

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Energi adalah kebutuhan dasar untuk menggerakkan hampir seluruh aktivitas ekonomi atau 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 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.

Ricky Salpanio (2007), penelitian yang dilakukan tentang Audit Energi Listrik pada Gedung Kampus Universitas Diponegoro Peleburan Semarang. Dari hasil penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa penggunaan energi listrik di gedung kampus Universitas Diponegoro termasuk efisien dengan sample hanya 21 pelanggan. Penelitian ini menggunakan metode menghitung nilai penggunaan

energi yang keluar pada masing-masing ruangan yang ada pada gedung kampus Universitas Diponegoro agar peluang hemat energi dan penghematan biaya listrik kampus Universitas Diponegoro dapat dilakukan dengan cara penurunan kapasitas langganan pada beberapa pelanggan listrik.

Catur, Dian dan Herwin (2013), penelitian yang dilakukan tentang Audit Energi di Gedung Kampus Dian Nuswantoro Semarang. Dari hasil penelitian yang dilakukan bahwa (Direktorat Pengembangan Energi) IKE untuk perkantoran (Komersil) adalah 240 kWh/ per tahun. Pusat perbelanjaan 330 kWh/ per tahun. Hotel atau apartemen 330 kWh/ per tahun. Dan rumah sakit 380 kWh/ per tahun. Jika nilai IKE lebih rendah daripada batas bawah maka bangunan gedung tersebut dikatakan hemat energi sehingga perlu untuk dipertahankan dengan melaksanakan aktivitas dan pemeliharaan yang sesuai dengan standar prosedur yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Jika nilai IKE berada diantara batas bawah dan acuan maka bangunan gedung tersebut dikatakan agak hemat energi sehingga perlu ditingkatkan kinerja tuning up. Jika diantara

Acuan dan batas atas maka bangunan gedung tersebut dikatakan agak boros sehingga perlu dilakukan beberapa perubahan. Apabila acuan di atas batas atas maka perlu dilakukan retrofitting atau replacement.

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 beroperasinya 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 beroperasinya 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). 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:

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

Dengan keterangan:

P = daya aktif (kilo Watt/kW)

V = tegangan (Volt/V)

I = arus (Ampere/A)

$\cos \phi$ = 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

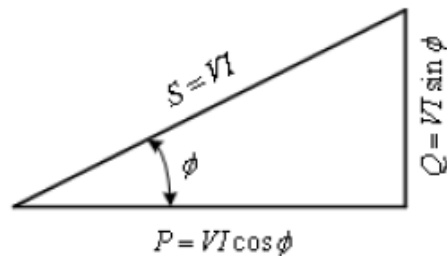
sebuah trafo maupun generator biasanya menggunakan daya semu. Secara teoritis dinyatakan dengan persamaan:

$$S = V \times I$$

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

Faktor daya adalah perbandingan antara daya nyata dalam satuan watt dan daya reaktif dalam satuan *Volt Ampere Reaktif* (VAR) dari daya yang disalurkan oleh pusat-pusat pembangkit ke beban. Nilai faktor daya akan mempengaruhi jumlah arus yang mengalir pada saluran untuk suatu beban yang sama. Rendahnya faktor daya disebabkan karena melebarnya sudut fasa antara arus dan tegangan. Faktor daya yang terlalu rendah mengakibatkan rugi yang sangat besar pada saluran.

$$\begin{aligned}
\text{Faktor daya} &= \frac{P}{S} \\
&= \frac{kW}{kVA} \\
&= \frac{V.I.\cos \varphi}{V.I} \\
&= \cos \varphi
\end{aligned}
\tag{2.1}$$

Keterangan :

P = Daya Aktif

S = Daya Semu

Faktor daya mempunyai nilai range antara 0 – 1 dan dapat juga dinyatakan dalam persen. Faktor daya yang bagus apabila bernilai mendekati satu. Keuntungan meningkatkan faktor daya :

1. Kapasitas distribusi sistem tenaga listrik akan meningkat.
2. Mengurangi rugi – rugi daya pada sistem.
3. Tagihan listrik akan menjadi kecil

