

BAB II LANDASAN TEORI

2.1. Konsep Kualitas Daya Listrik

Perhatian terhadap kualitas daya listrik dewasa ini semakin meningkat seiring dengan peningkatan penggunaan energi listrik dan utilitas kelistrikan. Istilah kualitas daya listrik telah menjadi isu penting pada industri tenaga listrik sejak akhir 1980-an. Istilah kualitas daya listrik merupakan suatu konsep yang memberikan gambaran tentang baik atau buruknya mutu daya listrik akibat adanya beberapa jenis gangguan yang terjadi pada sistem kelistrikan (Roger C. Dugan, 2004).

Terdapat empat alasan utama, mengapa para ahli dan praktisi di bidang tenaga listrik memberikan perhatian lebih pada isu kualitas daya listrik (Roger C. Dugan, 2004), yaitu :

1. Pertumbuhan beban-beban listrik dewasa ini bersifat lebih peka terhadap kualitas daya listrik seperti sistem kendali dengan berbasis pada mikroprosesor dan perangkat elektronika daya.
2. Meningkatnya perhatian yang ditekankan pada efisiensi sistem daya listrik secara menyeluruh, sehingga menyebabkan terjadinya peningkatan penggunaan peralatan yang mempunyai efisiensi tinggi, seperti pengaturan kecepatan motor listrik dan penggunaan kapasitor untuk perbaikan faktor daya. Penggunaan peralatan – peralatan tersebut dapat mengakibatkan peningkatan terhadap tingkat harmonik pada sistem daya listrik, di mana para ahli merasa khawatir terhadap dampak harmonisa tersebut di masa mendatang yang dapat menurunkan kemampuan dari sistem daya listrik itu sendiri.
3. Meningkatnya kesadaran bagi para pengguna energi listrik terhadap masalah kualitas daya listrik. Para pengguna utilitas kelistrikan menjadi lebih pandai dan bijaksana mengenai persoalan seperti *interupsi*, *sags*, dan peralihan transien dan merasa berkepentingan untuk meningkatkan kualitas distribusi daya listriknya.

4. Sistem tenaga listrik yang saling berhubungan dalam suatu jaringan interkoneksi, di mana sistem tersebut memberikan suatu konsekuensi bahwa kegagalan dari setiap komponen dapat mengakibatkan kegagalan pada komponen lainnya.

Terdapat beberapa definisi yang berbeda terhadap pengertian tentang kualitas daya listrik, tergantung kerangka acuan yang digunakan dalam mengartikan istilah tersebut. Sebagai contoh suatu pengguna utilitas kelistrikan dapat mengartikan kualitas daya listrik sebagai keandalan, di mana dengan menggunakan angka statistik 99,98 persen, sistem tenaga listriknya mempunyai kualitas yang dapat diandalkan. Suatu industri manufaktur dapat mengartikan kualitas daya listrik adalah karakteristik dari suatu daya listrik yang memungkinkan peralatan-peralatan yang dimiliki industri tersebut dapat bekerja dengan baik. Karakteristik yang dimaksud tersebut dapat menjadi sangat berbeda untuk berbagai kriteria.

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 (Roger C. Dugan, 2004). Daya adalah suatu nilai dari energi listrik yang dikirimkan dan didistribusikan, di mana 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 (Roger C. Dugan, 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. Gejala elektromagnetik yang menyebabkan permasalahan kualitas daya adalah (Roger C. Dugan, 2004) :

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 yaitu kurang dari 1 (satu) menit.
3. Gejala Perubahan Tegangan Durasi Panjang (*Long-Duration Variations*), yaitu suatu gejala perubahan nilai tegangan, dalam waktu yang lama yaitu lebih dari 1 (satu) menit.
4. Ketidakseimbangan Tegangan, adalah gejala perbedaan besarnya tegangan dalam sistem tiga fasa serta sudut fasanya.
5. Distorsi Gelombang, 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.

2.3. Besaran Listrik Dasar

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

2.3.1. Beda Potensial

Ketika suatu muatan listrik positif mengalami perpindahan sepanjang lintasan dl di dalam medan listrik E , maka energi potensial elektrostatisnya adalah :

$$W = -q \int E \cdot dl \quad (2.1)$$

Di mana :

- W = perubahan energi potensial (J)
- q = muatan listrik (C)
- E = medan listrik (N/C)
- dl = panjang lintasan (m)

Beda potensial V sebagai kerja (sumber dari luar) yang digunakan untuk memindahkan suatu muatan listrik positif dari suatu titik ke titik lain adalah perubahan energi potensial listrik yang sebanding dengan muatan listriknya :

$$V = \frac{W}{q} = - \int_{awal}^{akhir} E \cdot dl \quad (2.2)$$

Beda potensial dinyatakan dalam satuan Joule per Coulomb yang didefinisikan sebagai Volt, sehingga beda potensial sering disebut sebagai voltase atau tegangan listrik. Beda potensial V_{AB} adalah beda potensial berasal dari luar, yang digunakan untuk memindahkan satu muatan listrik dari titik awal B sampai titik akhir A, sehingga :

$$V_{AB} = - \int_B^A E \cdot dl \quad (2.3)$$

$$V_{AB} = V_B - V_A \quad (2.4)$$

Setiap potensial diukur terhadap suatu titik acuan nol. Didalam pengukuran eksperimental fisis, titik acuan yang sering digunakan adalah “bumi”, yaitu potensial permukaan bumi. Sehingga setiap titik mempunyai potensial terhadap titik nol. Potensial A adalah nilai yang diukur dari titik A terhadap titik acuan nol dan potensial B adalah nilai yang diukur dari titik B terhadap acuan nol.

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 :

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (2.5)$$

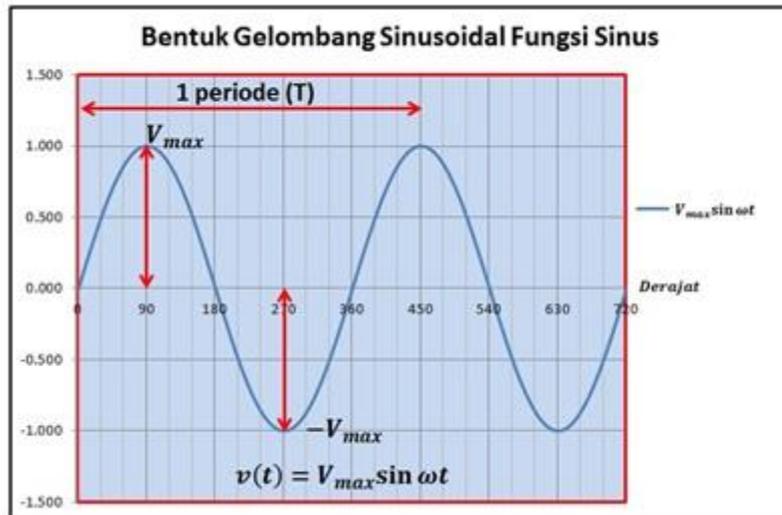
Di mana :
I = arus listrik (A)
dq = sejumlah muatan (C)
dt = waktu (detik)

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 per 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 :

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.6)$$

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 2.1. Gelombang Tegangan Sinusoidal

2.3.4. Daya dan Faktor Daya

Daya adalah suatu ukuran terhadap penggunaan energi dalam suatu waktu tertentu, di mana :

$$P = \frac{E}{t} \quad (2.7)$$

Di mana : P = Daya (Watt)
E = Energi (Joule)
t = Waktu (detik)

