

BAB II LANDASAN TEORI

2.1 Kualitas Daya Listrik

Kualitas daya listrik adalah setiap masalah daya listrik yang berbentuk penyimpangan tegangan, arus atau frekuensi yang mengakibatkan kegagalan ataupun kesalahan operasi pada peralatan-peralatan yang terjadi pada konsumen energi listrik (Dugan, McGranaghan, Santoso, & Beaty, 2004). 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 Kualitas Daya Listrik

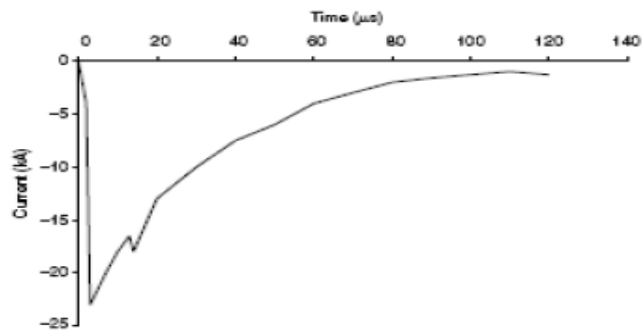
Permasalahan kualitas daya listrik disebabkan oleh gejala-gejala atau fenomena-fenomena elektromagnetik yang terjadi pada sistem tenaga listrik (Dugan et al., 2004). Gejala elektromagnetik yang menyebabkan permasalahan kualitas daya adalah:

1. Gejala Peralihan (*Transient*), yaitu suatu gejala perubahan variabel (tegangan, arus dan lain-lain) yang terjadi selama masa transisi dari keadaan operasi tunak (*steady state*) menjadi keadaan yang lain.
2. Gejala Perubahan Tegangan Durasi Pendek (*Short-Duration Variations*), yaitu suatu gejala perubahan nilai tegangan dalam waktu yang singkat kurang dari satu menit.

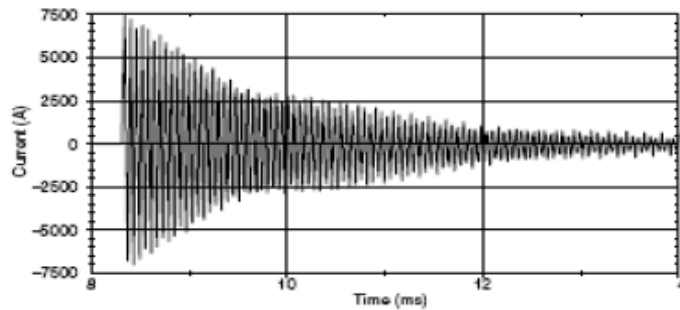
3. Gejala Perubahan Tegangan Durasi Panjang (*Long-Duration Variations*), yaitu suatu gejala perubahan nilai tegangan, dalam waktu yang lama lebih dari satu menit.
4. Ketidakseimbangan Tegangan adalah gejala perbedaan besarnya tegangan dalam sistem tiga fasa serta sudut fasanya.
5. Harmonisa adalah gejala penyimpangan dari suatu gelombang (tegangan dan arus) dari bentuk idealnya berupa gelombang sinusoidal.
6. Fluktuasi Tegangan adalah gejala perubahan besarnya tegangan secara sistematis.
7. Gejala Perubahan Frekuensi Daya yaitu gejala penyimpangan frekuensi daya listrik pada suatu sistem tenaga listrik.

2.2.1 Gejala Peralihan (*Transient*)

Gejala peralihan (*transient*) terdiri dari dua jenis yaitu transient impuls dan transient osilasi. Transient impuls adalah gejala transient yang mempunyai satu arah polaritas, yaitu polaritas positif atau negatif. Sedangkan transient osilasi adalah gejala transient yang mempunyai dua arah polaritas, yaitu polaritas positif dan negatif. Sumber utama gejala peralihan (*transient*) yang terjadi pada sistem utilitas kelistrikan adalah petir dan pensaklaran kapasitor. Tegangan tinggi petir merupakan sumber gejala peralihan impuls, dimana surja petir hanya mempunyai satu polaritas saja. Sedangkan proses membuka dan menutupnya saklar kapasitor daya dapat menghasilkan gejala peralihan osilasi, karena mempunyai dua polaritas, yaitu positif dan negative (Dugan et al., 2004).



