

## KUALITAS DAYA LISTRIK PENGARUH DAN PENANGANANNYA

Hendra Marta Yudha<sup>3)</sup>

**Abstrak:** Terminologi kualitas daya listrik mengacu pada fenomena yang sangat variatif yang memiliki karakteristik tegangan dan arus pada satu satuan waktu dan lokasi yang berbeda dalam sebuah sistem tenaga listrik. Untuk menentukan masalah kualitas daya pada suatu sistem tenaga listrik dan menentukan metode yang paling tepat guna mengurangi masalah kualitas daya dibutuhkan pengumpulan data yang mencakup besaran-besaran arus, tegangan, kejadian, frekuensi kejadian, tempat kejadian, gangguan-gangguan dan lokasi pengukuran. Pengukuran arus dan tegangan mencakup pengukuran besaran efektif dan bentuk gelombang. Dari pengukuran, ditentukan klasifikasi tipe gangguan berdasarkan indeks kualitas daya yang akan dikategorikan berdasarkan komponen frekuensi yang tercatat pada hasil pengukuran signal tegangan selama prioda pengukuran. Identifikasi mengacu pada spesifikasi yang dikeluarkan oleh IEEE dan IEC. Penelitian memperlihatkan bahwa penggunaan beban-beban non linear mengakibatkan distorsi harmonisa pada sistem ketenagalistrikan, munculnya fenomena elektromagnetik pada sebuah sistem mengakibatkan penurunan kualitas sistem dan sistem pengkawatan terpasang memiliki peran dominan terhadap kemungkinan terjadinya fenomena elektromagnetik pada instalasi terpasang.

**Kata kunci:** Kualitas Daya, Indeks Kualitas Daya, Tegangan Dip, Tegangan Sag

*Abstract: Terminology of power quality refers to very varied phenomena which have the characteristics of voltage and current in one unit of time and different locations within a power system. To determine the power quality problems on the electric power system and determine the most appropriate method to reduce power quality problems required the collection of data covering the quantities of current, voltage, events, frequency of occurrence, where events, disturbances and measurement locations. Current and voltage measurements include the measurement of the amount of effective and waveforms. From the measurement, classification is determined based on an index-type power quality disturbances that will be categorized based on the frequency component that is recorded on the measurement results during prioda measurement voltage signal. Identification refers to the specifications issued by the IEEE and IEC. Research shows that the use of non-linear loads result in harmonic distortion in the electricity system, the emergence of electromagnetic phenomena in a system resulting in decreased quality systems and wiring systems installed have a dominant role to the possibility of electromagnetic phenomena in the built-in installation.*

**Keywords:** Power Quality, Power Quality Index, Voltage Dip, Voltage Sag

---

<sup>3)</sup> Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tridinanti Palembang.

### PENDAHULUAN

Isu kualitas suplai daya listrik menjadi sesuatu yang sangat penting bagi pengelola dan pengguna energi listrik. Peningkatan penggunaan peralatan elektronik seperti komputer, kendali digital dan peralatan sensitif lainnya telah meningkatkan kekhawatiran terhadap kemungkinan munculnya gangguan pada sistem pemasok energi listrik yang digunakan.

Analisis terbaru oleh the Electric Power Research Institute (EPRI) memperkirakan bahwa masalah kualitas daya menimbulkan kerugian mencapai  $\pm$  US\$15-24 billion/tahun di USA. Di Indonesia persoalan ini juga menjadi sebuah masalah yang harus ditangani segera. Tudingan bahwa ketidak efisienan dalam penyediaan dan

pengelolaan energi listrik tidak lepas dari persoalan kualitas daya listrik. Oleh sebab itu, sangat penting untuk mengidentifikasi, menentukan penyebab dan mengeliminasi masalah-masalah yang dapat menyebabkan menurunnya kualitas daya suatu sistem tenaga listrik.

