

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Kualitas Daya Listrik

Kualitas daya listrik dapat diartikan sebagai tolak ukur kemampuan sistem untuk memberikan pelayanan daya listrik kepada pengguna sehingga peralatan-peralatan yang digunakan pengguna dapat bekerja sesuai dengan spesifikasi dari peralatan tersebut secara kontinyu (Ronilaya, 2007). Daya adalah suatu nilai dari energi listrik yang dikirimkan dan di distribusikan, dimana besarnya daya listrik tersebut sebanding dengan perkalian besarnya tegangan dan arus listriknya. Sistem suplai daya listrik dapat dikendalikan oleh kualitas dari tegangan, dan tidak dapat dikendalikan oleh arus listrik karena arus listrik berada pada sisi beban yang bersifat individual, sehingga pada dasarnya kualitas daya adalah kualitas dari tegangan itu sendiri (Dugan et al., 2004).

2.2 Jenis-Jenis Permasalahan Daya Listrik

Permasalahan kualitas daya listrik disebabkan oleh gejala-gejala atau fenomena-fenomena elektromagnetik yang terjadi pada sistem tenaga listrik (Dugan et al., 2004). Permasalahan kualitas daya listrik diantaranya:

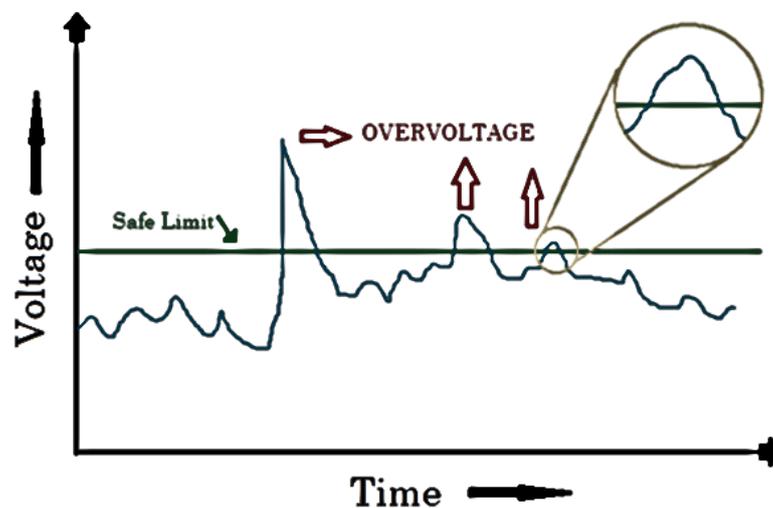
2.2.1 Gejala Perubahan Tegangan Durasi Panjang

Gejala perubahan tegangan durasi panjang memiliki waktu penyimpangan terhadap frekuensi daya lebih dari satu menit. Gejala perubahan tegangan durasi panjang umumnya berasal bukan dari kesalahan atau gangguan sistem, tetapi disebabkan oleh perubahan beban pada sistem dan pada saat pengoperasian

pensaklaran sistem. Gejala perubahan tegangan durasi panjang biasanya ditampilkan sebagai grafik tegangan *rms* terhadap waktu. Jenis dari gejala perubahan tegangan durasi panjang ada 3 (tiga), yaitu *overvoltages*, *undervoltages* dan *sustained interruption* (Dugan et al., 2004).

a. *Overvoltage*

Overvoltages atau tegangan berlebih adalah suatu gejala peningkatan nilai *rms* bolak-balik sebesar lebih dari 110 persen pada frekuensi daya untuk waktu lebih dari 1(satu) menit. *Overvoltages* biasanya disebabkan oleh pelepasan beban (misalnya, pemutusan suatu beban besar), atau variasi kompensasi reaktif pada sistem (misalnya, beroperasinya kapasitor bank) (Dugan et al., 2004).