Terdapat tiga macam daya listrik yang digunakan untuk menggambarkan penggunaan energi listrik, yaitu daya nyata atau daya aktif, daya reaktif serta daya semu atau daya kompleks (Sanjeev Sharma, 2007). Daya nyata atau daya aktif adalah daya listrik yang digunakan secara nyata, misalnya untuk menghasilkan panas, cahaya atau putaran pada motor listrik. Daya nyata dihasilkan oleh beban-beban listrik yang bersifat resistif murni. Besarnya daya nyata sebanding dengan

kuadrat arus listrik yang mengalir pada beban resistif dan dinyatakan dalam satuan Watt (Sanjeev Sharma, 2007), di mana :

$$P = I^2 \cdot R \quad (2.8)$$

Di mana :
 P = Daya (Watt)
 I = arus listrik (Ampere)
 R = tahanan (Ohm)

Daya reaktif dinyatakan dengan satuan VAR (*Volt Ampere Reaktan*) adalah daya listrik yang dihasilkan oleh beban-beban yang bersifat reaktansi. Terdapat dua jenis beban reaktansi, yaitu reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif. Beban – beban yang bersifat induktif akan menyerap daya reaktif untuk menghasilkan medan magnet. Contoh beban listrik yang bersifat induktif antara lain transformator, motor induksi satu fasa maupun tiga fasa yang biasa digunakan untuk menggerakkan kipas angin, pompa air, lift, eskalator, kompresor, konveyor dan lain-lain. Beban – beban yang bersifat kapasitif akan menyerap daya reaktif untuk menghasilkan medan listrik. Contoh beban yang bersifat kapasitif adalah kapasitor. Besarnya daya reaktif sebanding dengan kuadrat arus listrik yang mengalir pada beban reaktansi di mana (Sanjeev Sharma, 2007) :

$$Q = I^2 X \quad (2.9)$$

$$X = X_L - X_C \quad (2.10)$$

Di mana :
 Q = daya (VAR)
 X = reaktansi total (Ohm)
 X_L = reaktansi induktif (Ohm)
 X_C = reaktansi kapasitif (Ohm)

Daya kompleks atau lebih sering dikenal sebagai daya semu adalah penjumlahan secara vektor antara daya aktif dan daya reaktif, di mana :

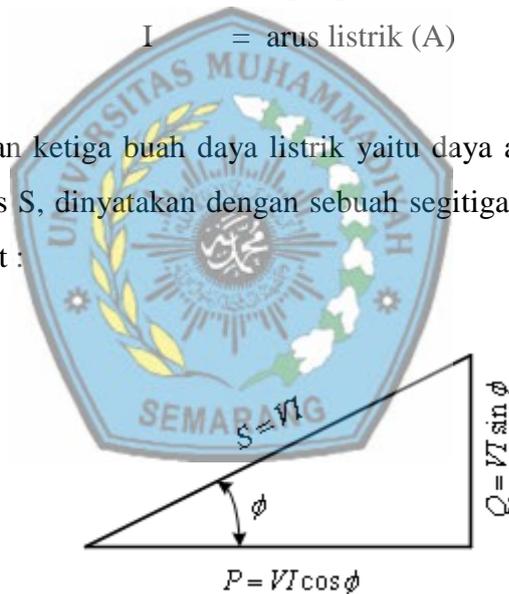
$$S = P + jQ \quad (2.11)$$

Daya kompleks dinyatakan dengan satuan VA (Volt Ampere) adalah hasil kali antara besarnya tegangan dan arus listrik yang mengalir pada beban (Sanjeev Sharma, 2007), di mana :

$$S = V.I \quad (2.12)$$

Di mana :
 S = daya kompleks (VA)
 V = tegangan (Volt)
 I = arus listrik (A)

Hubungan ketiga buah daya listrik yaitu daya aktif P, daya reaktif Q serta daya kompleks S, dinyatakan dengan sebuah segitiga, yang disebut segitiga daya sebagai berikut :



Gambar 2.2. Segitiga Daya

Dari gambar segitiga daya tersebut, hubungan antara ketiga daya listrik dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.13)$$

$$P = S \cos \phi \quad (2.14)$$

$$P = VI \cos \phi \quad (2.15)$$

$$Q = S \sin \phi \quad (2.16)$$

$$Q = VI \sin \phi \quad (2.17)$$

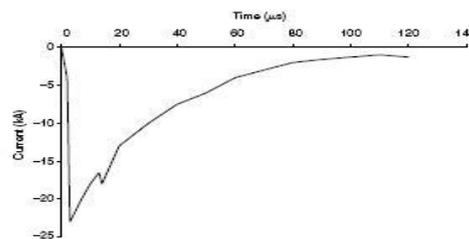
$$\cos \phi = pf = \frac{P}{S} \quad (2.18)$$

Φ adalah sudut antara daya aktif dan daya kompleks S , sehingga $\cos \phi$ didefinisikan sebagai faktor daya (power factor, pf). Untuk beban yang bersifat induktif, pf lagging di mana arusnya tertinggal dari tegangannya. Dan untuk beban yang bersifat kapasitif, pf leading di mana arusnya mendahului tegangannya.

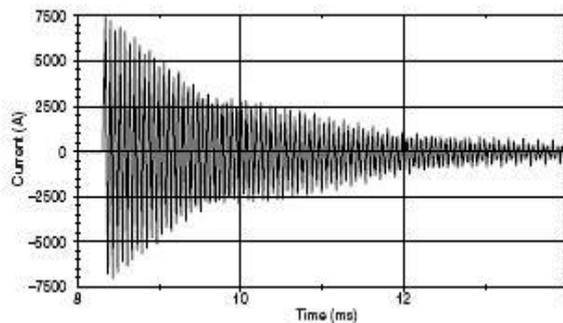
2.4. Gejala Peralihan (Transient)

Gejala peralihan (transient) terdiri dari dua jenis yaitu transient impuls dan transient osilasi. Transient impuls adalah gejala transien yang mempunyai satu arah polaritas, yaitu polaritas positif atau negatif. Sedangkan transient osilasi adalah gejala transien yang mempunyai dua arah polaritas, yaitu polaritas positif dan negatif (Roger C. Dugan, 2004).

Sumber utama gejala peralihan (transient) yang terjadi pada sistem utilitas kelistrikan adalah petir dan pensaklaran kapasitor. Tegangan tinggi petir merupakan sumber gejala peralihan impuls, di mana 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 negatif (Roger C. Dugan, 2004).



Gambar 2.3. Transient impuls arus petir



Gambar 2.4. Transient Osilasi Arus Switching Kapasitor Daya

2.5. Gejala Perubahan Tegangan Durasi Pendek

Berdasarkan waktu lama kejadian, gejala variasi durasi pendek terdiri dari 3 jenis, yaitu *instantaneous*, *momentary*, dan *temporary* (Roger C. Dugan, 2004).

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 (Roger C. Dugan, 2004). Berdasarkan nilai perubahan tegangan, gejala variasi durasi pendek ini dibedakan menjadi 3 jenis yaitu *interruption*, *sag* dan *swell*.

