

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA dan LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Energi merupakan kebutuhan dasar untuk menggerakkan hampir seluruh aktivitas ekonomi dan sosial masyarakat. Penggunaan energi secara boros dan berlebihan akan berdampak pada kerusakan lingkungan, penurunan daya saing produk dan permasalahan sosial ekonomi jangka panjang. Seiring dengan permasalahan energi yang semakin kompleks, manajemen penggunaan energi pada sisi beban khususnya pada gedung perkantoran dan industri, sudah saatnya menjadi bagian penting dalam struktur manajemen perusahaan. Salah satu aspek dari permasalahan energi listrik pada gedung perkantoran dan industri yaitu penurunan kualitas daya listriknya. Penurunan kualitas daya listrik dapat menyebabkan berkurangnya efisiensi energi. Oleh karena itu, salah satu parameter yang perlu diperhatikan dalam pengelolaan energi listrik pada suatu gedung adalah kualitas dayanya.

Penelitian mengenai audit energi kualitas daya listrik di suatu gedung sudah banyak dilakukan. Hadi Sugiarto melakukan penelitian tentang “Kajian Harmonisa Arus Dan Tegangan Listrik di Gedung Administrasi Politeknik Negeri Pontianak”. Pada penelitian tersebut peneliti melakukan pengamatan kualitas daya listrik pada pengukuran arus, tegangan, daya, faktor daya, THDi%, THDv%, dan frekuensi pada masing-masing fasa R, S dan T. Di dalam analisisnya, Hadi Sugiarto juga melakukan perhitungan rugi-rugi daya untuk ketidakseimbangan

beban dan pemakaian standar IEEE untuk membandingkan nilai THD arus dan THD tegangannya.

Tidak berbeda dengan Hadi Sugiarto, penelitian mengenai audit kualitas daya listrik juga dilakukan oleh Syauqi Al Ghifari dengan judul “Audit Energi Listrik di Rumah Sakit”. Pengamatan yang dilakukan tidak jauh berbeda, namun peneliti menambahkan dengan adanya perbandingan AC dan pencahayaan yang terpasang di Rumah Sakit.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Pengertian Audit Kualitas Daya Listrik

Pada suatu bangunan instansi pemerintah, besarnya pemakaian energi di tiap-tiap bangunan gedung dapat dilakukan usaha penghematan apabila sudah diketahui jenis energi dan untuk apa energi tersebut digunakan.

Kegiatan untuk melakukan identifikasi jenis energi dan besarnya energi yang digunakan pada setiap bagian operasi suatu bangunan/pabrik, disebut audit energi. Audit energi bertujuan untuk menganalisis seberapa efisien penggunaan energi dari suatu bangunan dan sekaligus memberikan kemungkinan usaha penghematannya.

Kualitas Daya Listrik sudah menjadi bagian penting dari sebuah sistem tenaga. Didefinisikan oleh Ewald F.Fuchs dan Mohammad A.S. Masoum, bahwa kualitas daya listrik yaitu kualitas daya yang umumnya dimaksudkan untuk mendefinisikan kualitas tegangan dan atau kualitas pada saat ini dan dapat didefinisikan sebagai: ukuran, analisis, dan peningkatan tegangan bus untuk

mempertahankan bentuk gelombang sinusoidal pada tegangan dan frekuensi. Definisi ini mencakup semua fenomena sesaat (*momentary*) dan keadaan ajeg (*steady-state*).

Sedangkan menurut Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, dan H. Wayne Beaty dalam bukunya yang berjudul *Electrical Power System Quality*, kualitas daya listrik didefinisikan sebagai suatu problem daya yang ditimbulkan berupa deviasi tegangan, arus, ataupun frekuensi yang mengakibatkan kegagalan atau tidak beroprasinya peralatan pelanggan.

Dari kedua pengertian diatas, dapat disimpulkan jika audit kualitas daya listrik adalah kegiatan untuk mengidentifikasi kualitas tegangan dan atau kualitas pada saat ini serta mencoba mengidentifikasi kemungkinan penghematan energi dari suatu problem daya yang ditimbulkan. Berupa deviasi tegangan, arus, ataupun frekuensi yang mengakibatkan kegagalan atau tidak beroprasinya peralatan pelanggan.

2.2.2 Faktor Internal dan Eksternal Kualitas Daya Listrik

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas daya listrik suatu bangunan. Faktor tersebut terbagi menjadi dua, yaitu: faktor eksternal dan faktor internal.

a. Faktor Eksternal

Faktor eksternal berasal dari pasokan listrik PLN. Pasokan listrik tersebut juga akan dipengaruhi oleh kualitas daya listrik dari pembangkit listrik (PLN), kualitas daya listrik pada bagian transmisi dan distribusi (PLN), dan kualitas daya listrik pada instansi tersebut (PLN).