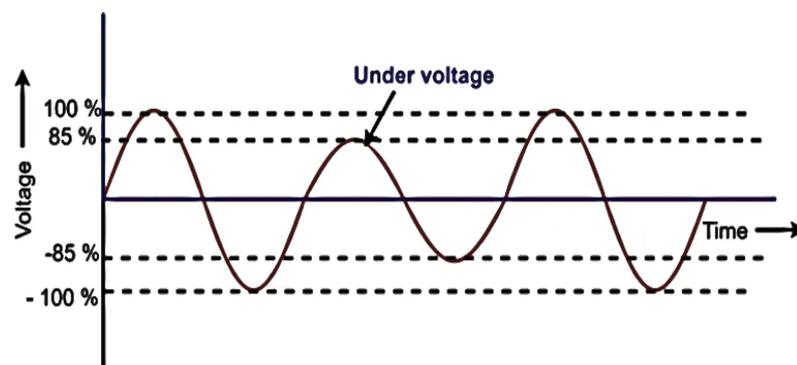
Gambar 2. 1 *Overvoltage*

(*EFFECTS OF OVER VOLTAGES ON POWER SYSTEMS Engineering Study Material*, n.d.)

b. *Undervoltage*

Undervoltages adalah suatu gejala penurunan tegangan *rms* bolak-balik sebesar kurang dari 90 persen dari nilai tegangan nominal pada frekuensi

daya untuk durasi lebih dari 1 (satu) menit. *Undervoltages* adalah hasil dari suatu peristiwa kembalinya keadaan *overvoltage* menuju keadaan normalnya. Sebuah operasi pensaklaran beban atau memutuskan kapasitor bank dapat menyebabkan *undervoltage*, sampai keadaan dimana peralatan pengaturan tegangan pada sistem tegangan tersebut dapat membawa kembali pada toleransi nilai tegangan standar (Dugan et al., 2004).

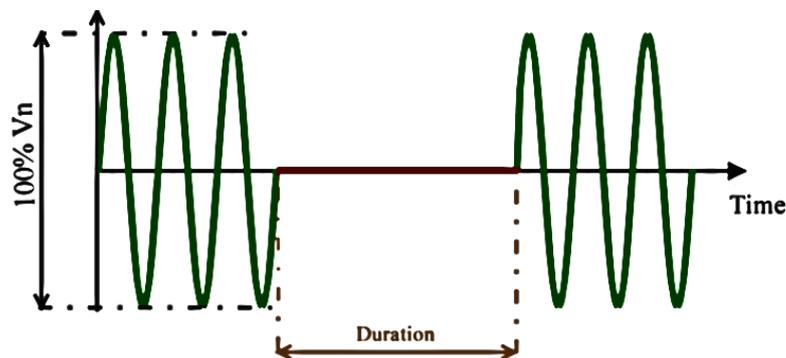


Gambar 2. 2 *Undervoltage*

(*Under Voltage Protection Working Principle 27, n.d.*)

c. *Sustained Interruption*

Pada saat tegangan suplai dari sebuah sistem tenaga menjadi nol untuk jangka waktu lebih dari 1 (satu) menit, maka gejala perubahan tegangan ini disebut interupsi atau pemadaman berkelanjutan. Gangguan tegangan yang terjadi lebih dari 1 (satu) menit merupakan gangguan permanen yang membutuhkan campur tangan tenaga teknisi untuk memperbaiki sistem tenaga tersebut, agar kembali menjadi normal seperti sebelum terjadinya gangguan (Dugan et al., 2004).



Gambar 2. 3 Sustained Interruption

(Pq-Analysis-Power-Interruptions_fig1.Png (768×532), n.d.)

2.2.2 Ketidakseimbangan Tegangan

Ketidakseimbangan tegangan (*voltage unbalance*) didefinisikan sebagai penyimpangan atau deviasi maksimum dari nilai rata-rata tegangan sistem 3 (tiga) fasa tegangan atau arus listrik, dibagi dengan nilai rata-rata tegangan tiga fasa atau arus tersebut, dan dinyatakan dalam persen (Dugan et al., 2004). Ketidakseimbangan tegangan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\% \text{ Unbalance Voltage} = 100\% \frac{\text{Maximum Voltage Deviation Average Voltage}}{\text{Average Voltage}} \quad (2.1)$$

Contoh perhitungan, diketahui nilai tegangan rata-rata fasa R adalah 229.45 volt, tegangan rata-rata fasa S adalah 228,62 volt, tegangan rata-rata fasa T adalah 227,33 volt, tegangan maksimal adalah 232,90 volt, dan tegangan minimal adalah 221,99 volt.