Jika pf pelanggan jelek (rendah) maka kapasitas daya aktif (kW) yang dapat digunakan pelanggan akan berkurang. Kapasitas itu akan terus menurun seiring dengan semakin menurunnya pf sistem kelistrikan pelanggan. Akibat menurunnya pf itu maka akan muncul beberapa persoalan antara lain :

1. Membesarnya penggunaan daya listrik kWh karena rugi-rugi.
2. Membesarnya penggunaan daya listrik kVAR
3. Mutu listrik menjadi rendah karena jatuh tegangan

Jika nilai daya itu diperbesar yang biasanya dilakukan oleh pelanggan industri maka rugi-rugi daya menjadi besar sedang daya aktif (kW) dan tegangan yang sampai ke konsumen berkurang. Dengan demikian produksi pada industri itu akan menurun hal ini tentunya tidak boleh terjadi untuk itu suplai daya dari PLN harus ditambah berarti penambahan biaya. Dengan bertambahnya nilai daya maka akan terjadi penurunan nilai V dan naiknya nilai I.

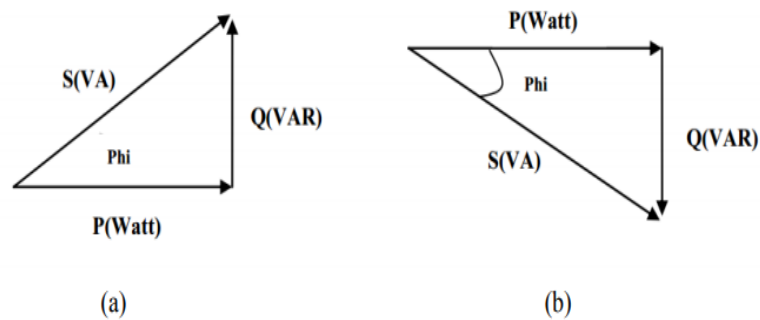
$$P = V \cdot I \quad (2.2)$$

Keterangan :

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)



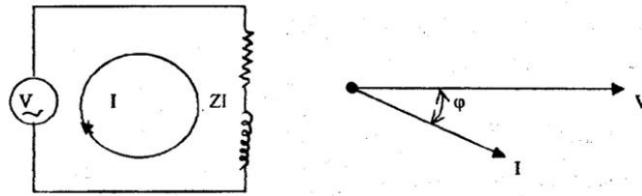
Gambar 2.2 (a) Karakteristik Beban Kapasitif dan
(b) Karakteristik Beban Induktif

$$P = V \cdot I \cdot \cos \phi \quad (2.3)$$

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \phi \quad (2.4)$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \text{ atau } S = V \cdot I \quad (2.5)$$

Pergeseran sudut fasa antara arus dan tegangan di tentukan oleh sifat impedansi beban (resistif, induktif, kapasitif) yang dihubungkan dengan sumber arus bolak-balik tersebut. Apabila beban mempunyai impedansi yang bersifat resistif, maka arus dan tegangan sefasa atau besarnya pergeseran sudut fasa sama dengan nol. Dengan demikian faktor daya sama dengan satu (*unity power factor*). Impedansi beban bersifat induktif, vektor arus (I) terbelakang dari vektor tegangan (V), kondisi tersebut disebut faktor daya tertinggal (*lagging power factor*) sedangkan untuk impedansi beban yang bersifat kapasitif, vektor arus (I) mendahului vektor tegangan (V), keadaan tersebut dinamakan faktor daya mendahului (*leading power factor*).

