebenarnya, satuan daya aktif adalah watt (W) atau kilo watt (kW).

Berikut persamaan matematisnya :

*Line to netral/1 fasa*

$$P = V.I.\text{Cos } \varphi \quad 2.2$$

*Line to line/3 fasa*

$$P = \sqrt{3}.V.I.\text{Cos } \varphi \quad 2.3$$

P = Daya Nyata (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Cos  $\varphi$  = Faktor daya

### 2.3.2 Daya Reaktif

Terdapat dua klasifikasi pengertian dari daya reaktif (*Reactive Power*), yaitu daya reaktif induktif dan daya reaktif kapasitif. Daya reaktif induktif merupakan daya yang diperlukan untuk menghasilkan medan magnet pada beban-beban yang memiliki lilitan seperti, motor, *ballast*, transformator dan lain-lain. Daya reaktif kapasitif merupakan daya listrik yang dihasilkan oleh aliran arus yang mengalir pada kapasitor. Satuan untuk daya reaktif adalah KVAR. Berikut persamaan dari daya reaktif :

***Line to netral/1 fasa***

$$Q = V.I.\sin \varphi \quad 2.4$$

***Line to line/3 fasa***

$$Q = \sqrt{3}.V.I.\sin \varphi \quad 2.5$$

Q = Daya Reaktif (KVAR)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Cos  $\varphi$  = Faktor daya

**2.3.3 Daya Semu**

Daya semu (*Apparent Power*) merupakan daya yang dihasilkan dari perkalian tegangan rms dan arus rms dalam suatu sistem atau daya yang merupakan hasil penjumlahan daya aktif dan daya reaktifnya. Berikut persamaan dari daya semu

***Line to netral/1 fasa***

$$S = V.I. \quad 2.6$$

***Line to line/3 fasa***

$$S = \sqrt{3}.V.I \quad 2.7$$

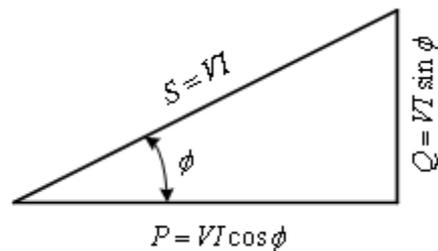
S = Daya Semu (VA)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

### 2.3.4 Segitiga Daya

Segitiga daya (*Power Triangle*) merupakan segitiga yang menggambarkan hubungan matematika antara tipe-tipe daya yang berbeda yaitu, daya aktif (Watt), daya reaktif (KVAR), dan daya semu (VA). Dimana ketiganya saling berhubungan satu sama lain. Dengan segitiga daya dapat diketahui cara untuk mengoreksi faktor daya atau memperbaiki faktor daya (*Power Correction*).

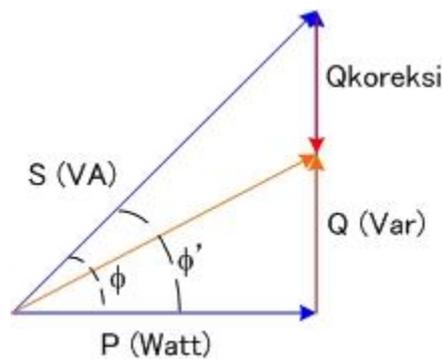


Gambar 2.1 Segitiga Daya

### 2.3.5 Perbaikan Faktor Daya

Perbaikan faktor daya dapat didefinisikan sebagai langkah untuk meningkatkan nilai efisiensi atau kualitas daya listrik suatu komponen listrik. Parameter suatu alat mempunyai efisiensi yang baik apabila faktor daya alat tersebut bernilai mendekati 1. Secara ideal faktor daya yang sempurna adalah 1, namun pada kenyataan di lapangan jarang ditemukan alat yang memiliki faktor daya yang ideal. Dari hubungan segitiga daya dapat diketahui cara untuk mengoreksi faktor daya untuk mendekati nilai idealnya. Salah satu cara perbaikan faktor daya tersebut adalah dengan memasang kompensasi kapasitif dengan menggunakan kapasitor pada suatu rangkaian. Kapasitor berfungsi sebagai komponen yang menghasilkan sifat

reaktif pada suatu rangkaian beban. Dapat dilihat pada gambar 2.2, ketika kapasitor terpasang pada suatu rangkaian beban, maka daya reaktif pada rangkaian tersebut akan berkurang sesuai dengan nilai  $Q_{\text{koreksi}}$ . Artinya sudut fasa antara daya aktif dan daya nyata yang di analogikan pada segitiga daya akan bernilai mendekati 1 atau nilai efisiensi suatu rangkaian tersebut semakin naik.