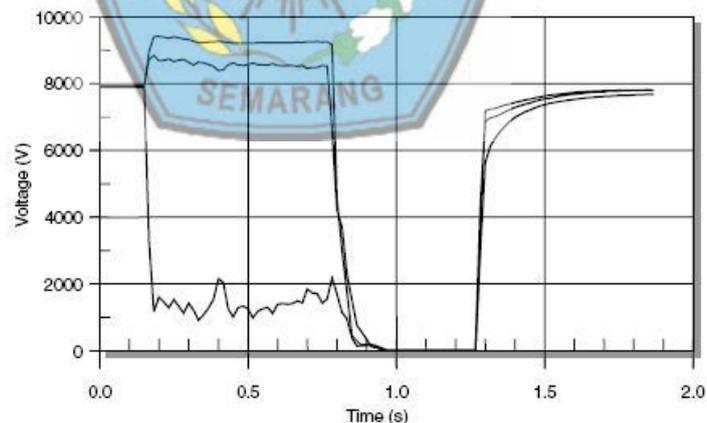
Gejala perubahan tegangan durasi pendek dapat disebabkan oleh gangguan karena suatu proses penyulungan energi listrik terhadap beban yang besar, di mana pada saat penyulungan tersebut diperlukan arus awal yang tinggi, atau lepasnya koneksitas pengkabelan listrik yang kadang-kadang terjadi. Jenis-jenis perubahan tegangan durasi pendek (*interruption*, *sag* dan *swell*) 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.

2.5.1. Interruption

Interupsi adalah gangguan yang terjadi ketika tegangan suplai atau arus beban menurun sampai kurang dari 0,1 pu (per unit) untuk periode waktu tidak lebih dari 1 menit. Interupsi dapat menjadi akibat dari kesalahan sistem tenaga

listrik, kegagalan, dan terjadi kesalahan dari fungsi kendali (Alexander Kusko dkk, 2007). Interupsi diukur dengan lamanya waktu terjadi gangguan, di mana besarnya tegangan yang terjadi pada saat gangguan selalu kurang dari 10 persen dari tegangan nominalnya. Lama terjadinya interupsi dikarenakan oleh gangguan pada sistem utilitas dan ditentukan oleh waktu pengoperasian dari peralatan proteksi. Peralatan proteksi (recloser) pada umumnya akan membatasi interupsi disebabkan oleh gangguan non permanen kurang dari 30 siklus. Lamanya gangguan karena kesalahan fungsi peralatan atau koneksitas peralatan yang longgar atau kurang baik dapat terjadi secara tidak teratur (Roger C. Dugan, 2004).

Beberapa interupsi dapat didahului oleh terjadinya jatuh tegangan, di mana pada umumnya interupsi disebabkan oleh gangguan pada sistem sumber tenaga listrik. Gambar 2.5 menunjukkan interupsi sesaat di mana jatuh tegangan terjadi sekitar 20 persen selama 3 siklus dan kemudian turun menjadi nol sekitar 1,8 detik sampai recloser menutup kembali.



Gambar 2.5. Interupsi sesaat

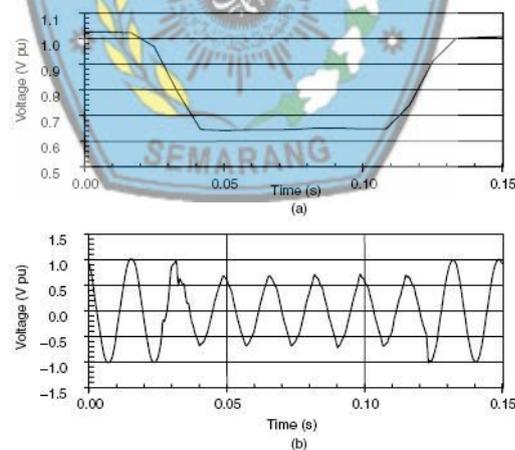
2.5.2. Sags

Sags atau dips atau jatuh tegangan adalah suatu peristiwa penurunan tegangan antara 0,1 dan 0,9 pu dari rms tegangan pada frekuensi dayanya selama 0,5 siklus sampai 1 menit (Barry W. Kennedy, 2004). Komunitas peneliti tentang

kualitas daya telah menggunakan istilah sags selama bertahun-tahun untuk menggambarkan peristiwa penurunan tegangan dalam waktu yang pendek. Meskipun istilah ini tidak ditetapkan secara resmi, tapi semakin diterima dan digunakan oleh pengguna dan produsen sistem tenaga listrik. Namun IEC mendefinisikan untuk fenomena ini sebagai *dip*.

Terminologi yang digunakan untuk menggambarkan besarnya penurunan tegangan masih sering membingungkan. "Sag 20 persen" dapat memberikan gambaran terhadap menurunnya tegangan menjadi 0,8 atau 0,2 pu. Jika tidak ditentukan lain, sag 20 persen akan dianggap sebagai suatu peristiwa di mana terjadinya penurunan tegangan rms sebesar 20 persen hingga 0,8 pu. Nilai nominal atau nilai dasar dari suatu tegangan juga harus ditentukan.

Sags tegangan biasanya terkait dengan kesalahan atau gangguan dari sistem, tetapi dapat juga terjadi karena penyulangan terhadap suatu beban besar atau memulai pengoperasian motor berkapasitas besar. Gambar 2.6. di bawah ini memperlihatkan sebuah sag tegangan karena adanya gangguan satu fasa ke tanah.

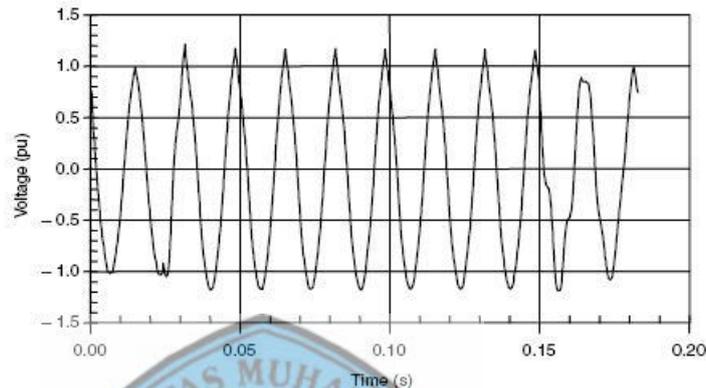


Gambar 2.6. Sag tegangan karena gangguan satu fasa ke tanah

2.5.3. Swells

Swells adalah suatu peristiwa di mana tegangan mengalami kenaikan antara 1,1 dan 1,8 pu dari tegangan rms atau arus pada frekuensi dayanya, dengan lama gangguan 0,5 siklus ke 1 menit (Roger C. Dugan, 2004). Seperti halnya dengan sags, naiknya tegangan ini biasanya dikaitkan dengan kondisi karena gangguan

atau kesalahan sistem. Salah satu contoh swells adalah terjadinya kenaikan tegangan sementara pada saat gangguan satu fasa ke tanah. Gambar 2.7 mengilustrasikan sebuah gelombang tegangan yang disebabkan oleh gangguan satu fasa ke tanah.



Gambar 2.7. Swells karena gangguan satu fasa ke tanah

Lonjakan kenaikan tegangan dapat juga disebabkan oleh adanya pemutusan beban besar atau penyulungan terhadap bank kapasitor.