Gambar 2.1 Transien Impuls Arus Petir



Gambar 2.2 Transien Osilasi Arus Switching Kapasitor Daya

2.2.2 Gejala Perubahan Tegangan Durasi Pendek

Berdasarkan waktu lama kejadian, gejala perubahan tegangan durasi pendek terdiri dari 3 jenis, yaitu *instantaneous*, *momentary*, dan *temporary*. Perubahan tegangan *instantaneous* atau waktu seketika, terjadi dalam waktu 0,5 sampai 30 *cycles*, sedangkan *momentary* dalam waktu 30 *cycles* sampai 3 detik, dan perubahan tegangan tipe *temporary* terjadi dalam waktu 3 detik sampai 1 menit (Dugan et al., 2004). Berdasarkan nilai perubahan tegangan, gejala variasi durasi pendek ini dibedakan menjadi 3 jenis yaitu *interruption*, *sag* dan *swell*. Gejala perubahan tegangan durasi pendek dapat disebabkan oleh gangguan (*fault*) karena suatu proses penyulungan energi listrik terhadap beban yang besar, dimana pada saat penyulungan tersebut diperlukan arus awal yang tinggi, atau lepasnya

koneksitas kabel daya (*intermittent losses connection*) yang kadang-kadang terjadi. Jenis-jenis perubahan tegangan durasi pendek tergantung dari lokasi gangguan dan kondisi sistem. Dampak dari perubahan nilai tegangan durasi pendek ini sebenarnya adalah kondisi pada saat gangguan selama peralatan proteksi beroperasi untuk menghilangkan gangguan tersebut.

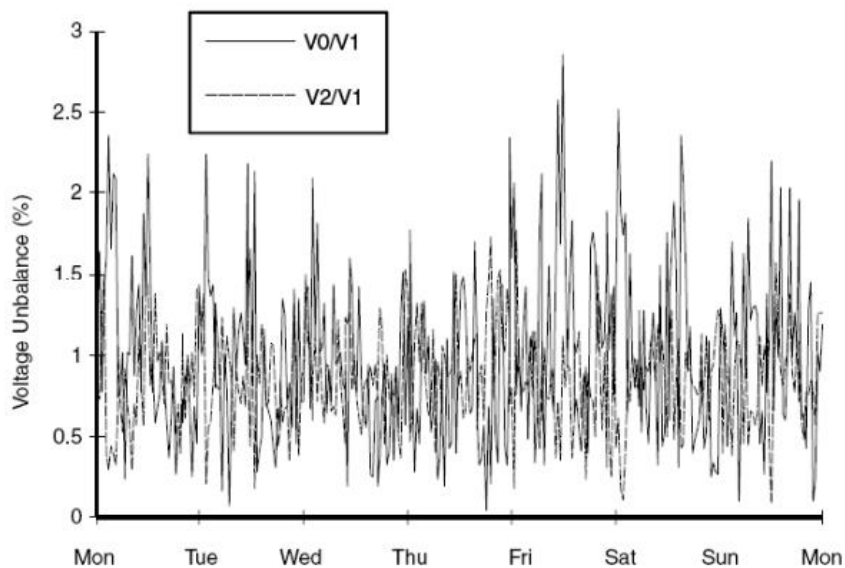
2.2.3 Gejala Perubahan Tegangan Durasi Panjang

Gejala perubahan tegangan durasi panjang memiliki waktu penyimpangan terhadap frekuensi daya selama lebih dari 1 menit. Jenis dari gejala perubahan tegangan durasi panjang ada 3 (tiga), yaitu *interruption*, *undervoltages*, dan *overvoltages*. 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 (Dugan et al., 2004).

2.2.4 Ketidak-seimbangan Tegangan

Ketidak-seimbangan tegangan (*voltage imbalance* atau *voltage unbalance*) didefinisikan sebagai penyimpangan atau deviasi maksimum dari nilai rata-rata tegangan sistem tiga fase tegangan atau arus listrik dibagi dengan nilai rata-rata tegangan tiga fase atau arus tersebut, dan dinyatakan dalam persentase. Ketidak-seimbangan dapat didefinisikan menggunakan komponen simetris. Rasio atau perbandingan nilai tegangan komponen urutan negatif atau urutan nol dengan nilai tegangan komponen urutan positif dapat digunakan untuk menentukan persentase ketidakseimbangan (Dugan et al., 2004). Gambar 2.3 menunjukkan contoh kedua buah perbandingan tersebut, yang menggambarkan ketidak-seimbangan tegangan

selama 1 minggu yang terjadi pada saluran tenaga untuk perumahan. Besarnya ketidak-seimbangan tegangan pada sumber utama tidak boleh lebih dari 2 persen. Nilai kritis dari keadaan ketidakseimbangan tegangan adalah jika nilai persentase perbandingannya melebihi 5 persen, hal ini biasanya terjadi karena terputusnya salah satu fasa dari sistem tenaga listrik tiga fasa.