Gambar 2. 2 Perbaikan Faktor Daya

Untuk menghitung besarnya kapasitor yang dibutuhkan, dapat digunakan rumus :

$$S = \frac{P}{\cos \phi} \quad 2.8$$

Keterangan :

- S = Daya nyata (VA)
- P = Daya aktif (W)
- $\cos \phi$  = Faktor daya

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad 2.9$$

Keterangan :

- Q = Daya reaktif (VAR)
- P = Daya aktif (W)
- S = Daya semu

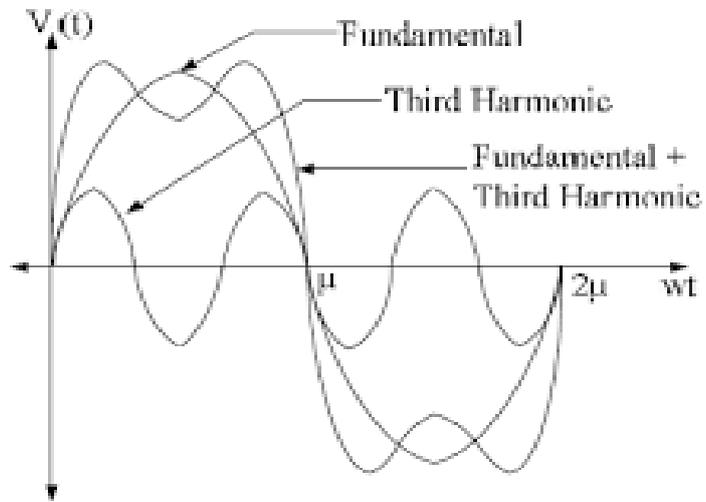
$$C = \frac{Qc}{2\pi.f.V^2} \quad 2.10$$

Keterangan :

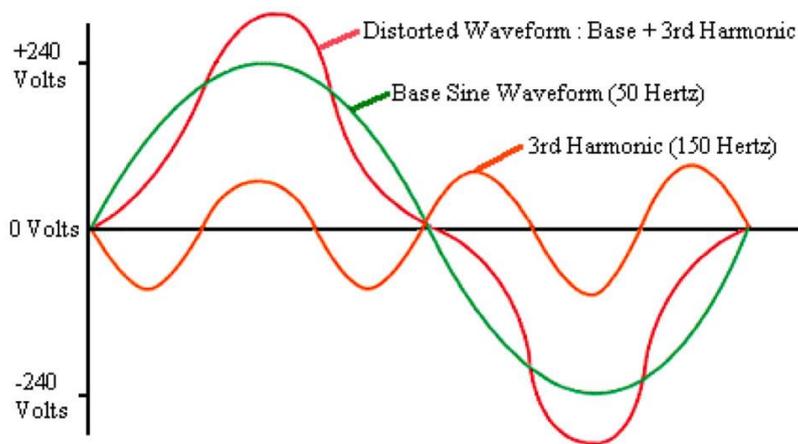
C	= kapasitas kapasitor
F	= Frekuensi
$\pi$	= Phi 3,14
Qc	= Q koreksi
V	= Tegangan

## 2.4 Harmonisa

Harmonisa adalah gelombang tegangan maupun arus sinusoida yang terdistorsi secara periodik terhadap gelombang fundamentalnya dan memiliki nilai frekuensi sebesar kelipatan dari frekuensi fundamentalnya. Untuk sistem tenaga frekuensi yang digunakan 50 Hz, maka harmonisa kedua yang dihasilkan dari frekuensi murninya yaitu 100 Hz, maka harmonisa ketiga yang dihasilkan dari frekuensi murninya yaitu 150 Hz, begitu seterusnya. Gelombang-gelombang harmonisa tadi selanjutnya tercampur dengan gelombang frekuensi murni sehingga menimbulkan gelombang sinusoida yang terdistorsi. Adanya gelombang-gelombang terdistorsi tersebut akan mengakibatkan kualitas daya pada suatu jaringan menurun. Berikut adalah bentuk gelombang sinusoida fundamental dan gelombang harmonisa.