Karakteristik swells dapat diketahui dengan melihat besar kenaikan tegangan (nilai rms) dan lamanya peristiwa itu terjadi. Besarnya kenaikan tegangan yang terjadi dipengaruhi oleh letak gangguan, besarnya impedansi sistem tenaga serta sistem pentanahannya. Pada sistem yang tidak diketanahkan dengan impedansi urutan nol yang tak terhingga, maka tegangan fasa akan mengalami kenaikan sebesar 1,73 pu pada saat terjadi gangguan satu fasa ke tanah. Untuk gangguan yang terjadi dengan lokasi berada dekat gardu induk, maka akan terdapat sedikit atau tidak ada kenaikan tegangan pada fasa yang tidak sehat, karena trafo daya pada gardu induk biasanya terhubung delta bintang yang menyediakan impedansi urutan nol yang rendah, sebagai saluran untuk arus gangguan ke tanah.

2.6. Gejala Perubahan Tegangan Durasi Panjang

Gejala perubahan tegangan durasi panjang mempunyai waktu penyimpangan terhadap frekuensi dayanya selama lebih dari 1 menit. Jenis dari gejala variasi 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 (Roger C. Dugan, 2004).

2.6.1. Overvoltage

Overvoltage atau tegangan lebih adalah suatu gejala peningkatan nilai tegangan rms bolak-balik sebesar lebih dari 110 persen pada frekuensi daya untuk waktu lebih dari 1 menit. *Overvoltage* biasanya akibat operasi pensaklaran beban (misalnya, switching dari sebuah beban besar atau kapasitor bank). *Overvoltage* dapat dihasilkan oleh terlalu lemahnya pengaturan tegangan yang dikehendaki terhadap sistem tenaga listrik tersebut atau kendali terhadap tegangan tidak memadai. Kesalahan pengaturan pada tap transformer juga dapat mengakibatkan tegangan lebih atau *overvoltages* pada sistem tenaga listrik (Roger C. Dugan, 2004).

2.6.2. Undervoltage

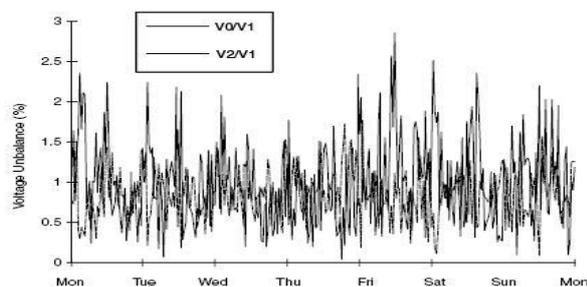
Undervoltage adalah suatu gejala penurunan tegangan rms bolak-balik sebesar kurang dari 90 persen dari nilai tegangan nominal pada frekuensi daya untuk durasi lebih dari 1 menit. *Undervoltage* adalah hasil dari suatu peristiwa kembalinya keadaan *overvoltage* menuju keadaan normalnya. Sebuah operasi pensaklaran beban atau atau memutuskan bank kapasitor dapat menyebabkan *undervoltage*, sampai keadaan di mana peralatan pengaturan tegangan pada sistem tegangan tersebut dapat membawa kembali pada toleransi nilai tegangan yang standar. Keadaan *overload* atau beban lebih pada rangkaian dapat mengakibatkan penurunan tegangan atau *undervoltages* (Roger C. Dugan, 2004).

2.6.3 Interupsi Berkelanjutan (*Sustained Interruption*)

Pada saat tegangan suplai dari sebuah sistem tenaga menjadi nol untuk jangka waktu lebih dari 1 menit, maka gejala perubahan tegangan ini disebut interupsi atau pemadaman berkelanjutan. Gangguan tegangan yang terjadi lebih dari 1 menit merupakan gangguan permanen yang membutuhkan campur tangan tenaga teknisi untuk memperbaiki sistem tenaga tersebut, agar kembali menjadi normal seperti sebelum terjadinya gangguan. Istilah pemadaman berkelanjutan (*sustained interruption*) mengacu pada fenomena yang terjadi sistem tenaga listrik tertentu dan secara umum tidak ada hubungannya dengan penggunaan istilah *Outage*. Istilah *outage* lebih menerangkan keluarnya komponen dari sistem tenaga listrik, di mana hal ini lebih berhubungan dengan keandalan dari suatu sistem tenaga listrik (Roger C. Dugan, 2004)

2.7. 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 (Roger C. Dugan, 2004).



Gambar 2.8. Ketidak-seimbangan tegangan pada sistem tenaga perumahan

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. Gambar 2.8. 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 yang 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 (Roger C. Dugan, 2004).

2.8. Distorsi Gelombang

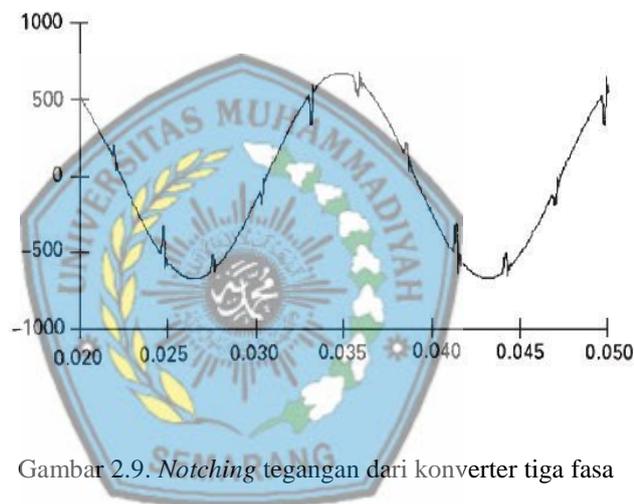
Distorsi gelombang didefinisikan sebagai suatu penyimpangan bentuk gelombang dari bentuk normal sinusoidal sesuai dengan frekuensi dayanya, pada keadaan tanpa gangguan (*steady state*). Terdapat lima jenis penyimpangan bentuk gelombang yang terjadi, yaitu *DC Offset*, *Nocthing*, *Noise*, Harmonisa dan Interharmonisa (Roger C. Dugan, 2004).

2.8.1. DC Offset

DC offset adalah suatu keadaan adanya sebuah tegangan atau arus dc dalam sistem tenaga listrik bolak-balik. DC offset dapat terjadi sebagai akibat dari gangguan geomagnetik atau disebabkan oleh penggunaan peralatan penyearah setengah gelombang. Salah satu sumber DC offset adalah lampu hemat energi, dimana lampu tersebut menggunakan penyearah dioda, yang menghasilkan tegangan DC setengah gelombang yang digunakan untuk beroperasinya lampu tersebut. Arus langsung (*direct current*) yang timbul akibat adanya erosi elektroda sistem pentanahan ataupun sambungan dari peralatan lain, dapat menyebabkan efek merugikan pada inti transformator saat trafo beroperasi dalam keadaan jenuh. Kerugian yang ditimbulkan adalah adanya pemanasan pada trafo dan mengurangi umur penggunaan transformator tersebut.

2.8.2. Notching

Notching adalah gangguan tegangan periodik yang disebabkan oleh penggunaan peralatan elektronika daya secara normal, di mana hal ini terjadi saat ketika komutasi arus dari satu fasa yang satu ke fasa yang lain. *Notching* yang terjadi secara kontinyu, dapat diketahui karakteristiknya melalui spektrum harmonisa tegangan yang mengandung gangguan tersebut. Komponen frekuensi yang terkait dengan *notching* dapat mempunyai nilai yang cukup tinggi dan mungkin tidak akan mudah dilihat atau diukur dengan peralatan pengukuran yang biasa digunakan untuk analisis harmonisa.