Dibawah ini terdapat beberapa syarat dasar kebutuhan layanan (service requirement) yang dituntut oleh konsumen kepada PLN yaitu:

- 1) Pada saat beban puncak, pasokan listrik harus dapat terpenuhi.
- 2) Energi listrik yang diberikan PLN mempunyai penyimpangan tegangan dan frekuensi yang paling sedikit.
- 3) Menjaga agar urutan fase cocok, mempunyai harmonisa yang paling sedikit dan bebas dari surja tegangan
- 4) Terpenuhiya pasokan listrik untuk sistem tegangan pada saat keadaan setimbang
- 5) Keandalan yang tinggi dalam memberikan pasokan daya dan waktu layanan supaya sistem dapat melayani beban secara kontinyu.

b. Faktor Internal

Faktor internal kualitas daya listrik dipengaruhi dari dalam instansi tersebut. Diantaranya:

- 1) Kurangnya informasi yang diberikan kepada konsumen mengenai permasalahan pada kualitas daya listrik.
- 2) Konsumen belum mengetahui besarnya kapasitas beban terpasang dengan kapasitas beban pemakaian.
- 3) Pentingnya penggunaan dan pemasangan kapasitor bank.
- 4) Efek dari beban – beban non linier seperti peralatan elektronik, AC drives, DC drives dan sebagainya yang berpengaruh terhadap tingkat harmonisa.

2.2.3 Parameter Kualitas Daya Listrik

Pada umumnya ketika kualitas daya listrik berada pada kondisi *steady state* ditentukan oleh parameter-parameter sebagai berikut:

- a. Tegangan (volt)
- b. Frekuensi (Hz)
- c. Faktor daya ($\cos \mu$)
- d. Harmonisa

2.2.4 Pengaruh Kualitas Daya yang Buruk Pada Perangkat Sistem Tenaga

Kualitas daya listrik yang buruk memiliki banyak dampak yang merugikan pada perangkat sistem tenaga dan pengguna. Oleh karena itu perlunya wawasan mengenai gangguan yang dihasilkan dan apa saja dampak buruk yang dihasilkan sehingga kita dapat mencegahnya sedini mungkin. Beberapa dampak yang disebabkan karena kualitas daya yang buruk antara lain:

1. Menyebabkan harmonisa, yang menambah kecepatan (rms) dan puncak nilai dari suatu bentuk gelombang. Hal ini berarti peralatan dapat menerima tegangan puncak paling tinggi yang sangat membahayakan dan dapat mengalami kegagalan tegangan tinggi juga.
2. Pengaruh yang lain yaitu dapat menimbulkan pemanasan, kebisingan dan mengurangi umur dari kapasitor, kabel, trafo, sekering dan peralatan pelanggan lainnya (pada saat luar beban puncak).
3. Kerugian yang lain yaitu pada jalur transmisi, kabel, generator, motor AC dan trafo dapat mengalami kegagalan komponen sistem tenaga dan beban lebih pada pelanggan dapat terjadi akibat dari gangguan yang tak terduga seperti

tegangan dan / atau perbesaran saat ini karena resonansi paralel dan ferroresonance.

2.3 Macam-Macam Daya Listrik

2.3.1 Daya Aktif

Daya aktif merupakan daya listrik yang diubah menjadi energi mekanis yang nantinya energi tersebut digunakan untuk melakukan kerja pada beban. Satuan untuk daya aktif yaitu watt atau kilo watt. Secara teoritis daya aktif dinyatakan dengan persamaan:

$$P = V \times I \times \cos \varphi$$

Dengan keterangan:

P = daya aktif (kilo Watt/kW)

V = tegangan (Volt/V)

I = arus (Ampere/A)

$\cos \varphi$ = faktor daya

2.3.2 Daya Reaktif

Daya reaktif ini dibedakan menjadi:

- a. Daya reaktif induktif yang diperlukan untuk menghasilkan medan magnet yang diakibatkan dari mengalirnya arus listrik pada komponen-komponen kawat listrik seperti motor listrik, trafo, ballast dan lain-lain.
- b. Daya reaktif kapasitif merupakan daya listrik yang terjadi apabila ada aliran arus pada kapasitor.

Secara teoritis daya reaktif dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$Q = V \times I \times \sin \phi$$

dimana:

$\sin \phi$ = faktor reaktif

2.3.3 Daya Semu

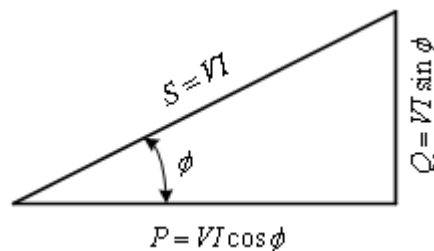
Merupakan penjumlahan secara *vector* antara daya aktif dan daya reaktif. Daya semu berperan untuk keperluan rencana pembangkitan energi listrik pada sebuah trafo maupun generator biasanya menggunakan daya semu. Secara teoritis dinyatakan dengan persamaan:

$$S = V \times I$$

dimana : S = daya semu (VA / kVA)

2.4 Segitiga Daya

Hubungan antara daya aktif, reaktif dan daya semu dinamakan segitiga daya. Hubungan segitiga daya dapat digambarkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.1 Segitiga Daya (Saadat, Hadi. 1999. Power System Analysis. P.19)