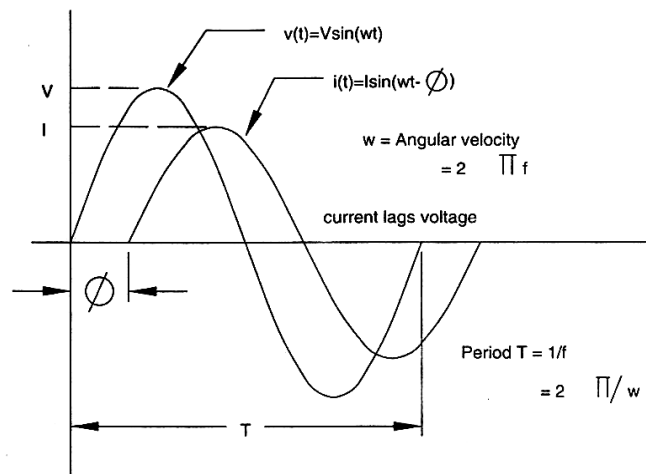


Gambar 2.3 Ketidak-seimbangan Tegangan Pada Sistem Tenaga Perumahan

2.2.5 Harmonisa

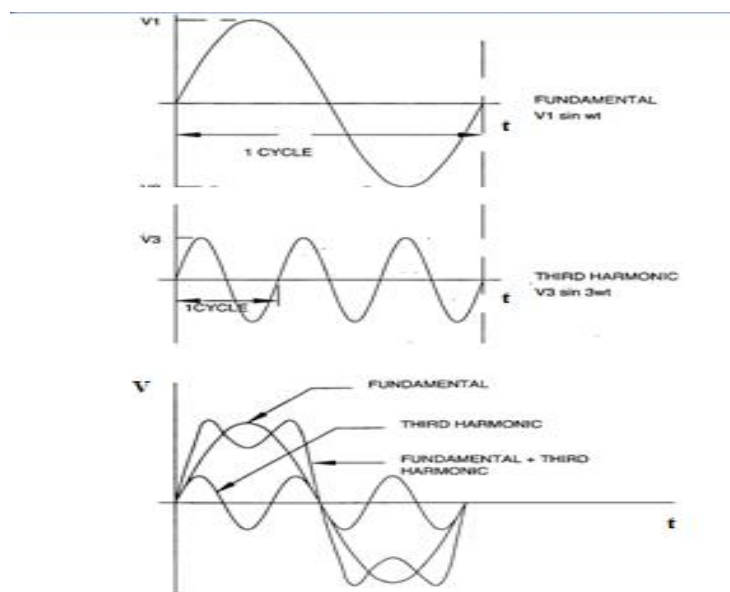
Harmonisa adalah gangguan yang terjadi dalam sistem distribusi tenaga listrik yang disebabkan adanya distorsi gelombang arus dan tegangan. Distorsi gelombang arus dan tegangan ini disebabkan adanya pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi kelipatan dari frekuensi fundamentalnya. Harmonisa disebabkan adanya beban-beban non-liner yang terhubung ke sistem distribusi. Beban non liner ini umumnya adalah peralatan elektronik yang di dalamnya banyak terdapat komponen semi konduktor, yang dalam proses kerjanya berlaku sebagai saklar yang bekerja pada setiap siklus gelombang dari sumber tegangan.

Beberapa contoh beban non liner antara lain: *variable speed drive*, komputer, printer, lampu *fluorescent* yang menggunakan elektronik ballast.



Gambar 2.4 Gelombang Sinus Arus Dan Tegangan

Gelombang non-sinusoidal dapat terbentuk dengan menjumlahkan gelombang-gelombang sinusoidal, seperti terlihat pada gambar.

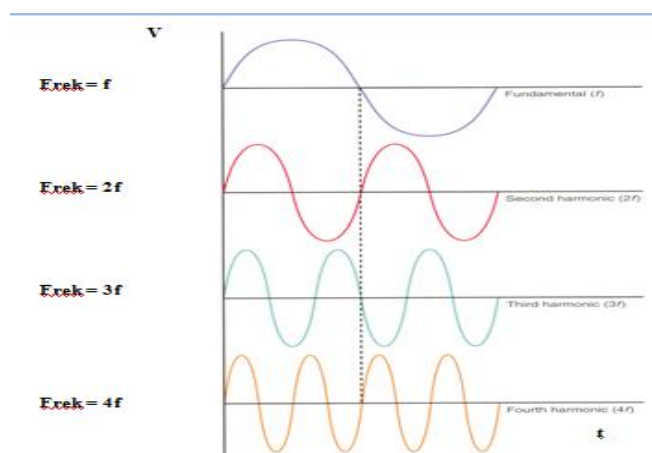


Gambar 2.5 Gelombang Fundamental, Harmonik Ketiga, Dan Hasil Penjumlahannya

Individual Harmonic Distortion (IHD) adalah rasio antara nilai RMS dari harmonisa individual dan nilai RMS dari fundamental.

Total Harmonic Distortion (THD) adalah rasio antara nilai RMS dari komponen harmonisa dan nilai RMS dari fundamental.