Gambar 2.9. *Notching* tegangan dari konverter tiga fasa

Gambar 2.9 menunjukkan contoh *notching* tegangan dari konverter tiga fasa yang menghasilkan tegangan arus dc kontinyu. *Notching* dihasilkan pada saat terjadi arus komutasi dari fasa yang satu ke fasa yang lain. Selama periode tersebut, terdapat hubungan pendek sesaat antara dua fase, yang menyebabkan nilai tegangan mendekati nol sesuai dengan impedansi sistemnya.

2.8.3. Noise

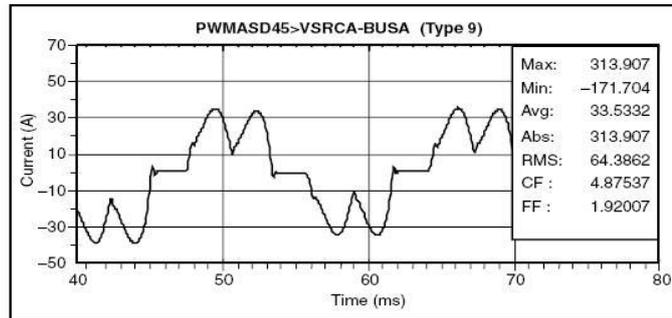
Noise didefinisikan sebagai sinyal-sinyal listrik yang tidak diinginkan dengan spektrum broadband kurang dari 200 kHz yang menumpang pada tegangan atau arus dari sistem daya listrik. *Noise* sering terjadi di dalam konduktor fasa atau ditemukan juga pada konduktor netral. *Noise* di dalam sistem tenaga listrik dapat disebabkan

oleh perangkat elektronika daya, rangkaian kendali, peralatan yang menghasilkan busur api, beban dengan sistem penyearahan solid-state, dan pensaklaran suplai daya (Roger C. Dugan, 2004).

Masalah *noise* sering diperburuk dengan adanya sistem pentanahan (grounding) yang kurang baik. Pada dasarnya *noise* terdiri dari distorsi yang tidak diinginkan dari sinyal daya listrik, di mana sinyal tersebut tidak dapat diklasifikasikan sebagai distorsi harmonik atau transien. *Noise* dapat mengganggu peralatan elektronika seperti mikro komputer dan programmable controller. Permasalahan *noise* dapat dikurangi dengan menggunakan filter, transformator pengisolasi, dan pengkondisian saluran. Masalah *noise* sering diperburuk dengan adanya sistem pentanahan (grounding) yang kurang baik. Pada dasarnya *noise* terdiri dari distorsi yang tidak diinginkan dari sinyal daya listrik, di mana sinyal tersebut tidak dapat diklasifikasikan sebagai distorsi harmonik atau transien. *Noise* dapat mengganggu peralatan elektronika seperti mikro komputer dan programmable controller. Permasalahan *noise* dapat dikurangi dengan menggunakan filter, transformator pengisolasi, dan pengkondisian saluran.

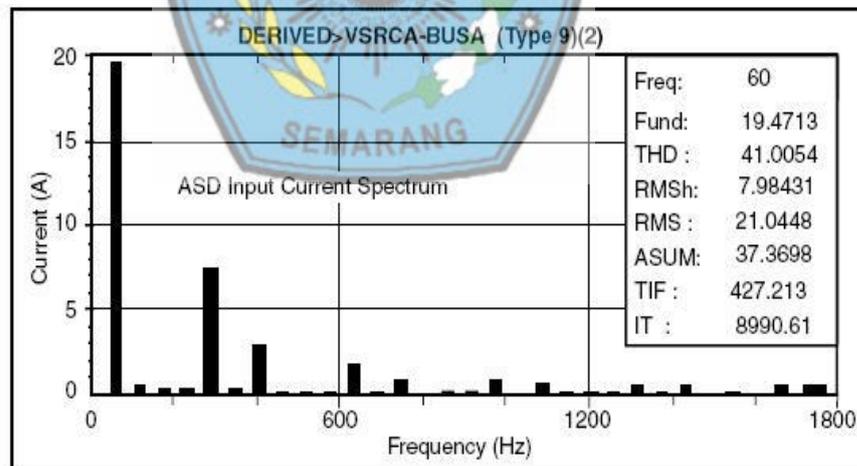
2.8.4. Harmonisa

Harmonisa adalah bentuk tegangan atau arus sinusoidal yang memiliki frekuensi ganda, di mana frekuensi tersebut merupakan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi dasar. Frekuensi dasar suatu sistem biasanya dirancang untuk beroperasi pada 50 atau 60 Hz, di Indonesia frekuensi dasar yang digunakan adalah 50 Hz. Bentuk gelombang yang terdistorsi dapat didekomposisi menjadi jumlah dari frekuensi dasar dan frekuensi harmonisa. Distorsi harmonisa berasal dari peralatan yang mempunyai karakteristik nonlinier perangkat dan beban pada sistem tenaga listrik (Roger C. Dugan, 2004).



Gambar 2.10. Bentuk gelombang arus yang terdistorsi

Tingkat distorsi harmonisa dapat dijelaskan oleh spektrum harmonisa berupa magnitude atau besarnya serta dengan sudut fasa dari masing-masing komponen harmonisa individual. Suatu kuantitas dari tingkat distorsi harmonisa adalah *Total Harmonics Distortion*, atau disingkat THD. Gambar 2.11 memperlihatkan spektrum harmonisa dari peralatan pengaturan kecepatan motor dengan metode pengaturan arus masukan (Roger C. Dugan, 2004).



Gambar 2.11. Spektrum harmonisa arus listrik

2.8.5. Interharmonisa

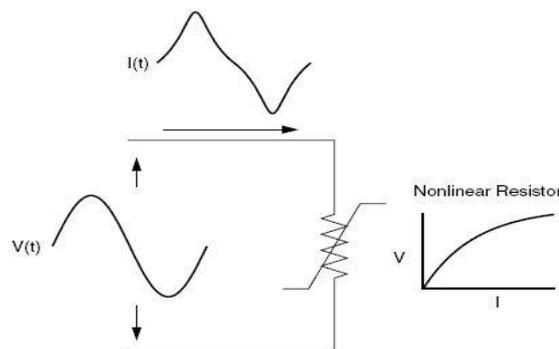
Tegangan atau arus yang memiliki komponen-komponen frekuensi yang bukan kelipatan bilangan bulat dari frekuensi daya (misalnya, 50 atau 60 Hz) disebut interharmonisa. Interharmonisa dapat muncul sebagai frekuensi diskrit

atau sebagai spektrum pita lebar. Interharmonisa dapat ditemukan dalam jaringan sistem tenaga listrik untuk semua klasifikasi tegangan. Sumber utama dari distorsi gelombang interharmonisa adalah konverter frekuensi statis, cycloconverter, motor induksi, dan peralatan yang menimbulkan busur api. Sinyal pembawa pada saluran tenaga listrik juga dapat dianggap sebagai interharmonisa.

Interharmonisa dihasilkan dari proses konversi frekuensi, dan nilainya tergantung dari perubahan beban. Interharmonisa arus dapat membangkitkan resonansi cukup tinggi pada sistem tenaga listrik sebagai akibat adanya perubahan frekuensi interharmonisa menjadi frekuensi yang digunakan dalam sistem tenaga. Hal ini dapat ditunjukkan dengan adanya pengaruh sinyal pembawa pada saluran daya, adanya flicker yang terlihat secara visual pada lampu fluorescent, atau adanya pencahayaan secara busur listrik seperti yang terjadi pada layar perangkat komputer.