Gambar 2. 3 Gelombang Fundamental dan Gelombang harmonisa



Gambar 2. 4 Frekuensi Gelombang Fundamental dan Gelombang Harmonisa ketiga dan kelima.

### 2.5.1 Macam - macam Harmonisa

Berikut beberapa klasifikasi harmonisa berdasarkan urutannya, ada urutan orde dan juga urutan polaritasnya.

### 1. Harmonisa Berdasarkan Urutan Orde

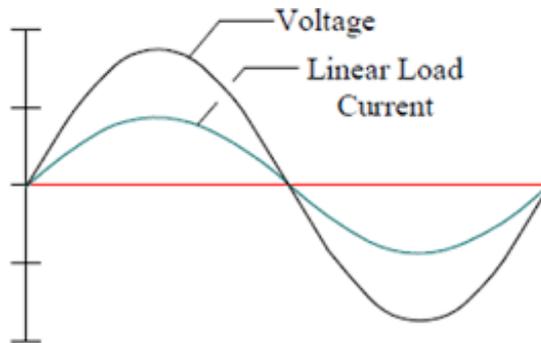
Berdasarkan urutannya, harmonisa terbagi menjadi 2 yaitu harmonisa urutan genap dan harmonisa urutan ganjil. Harmonisa urutan genap adalah harmonisa yang berdasarkan kelipatan orde genap dari frekuensi fundamental yaitu harmonisa ke 2,4,6,8,10 dan seterusnya. Harmonisa urutan ganjil adalah harmonisa yang berdasarkan kelipatan orde ganjil dari frekuensi fundamental yaitu harmonisa ke 3,5,7,9,11 dan seterusnya.

### 2. Harmonisa Berdasarkan Urutan Polaritas

Harmonisa berdasarkan urutan polaritasnya terbagi menjadi 3 bagian yaitu, harmonisa urutan positif, harmonisa urutan negatif, dan harmonisa urutan nol. Harmonisa pada urutan pertama polaritasnya positif, harmonisa pada urutan kedua polaritasnya negatif, harmonisa pada urutan ketiga polaritasnya nol, harmonisa pada urutan keempat polaritasnya positif dan begitu seterusnya.

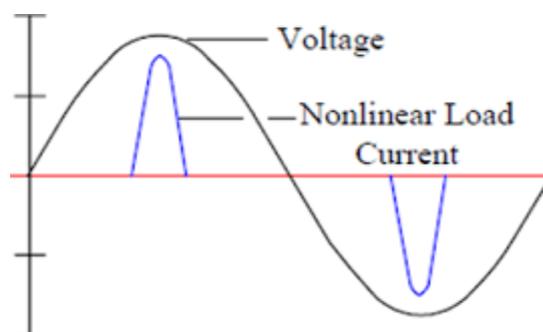
## **2.5.2 Dampak dan Faktor Penyebab Harmonisa**

Pada dunia kelistrikan, diketahui bahwa terdapat dua jenis sifat beban pada suatu jaringan yaitu beban linier dan beban non-linier. Beban linier merupakan beban dengan perbandingan tegangan dan arusnya dalam jangka waktu yang berbeda akan bernilai sama, artinya arus yang mengalir pada beban sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangannya.



Gambar 2. 5 Karakteristik Gelombang Arus pada Beban Linier.

Beban non-linier merupakan beban dengan perbandingan tegangan dan arusnya dalam jangka waktu yang berbeda akan bernilai tidak sama, artinya arus yang mengalir pada beban tidak sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangannya dalam setiap setengah siklus atau mengalami distorsi. Beban non-linier pada umumnya merupakan komponen semikonduktor, yang dimana beban ini membutuhkan arus yang tidak tetap pada periode waktunya. Adapun peralatan yang dapat menyebabkan harmonisa contohnya yaitu, AC drives, DC drives, Converter Statis dan sebagainya.



Gambar 2. 6 Karakteristik Gelombang Arus pada Beban Non-linier.

Dampak dari harmonisa berbeda-beda pada suatu sistem tenaga listrik, tergantung pada karakteristik beban itu sendiri. Dampak yang biasanya dirasakan oleh suatu sistem tenaga listrik ialah :

1. Pada sistem proteksi menyebabkan peningkatan pemanasan, sehingga mengurangi kemampuan mengalirkan arus dan mempersingkat umur beberapa komponen isolator.
2. Pemanasan juga terjadi pada transformator dan mesin-mesin listrik, yang dampaknya mampu menurunkan nilai efisiensi dan mengakibatkan kerugian daya.
3. Triple harmonisa pada kawat netral dapat memberikan induksi harmonisa yang mengganggu sistem telekomunikasi.