Sistem tenaga listrik dirancang untuk beroperasi pada frekuensi 50 atau 60Hz. Akan tetapi pada aplikasinya beberapa beban menyebabkan munculnya arus/ tegangan yang frekuensinya merupakan kelipatan 50/60Hz. Frekuensi 50/60Hz disebut dengan frekuensi fundamental dan kelipatannya disebut frekuensi harmonik atau harmonik saja. Dalam prakteknya keberadaan harmonik ini membawa kerugian pada berbagai alat, salah satunya adalah transformator distribusi, harmonik adalah gejala pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Hal ini disebut frekuensi harmonik yang timbul pada bentuk gelombang aslinya sedangkan bilangan bulat pengkali frekuensi dasar disebut angka urutan harmonik. Misalnya, frekuensi dasar suatu sistem tenaga listrik adalah 50Hz, maka harmonik keduanya adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 100Hz, harmonik ketiga adalah gelombang dengan frekuensi sebesar 150Hz dan seterusnya.



Gambar 2.6 Gelombang Frekuensi

Gelombang-gelombang ini kemudian menumpang pada gelombang murni/aslinya sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan jumlah antara gelombang murni sesaat dengan gelombang harmoniknya. Harmonik urutan genap biasanya memiliki rms yang lebih kecil dibandingkan harmonik urutan ganjil. Jumlah antara frekuensi fundamental dan kelipatannya, akan menyebabkan frekuensi fundamental tidak lagi berbentuk sinus murni, tetapi mengalami distorsi.

Elektronika daya digunakan banyak pihak karena efisien dan mudah dikendalikan. Akan tetapi elektronika daya menarik arus AC non sinusoidal dari sumber AC. Bila arus ini bereaksi dengan impedansi sistem maka akan membangkitkan tegangan/arus harmonik. Kemunculan harmonik secara terus-menerus akan menyebabkan distorsi pada gelombang sinus tegangan/arus.

Dalam sistem tenaga listrik dikenal dua jenis beban yaitu beban linier dan beban non linier. Beban linier adalah beban yang memberikan bentuk gelombang keluaran yang linier artinya arus yang mengalir sebanding dengan impedansi dan perubahan tegangan. Sedangkan beban non linier adalah bentuk gelombang keluarannya tidak sebanding dengan tegangan dalam setiap setengah siklus sehingga bentuk gelombang arus maupun tegangan keluarannya tidak sama dengan gelombang masukannya (mengalami distorsi). Beban non linier yang umumnya merupakan peralatan elektronik yang didalamnya banyak terdapat komponen semi konduktor, dalam proses kerjanya berlaku sebagai saklar yang bekerja pada setiap siklus gelombang dari sumber tegangan. Proses kerja ini akan menghasilkan gangguan atau distorsi gelombang arus yang tidak sinusoidal. Bentuk gelombang ini tidak menentu dan dapat berubah menurut pengaturan pada parameter komponen semi konduktor dalam peralatan elektronik. Berdasarkan

peraturan menteri energi dan sumber daya mineral 04 tahun 2009 batas distorsi harmonisa arus dan tegangan:

Tabel 2.1 Batas Maksimum Distorsi Harmonisa Tegangan

Distorsi Harmonisa - Tegangan Individu (%)	Distorsi Harmonisa - Tegangan Total (%)
3.0	5.0

Sumber : peraturan menteri energi dan sumber daya mineral nomor : 04 halaman 14 tahun 2009

Tabel 2.2 Batas Maksimum Distorsi Harmonisa Arus

Harmonisa Ganjil, h	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h <$	TDD
Distorsi Harmonisa Arus (%)	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0

Sumber : peraturan menteri energi dan sumber daya mineral nomor : 04 halaman 14 tahun 2009

Catatan:

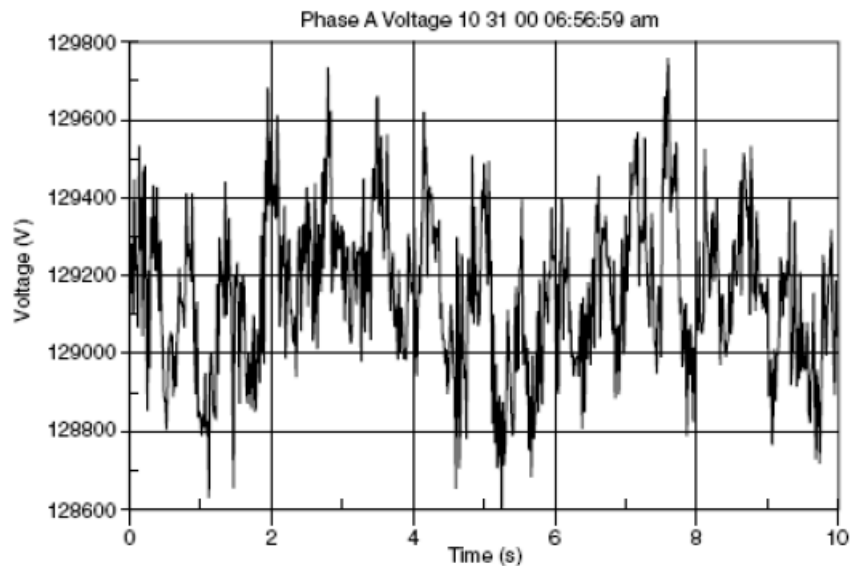
- Batas maksimum distorsi harmonisa - arus genap adalah 25 % dari nilai pada tabel 2 di atas.
- Angka dalam tabel berlaku untuk bilangan harmonisa (h) kelipatan dari frekuensi 50 Hz.