$$\text{average votage} = \frac{V_R + V_S + V_T}{3}$$

$$\text{average votage} = \frac{229,45 + 228,62 + 227,33}{3}$$

$$\text{average votage} = \frac{685,4}{3}$$

$$\text{average voltage} = 228,46 \text{ volt}$$

$$\text{max deviation from average} = 228,46 - 221,99$$

$$\text{max deviation from average} = 6,47 \text{ volt}$$

$$\% \text{ Unbalance Voltage} = 100\% \frac{6,47}{228,46}$$

$$\% \text{ Unbalance Voltage} = 100\% \times 0,028$$

$$\% \text{ Unbalance Voltage} = 2,8 \%$$

Besarnya ketidakseimbangan tegangan pada sumber utama tidak boleh lebih dari 2%. Nilai kritis dari keadaan ketidakseimbangan tegangan adalah jika nilai persentase perbandingannya melebihi 5%, hal ini biasanya terjadi karena terputusnya salah satu fasa dari sistem tenaga listrik tiga fasa (Dugan et al., 2004).

Ketidakseimbangan dapat didefinisikan menggunakan komponen simetris. Pada sistem distribusi tiga fasa empat kawat adalah penjumlahan vektor dari ketiga arus fasa dalam komponen simetris. Satu kesatuan tiga fasor tegangan tak seimbang dari sistem tiga fasa dapat diuraikan menjadi tiga fasa yang seimbang, yaitu (Sudirham, 2012):

a. Komponen Urutan Positif

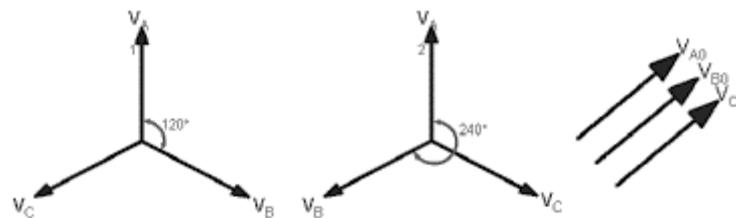
Komponen urutan positif adalah tiga fasor yang sama besarnya, terpisah satu dengan yang lainnya dalam beda fasa sebesar 120° , dan mempunyai urutan fasa yang sama seperti fasor yang aslinya.

b. Komponen Urutan Negatif

Komponen urutan negatif adalah tiga fasor sama besarnya, terpisah satu dengan yang lainnya dalam beda fasa sebesar 120° , dan mempunyai urutan fasa yang berlawanan arah dengan fasor aslinya.

c. Komponen Urutan Nol

Komponen urutan nol adalah tiga fasor yang sama besarnya dan dengan pergeseran fasa nol antara fasor yang satu dengan yang lain.



Gambar 2. 4 Komponen Seimbang dari Tiga Fasor Tegangan Tiga Fasa
(*Pq-Analysis-Power-Interruptions_fig1.Png (768×532)*, n.d.)

Komponen-komponen urutan positif pada V_a , V_b , V_c adalah V_{a1} , V_{b1} dan V_{c1} . Komponen-komponen urutan negatifnya adalah V_{a2} , V_{b2} dan V_{c2} . Sedangkan komponen-komponen urutan nolnya yaitu V_{a0} , V_{b0} dan V_{c0} . Semua faktor-faktor yang tidak seimbang adalah jumlah komponen-komponen aslinya dapat dinyatakan sebagai berikut ini:

$$\text{Tegangan fasa a, } V_a = V_{a0} + V_{a1} + V_{a2} \quad (2.2)$$

$$\text{Tegangan fasa b, } V_b = V_{b0} + V_{b1} + V_{b2} \quad (2.3)$$

$$\text{Tegangan fasa c, } V_c = V_{c0} + V_{c1} + V_{c2} \quad (2.4)$$

Pada komponen simetris terdapat operator a yang sesungguhnya adalah fasor satuan yang berbentuk