2.8.6. Distorsi Harmonisa Total (*Total Harmonics Distortion, THD*)

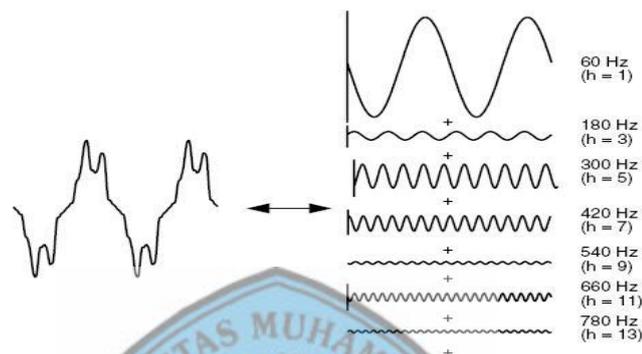
Distorsi harmonisa disebabkan oleh peralatan nonlinier dalam suatu sistem tenaga listrik. Sebuah peralatan dikategorikan non linier apabila peralatan tersebut mempunyai output yang nilainya tidak sebanding dengan tegangan yang diberikan (Roger C. Dugan, 2004).



Gambar 2.12. Beban non linier

Gambar 2.12 mengilustrasikan konsep ini dengan kasus tegangan masukan sinusoidal diberikan pada resistor nonlinear, di mana tegangan dan arus bervariasi

sesuai dengan kurva ditampilkan. Sementara tegangan masukan berupa sinusoidal sempurna, namun arus yang dihasilkan berupa gelombang terdistorsi. Peningkatan tegangan walaupun hanya beberapa persen dapat menyebabkan penggandaan arus dan akan menghasilkan bentuk gelombang yang berbeda. Hal ini merupakan sumber distorsi harmonisa dalam sistem tenaga listrik (Roger C. Dugan, 2004).



Gambar 2.13. Gelombang Terdistorsi

Gambar 2.13 memperlihatkan bahwa setiap periodik, bentuk gelombang terdistorsi adalah penjumlahan dari beberapa gelombang sinusoidal dengan variasi frekuensi yang berbeda. Gelombang sinusoidal yang mempunyai frekuensi berbeda tersebut merupakan hasil kelipatan bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Jumlah dari gelombang sinusoidal ini disebut sebagai deret Fourier, di mana Fourier merupakan nama matematikawan besar yang berhasil menemukan suatu konsep konsep yang dapat menjelaskan tentang gelombang terdistorsi tersebut.

Nilai Distorsi Harmonisa Total (THD) dari suatu gelombang dapat dihitung dengan formula :

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} M_h^2}}{M_1} \quad (2.19)$$

Di mana M_h adalah nilai rms komponen harmonisa h dari kuantitas M . Kuantitas M dapat berupa besaran tegangan V maupun besaran arus I , sehingga THD_V nilai distorsi harmonisa total tegangan dan THD_I nilai distorsi harmonisa total arus listrik, dimana :

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{\max}} V_h^2}}{V_1} \quad (2.20)$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{\max}} I_h^2}}{I_1} \quad (2.21)$$

Nilai rms dari total bentuk gelombang bukanlah penjumlahan dari setiap komponen harmonisa, tetapi akar kuadrat dari penjumlahan kuadratnya. Hubungan THD dengan nilai rms dari gelombang adalah :

$$rms = \sqrt{\sum_{h=1}^{n_{\max}} M_h^2} = M_1 \sqrt{1 + THD^2} \quad (2.22)$$

Tegangan harmonisa selalu dijadikan suatu pedoman untuk nilai dasar dari bentuk gelombang sesaat. Karena tegangan mempunyai persentase perbedaan yang kecil, di mana THD tegangan adalah pendekatan dari jumlah yang sebenarnya. Hal ini tidak berlaku untuk arus listrik, karena sebuah arus yang mempunyai nilai kecil dapat menghasilkan THD yang tinggi, sehingga tidak dapat digunakan untuk menggambarkan keadaan suatu sistem (Roger C. Dugan, 2004).

Standar harmonisa berdasarkan standar IEEE 519-1992. Ada dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonisa. Yaitu batasan untuk harmonisa arus, dan batasan untuk harmonisa tegangan. Untuk standard 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. Sedangkan untuk standard harmonisa tegangan ditentukan oleh tegangan sistem yang dipakai.

Tabel. 2.1. Standar distorsi harmonisa yang digunakan berdasarkan standar IEEE

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

Distorsi Arus Harmonik Maksimum dalam % Nilai Fundamental	
I_{hs} / I_L	THD
< 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	

2.8.7. Hubungan Distorsi Harmonisa Dengan Daya Listrik

Sistem daya listrik yang telah di bahas pada sub bab 2.3.4. adalah sistem daya listrik untuk suatu sistem yang normal, di mana bentuk gelombang tegangan dan arus listrik merupakan bentuk sinusoidal murni. Namun dengan adanya distorsi harmonisa sistem daya listrik akan menjadi berbeda, karena daya kompleks S dan daya Q sangat dipengaruhi oleh adanya distorsi (Roger C. Dugan, 2004).

Daya aktif P adalah daya nyata yang digunakan, di mana pada beban listrik daya ini dikeluarkan untuk di ubah dari energi listrik menjadi energi bentuk lain. Di dalam energi listrik, kerja nyata dilambangkan dengan beban murni R, yang

nilainya tidak dipengaruhi oleh perubahan frekuensi. Sehingga kerja nyata yang dilakukan adalah sebanding dengan arus listrik dan tegangan yang ada di saluran fasa yang diserap beban. Daya aktif merupakan tingkat di mana energi yang dikeluarkan, hilang, atau dikonsumsi oleh beban, sehingga daya aktif P ini tidak dipengaruhi oleh adanya distorsi harmonisa (Roger C. Dugan, 2004), sesuai dengan persamaan 2.15 maka :

$$P = V_1 I_1 \cos \theta_1 \quad (2.23)$$

Angka 1 pada persamaan 2.25 menunjukkan variabel pada frekuensi dasar (50 atau 60 Hz).

Daya reaktif Q adalah daya listrik yang diserap oleh beban-beban reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif. Besarnya beban reaktansi induktif XL dan beban reaktansi XC dipengaruhi oleh perubahan frekuensi (Roger C. Dugan, 2004), di mana :

$$X_L = 2\pi fL \quad (2.24)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad (2.25)$$

Sehingga besarnya daya reaktif Q juga dipengaruhi oleh adanya distorsi harmonisa, di mana daya Q merupakan penjumlahan keseluruhan daya reaktif yang disebabkan oleh gelombang dengan berbagai frekuensi :

$$Q = \sum_k V_k I_k \sin \theta_k \quad (2.26)$$

Variabel k persamaan 2.26 menunjukkan jumlah variabel penggandaan dari nilai frekuensi dasar (50 atau 60 Hz).