Dari segitiga daya pada gambar 2.1 diatas, hubungan antara ketiga daya listrik tersebut dirumuskan menjadi:

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

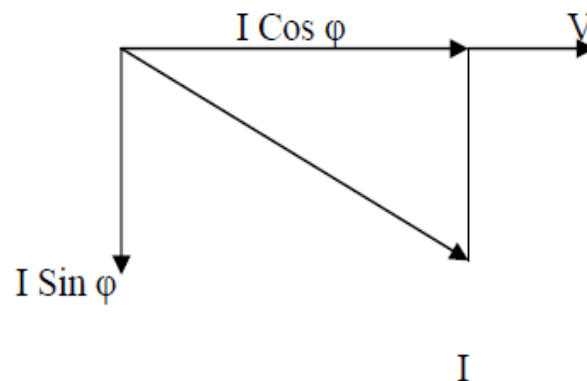
2.5 Faktor Daya

2.5.1 Pengertian Faktor Daya

Faktor daya atau disebut juga $\cos \varphi$ merupakan perbandingan antara daya aktif (P) dan daya kompleks (S). Faktor Daya merupakan istilah dari daya listrik yang terpakai kW, terhadap daya total yang disampaikan oleh perusahaan listrik kVA ke perusahaan. Secara teoritis faktor daya dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Batas minimal nilai faktor daya ($\cos \varphi$) yang diberikan PLN pada bangunan gedung yaitu sebesar 0,85. Jika di bawah angka tersebut maka dikenakan denda kVAR. Pergeseran fasa antara tegangan dan arus yang terjadi diakibatkan oleh penggunaan beban yang bersifat induktif seperti motor-motor listrik, lampu TL, dan sebagainya, mengakibatkan tegangan dan arus tidak sefase seperti dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.2 Tegangan dan Arus pada beban Induktif (Saadat, Hadi. 1999. Power System Analysis. P.19)

Pada gambar 2.2 menunjukkan bahwa arus yang menghasilkan energi adalah $I \cos \varphi$. Dengan demikian semakin besar sudut φ semakin kecil nilai $\cos \varphi$, akibatnya $I \cos \varphi$ akan semakin kecil dibandingkan dengan I dan ini merupakan suatu kerugian. Berdasarkan pada hubungan segitiga daya suplai dari PLN (kVA) terdiri atas dua komponen, yaitu:

- a. Komponen daya nyata (P) yang dihasilkan daya terpakai Watt (W)
- b. Komponen daya reaktif (Q) yang tidak menghasilkan daya terpakai Volt Ampere Reaktif (VAr).

Faktor daya ($\cos \varphi$) yang rendah mengakibatkan beberapa kerugian, berupa:

- a. Meningkatkan rugi-rugi hantaran (FR)
- b. Kapasitas daya kompleks (S) terpasang terbuang percuma (kVA)
- c. Dikenai denda biaya faktor daya (kVAr)
- d. Biaya pemeliharaan alat meningkat
- e. Biaya listrik meningkat.

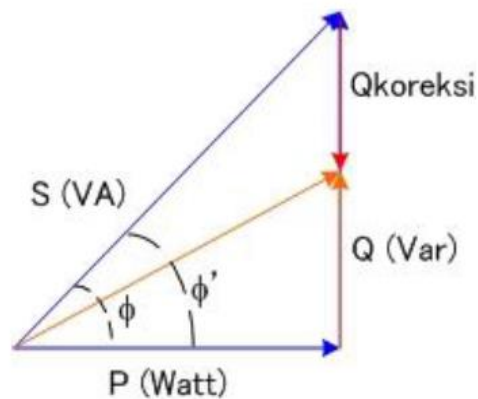
2.5.2 Memperbaiki Faktor Daya

2.5.2.1 Terciptanya Perbaikan Faktor Daya

Untuk memiliki nilai faktor daya yang bagus membutuhkan suatu sistem yang dapat mendekati nilai faktor daya mendekati nilai 1, maka terciptalah perbaikan faktor daya. Untuk memperbaiki faktor daya adalah dengan memasang kompensasi kapasitif menggunakan kapasitor pada suatu jaringan tersebut.

2.5.2.2 Kapasitor

Kapasitor ialah elemen listrik yang berfungsi menyimpan muatan listrik dimana nilai untuk menyimpan muatan listrik tersebut disebut kapasitansi. Jika pada kapasitor terdapat muatan elektron sebesar 1 *coloumb* atau sebanding dengan $6,25 \times 10^{18}$ elektron maka kapasitor tersebut memiliki nilai kapasitansi sebesar 1 farad pada tegangan 1 volt.



Gambar 2.3 Perbaikan Faktor Daya (Saadat, Hadi. 1999. Power System Analysis. P.19)

Dengan pemasangan kapasitor, maka kapasitor akan mengeluarkan elektron dan mengirim daya reaktif ke beban. Beban yang sifatnya induktif (+) akan dialiri daya reaktif yang sifatnya kapasitif (-). Sehingga akan mengakibatkan daya reaktif mengecil. Akibat daya aktif yang nilainya tetap sedangkan daya reaktif berkurang, jadi $\cos \phi$ akan mendekati sudut 0° yang mana nilai $\cos 0^\circ$ adalah 1 dan mengakibatkan nilai faktor daya naik.