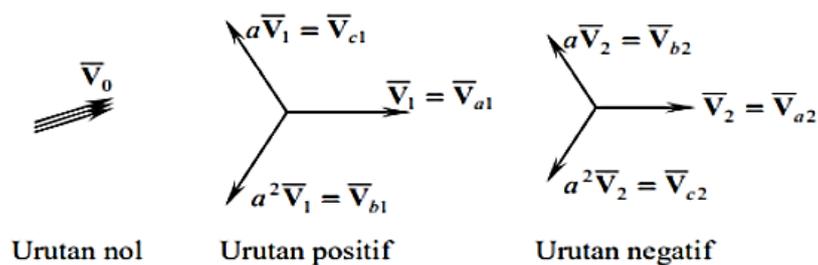
$$a = 1 \angle 120^\circ$$

Suatu fasor, apabila kalikan dengan a akan menjadi fasor lain yang terputar ke arah positif sebesar 120° dan jika kita kalikan dengan a^2 akan terpusat ke arah positif 240° . Pengguna operator a ini untuk menuliskan komponen urutan positif dan negatif, dengan indeks a, b, c dapat dihilangkan karena arah fasor sudah dinyatakan oleh operator a sehingga:

$$V_a = V_0 + V_1 + V_2 \quad (2.6)$$

$$V_b = V_0 + a^2 V_1 + V_2 \quad (2.7)$$

$$V_c = V_0 + a V_1 + a^2 V_2 \quad (2.8)$$



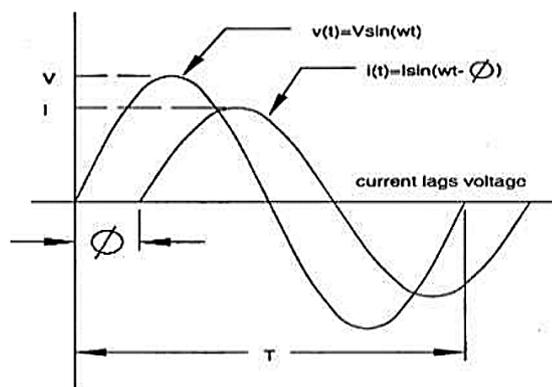
Gambar 2. 5 Komponen Urutan dengan Menggunakan Operator α

(Sudirham, 2012)

2.2.3 Harmonisa

Harmonisa adalah gangguan yang terjadi dalam sistem distribusi tenaga listrik yang disebabkan adanya distorsi gelombang arus dan tegangan. Distorsi

gelombang arus dan tegangan ini disebabkan adanya pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi kelipatan dari frekuensi fundamentalnya (Suryadi, 2016).



Gambar 2. 6 Gelombang Fundamental yang Terdistorsi Harmonisa ke- 3
(Suryadi, 2016)

Jika frekuensi pada 50 Hz dikatakan frekuensi fundamental atau frekuensi dasar, maka jika gelombang tersebut mengalami distorsi kelipatan frekuensi dari frekuensi dasarnya, misalnya harmonik kedua ($2f$) pada 100 Hz, ketiga ($3f$) pada 150 Hz dan harmonisa ke- n memiliki frekuensi nf . Gelombang-gelombang ini menumpang pada gelombang frekuensi fundamentalnya dan terbentuk gelombang cacat yang merupakan penjumlahan antara gelombang murni dengan gelombang harmonisa ke- 3 (Suryadi, 2016).

2.2.3.1 Indeks Harmonisa

Dalam pengukuran harmonik ada beberapa istilah penting yang harus dimengerti, yaitu:

- a. IHD (*Individual Harmonic Distortion*)

Individual Harmonic Distortion (IHD) adalah rasio antara nilai *rms* dari harmonisa individual dan nilai *rms* dari fundamental. Rumus IHD adalah sebagai berikut:

$$IHD = \frac{\sqrt{I_{sn}^2}}{I_{s1}} \times 100 \% \quad (2.9)$$

Dimana:

IHD = *Individual Harmonic Distortion*

I_{sn} = Arus Harmonisa pada Orde ke- n (A)

I_{s1} = Arus Fundamental (*I_{rms}*) (A)

Contoh perhitungan, diketahui nilai arus pada fasa R fundamental adalah 78,42 ampere dan arus harmonisa orde ke-3 adalah 4,55 ampere

$$IHD_R = \frac{\sqrt{I_{ss}^2}}{I_{s1}} \times 100 \%$$

$$IHD_R = \frac{\sqrt{4,55^2}}{78,42} \times 100 \%$$

$$IHD_R = \frac{4,55}{78,42} \times 100 \%$$

$$IHD_R = 5,8 \%$$

Contoh perhitungan, diketahui nilai arus pada fasa S fundamental adalah 80,32 ampere dan arus harmonisa orde ke-3 adalah 4,11 ampere