2.2.6 Fluktuasi Tegangan

Fluktuasi tegangan adalah suatu perubahan tegangan yang sistematis atau serangkaian perubahan tegangan secara acak, dimana magnitud dari tegangan mempunyai nilai yang tidak semestinya, yaitu di luar rentang tegangan ditentukan oleh ANSI C84.1 sebesar 0,9 sampai 1,1 pu. Menurut IEC 61000-2-1 salah satu fluktuasi tegangan, mempunyai karakteristik sebagai rangkaian tegangan acak yang berfluktuasi secara terus menerus. Beban yang berubah sangat cepat dan terjadi terus-menerus, dan menghasilkan arus beban yang besar dapat menyebabkan variasi tegangan yang sering disebut sebagai flicker atau kedip

tegangan. Istilah flicker atau kedip tegangan berasal dari dampak adanya fluktuasi tegangan terhadap lampu, yang dianggap seperti mata manusia yang berkedip.

Gambar 2.4 adalah contoh dari gelombang tegangan yang menghasilkan flicker yang disebabkan oleh sebuah busur bunga Api salah satu faktor paling umum penyebab fluktuasi tegangan pada transmisi dan distribusi sistem tenaga listrik. Sinyal flicker didefinisikan dengan besarnya rms tegangan dan dinyatakan sebagai persentase dari nilai dasarnya.



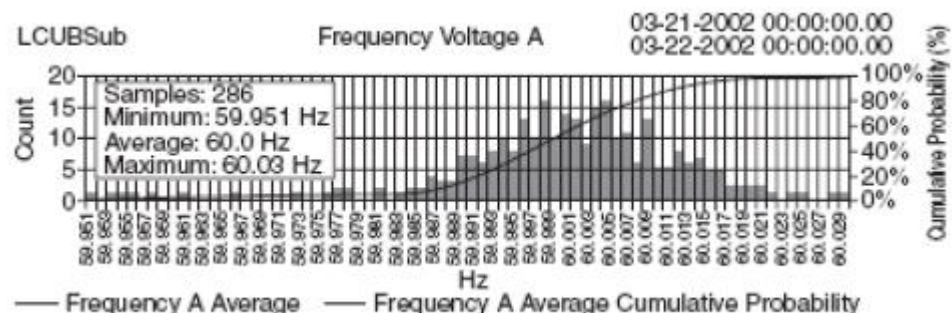
Gambar 2.7 Fluktuasi Tegangan

Flicker tegangan diukur dengan sensitivitas mata manusia. Biasanya, flicker yang besarnya lebih rendah 0.5 persen dapat menyebabkan lampu nampak berkedip, jika frekuensi berada dalam kisaran antara 6 sampai 8 Hz. IEC 61000-4-15 mendefinisikan suatu metodologi dan spesifikasi untuk mengukur flicker. IEEE mengadopsi standar yang berasal dari sistem tenaga 60Hz yang digunakan di Amerika Utara. Standar ini secara sederhana menggambarkan potensi cahaya berkelip melalui pengukuran tegangan. Metode pengukuran tersebut

mensimulasikan lampu/mata/otak sebagai transfer fungsi dan menghasilkan suatu metrik dasar yang disebut sensasi flicker jangka pendek.

2.2.7 Gejala Perubahana Frekuensi Daya

Gejala perubahan frekuensi daya didefinisikan sebagai penyimpangan frekuensi dasar sistem tenaga listrik dari nilai nominal tertentu (50 atau 60 Hz). Frekuensi sistem tenaga listrik secara langsung berkaitan dengan kecepatan putar generator yang mensuplai energi listrik ke sistem. Perubahan pada frekuensi merupakan suatu bentuk proses keseimbangan antara beban yang dinamis dan perubahan pembangkitan. Ukuran pergeseran frekuensi dan durasinya tergantung pada karakteristik beban dan tanggapan dari kontrol sistem pembangkit pada saat terjadi perubahan beban tersebut.