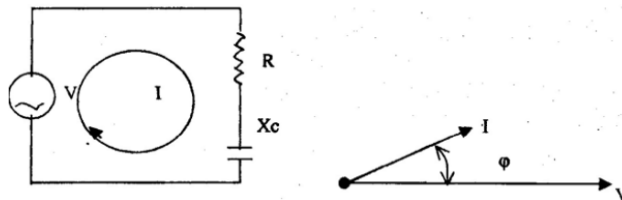


Gambar 2.3 Faktor Daya Tertinggal

(Sumber : <https://dedyalfilianto.wordpress.com/2014/06/08/faktor-daya/>)

Rumus faktor daya tertinggal yaitu :

$$\text{Faktor daya (Power Factor)} = \frac{P}{S} = \frac{V \times I \times \sin \varphi}{V \times I} = \sin \varphi \quad (2.6)$$



Gambar 2.4 Faktor Daya Mendahului

(Sumber : <https://dedyalfilianto.wordpress.com/2014/06/08/faktor-daya/>)

Rumus faktor daya mendahului yaitu :

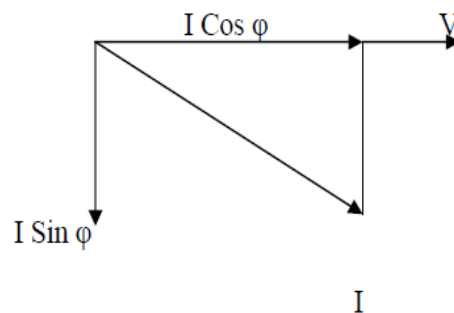
$$\text{Faktor daya (Power Factor)} = \frac{P}{S} = \frac{V \times I \times \cos \varphi}{V \times I} = \cos \varphi \quad (2.7)$$

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 ($\cos \phi$) 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 2.5 Tegangan dan Arus pada beban Induktif
(Saadat, Hadi. 1999. Power System Analysis. P.19)

Pada gambar 2.5 menunjukkan bahwa arus yang menghasilkan energi adalah $I \cos \phi$. Dengan demikian semakin besar sudut ϕ semakin kecil nilai $\cos \phi$, akibatnya $I \cos \phi$ 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 ($\cos \phi$) 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.

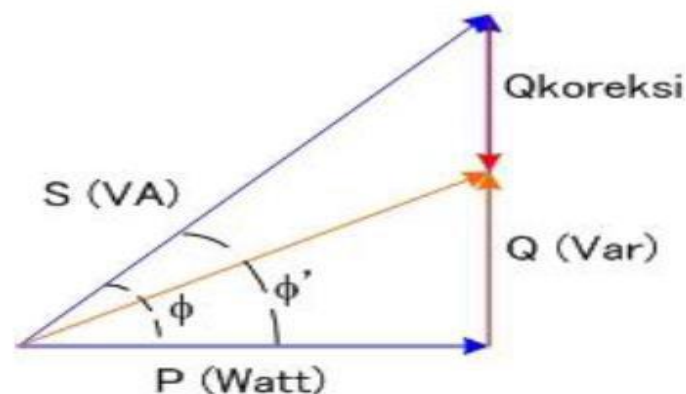
2.5.2 Memperbaiki Faktor Daya

2.5.2.1 Terciptanya Perbaikan Faktor Daya

Untuk memiliki nilai faktor daya yang bagus membutuhkan suatu sistem yang dapat mendekatkan 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 coulomb atau sebanding dengan $6,25 \times 10^{10}$ elektron maka kapasitor tersebut memiliki nilai kapasitansi sebesar 1 farad pada tegangan 1 volt.



Gambar 2.6 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 yang mana nilai \cos adalah 1 dan mengakibatkan nilai faktor daya naik.

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

$$C = \frac{1}{2 \times \pi \times f \times X_c} \quad (2.8)$$

Dimana :

X_c = Reaktansi Kapasitif (ohm /)

V_{LL} = Tegangan Antar fasa

C = Kapasitansi (μ F)