$$IHD_S = \frac{\sqrt{I_{ss}^2}}{I_{s1}} \times 100 \%$$

$$IHD_S = \frac{\sqrt{4,11^2}}{80,32} \times 100 \%$$

$$IHD_S = \frac{4,11}{78,42} \times 100 \%$$

$$IHD_S = 5,2 \%$$

Contoh perhitungan, diketahui nilai arus pada fasa T fundamental adalah 80,32 ampere dan arus harmonisa orde ke-3 adalah 4,11 ampere

$$IHD_T = \frac{\sqrt{I_{ss}^2}}{I_{s1}} \times 100 \%$$

$$IHD_T = \frac{\sqrt{5,12^2}}{73,61} \times 100 \%$$

$$IHD_T = \frac{5,12}{73,61} \times 100 \%$$

$$IHD_T = 6,9 \%$$

b. THD (*Total Harmonic Distortion*)

Total Harmonic Distortion (THD) adalah rasio antara nilai *rms* dari komponen harmonisa dan nilai *rms* dari fundamental. Nilai THD ini digunakan untuk mengukur besarnya penyimpangan dari bentuk gelombang periodik yang mengandung harmonik dari gelombang sinusoidal murninya. Untuk gelombang sinusoidal sempurna nilai THD-nya adalah 0%, sedangkan untuk menghitung THD dari arus dan tegangan yang mengalami distorsi adalah dengan menggunakan persamaan:

$$V_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \times 100 \% \quad (2.10)$$

Dimana:

V_n = Nilai Tegangan Harmonisa (V)

V_1 = Nilai tegangan Fundamental (V)

n = Komponen Harmonik Sistem yang Diamati

Contoh perhitungan, diketahui nilai tegangan fundamental adalah 230.70 volt dan tegangan harmonisa orde ke-3, ke-5, ke-7 berturut-turut adalah 2.58 volt, 2.68 volt, dan 2.73 volt

$$V_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=3}^7 V_n^2}}{V_1} \times 100 \%$$

$$V_{THD} = \frac{\sqrt{(V_3^2 + V_5^2 + V_7^2)}}{V_1} \times 100 \%$$

$$V_{THD} = \frac{\sqrt{(2.58^2 + 2.68^2 + 2.73^2)}}{230.70} \times 100 \%$$

$$V_{THD} = \frac{\sqrt{21.2917}}{230.70} \times 100 \%$$

$$V_{THD} = \frac{4.6142}{230.70} \times 100 \%$$

$$V_{THD} = 2 \%$$

$$I_{THD} = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}{I_1}} \times 100\% \quad (2.11)$$

Dimana:

I_n = Nilai Arus Harmonisa (A)

I_1 = Nilai Arus Fundamental (A)

n = Komponen Harmonik Sistem yang Diamati

Contoh perhitungan, diketahui nilai arus fundamental adalah 127.86 ampere dan arus harmonisa orde ke-3, ke-5, ke-7 berturut-turut adalah 7.39 ampere, 8.01 ampere, dan 8.35 ampere

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=3}^7 I_n^2}}{I_1} \times 100 \%$$

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{(I_3^2 + I_5^2 + I_7^2)}}{I_1} \times 100 \%$$

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{(7.39^2 + 8.01^2 + 8.35^2)}}{127.86} \times 100 \%$$

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{(54.6121+64.1601+69.7225)}}{127.86} \times 100 \%$$

$$I_{THD} = \frac{\sqrt{188.4974}}{127.86} \times 100 \%$$

$$I_{THD} = \frac{13.72}{127.86} \times 100 \%$$

$$I_{THD} = 10.73 \%$$

2.3 Besaran Listrik Dasar

Terdapat 3 (tiga) buah besaran listrik dasar yang digunakan didalam teknik tenaga listrik yaitu beda potensial atau sering disebut sebagai tegangan listrik, arus listrik dan frekuensi. Ketiga besaran tersebut merupakan satu kesatuan pokok pembahasan didalam masalah-masalah sistem tenaga listrik. Selain ketiga besaran tersebut, masih terdapat 1 (satu) faktor penting didalam pembahasan sistem tenaga listrik yaitu daya dan faktor daya.