Untuk menghitung besarnya kapasitor yang dibutuhkan, dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times X_c}$$

Dimana :

X_c = Reaktansi Kapasitif (ohm / Ω)

V_{LL} = Tegangan Antar fasa

C = Kapasitansi (μF)

f = Frekuensi (50 Hz)

π = phi 3,14

2.6 Waktu Pemakaian Daya Listrik

Pemakaian daya listrik dalam waktu 24 jam terbagi dalam 2 (dua) jenis waktu pemakaian atau pembebanan yaitu:

- a. WBP (Waktu Beban Puncak) adalah waktu tertentu tingkat pemakaian daya listrik pada konsumen mencapai puncak kapasitas pembebanan. Waktu beban puncak ini berlaku mulai jam 18.00 WIB sampai dengan 22.00 WIB
- b. LWBP (Luar Waktu Beban Puncak) adalah waktu tertentu tingkat pemakaian daya listrik pada konsumen saat masih dibawah puncak kapasitas pembebanan. Luar waktu beban puncak ini berlaku mulai jam 22.00 WIB sampai dengan 18.00 WIB.
- c. Biaya Kelebihan Daya Reaktif (kVARh)

Apabila pada setiap bulan faktor daya rata-rata yang dihasilkan kurang dari 0,85, maka akan dikenai biaya kelebihan pemakaian daya reaktif (kVARh)

yang besarnya sudah ditentukan oleh PLN. Hal ini mengakibatkan jumlah tarif pemakaian listrik menjadi bertambah.

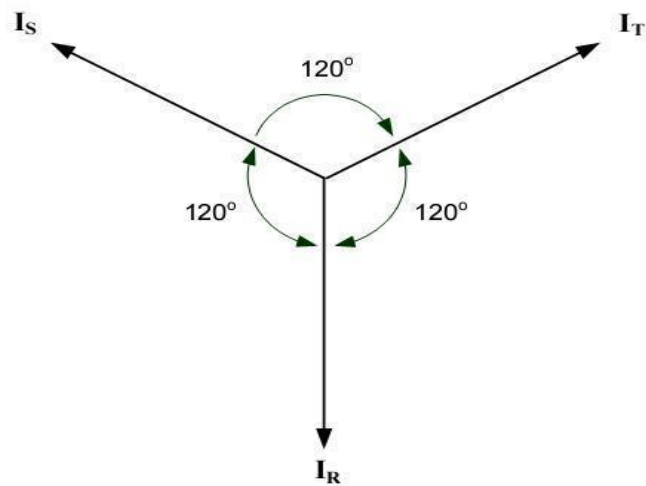
2.7 Ketidakseimbangan Beban (*Unbalanced Load*)

2.7.1 Pengertian

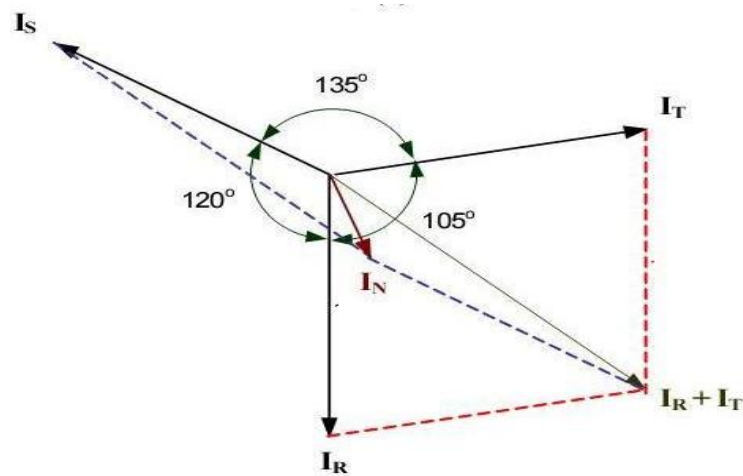
Ketidakseimbangan beban merupakan besarnya ketidakseimbangan arus yang mengalir antara tiap fasa dan menyebabkan mengalirnya arus pada titik netral. Dimana arus netral ini mengakibatkan terjadinya beda tegangan antara titik netral dengan ground (ground efektif memiliki nilai nol). Dampak yang diperoleh dari mengalirnya arus pada titik netral adalah tidak terpenuhinya *reference* tegangan pada titik netral, yang mengakibatkan tegangan fasa ke netral menurun.

Kemungkinan ketidakseimbangan beban ada tiga yaitu:

1. Masing-masing vektor seimbang namun tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.
2. Masing-masing vektor tidak seimbang namun membentuk sudut 120° satu sama lain.
3. Masing-masing vektor tidak seimbang dan tidak membentuk sudut 120° satu sama lain.