Dari formula 2.12 dapat dijelaskan bahwa daya kompleks S merupakan suatu ukuran terhadap potensial yang disebabkan oleh perubahan beban. Kenaikan daya kompleks S juga sebanding dengan kenaikan nilai rms arusnya

yang terdistorsi sebagai akibat langsung dari harmonisa. Karena daya kompleks S dipengaruhi oleh tegangan V dan arus I, Sehingga jika tegangan dan arus merupakan suatu gelombang yang terdistorsi, maka daya kompleks juga dipengaruhi oleh distorsi harmonisa. Di bawah ini memperlihatkan nilai rms tegangan dan arus listrik dari gelombang yang terdistorsi (Roger C. Dugan, 2004),:

$$V_h = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{maks}} \frac{1}{\sqrt{2}} V_h^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_{h_{maks}}^2} \quad (2.27)$$

$$I_h = \sqrt{\sum_{h=1}^{h_{maks}} \frac{1}{\sqrt{2}} I_h^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_{h_{maks}}^2} \quad (2.28)$$

$$S = V_h I_h \quad (2.29)$$

Dari persamaan 2.27 dan 2.28 terlihat bahwa tegangan dan arus yang terdistorsi mempunyai nilai rms yang lebih besar dari pada tegangan dan arus yang sinusoidal murni. Sehingga nilai daya kompleks S (persamaan 2.29) juga lebih besar nilai rmsnya jika dibandingkan dengan daya kompleks S normal (persamaan 2.12) sebelum munculnya harmonisa. Dengan adanya perubahan nilai daya kompleks S ini, menyebabkan penjumlahan kuadrat komponen aktif P dengan kuadrat komponen reaktif Q menjadi tidak sama dengan kuadrat komponen S. Sehingga terdapat suatu jumlah daya sisa yang mengalir di sekitar sistem (Roger C. Dugan, 2004).

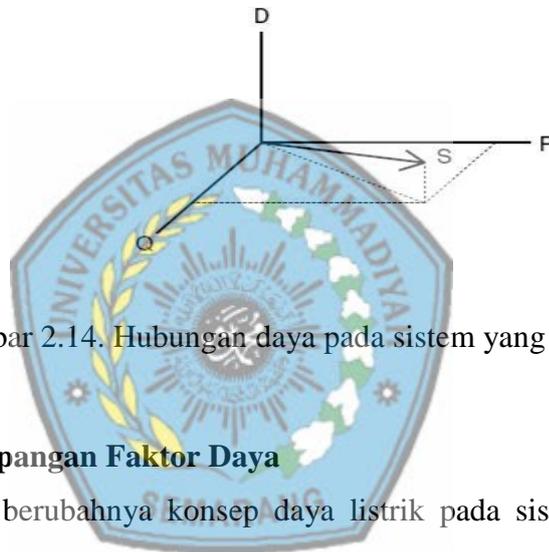
Daya sisa yang diduga mengalir di sekitar sistem disebut dengan daya distorsi D dan diukur dengan satuan volt ampere. Sehingga dengan adanya distorsi harmonisa, hubungan sistem daya listrik pada persamaan 2.13 tidak berlaku. Dengan memasukkan komponen daya distorsi D, maka hubungan daya listrik menjadi sebagai berikut (Roger C. Dugan, 2004) :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2} \quad (2.30)$$

Atau daya distorsi dapat di cari dari persamaan 2.30, sebagai berikut :

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \quad (2.31)$$

Dan hubungan keempat daya listrik tersebut dapat digambarkan seperti diperlihatkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.14. Hubungan daya pada sistem yang terdistorsi

2.8.8. Penyimpangan Faktor Daya

Dengan berubahnya konsep daya listrik pada sistem non sinusoidal atau sistem yang terdistorsi, maka konsep faktor daya juga berubah. Faktor daya adalah perbandingan antara daya nyata yang digunakan dengan daya kompleks sebagai suplai energi listrik, di mana :

$$pf = \frac{P}{S} \quad (2.32)$$

Untuk sistem sinusoidal normal yang tidak terdistorsi hanya terdapat satu sudut fasa antara tegangan dan arus, yaitu hanya pada frekuensi dasarnya (50Hz atau 60Hz), sehingga sesuai dengan persamaan 2.18, maka :

$$pf = \frac{P}{S} = \cos\theta \quad (2.33)$$

Dalam kasus non sinusoidal atau sistem terdistorsi, faktor daya tidak dapat didefinisikan sebagai kosinus dari sudut fase seperti pada Persamaan. (2.33).

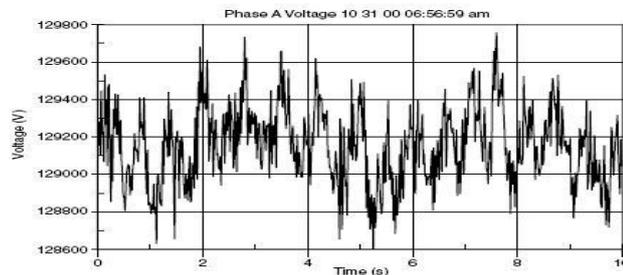
Faktor daya tetap harus memperhitungkan kontribusi dari semua jenis daya, baik daya aktif yang mempunyai frekuensi fundamental dan daya kompleks yang mempunyai frekuensi dasar dan harmonisa. Sehingga konsep faktor daya sebagai perbandingan antara daya aktif P dan daya kompleks S tidak berubah sesuai dengan persamaan 2.32. (Roger C. Dugan, 2004)

Pengertian $\cos \phi$ digunakan untuk mengukur faktor daya dengan frekuensi dasar yang tidak mengandung harmonisa yang merupakan perbandingan antara daya aktif dan daya kompleks pada frekuensi dasar. $\cos \phi$ disebut juga factor daya perpindahan atau *displacement power factor* disingkat dengan DPF, yang merupakan faktor daya karena pergeseran fasa antara tegangan dan arus listrik pada frekuensi dasar. Hubungan antara faktor daya dengan DPF diperlihatkan pada persamaan 2.34. sebagai berikut (Roger C. Dugan, 2004) :

$$pf = \frac{1}{\sqrt{1 + THD^2}} DPF \quad (2.34)$$

2.9. Fluktuasi Tegangan

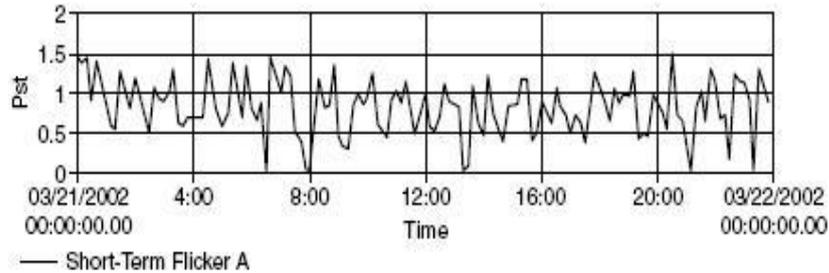
Fluktuasi tegangan adalah suatu perubahan tegangan yang sistematis atau serangkaian perubahan tegangan secara acak, di mana magnitud dari tegangan mempunyai nilai yang tidak semestinya (Roger C. Dugan, 2004), yaitu di luar rentang tegangan ditentukan oleh ANSI C84.1 sebesar 0,9 sampai 1,1 pu. Menurut 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 2.15. Fluktuasi Tegangan

Gambar 2.15 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. 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(Pst). Nilai ini normalnya sampai 1.0, di mana nilai tersebut mempresentasikan tingkat fluktuasi tegangan yang cukup menyebabkan kedip 50 persen dari sampel yang diamati. Gambar 2.16 mengilustrasikan kecenderungan Pst yang merupakan hasil dari pengukuran pada bus gardu induk 161 kV yang melayani suatu beban yang menghasilkan busur api.. Sampel Pst sampel biasanya dilaporkan pada setiap interval 10-mnt.