2.3.1 Arus Listrik

Arus listrik didefinisikan sebagai banyaknya muatan yang mengalir pada sebuah penghantar dalam waktu satu detik (coulomb per second) yang diukur dalam satuan ampere. Arus listrik dapat dirumuskan sebagai berikut (Kurniawan, 2019):

$$I = \frac{V}{R} \quad (2.12)$$

Dengan:

$$I = \text{Arus Listrik (A)}$$

$$V = \text{Tegangan (V)}$$

$$R = \text{Hambatan } (\Omega)$$

Contoh perhitungan, diketahui nilai tegangan fasa R adalah 231.86 ampere dan nilai hambatan fasa R adalah 2.95 ohm.

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

$$I = \frac{231.86}{2.95}$$

$$I = 7.59 \text{ A}$$

2.3.2 Tegangan Listrik

Tegangan listrik adalah besarnya beda energi potensial antara 2 (dua) buah titik dalam rangkaian yang diukur dalam satuan *volt* (V). Beda potensial listrik merupakan ukuran beda potensial yang mampu membangkitkan medan listrik sehingga menyebabkan timbulnya arus listrik dalam sebuah konduktor listrik (Kurniawan, 2019). Agar terjadi aliran muatan (arus listrik) dalam suatu rangkaian tertutup, maka harus ada beda potensial di kedua ujung rangkaian. Beda potensial listrik adalah V, alat untuk mengukur beda potensial disebut *Voltmeter*. Beda potensial listrik dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Kurniawan, 2019):

$$V = I.R \tag{2.13}$$

Dengan:

$$v = \text{Beda Potensial (V)}$$

$$I = \text{Arus Listrik (A)}$$

$$V = \text{Tegangan (V)}$$

Contoh perhitungan, diketahui nilai arus fasa S adalah 80.32 ampere dan nilai hambatan fasa S adalah 2.87 ohm.

$$V = I.R$$

$$V = 80.32 \times 2.87$$

$$V = 230.51 \text{ v}$$

2.3.3 Frekuensi

Arus dan tegangan listrik yang digunakan pada sistem kelistrikan merupakan listrik bolak-balik yang berbentuk sinusoidal. Arus dan tegangan listrik sinusoidal merupakan gelombang yang berulang, sehingga gelombang sinusoidal mempunyai frekuensi. Frekuensi adalah ukuran jumlah putaran ulang peristiwa dalam selang waktu yang diberikan. Satuan frekuensi dinyatakan dalam *Hertz* (Hz) yaitu nama pakar fisika Jerman Heinrich Rudolf Hertz yang menemukan fenomena ini pertama kali. Frekuensi sebesar 1 Hz menyatakan peristiwa yang terjadi 1 (satu) kali per detik, dimana frekuensi (f) sebagai hasil kebalikan dari periode (T), seperti rumus dibawah ini:

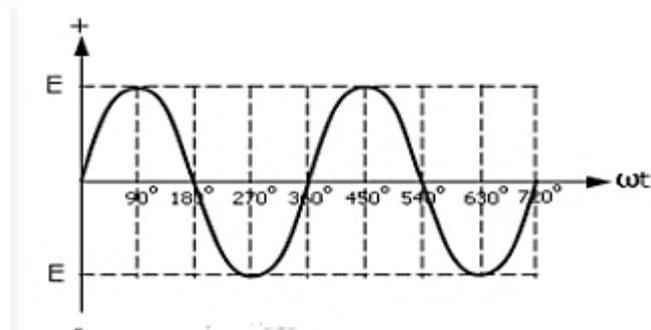
$$f = \frac{1}{T} \tag{2.14}$$

Dengan:

f = Frekuensi (Hz)

T = Periode (Detik)

Di setiap negara mempunyai frekuensi tegangan listrik yang berbeda-beda. Frekuensi tegangan listrik yang berlaku di Indonesia adalah 50 Hz, sedangkan di Amerika berlaku frekuensi 60 Hz.