Gambar 2.4 Vektor Arus Dalam Keadaan Seimbang (Sumber: <https://electricdot.wordpress.com/2012/10/15/pengaruh-ketidakseimbangan-pembebanan-pada-trafo-distribusi/>, diakses tanggal 14 Februari 2017)



Gambar 2.5 Vektor Arus Dalam Keadaan Tidak Seimbang (Sumber: <https://electricdot.wordpress.com/2012/10/15/pengaruh-ketidakseimbangan-pembebanan-pada-trafo-distribusi/>, diakses tanggal 14 Februari 2017)

Pada saat keadaan seimbang, penjumlahan vektor arus (I_R , I_S , I_T) pada adalah sama dengan nol. Namun pada keadaan seimbang terdapat arus netral (I_N)

yang mengakibatkan penjumlahan ketiga vektor tersebut tidak sama dengan nol. Nilai arus netral bergantung pada seberapa besar faktor ketidakseimbangannya.

2.7.2 Akibat Ketidakseimbangan Beban

Adanya arus netral mengakibatkan pembebanan yang tidak seimbang dan menimbulkan rugi-rugi daya (*power losses*). *Losses* pada penghantar netral ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_N = I_N^2 \times R_N$$

Dimana:

P_N = losses pada penghantar netral (W)

I_N = Arus yang mengalir pada penghantar netral (A)

R_N = Tahanan penghantar netral (ohm)

2.7.3 Menentukan Besaran Ketidakseimbangan Beban

$$I_{rata-rata} = \frac{I_{R1} + I_{S1} + I_{T1}}{3}$$

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

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

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

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

2.7.4 Standar ANSI / IEEE Power Quality

Untuk membandingkan kondisi kualitas daya dengan data hasil pengukuran dari power quality yaitu menggunakan parameter sebagai berikut:

Tabel 2.1 Standar ANSI / IEEE Power Quality

(sumber:<http://repository.akprind.ac.id/sites/files/PROSDING.pdf>, diakses tanggal 11 Februari 2017

No	Parameter	Maksimum
1	Regulasi tegangan keadaan mantab	+5,-10 s/d 10%,-15% (ANSI C84,1-1970) adalah +6,-13%
2	Gangguan Tegangan Drop Tegangan sementara tegangan lebih transien	-25% s/d -30% tidak lebih dari 0,5 s -100% dengan lama 4 s/d 20ms +150 s/d 200% tidak lebih dari 0,2ms
3	Distorsi Tegangan Harmonik	3-5% (beban linier)
4	Noise	Tidak ada standar
5	Variasi Frekuensi	50Hz ± 0,5 Hz sampai 1 Hz
6	Perubahan Frekuensi	Sekitar 1 Hz
7	Ketidakseimbangan Beban	5 s/d 20% mak. Pada setiap fasa
8	Ketidakseimbangan Tegangan 3	2,5% s/d 5%
9	Faktor daya	0,18 sampai dengan 0,9
10	Kapasitas Beban	0,75 s/d 0,85 (beban terpasang)

Keterangan: 1,2,5,6 tergantung pada sumber daya

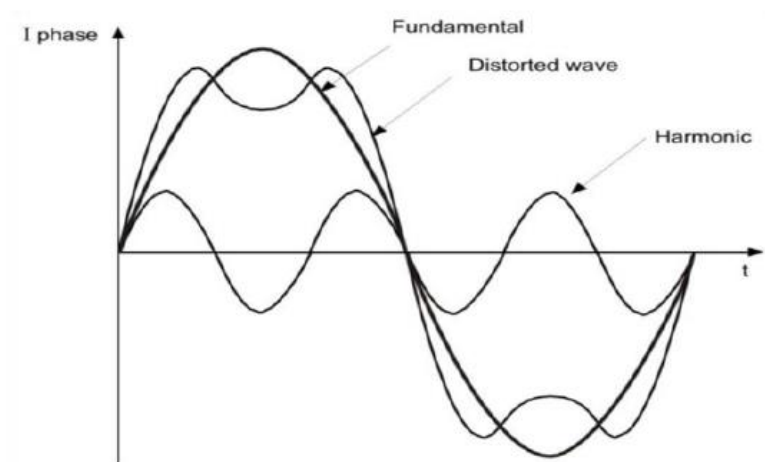
3,4,7 dihasilkan dari interaksi antara sumber dan beban