### **2.5.3 *Total Harmonics Distortion***

*Total Harmonics Distortion* (THD) merupakan persentase total komponen harmonisa terhadap komponen fundamental. Komponen tersebut bisa berupa komponen arus dan komponen tegangan. Nilai THD dapat dijadikan batasan tegangan atau arus harmonik yang masih dapat ditoleransi dalam suatu sistem tenaga listrik yang berdasar pada standar yang telah ditetapkan. Dengan adanya parameter ini, maka dapat diidentifikasi apakah pada suatu gedung/fasilitas memiliki nilai harmonik yang masih diterima sistem atau tidak. Nilai THD untuk arus maupun tegangan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

Rumus THD pada Tegangan

$$V_{\text{THD}} = \frac{\sum_{h=2}^{\infty} \sqrt{I H^2}}{V_1} \quad 2.11$$

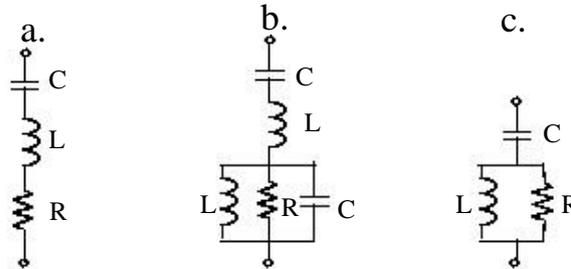
Rumus THD pada Arus

$$I_{\text{THD}} = \frac{\sum_{h=2}^{\infty} \sqrt{V H^2}}{I_1} \quad 2.12$$

#### 2.5.4 Cara Mereduksi Harmonics

Untuk mereduksi harmonisa (*Harmonics*) terdapat beberapa cara, salah satunya yaitu dengan menambahkan filter. Filter harmonisa didesain dengan tujuan untuk mengurangi amplitudo satu atau lebih frekuensi dari sebuah tegangan atau arus. Pemasangan filter harmonisa pada suatu jaringan pada sistem tenaga kelistrikan yang mengandung tegangan atau arus harmonisa, akan mereduksi penyebaran arus maupun tegangan harmonisa ke seluruh jaringan sistem tersebut. Selain mereduksi arus maupun tegangan harmonisa, disisi lain filter harmonisa juga berpengaruh pada frekuensi fundamentalnya yang dapat mengkompensasi daya reaktif yang digunakan untuk memperbaiki atau meningkatkan faktor daya sistem tersebut. Terdapat beberapa macam filter harmonisa, salah satunya yaitu filter pasif. Filter pasif merupakan rangkaian seri atau paralel yang terdiri dari beberapa komponen seperti komponen induktif (L), komponen resistif (R), dan

komponen kapasitif (C). Rangkaian filter pasif terbagi menjadi 3 bagian, yaitu filter dengan penalaan tunggal (*Single Tuned Shunt Filter*), filter dengan penalaan ganda (*Double Tuned Filter*), dan damped filter.



Gambar 2. 7 a) *Single Tuned Filter*, b) *Double Tuned filter*, c) *Damped filter*.

Untuk mereduksi harmonisa secara keseluruhan pada suatu sistem, maka filter psif dapat dipasang pada bagian *Incoming* trafo atau bisa juga pada bagian *Outgoing* trafo. Dalam pembuatan filter harmonisa dengan komponen induktif (L), resistif (R) dan kapasitif (C) yang digunakan untuk mereduksi harmonisa, perhitungan kapasitas komponen tersebut yang dibutuhkan untuk mereduksi suatu frekuensi harmonisa dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

### 1. Spesifikasi Resistor :

$$R = \frac{V}{I}$$

$$P = V.I$$

Keterangan :

R	= Kapasitas Resistor	( $\Omega$ )
V	= Tegangan	(V)
I	= Arus Harmonisa Orde ke-3	(A)
P	= Kapasitas Daya Resistor	(W)

## 2. Q Faktor :

$$X_L = X_C = X_n$$

$$Q = \frac{X_n}{R}$$

$$X_n = Q \times R$$

Keterangan :