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 Sifat Beban

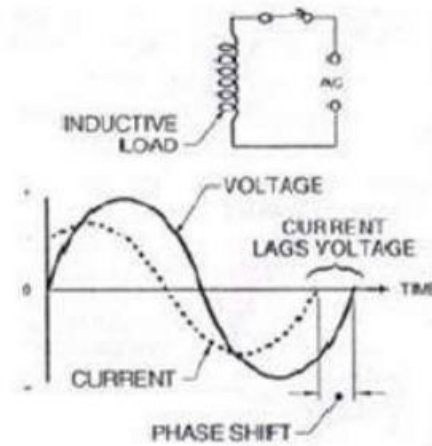
Pada suatu rangkaian listrik selalu dijumpai suatu sumber dan beban. Bila sumber listrik DC, maka sifat beban hanya bersifat resistif murni, karena frekuensi sumber DC adalah nol. Reaktansi induktif (X_L) akan menjadi nol yang berarti bahwa induktor tersebut akan short circuit. Reaktansi kapasitif (X_C) akan menjadi tak berhingga yang berarti bahwa kapasitif tersebut akan *open circuit*. Jadi sumber DC akan mengakibatkan beban beban induktif dan beban kapasitif tidak akan berpengaruh pada rangkaian. Bila sumber listrik AC maka beban dibedakan menjadi 3 sebagai berikut :

a) Beban Resitif

Beban yang memiliki sifat resistif akan memiliki sifat yang sama dengan resistor. Apabila beban tersebut dialiri arus listrik maka arus listrik yang mengalir melalui beban tersebut adalah arus nominal pada beban dan memiliki nilai yang tetap sehingga tidak diaktifkan . Contoh beban beban listrik yang bersifat resistif adalah lampu pijar (penerangan), setrika, teko listrik, dan alat-alat rumah tangga yang bersifat pemanas lainnya. Beban ini hanya menyerap daya aktif dan tidak menyerap daya reaktif sama sekali.

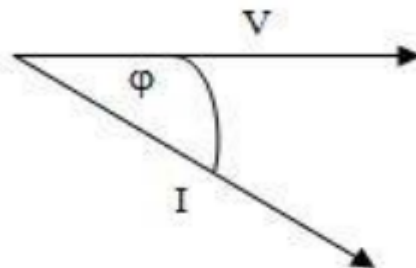
b) Beban Induktif

Beban induktif adalah beban yang mengandung kumparan kawat yang dililitkan pada sebuah inti biasanya inti besi contoh : motor – motor listrik, induktor dan transformator. Beban ini mempunyai faktor daya antara 0 – 1 “lagging”. Beban ini menyerap daya aktif (kW) dan daya reaktif (kVAR). Tegangan mendahului arus sebesar ϕ° . Secara matematis dinyatakan :



Gambar 2.7 Rangkaian Induktif Gelombang AC

(Sumber : <https://saranabelajar.wordpress.com/2010/02/18/karakteristik-beban-pada-sistem-arus-listrik-bolak-balik-ac/>)

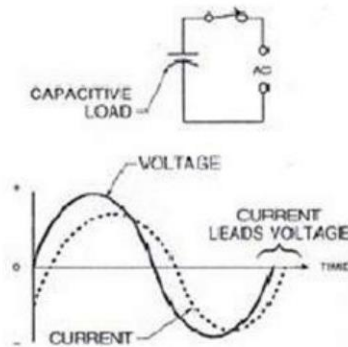


Gambar 2.8 Tegangan dan Arus pada Beban Induktif

(Sumber : <https://saranabelajar.wordpress.com/2010/02/18/karakteristik-beban-pada-sistem-arus-listrik-bolak-balik-ac/>)

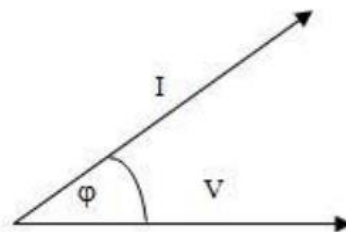
c) Beban Kapasitif

Beban kapasitif adalah beban yang mengandung suatu rangkaian kapasitor. Beban ini mempunyai faktor daya antara 0–1. Beban ini menyerap daya aktif (kW) dan mengeluarkan daya reaktif (kVAR). Arus mendahului tegangan sebesar ϕ° . Secara matematis dinyatakan:



Gambar 2.9 Rangkaian Kapasitif Gelombang AC

(Sumber : <https://saranabelajar.wordpress.com/2010/02/18/karakteristik-beban-pada-sistem-arus-listrik-bolak-balik-ac/>)