8,9,10 tergantung pada jumlah beban

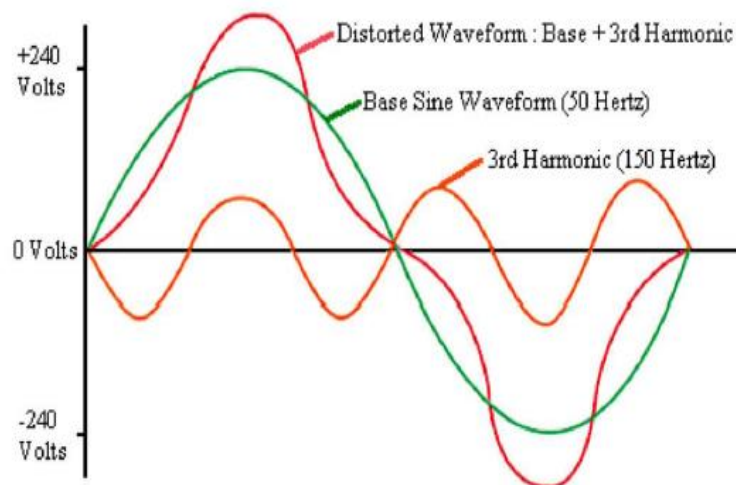
2.8 Harmonisa

2.8.1 Pengertian Harmonisa

Harmonisa adalah gelombang arus sinusoida yang mempunyai frekuensi sebesar kelipatan dari frekuensi dasarnya. Frekuensi dasar adalah 50 Hz, maka harmonisa kedua yaitu gelombang berfrekuensi 100 Hz, 150 Hz dan seterusnya. Gelombang – gelombang tersebut selanjutnya menumpang pada gelombang sinusoida frekuensi dasar atau sinusoida murni sehingga terbentuk gelombang sinusoida yang terdistorsi. Dibawah ini diberikan diberikan bentuk gelombang sinusoida murni dengan gelombang harmonisa.



Gambar 2.6 Bentuk gelombang murni dan gelombang terdistorsi harmonisa (sumber: http://jurnal.upi.edu/file/Elih_M1.pdf, diakses tanggal 20 Februari 2017)



Gambar 2.7 Gelombang harmonisa ketiga dan kelima (sumber: http://jurnal.upi.edu/file/Elih_M1.pdf, diakses tanggal 20 Februari 2017)

2.8.2 Macam-Macam Harmonisa

Ada 4 macam harmonisa, yaitu:

- Harmonisa ganjil: kelipatan ganjil dari frekuensi fundamentalnya.
- Harmonisa genap: kelipatan genap dari frekuensi dasarnya, ini diakibatkan karena gelombangnya tidak simetris terhadap sumbu absisnya. Hal ini terjadi karena adanya komponen DC pada supalinya/bebannya.
- Interharmonisa: adalah harmonisa yang frekuensinya tidak merupakan kelipatan integral dari frekuensi dasarnya.
- Subharmonisa: harga frekuensi yang lebih kecil dari frekuensi fundamentalnya.

Tabel 2.2 Polaritas orde harmonisa (sumber: http://jurnal.upi.edu/file/Elih_M1.pdf, diakses tanggal 20 Februari 2017)

Harmonik	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Frekuensi (Hz)	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Urutan/Polaritas	+	-	0	+	-	0	+	-	0

Tabel 2.3 Akibat Polaritas Komponen Harmonik (sumber:

http://jurnal.upi.edu/file/Elih_M1.pdf, diakses tanggal 20 Februari 2017)

Urutan	Pengaruh pada motor	Pengaruh pada sistem distribusi
Positif	Menyebabkan putaran medan magnet kedepan (forward)	<ul style="list-style-type: none"> • Panas
Negatif	Menyebabkan putaran medan magnet kebelakang (reverse)	<ul style="list-style-type: none"> • Panas • Arah putaran motor berubah
Nol	Tidak Ada	<ul style="list-style-type: none"> • Panas • Menimbulkan/menambah arus pada kawat netral

2.8.3 Total Harmonik Distortion

Pengertian *Total Harmonik Distortion* (THD) yaitu nilai prosentase antara total komponen harmonisa dengan komponen fundamentalnya. Besarnya nilai prosentase dari THD dapat meningkatkan resiko kerusakan peralatan, yang disebabkan harmonisa arus ataupun tegangan yang terjadi. Menurut standar internasional, maksimal nilai THD yang diijinkan sebesar 5% dari tegangan atau arus frekuensi fundamentalnya.

Ada dua kriteria dalam mengidentifikasi distorsi harmonis yaitu menurut standar IEEE 512-1992, yaitu standar harmonisa untuk arus, dan standar harmonisa untuk tegangan. Untuk standar harmonisa arus, ditentukan oleh rasio I_{Sc}/I_L . I_{Sc} merupakan arus hubung singkat yang ada pada PCC (Point of Common

Coupling), sedangkan I_L adalah arus beban fundamental nominal. Sedangkan untuk standar harmonisa tegangan ditentukan oleh tegangan sistem yang dipakai.

Tabel 2.4 Standar IEEE 519-1992 Distorsi Tegangan Harmonik
(sumber: http://jurnal.upi.edu/file/Elih_M1.pdf, diakses tanggal 20 Februari 2017)

THD Tegangan dalam % Nilai Fundamental			
Sistem Tegangan	< 69 kV	69 – 138 kV	>138 kV
THD	5,0	2,5	1,5

Tabel 2.5 Standar IEEE 519-1992 Distorsi Tegangan Harmonik (sumber: http://jurnal.upi.edu/file/Elih_M1.pdf, diakses tanggal 20 Februari 2017)

THD Arus Maksimum dalam % Nilai Fundamental	
I_{hs}/I_L	TDD
<20	5.0
20<50	8.0
50<100	12.0
100<1000	15.0
>1000	20.0
*Seluruh perlengkapan pembangkitan daya dibatasi pada nilai arus distorsi ini, tanpa melihat nilai sebenarnya dari I_{hs}/I_L	
* I_{hs} = arus hubung singkat maksimum ; I_L = arus beban maksimum	

Untuk mencari standar Imp yang diijinkan pada tabel 2.6 dan suatu sistem/trafo, maka perlu mencari terlebih dahulu besarnya arus short circuit I_{sc} dan mengukur arus beban I_L untuk mencari arus short circuit I_{sc} dengan menggunakan rumus dibawah ini :

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

Dimana: V_{LL} = tegangan antar fasa (volt)

$\%Z$ = impedansi trafo

Untuk mencari standar V_{THD} yang diijinkan dengan menggunakan tabel 2.7 dengan cara mengetahui besarnya tegangan sistem/trafo tersebut berada pada range tegangan berapa pada table tersebut.