Gambar 2.8 Perubahan Frekuensi Selama 24 Jam

Gambar 2.8 mengilustrasikan suatu variasi frekuensi untuk waktu 24 jam yang terjadi pada gardu induk 13 kV. Perubahan frekuensi yang terjadi pada pengoperasian sistem tenaga listrik dapat melebihi dari nilai batas-batas normal yang ditetapkan. Hal ini dapat disebabkan oleh gangguan hubung singkat pada sistem transmisi daya listrik, terputusnya kelompok beban yang mempunyai kapasitas besar, atau lepasnya suplai energi listrik dari suatu sistem pembangkitan yang besar.

2.3 Besaran Listrik Dasar

Terdapat 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 satu faktor penting didalam pembahasan sistem tenaga listrik yaitu daya dan faktor daya.

2.3.1 Beda Potensial Listrik

Beda potensial listrik adalah perbedaan potensial listrik antara dua titik dalam rangkaian listrik. Beda potensial listrik merupakan ukuran beda potensial yang mampu membangkitkan medan listrik sehingga menyebabkan timbulnya arus listrik dalam sebuah konduktor listrik. Agar terjadi aliran muatan (arus listrik) dalam suatu rangkaian tertutup, maka harus ada beda potensial di kedua ujung rangkaian. Beda potensial listrik adalah energi tiap satuan muatan. Beda potensial listrik memiliki satuan Volt, simbol untuk beda potensial listrik adalah V, alat untuk mengukur beda potensial disebut Voltmeter. Beda potensial listrik dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$V = \frac{W}{q} \quad (2.1)$$

Dimana:

V = Beda potensial (V)

W = Usaha yang diperlukan (J)

q = Muatan arus listrik (C)

2.3.2 Arus Listrik

Arus listrik didefinisikan sebagai laju aliran sejumlah muatan listrik yang melalui suatu luasan penampang melintang. Menurut konvensi, arah arus listrik dianggap searah dengan aliran muatan positif. Arus listrik diukur dalam satuan Ampere (A), adalah satu Coulomb per detik. Arus listrik dirumuskan:

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (2.2)$$

Dimana:

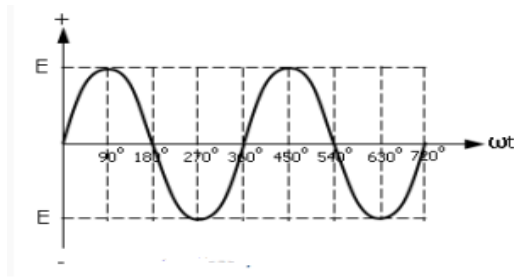
- i = Arus Listrik (A)
- dq = Jumlah Muatan (C)
- dt = Perubahan Waktu (Detik)

2.3.3 Frekuensi

Tegangan dan arus listrik yang digunakan pada sistem kelistrikan merupakan listrik bolak-balik yang berbentuk sinusoidal. Tegangan dan arus 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 satu kali per detik, di mana frekuensi (f) sebagai hasil kebalikan dari periode (T), seperti rumus di bawah ini:

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.3)$$

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 2.8 Gelombang Sinusoidal

2.4 Faktor Daya

Faktor daya yang rendah bisa disebabkan oleh peralatan listrik yang bersifat induktif, seperti motor-motor listrik dan ballast-ballast lampu.

$$\text{faktor daya} = \frac{P}{S} = \frac{V.I.\cos\varphi}{V.I} = \cos\varphi$$

Sehingga:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \tag{2.4}$$

Nilai $\cos \varphi$ ditentukan oleh φ yang merupakan beda sudut antara V dan I. Perbedaan sudut V dan I ini dinamakan sudut impedansi, dimana tanda sudut impedansi menunjukkan sifat dari suatu beban yang ditunjukkan oleh $\varphi = X/R$, yaitu perbandingan beban reaktif dengan beban resistif. Jika XL adalah reaktansi induktif, maka sudut fasanya (φ) adalah positif, Sedangkan jika XC adalah reaktansi kapasitif maka sudut fasanya ($-\varphi$) adalah negatif. Sudut φ positif maupun negatif tidak mempengaruhi harga $\cos \varphi$ karena $\cos \varphi = \cos (-\varphi)$, sehingga daya nyata selalu berharga positif, tetapi untuk $\sin \varphi$ berbeda dimana untuk sinus berlaku $\sin (-\varphi) = -\sin (\varphi)$ yang berharga negatif. Sehingga jika sudut impedansi positif maka $\sin \varphi$ berharga positif sehingga daya reaktif juga berharga positif yang berarti menunjukkan bebannya bersifat induktif, sedangkan

jika sudut impedansi berharga negatif maka $\sin(-\phi)$ juga berharga negatif sehingga daya reaktif juga berharga negatif. Jadi faktor daya ($\cos \phi$) ditentukan oleh sifat beban yang harganya 0 - 1.