$X_L$  = Reaktansi Induktif ( $\Omega$ )

$X_C$  = Reaktansi Kapasitif ( $\Omega$ )

Q = Kualitas Filter (30 – 100)

## 3. Spesifikasi Induktor :

$$X_L = \omega L$$

$$L = \frac{X_L}{\omega}$$

Keterangan :

L = Kapasitas Kapasitor Filter (F)

## 4. Spesifikasi Kapasitor :

$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$

$$C = \frac{1}{\omega X_C}$$

Keterangan :

C = Kapasitas Induktor Filter (H)

Dalam pemasangan filter pasif dapat ditempatkan pada bagian *incoming* atau dapat juga ditempatkan pada *outgoing* trafo. Pemasangan pada bagian tersebut berguna agar filter dapat mereduksi harmonisa secara maksimal, sehingga pemasangan filter pasif lebih efektif bila dipasang dekat dengan beban terutama pada beban linear.

### 2.5.5 Standard IEEE 519-1992

Untuk harmonisa pada suatu komponen, menurut *standard IEEE 519-1992* terdapat dua parameter yang menjadi acuan untuk batasan harmonisa yaitu harmonik untuk tegangan dan harmonik untuk arus. Pada standar harmonisa tegangan, ditentukan oleh tegangan yang dipakai pada sistem. Sedangkan untuk standar harmonisa arus, merupakan perhitungan rasio perbandingan  $I_{sc}/I_L$  dimana  $I_{sc}$  adalah arus hubung singkat di PCC (*Point of Common Coupling*) dan  $I_L$  merupakan arus pada beban sumbernya.

Harmonics Voltage Distortion In % Of Fundamental			
	<69 kV	69 – 138 kV	>138 kV
Max for individual harmonic	3	1.5	1
Total Harmonic distortion (THD)	5	2.5	1.5

Tabel 2. 1 Tabel Standard IEEE Harmonisa Tegangan.

Untuk mengetahui standar THD<sub>v</sub> yang diijinkan pada tabel 2.2 dengan cara mengidentifikasi kapasitas trafo yang digunakan pada suatu sistem distribusi. Dari data tersbut, dapat diidentifikasi pada range berapa yang menjadi standar *harmonics voltage distortion* pada sistem tersebut.

Maximum Harmonics Current Distortion In % Of Fundamental						
$I_{sc}/I_L$	Harmonic Order (ODD Distortion)					
	<11	$11 \leq h \leq 17$	$17 \leq h \leq 23$	$23 \leq h \leq 35$	$35 \leq h$	THD
< 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.2	5.0
20 - 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 - 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 - 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
Even Harmonic are limited to 25% of the odd harmonic limit above						
*All power generation equipment in limited of these values of current distortion, regardless of actual $I_{sc} / I_L$						
$I_{sc}$ = Maximum short circuit current at PCC						
$I_L$ = Maximum load current (fundamental frequency) at PCC						

Tabel 2. 2 Standard IEEE Harmonisa Arus.

Untuk mengetahui standar THD<sub>I</sub> yang diijinkan pada tabel 2.3 dari suatu sistem/trafo, terlebih dahulu mencari besar nilai arus *Short Circuit* ( $I_{sc}$ ) dan mengukur arus beban ( $I_L$ ). Berikut cara perhitungan  $I_{sc}$  :

$$I_{sc} = \frac{\text{Daya Trafo (VA)}}{\sqrt{3} \cdot V_{LL} \cdot Z\%} \quad 2.20$$

Keterangan :

$V_{LL}$  = Tegangan antar fasa (Volt)  
 $Z\%$  = Impedansi Trafo

## 2.5 Ketidakseimbangan Beban (*Unbalance Load*)

Ketidakseimbangan beban terjadi, ketika jumlah arus yang mengalir pada tiap-tiap fasa (fasa R, fasa S, fasa T) berbeda. Akibat dari jumlah arus yang berbeda ini, menyebabkan timbulnya arus pada fasa netral. Hal ini akan menimbulkan rugi-rugi atau *losses* pada suatu jaringan. Ada dua hal yang mengakibatkan *losses* yaitu dikarenakan adanya arus netral pada penghantar

trafo dan arus netral yang mengalir ke tanah (*ground*). *Losses* pada penghantar trafo dapat dirumuskan sebagai berikut :