Total harmonisa distortion (THD) pada arus didefinisikan :

$$I_{THD} = \frac{\sum_{h=2}^{\infty} \sqrt{I_h^2}}{I_1}$$

Total harmonisa distortion (THD) pada tegangan didefinisikan :

$$V_{THD} = \frac{\sum_{h=2}^{\infty} \sqrt{V_h^2}}{V_1}$$

2.8.4 Dampak Harmonisa

Ada beberapa penyebab gangguan harmonisa pada jala-jala listrik di industri diantaranya adalah banyaknya pemakaian beban-beban non linear seperti AC drives, DC drives, UPS (*Uninterruptible power supply*), *Discharge lamp*, Lampu Hemat Energi dan Transformator.

Dampak yang ditimbulkan harmonisa berbeda-beda tergantung karakteristik listrik beban itu sendiri. Akan tetapi, secara umum pengaruh harmonik pada peralatan tenaga listrik ada tiga, yaitu : Nilai rms baik tegangan dan arus lebih besar, nilai puncak (*peak value*) tegangan dan arus lebih besar, dan frekuensi sistem turun.

Ada dua macam efek yang ditimbulkan oleh harmonik pada sistem tenaga listrik yaitu:

1. Efek Jangka Pendek

Efek jangka pendek yang disebabkan oleh harmonisa yaitu pada terganggunya peralatan control yang digunakan pada sistem elektronik, alat-alat pengaman dalam sistem tenaga listrik seperti relay, dan mengganggu sistem komunikasi yang dekat dengan sistem tenaga listrik

2. Efek Jangka Panjang

Efek jangka panjang yang disebabkan oleh harmonisa yaitu pemanasan pada kapasitor dan mesin-mesin listrik. Sedangkan pada trafo akan menyebabkan penurunan nilai efisiensi dan mengakibatkan kerugian daya. Karena trafo dirancang sesuai dengan frekuensi kerjanya. Maka, trafo sangat rentan terhadap pengaruh harmonik.

2.8.5 Dasar Pengontrolan Harmonik

Salah satu cara dalam meminimalisir arus dan tegangan harmonisa yaitu dengan memasang filter harmonisa. Tujuannya agar dapat menurunkan atau mereduksi amplitude frekuensi tertentu dan harmonisa tegangan atau harmonisa arus.

Filter harmonisa dibedakan menjadi dua yaitu filter aktif dan filter pasif. Pada filter pasif terdapat komponen kapasitor, selain berfungsi sebagai filter juga diharapkan dapat memperbaiki faktor daya pada jala-jala listrik tersebut. Jenis filter pasif diantaranya yaitu :

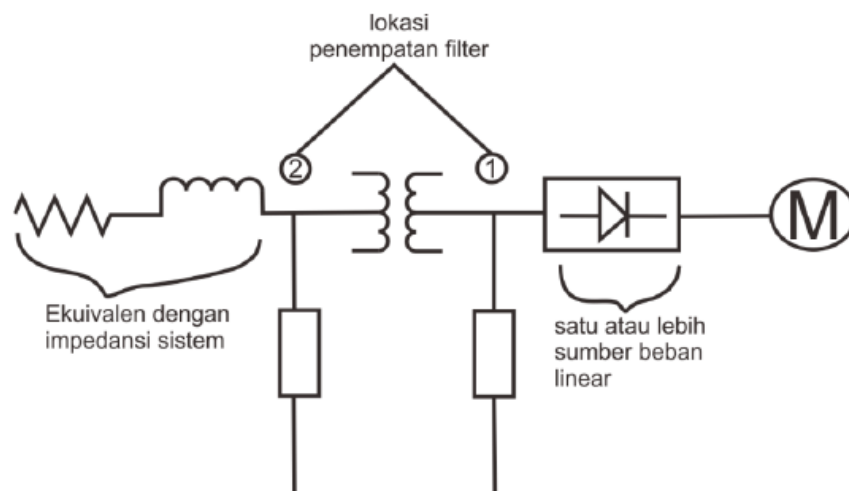
1. Filter dengan penalaan tunggal (*Single Tuned Shunt Filter*)

2. Filter dengan penalaan ganda (*Double Tuned Filter*)

3. *Damped Filter*

2.8.6 Desain Filter Pasif

Pada pengaplikasiannya, filter dapat ditempatkan atau dipasang pada bagian incoming trafo atau pada outgoing trafo yang berdekatan dengan beban terutama untuk beban non linear. Karena tujuan dari filter ini yaitu sedapat mungkin dapat mereduksi gangguan harmonisa secara maksimal. Gambar dibawah ini memperlihatkan dua pilihan lokasi penempatan filter harmonisa.