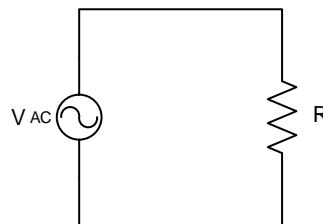
2.5 Sifat Beban

Menurut sifatnya beban listrik dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu:

1. Beban Resistif
2. Beban Induktif
3. Beban Kapasitif

2.5.1 Beban Resistif

Impedansi yang bersifat resistif dapat terjadi pada impedansi yang terdiri dari beban resistif murni.

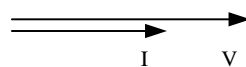


Gambar 2.9 Rangkaian Beban Resistif

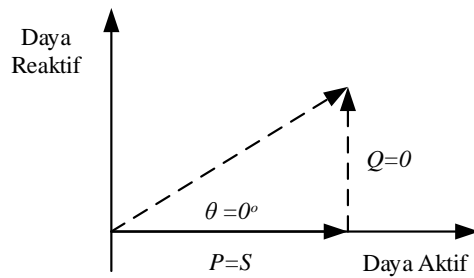
Keadaan resistif terjadi karena bagian imajiner dari impedansi berharga nol sehingga $Z = R$. Maka arus yang mengalir adalah:

$$I = \frac{V \angle 0^\circ}{R \angle 0^\circ} \quad (2.5)$$

$$I = I \angle 0^\circ \text{ Ampere} \quad (2.6)$$



Gambar 2.10 Vektor Tegangan Dan Arus Beban Resistif



Gambar 2.11 Vektor Segitiga Daya Beban Resistif

Apabila bebannya merupakan beban resistif, maka daya aktif akan sama dengan daya sebenarnya. Maka daya aktif dapat diperoleh dengan persamaan:

$$P = V \cdot I \text{ (Watt)} \quad (2.7)$$

Daya reaktif dapat diperoleh dengan persamaan:

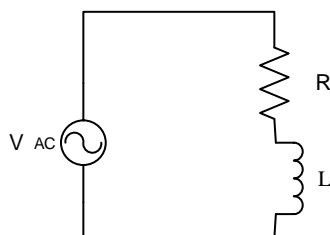
$$Q = 0 \text{ (VAR)} \quad (2.8)$$

Daya semu dapat diperoleh dengan persamaan:

$$S = P = V \cdot I \text{ (VA)} \quad (2.9)$$

2.5.2 Beban Induktif

Perbedaan sudut fasa antara arus dan tegangan sebesar ϕ , dimana ϕ merupakan sudut impedansi yang menunjukkan sifat beban. Bila sudut impedansi berharga positif ($0^\circ < \phi < 90^\circ$), maka beban bersifat induktif. Beban induktif yang dipresentasikan oleh sebuah impedansi $Z \angle \phi^\circ$, mempunyai sudut impedansi positif (ϕ positif), yang dicatu dengan sumber tegangan bolak-balik seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.12 Rangkaian Beban Induktif

Harga impedansi beban induktif (Z) = $R + j\omega L$

Dimana: $\omega L = X_L$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

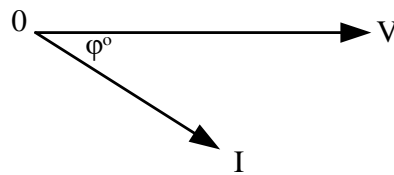
$$\varphi = \tan^{-1} \frac{X_L}{R}$$

$$Z = |Z| \angle \varphi^0$$

$$I = \frac{|V| \angle 0^0}{|Z| \angle \varphi^0}$$

$$I = |I| \angle \varphi^0 \text{ (Ampere)} \quad (2.10)$$

Karena sudut impedansi berharga positif (beban induktif) maka sudut arus berharga negatif ($-\varphi$), sehingga gelombang arus tertinggal sebesar φ terhadap tegangan.



Gambar 2.13 Vektor Arus Dan Tegangan Beban Induktif

Apabila bebannya merupakan beban induktif, maka daya aktif tidak akan sama dengan daya semu. Maka daya semu dapat diperoleh dengan persamaan:

$$S = V \cdot I \angle -\varphi$$

$$S = V \cdot I^* \quad (2.11)$$

$$S = V \cdot I \angle \varphi$$

$$S = V \cdot I (\cos\varphi + j\sin\varphi)$$

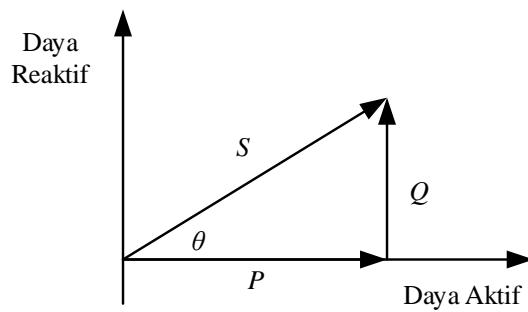
$$S = V \cdot I \cos\varphi + V \cdot I \cdot j\sin\varphi \quad (2.12)$$

$$S = P + jQ \text{ (VA)} \quad (2.13)$$

Dimana : S = Daya semu (VA)