Gambar 2.10 Tegangan dan Arus Pada Beban Kapasitif

(Sumber : <https://saranabelajar.wordpress.com/2010/02/18/karakteristik-beban-pada-sistem-arus-listrik-bolak-balik-ac/>)

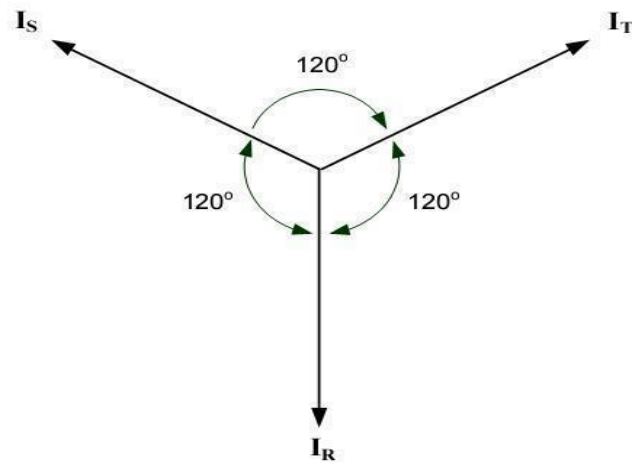
2.7.2 Pengertian

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.

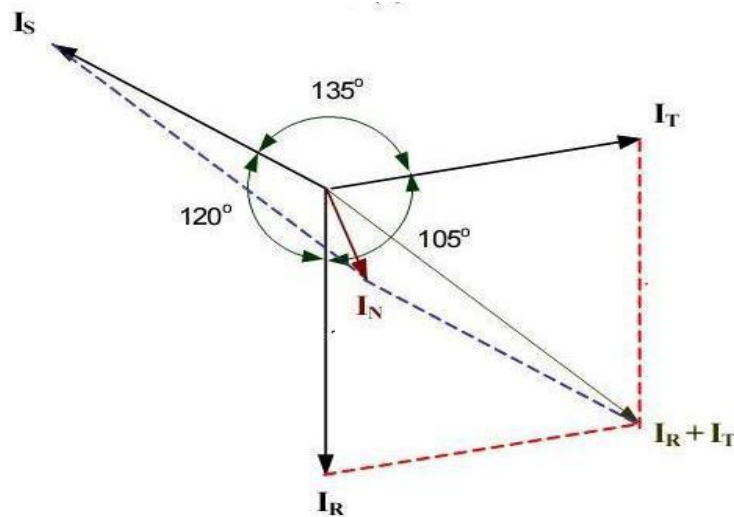
Kemungkinan ketidakseimbangan beban ada tiga yaitu:

1. Masing-masing vektor seimbang namun tidak membentuk sudut 120^0 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 2.11 Vektor Arus Dalam Keadaan Seimbang (Sumber: <https://electricdot.wordpress.com/2012/10/15/pengaruh-ketidakseimbangan-pembebanan-pada-trafo-distribusi/>, diakses tanggal 14 Februari 2018)



Gambar 2.12 Vektor Arus Dalam Keadaan Tidak Seimbang (Sumber: <https://electricdot.wordpress.com/2012/10/15/pengaruh-ketidakseimbangan-pembebanan-pada-trafo-distribusi/>, diakses tanggal 14 Februari 2018)

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.

2.7.3 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)