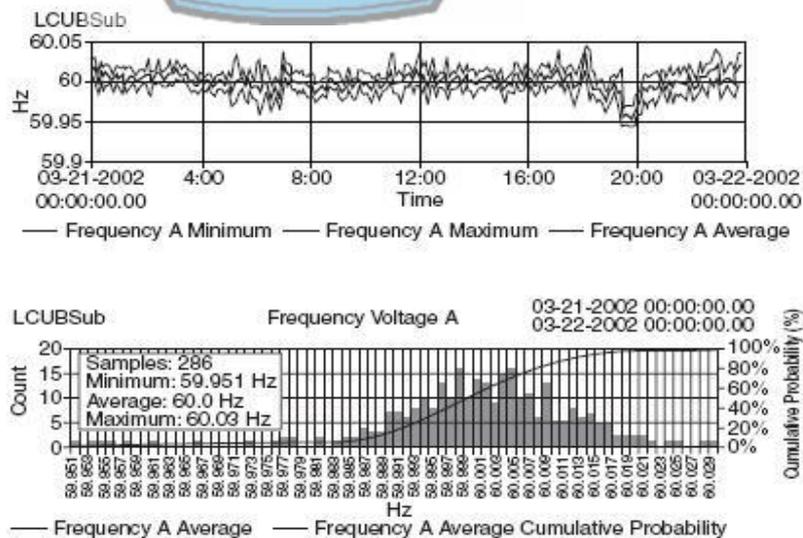


Gambar 2.16. Pst pada bus gardu induk 161 kV

2.10. Gejala Perubahan 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. Ada 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 2.17. Perubahan frekuensi selama 24 jam

Gambar 2.17 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.

Pada sistem tenaga listrik yang terhubung secara interkoneksi, perubahan nilai frekuensi yang signifikan jarang dijumpai. Perubahan frekuensi lebih banyak terjadi pada suatu sistem beban yang disuplai oleh sistem pembangkit yang terisolir, seperti suatu gedung yang disuplai oleh sebuah genset. Hal ini disebabkan karena tanggapan atau respon dari sebuah governor terhadap perubahan beban yang mendadak, kemungkinan tidak akan cukup untuk mengatur kembali frekuensi yang diperlukan seperti semula.

2.11. Pengukuran dan Monitoring Kualitas Daya

Monitoring atau pemantauan kualitas daya adalah proses pengumpulan dan pengambilan data, menganalisis, dan menginterpretasikan data pengukuran tersebut menjadi suatu informasi yang bermanfaat. Program monitoring kualitas daya dilakukan karena adanya permintaan untuk meningkatkan kinerja kualitas sistem daya menjadi lebih baik.

Proses pengumpulan dan pengambilan data yang biasanya dilakukan dengan tegangan dan arus listrik secara kontinyu tegangan dalam jangka waktu tertentu. Selama ini proses analisis dan interpretasi dilakukan secara manual. Tetapi akhir – akhir ini dengan adanya kemajuan dalam bidang pengolahan data dan kecerdasan buatan memungkinkan guna merancang dan mengimplementasikan sistem cerdas untuk menganalisis dan menginterpretasikan data mentah secara otomatis menjadi informasi yang berguna sehingga mengurangi campur tangan manusia.

2.11.1. Tujuan Monitoring Kualitas Daya Listrik

Obyektivitas dari monitoring kualitas daya sering ditentukan oleh pemilihan peralatan monitoring yang baik dan presisi, metode untuk akusisi dan penyimpanan data, serta analisis dan interpretasi data. Beberapa tujuan dari monitoring kualitas daya adalah :

- Monitoring untuk mengetahui kinerja sistem.

Produsen energi listrik harus memahami dan mengetahui kinerja dari sistem tenaga listrik yang dihasilkan, sehingga sesuai dengan kebutuhan konsumen energi listrik yang dilayaninya. Dengan memahami karakteristik kualitas daya yang normal dari sebuah sistem, maka suatu otoritas pelayanan energi listrik akan dengan cepat mengidentifikasi masalah dan dapat memberikan informasi kepada para konsumen listrik, sehingga konsumen listrik tersebut dapat memilih dan menggunakan peralatan yang sesuai dengan karakteristik kualitas daya pada saat itu.

- Monitoring untuk menjelaskan masalah-masalah tertentu.

Suatu bagian atau departemen yang melayani terhadap ketersediaan energi listrik di lingkungan industri, sering mengadakan monitoring jangka pendek untuk memecahkan masalah dengan melakukan pemantauan jangka pendek pada beban – beban yang sering mengalami gangguan. Monitoring secara berkala ini merupakan modus reaktif pemantauan kualitas kekuasaan, sehingga hal ini merupakan suatu langkah yang baik untuk mengidentifikasi penyebab kerusakan peralatan yang disebabkan oleh masalah kualitas daya listrik.

- Monitoring sebagai bagian pelayanan kualitas daya yang sempurna.

Produsen listrik saat ini sedang mempertimbangkan untuk menawarkan layanan tambahan kepada pelanggan. Salah satu layanan tambahan ini adalah menawarkan tingkat kualitas daya listrik yang berbeda kepada konsumen sesuai dengan kebutuhan pelanggan tertentu. Penyedia listrik dan pelanggan dapat bersama-sama mencapai tujuan ini dengan memodifikasi sistem tenaga listrik dengan pemasangan peralatan tertentu di lokasi pelanggan. Sehingga pemantauan atau monitoring menjadi sangat penting untuk menetapkan

ukuran suatu layanan yang berbeda tersebut dan untuk memverifikasi bahwa pengguna atau pelanggan telah mencapai tingkat kualitas daya sesuai dengan perjanjiannya.

- Monitoring untuk memprediksi waktu pemeliharaan peralatan

Data monitoring kualitas daya yang dikumpulkan dari waktu ke waktu dapat dianalisis untuk memberikan informasi peralatan spesifik yang berkaitan dengan kinerja sistem tenaga listrik. Pemeliharaan peralatan dapat dikerjakan dengan cepat untuk menghindari kegagalan sistem, sehingga dapat mencegah gangguan kualitas daya utama yang pada akhirnya dapat berdampak terhadap sistem secara keseluruhan

2.11.2. Identifikasi Permasalahan Kualitas Daya Listrik

Identifikasi masalah dalam kualitas daya listrik harus direncanakan dengan matang untuk mendapatkan tujuan monitoring kualitas daya yang tepat sasaran. Identifikasi adalah ini diperlukan dan harus ditetapkan sebelum survey kualitas daya dilakukan. Beberapa informasi yang digunakan untuk mengidentifikasi permasalahan dalam kualitas daya listrik.

1. Permasalahan alami, seperti kegagalan peralatan, kesalahan fungsi dari sistem kendali dan peralatan
2. Karakteristik dari beberapa peralatan yang sensitif terhadap permasalahan kualitas daya
3. Kapan terjadinya suatu kegagalan dalam sistem tenaga listrik
4. Terjadinya permasalahan atau kegagalan operasi dalam suatu waktu yang sama
5. Sumber – sumber yang dapat menyebabkan variabel pada kualitas daya, seperti starting motor, switching kapasitor, penggunaan peralatan elektronika daya, peralatan yang menghasilkan busur api
6. Kondisi peralatan tenaga listrik yang terpasang
7. Data sistem tenaga listrik, seperti diagram single line, ukuran dan impedansi transformator, dan informasi beban listrik.