Gambar 2. 7 Gelombang Sinusoidal

2.3.4 Faktor Daya

Faktor daya adalah perbandingan antara daya nyata atau daya aktif yang disimbolkan dengan P dengan satuan *Watt* (W), sedangkan daya semu yang disimbolkan dengan S dengan satuan *Volt Ampere* (VA) (Dani & Hasanuddin, 2018). Semakin tinggi faktor daya maka efektivitas dari alat-alat listrik akan semakin baik dan sebaliknya jika makin rendah faktor daya berdampak pada rendahnya efektivitas dari alat-alat listrik. Untuk menghitung faktor daya dirumuskan dengan (Kurniawan, 2019):

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \quad (2.15)$$

Dengan:

$\cos\varphi$ = Faktor Daya

P = Daya Nyata (W)

S = Daya Semu (VA)

Contoh perhitungan, diketahui nilai daya nyata fasa R adalah 17760 watt, ,
Sedangkan nilai daya semu fasa R adalah 18080 watt.

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

$$\cos\varphi_R = \frac{17760}{18080}$$

$$\cos\varphi_R = 0,98$$

nilai daya nyata fasa S adalah 18180 watt nilai daya semu fasa S adalah 18680 watt

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

$$\cos\varphi_R = \frac{18180}{18680}$$

$$\cos\varphi_R = 0,973$$

nilai daya nyata fasa T adalah 16500 watt dan nilai daya semu fasa T adalah 16900.

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

$$\cos\varphi_R = \frac{16500}{16900}$$

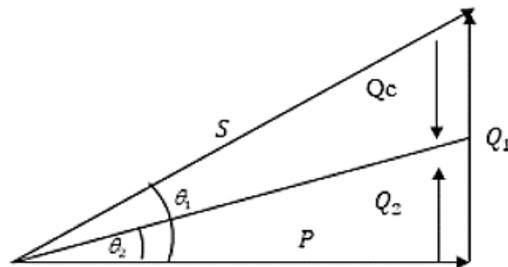
$$\cos\varphi_R = 0,976$$

Faktor daya sangat besar pengaruhnya terhadap kualitas dari sumber listrik dan kinerja dari alat-alat listrik. Akibat pemakaian kVAR yang tinggi menyebabkan pembentukan sudut faktor daya yang besar. Hasil dari melebarnya sudut daya tersebut berdampak pada rendahnya nilai faktor daya, kerugian-

kerugian terhadap daya listrik dan menurunnya daya kerja efektif dari sumber listrik. Faktor daya yang lebih rendah dari $< 0,99$ atau $0,86$ menurunkan efisiensi kerja alat daya listrik kerja (KW) tidak dapat bekerja secara optimal atau sebanding dengan daya yang tersedia.

2.3.5 Perbaikan Faktor Daya

Untuk merencanakan suatu sistem dalam memperbaiki faktor daya, dapat dipergunakan suatu konsep yaitu kompensasi kapasitor bank dengan cara perhitungan daya reaktif kompensator (Q_c) (Dani & Hasanuddin, 2018). Untuk menghitung daya reaktif kompensator yang dibutuhkan, terhadap perubahan daya reaktif yang diinginkan, digunakan persamaan yang diperoleh dari gambar berikut ini:



Gambar 2. 8 Perbaikan Faktor Daya

(Dani & Hasanuddin, 2018)

$$Q_c = Q_1 - Q_2 \quad (2.16)$$

Dengan:

$$Q_c = \text{Kapasitansi Kapasitor (VAR)}$$

$$Q_1 = \text{Daya Reaktif Awal (VAR)}$$

$$Q_2 = \text{Daya Reaktif Akhir (VAR)}$$

Besarnya nilai daya Q_c kapasitor bank yang diperlukan untuk mengubah faktor daya dari $\cos \phi_1$ menjadi $\cos \phi_2$ dapat ditentukan dengan:

$$Q_c = P(\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \quad (2.17)$$

Contoh perhitungan, diketahui nilai daya aktif adalah 35910 watt, $\cos \phi$ awal 0,97 dan akan diubah menjadi 0,98.

$$\tan \phi_1 \text{ dari } \cos \phi_1 = 0.06092$$

$$\tan \phi_2 \text{ dari } \cos \phi_2 = 0.0396$$

$$Q_c = P(\tan \phi_1 - \tan \phi_2)$$

$$Q_c = 35910 (0.06092 - 0.0396)$$

$$Q_c = 35910 (0.021352)$$

$$Q_c = 766.75 \text{ Var}$$

2.4 Beban Listrik

2.4.1 Beban Linier

Beban linier adalah beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran yang linier, artinya arus mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan. Gelombang arus yang dihasilkan oleh beban linier akan sama dengan bentuk gelombang tegangan (Aksan & Bone, 2019). Beberapa contoh beban linier

adalah lampu pijar, motor sinkron, motor induksi kecepatan konstan, pemanas, setrika listrik dan *rice cooker*.