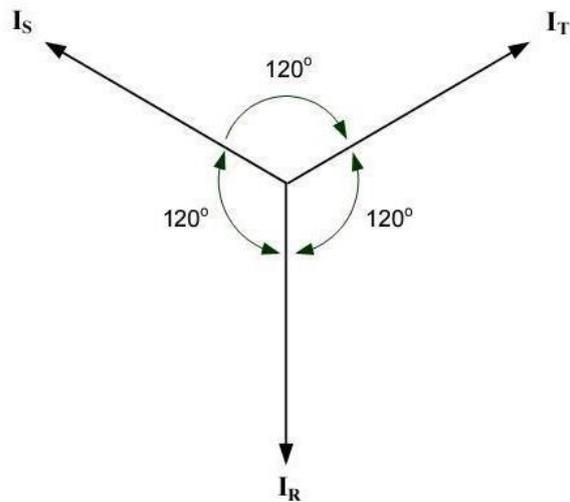
$$P_N = I_N^2 \cdot R_N \quad 2.21$$

Keterangan :  $P_N$  : *Losses* penghantar netral trafo (Watt)

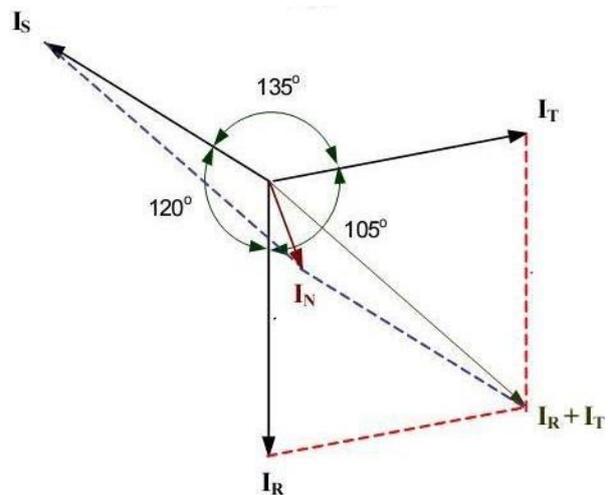
$I_N$  : Arus pada fasa netral trafo (Ampere)

$R_N$  : Tahanan Penghantar Trafo (Ohm)

Keseimbangan beban akan tercapai apabila suatu sistem memenuhi suatu keadaan yaitu, dimana ketiga vektor arus bernilai sama besar dan atau ketiga vektor saling membentuk sudut  $120^\circ$  antar satu sama lain. Dalam keadaan seimbang penjumlahan vektor arusnya ( $I_R, I_S, I_T$ ) akan bernilai sama dengan nol (Gambar 2.7). Sedangkan untuk ketidakseimbangan beban adalah keadaan dimana salah satu atau kedua syarat keadaan seimbang tidak terpenuhi yaitu, dimana nilai ketiga vektor arus sama besar tetapi tidak membentuk sudut  $120^\circ$ , ketiga vektor arus tidak sama besar tetapi membentuk sudut  $120^\circ$ , dan ketiga vektor arus tidak sama besar dan tidak membentuk sudut  $120^\circ$ . Dalam keadaan tidak seimbang penjumlahan vektor arusnya ( $I_R, I_S, I_T$ ) tidak sama dengan nol, sehingga muncul besaran yaitu arus netral (Gambar 2.8).



Gambar 2. 8 Vektor Arus seimbang.



Gambar 2. 9 Vektor Arus Tidak Seimbang.

## 2.6 Perhitungan Ketidakseimbangan Beban (*Unbalanced Load*)

Akibat dari ketidakseimbangan beban, menyebabkan timbulnya arus pada fasa netral. Hal ini akan menimbulkan rugi-rugi atau *losses* pada suatu jaringan. Power Losses atau rugi-rugi daya yang timbul akibat ketidakseimbangan beban (*Unbalanced Load*) dan harmonisa dapat dicari menggunakan persamaan :

### ***Power Losses Total***

$$\Delta P_{Total} = \Delta P_R + \Delta P_S + \Delta P_T + \Delta P_N \text{ (Watt)} \quad 2.22$$

Keterangan :

$$\begin{aligned} \Delta P_{Total} &= \text{Total Power Losses} \\ \Delta P_R &= \text{Power Losses Fasa R} \\ \Delta P_S &= \text{Power Losses Fasa S} \\ \Delta P_T &= \text{Power Losses Fasa T} \\ \Delta P_N &= \text{Power Losses Fasa N} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk mencari power losses pada setiap fasanya (R, S, T dan N) digunakan persamaan :