Gambar 2.8 Pilihan Penempatan Filter Pasif (sumber: http://jurnal.upi.edu/file/Elih_M1.pdf, diakses tanggal 20 Februari 2017)

2.9 Standar Tingkat Pencahayaan di Gedung Perkantoran

Setiap gedung pemerintahan harus mempunyai pencahayaan alami dan/atau pencahayaan buatan/mekanik, termasuk pencahayaan darurat sesuai dengan fungsinya.

Berdasarkan ketentuan dari Badan Standarisasi Nasional No. 6197 tahun 2011 menyatakan bahwa Standar tingkat pencahayaan minimal yang direkomendasikan adalah sebagai berikut :

Tabel 2.6 Tingkat Pencahayaan Rata-rata, Renderansi, dan Temperature warna yang direkomendasikan (sumber: SNI.6197:2011)

Fungsi Ruangan	Tingkat Pencahayaan (Lux)	Kelompok Renderansi Warna	Temperature Warna		
			Warm <3300 Kelvin	Warm white 3300 - 5300 kelvin	Cool Daylight >5300 kelvin
Ruang Resepsionis	300	1 atau 2	•	•	
Ruang Kepala	350	1 atau 2		•	•
Ruang Kerja	350	1 atau 2		•	•
Ruang Komputer	350	1 atau 2		•	•
Ruang Rapat	300	1	•	•	
Ruang Gambar	750	1 atau 2		•	•
Gudang Arsip	150	1 atau 2		•	•
Ruang Arsip Aktif	300	1 atau 2		•	•
Ruang Tangga Darurat	150	1 atau 2			•
Parkir	100	3 atau 4			•
Koridor	300	1 atau 2	•	•	
Pantry	150	1 atau 2	•	•	

2.10 Sistem Peralatan Udara dengan Sistem *Chiller*

Pada bangunan komersial dengan kapasitas pendinginan lebih dari 600.000 btu/h atau setara dengan 176 kW maka pada umumnya menggunakan peralatan udara berupa *chiller*. Prinsip kerja dari sistem *chiller* yaitu menggunakan air sejuk yang hasilnya kemudian disalurkan dengan pompa menuju koil pendingin pada setiap ruangan. Untuk ruangan dengan ukuran yang kecil menggunakan FCU (*Fan Coil Unit*) sedangkan untuk ruangan yang lebih besar atau ruangan yang terbagi dalam lantai yang sama maupun berbeda menggunakan AHU (*Air Handling Unit*).

Kapasitas pendinginan peralatan tata udara ini (*Chiller*) tidak diperbolehkan melebihi kapasitas perhitungan beban pendinginan yang telah dihitung, kecuali:

- a) Terdapat peralatan pengatur otomatis untuk mengoperasikan peralatan utama apabila peralatan utama mati.
- b) Jika terdapat total kapasitas pendinginan yang melebihi kapasitas perencanaan beban pendinginan maka sistem perlu dilengkapi dengan pengontrolan otomatis untuk mengatur pengoperasian masing-masing unit sesuai dengan beban pendinginan dalam perencanaan.

Pengaturan *chiller* pada gedung harus diperhitungkan agar sesuai dengan kondisi pendinginan pada gedung tersebut, yaitu baik pada kondisi beban penuh maupun parsial, harus selalu berada pada tingkat efisiensi optimal. Dan pengoperasian pada *chiller* jenis sentrifugal tidak kurang dari 50% dari kapasitas nominal.

2.10.1 Pengukuran Satuan Pada Air Conditioner

Dalam teknik pengukuran pendingin berkaitan dengan konsep ilmu termodinamika dengan satuan yang menjadi dasar pengukuran adalah BTU (*British thermal unit*). Satuan BTU dapat didefinisikan menjadi total panas yang diperlukan untuk menaikkan 1 pound air sebanyak 1 derajat Fahrenheit.

Semakin besar nilai BTU yang digunakan maka semakin besar juga output dari unit AC tersebut karena kompresor yang digunakan juga semakin besar yang berakibat udara yang dapat didinginkan juga semakin besar dan arus listrik yang digunakan juga semakin besar. Sedangkan di Indonesia sendiri biasanya menggunakan satuan PK. Secara sederhana dengan mengabaikan pengaruh nilai alat yang lain maka menghitung kapasitas AC yaitu dengan cara:

$$\text{Kebutuhan AC per/lantai} = \text{panjang} \times \text{lebar} \times \text{tinggi} \times 200 \text{ Btu/h}$$

Dengan ketentuan:

Tabel 2.7 Kapasitas AC (sumber: SNI.6390:2011)

Kapasitas AC	
BTU/h	PK
± 5000	1/2
± 7000	3/4
± 9000	1
± 12.000	1 1/2
± 18.000	2 1/2