2.4.2 Beban Non-Linier

Beban non linier adalah beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran yang tidak sebanding dengan tegangan dalam setiap setengah siklus, sehingga bentuk gelombang maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya atau dengan kata lain disebut distorsi tegangan dan arus listrik. Dengan impedansinya yang tidak konstan, maka arus yang dihasilkan tidak berbanding lurus dengan tegangan yang diberikan. Beban non linier yang umumnya merupakan peralatan elektronik yang di dalamnya banyak terdapat komponen semikonduktor, dalam proses kerjanya berlaku sebagai saklar yang bekerja pada setiap siklus gelombang dari sumber tegangan (Aksan & Bone, 2019). Beberapa contoh beban non linier adalah transformator, motor induksi dan mesin las.

2.5 Standar Kualitas Daya Listrik

2.5.1 Standar Tegangan dan Frekuensi

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 04-0227-2003) dan (SNI 04-1922-2002) yang menjelaskan tentang standar tegangan dan frekuensi yang menyatakan sebagai berikut:

- 1) Untuk tegangan dibatasi sampai dengan -10% dan +5% dari tegangan nominalnya.
- 2) Frekuensi nominal sistem adalah 50 Hz.

2.5.2 Standar Ketidakseimbangan Tegangan

Berdasarkan (1159-2019) menjelaskan tentang rekomendasi untuk memantau kualitas tenaga listrik, yang menyatakan nilai batas ketidakseimbangan tegangan (*Voltage Imbalance*) waktu keadaan listrik *steady state* adalah 0,5% - 5%.

2.5.3 Standar Harmonisa

Standar harmonisa berdasarkan (IEEE, 519-2014) menjelaskan tentang regulasi harmonisa yang menyatakan nilai batasan distorsi harmonisa arus dan tegangan.

Total Harmonic Distortion (THD) diartikan sebagai persentase total komponen harmonisa terhadap komponen fundamentalnya (dapat berupa arus dan tegangan). Sedangkan untuk *Individual Harmonic Distortion* (IHD) merupakan rasio nilai rms komponen harmonisa orde tertentu terhadap nilai rms komponen fundamental.

1. Batasan Distorsi Harmonisa Tegangan

Batasan nilai yang direkomendasikan harmonisa tegangan akan diaplikasikan sesuai dengan *point of common coupling* (PCC) antara *owner* maupun *users* atau standar harmonisa tegangan sistem yang dipakai. Dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Limit Tegangan Harmonisa

<i>Bus Voltage V at PCC</i>	<i>Individual Harmonic (%)</i>	<i>Total Harmonic Distortion (%)</i>
-----------------------------	--------------------------------	--------------------------------------

$V \leq 1.0 \text{ kV}$	5.0	8.0
$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3.0	5.0
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1.5	2.5
$161 \text{ kV} < V$	1.0	1.5 ^a

Sumber: (IEEE 519-2014)

2. Batasan Distorsi Harmonisa Arus

Untuk standar harmonisa arus, ditentukan oleh rasio I_{sc}/I_L . I_{sc} adalah arus hubung singkat yang ada pada PCC (*Point of Common Coupling*), sedangkan I_L adalah arus beban fundamental nominal.

Batasan nilai yang diizinkan harmonisa arus ini berlaku untuk pengguna yang terhubung ke sistem dimana tegangan pengenal di *point of common coupling* (PCC) berada 120 V hingga 69 kV. Dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Batas Maksimum Distorsi Harmonisa Arus

Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_L

Individual Harmonic Order (Odd Harmonic)^{a,b}

I_{sc}/I_L	$3 < h < 11$	$11 \leq h < 23$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
$< 20^c$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	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

Sumber : (IEEE 519-2014)

Dimana:

I_{SC} = *Max Short Circuit Current* di PCC (*Point of Common Coupling*)

I_L = *Max Load Current* (Arus Beban Fundamental) di PCC

Catatan:

1. Batas maksimum distorsi harmonisa arus genap adalah 25% dari nilai pada tabel 2 diatas.
2. Angka dalam tabel berlaku untuk bilangan harmonisa (h) kelipatan dari frekuensi 50 Hz.