### ***Power Losses pada Fasa R***

$$\Delta P_R = \sum_{k=1}^n R_{ph} \times I_{kR}^2 \quad 2.23$$

Keterangan :

$$\begin{aligned} \Delta P_R &= \text{Power Losses Fasa R} \\ R_{PH} &= \text{Hambatan penghantar kabel fasa} \\ I_{kR}^2 &= \text{Besarnya arus harmonik pada fasa R tiap orde} \end{aligned}$$

### ***Power Losses pada Fasa S***

$$\Delta P_S = \sum_{k=1}^n R_{ph} \times I_{kS}^2 \quad 2.24$$

Keterangan :

$$\begin{aligned} \Delta P_S &= \text{Power Losses Fasa S} \\ R_{PH} &= \text{Hambatan penghantar kabel fasa} \\ I_{kS}^2 &= \text{Besarnya arus harmonik pada fasa S tiap orde} \end{aligned}$$

### ***Power Losses pada Fasa T***

$$\Delta P_T = \sum_{k=1}^n R_{ph} \times I k_T^2 \quad 2.25$$

Keterangan :

- $\Delta P_T$  = Power Losses Fasa T
- $R_{PH}$  = Hambatan penghantar kabel fasa
- $I k_T^2$  = Besar arus harmonik pada fasa T tiap orde

### ***Power Losses pada Fasa N***

$$\Delta P_N = \sum_{k=1}^n R_N \times I k_N^2 \quad 2.26$$

Keterangan :

- $\Delta P_N$  = Power Losses N
- $R_{PH}$  = Hambatan penghantar kabel fasa
- $I k_N^2$  = Besar arus harmonik pada N tiap orde

### ***Perhitungan total arus N***

$$\Delta P_N = \sqrt{I_{R1}^2 + I_{S1}^2 + I_{T1}^2 - (I_{R1} \times I_{S1}) - (I_{S1} \times I_{T1}) - (I_{T1} \times I_{R1})} \quad 2.27$$

Keterangan :

- $I_N$  = Besar arus harmonik N
- $I_R$  = Besar arus harmonik pada fasa R
- $I_S$  = Besar arus harmonik pada fasa S
- $I_T$  = Besar arus harmonik pada fasa T

Adapun rumus perhitungan yang digunakan dalam menghitung ketidakseimbangan beban yaitu :

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \quad 2.28$$

$$I_R = a \times I_{rata-rata} \quad \text{maka : } a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}}$$

$$I_S = b \times I_{rata-rata} \quad \text{maka : } b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}}$$

$$I_T = c \times I_{rata-rata} \quad \text{maka : } c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}}$$

$$\text{Ketidakseimbangan} = \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\%$$

## 2.7 Waktu Pemakaian Daya Listrik

Waktu pemakaian daya listrik terbagi menjadi 2 jenis yaitu :

- a. WBP (Waktu Beban Puncak) adalah suatu kondisi dimana konsumen menggunakan energi/daya listrik untuk memenuhi energi puncak pembebanan pada waktu tertentu. Waktu beban puncak rata-rata pada suatu gedung ialah berada pada rentang waktu mulai pukul 17.00 sampai 22.00 (5 jam).
- b. LWBP (Luar Waktu Beban Puncak) ) adalah suatu kondisi dimana konsumen menggunakan energi/daya listrik untuk memenuhi energi diluar waktu puncak pembebanan. Waktu beban puncak rata-rata pada suatu gedung ialah berada pada rentang waktu mulai pukul 22.00 sampai 17.00 (19 jam).

Waktu beban puncak (WBP) dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\text{WBP} = K \times P \times \text{Biaya Pemakaian (Rp/kWh)} \quad 2.29$$

Luar waktu beban puncak (LWBP) dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\text{LWBP} = P \times \text{Biaya Pemakaian (Rp/kWh)} \quad 2.30$$

Keterangan :

K = Faktor perbandingan harga WBP dan LWBP ( $1,4 \leq K \leq 2$ )

P = Faktor pengali untuk pebeda S-3 murni dan S-3 komersial  
(S-3 murni, P=1. S-3 komersial, P =1,3.) golongan tarif  
diatas 200 kVA.