2.7.4 Menentukan Besaran Ketidakseimbangan Beban

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

$$I_R = a \times I_{rata-rata}$$

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

$$I_S = b \times I_{rata-rata}$$

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

$$I_T = c \times I_{rata-rata}$$

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

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

2.7.5 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 2018

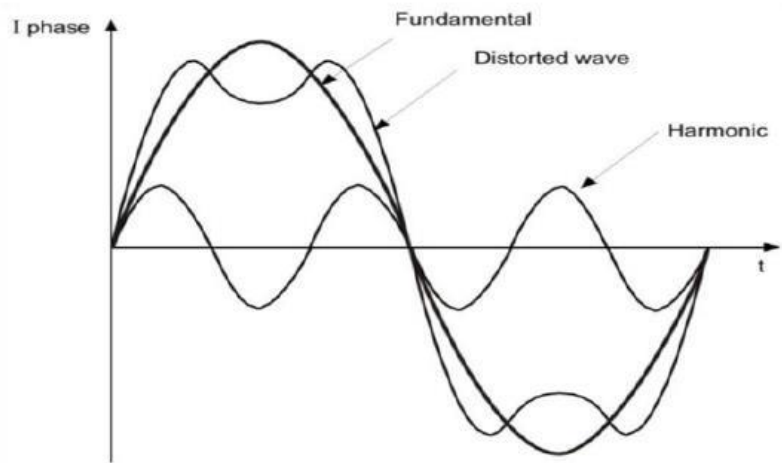
No.	Parameter	Maksimum
1.	Regulasi tegangan dalam keadaan baik.	+5,-15% (ANSI C84,1-1970) adalah +6, -13%
2.	Gangguan tegangan drop sementara tegangan lebih transient.	-25% s/d -30% tidak lebih dari 0,5 s -100% dengan lama 4 s/d 20 ms +150 s/d 200% tidak lebih dari 0,2ms
3.	Distorsi Tegangan Harmonik	3-5% (beban linier)
4.	Noise	Tidak ada standar
5.	Variasi Frekuensi	50Hz \pm 0,5 Hz sampai 1 Hz
6.	Perubahan Frekuensi	Sekitar 1 Hz
7.	Ketidakseimbangan Beban	5 s/d 20% maks pada setiap fasa
8.	Ketidakseimbangan Tegangan	2,5% s/d 5%
9.	Faktor daya	0,81 sampai dengan 0,9
10.	Kapasitas Beban	0,75 s/d 0,85 (beban terpasang)

2.8 Harmonisa

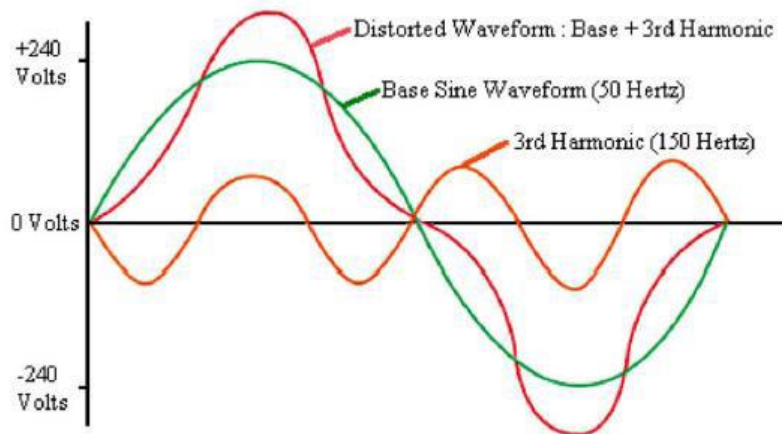
2.8.1 Pengertian Harmonisa

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



Gambar 2.14 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:

- a. Harmonisa ganjil: kelipatan ganjil dari frekuensi fundamentalnya.

- b. 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.
- c. Interharmonisa: adalah harmonisa yang frekuensinya tidak merupakan kelipatan integral dari frekuensi dasarnya.
- d. 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 2018)

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 2018)

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 (reserve)	<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 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 2018)

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 2018)

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 IL untuk mencari arus short circuit Isc dengan menggunakan rumus dibawah ini :

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

Dimana: VLL = tegangan antar fasa (volt)

%Z = impedansi trafo

Untuk mencari standar yang diijinkan dengan menggunakan tabel 2.5 dengan cara mengetahui besarnya tegangan sistem/trafo tersebut berada pada *range* tegangan berapa pada table tersebut.

Total harmonisa distortion (THD) pada arus didefinisikan :

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

Total harmonisa distortion (THD) pada tegangan didefinisikan :

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

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 dives, DC drives, UPS (*Uninteruptible 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 kontrol 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.