P = Daya aktif (Watt)

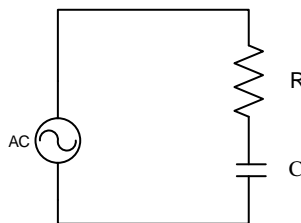
Q = Daya reaktif (VAR)



Gambar 2.14 Vektor Segitiga Daya Untuk Beban Induktif

2.5.3 Beban Kapasitif

Beban bersifat kapasitif yang dipresentasikan oleh sebuah impedansi $Z \angle -\phi$, mempunyai sudut impedansi negatif (beban kapasitif) yang dicatu oleh sumber tegangan bolak-balik seperti gambar berikut:



Gambar 2.15 Rangkaian Beban Kapasitif

Harga impedansi kapasitif: $Z = R - j 1/\omega C$ (2.14)

Dimana: $X_C = 1/\omega C$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + (-X_C)^2}$$

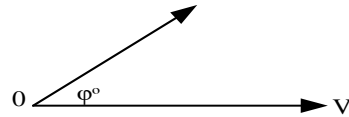
$$\phi = \tan^{-1} \frac{(-X_C)}{R}$$

$$Z = |Z| \angle -\phi^\circ$$

$$I = \frac{|V| \angle 0^\circ}{|Z| \angle -\phi^\circ}$$

$$I = |I| \angle \phi^\circ \text{ (Ampere)} \quad (2.15)$$

Karena sudut impedansi berharga negatif (beban kapasitif) maka sudut fasa arus berharga positif (ϕ), sehingga gelombang arus mendahului gelombang tegangan sebesar ϕ . Maka hal ini bias digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.16 Vektor Tegangan Dan Arus Beban Kapasitif

Jika bebannya merupakan beban kapasitif, maka daya aktif tidak akan sama dengan daya yang sebenarnya. Maka daya dapat diperoleh dengan persamaan:

$$S = V \cdot I \angle \phi$$

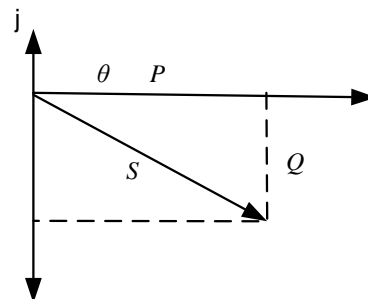
$$S = V \cdot I^* \tag{2.16}$$

$$S = V \cdot I \angle -\phi$$

$$S = V \cdot I (\cos\phi - j\sin\phi)$$

$$S = V \cdot I \cos\phi - V \cdot I \cdot j\sin\phi \tag{2.17}$$

$$S = P - jQ \text{ (VA)} \tag{2.18}$$



Gambar 2.17 Segitiga Daya Untuk Beban Kapasitif

2.6 Standar Kualitas Daya Listrik

Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Nomor 04 Tahun 2009 tentang Aturan Distribusi Tenaga Listrik. Persyaratan Teknik Sistem Distribusi. Semua titik sambung mengikuti persyaratan teknik sistem distribusi sebagai berikut:

1. Frekuensi nominal sistem adalah 50 Hz dan frekuensi normal mempunyai rentang antara 49.5 Hz sampai dengan 50.5 Hz.
2. Tegangan sistem distribusi harus dijaga pada batas – batas kondisi normal yaitu maksimal +5% dan minimal -10% dari tegangan nominal.

2.7 Standar Harmonisa

Standar harmonisa yang diijinkan untuk arus dan tegangan berdasarkan standar IEEE 519-1992 dapat dilihat dari table dibawah ini:

Tabel 2.3 Tabel Limit Distorsi Arus Harmonisa

MAXIMUM HARMONIC CURRENT DISTORSION in % of fundamental						
I _{sc} /I _L	HARMONIS ORDER (ODD DISTORSION)					
	< 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	53 ≤ h	THD
< 20	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
EVEN HARMONICS are limited to 25% of the odd harmonic limits above						
All power generation equipment in limited to these values of current distorsion \, regarless of actual I _{sc} /I _L						
I _{sc} = Maximum short circuit current at PCC I _L = Maximum load current (fundamental frequency) at PCC						

Tabel 2.4 Tabel Limit Distorsi Tegangan Harmonisa