Terminologi kualitas daya listrik mengacu pada fenomena yang sangat variatif yang memiliki karakteristik tegangan dan arus pada satu satuan waktu dan lokasi yang berbeda dalam sebuah sistem tenaga listrik (Styvaktakis, Bollen and Gu, 2000, p.2681-2682). The International Electrotechnical Commission (IEC) mengklasifikasi berbagai tipe gangguan yang mempengaruhi kualitas daya listrik. Untuk dapat menentukan masalah kualitas daya suatu sistem tenaga listrik dan menentukan metode yang paling tepat guna mengurangi masalah kualitas

daya dibutuhkan pengumpulan data yang mencakup besaran-besaran arus, tegangan, kejadian, frekuensi kejadian, tempat kejadian, gangguan-gangguan dan lokasi pengukuran (Gu, Bollen and Styvaktakis, 2000, p.2943–2944). Kejadian dan frekuensi kejadian sistem tenaga adalah catatan atau hasil observasi dari pengukuran arus atau tegangan yang melebihi batasan pengukuran yang telah ditetapkan. Gangguan sistem tenaga adalah catatan arus atau tegangan yang dapat menyebabkan reaksi pada peralatan elektrik yang terpasang pada lokasi pengukuran (Styvaktakis, Bollen and Gu, 2000, p. 60–62).

Pengukuran dilaksanakan pada lokasi berbeda yang dipilih berdasarkan tipe beban. Pengukuran dilaksanakan secara kontinyu dalam prioda waktu tertentu. Pengukuran arus dan tegangan mencakup pengukuran besaran efektif dan bentuk gelombang (Styvaktakis, Bollen and Gu, 2001, p. 683–684). Dari pengukuran, ditentukan klasifikasi tipe gangguan berdasarkan indeks kualitas daya yang dikategorikan berdasarkan komponen frekuensi yang tercatat pada hasil pengukuran sinyal tegangan selama prioda pengukuran yang dilakukan. Identifikasi ini mengacu pada spesifikasi yang dikeluarkan oleh IEEE dan IEC (Styvaktakis, Bollen and Gu, 2002, p. 423–425). Bilamana indeks ini dapat ditentukan, proses berikutnya adalah menentukan metode yang dapat digunakan untuk mengurangi permasalahan dengan menggunakan analisis filter Kalman (David G. Kreiss, 1991, *Power Quality Analysis*, Dranetz Technologies Inc, New Jersey, USA).

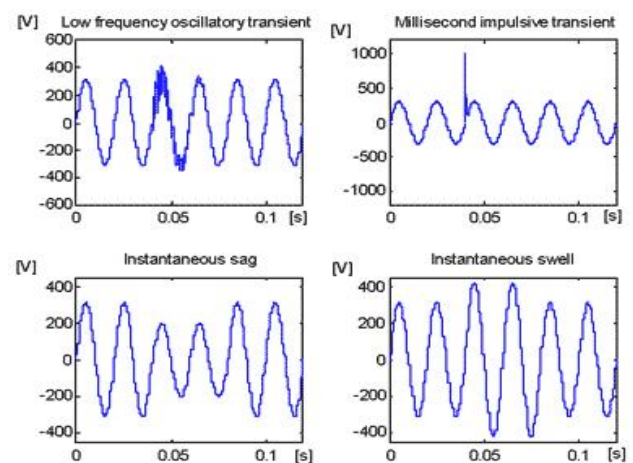
## KUALITAS DAYA

Peningkatan penggunaan peralatan listrik yang sensitif terhadap gangguan sistem tenaga dan aspek ekonominya, peningkatan terhadap kekhawatiran pada isu kualitas daya dan regulasinya, menciptakan kebutuhan untuk memantau operasi sistem tenaga. Konsumen yang memiliki peralatan berbasis solidstate yang sangat sensitif seperti: pengendali kecepatan terkendali, elektronika daya atau komputer, memerlukan mekanisme pemantauan untuk menentukan sumber masalah yang mungkin terjadi dan berusaha menentukan metode yang tepat untuk menyelesaikan atau mengurangi kemungkinan munculnya masalah tersebut. Disisi lain, pengelola sistem tenaga harus memenuhi permintaan konsumennya, memantau kualitas daya yang dihasilkan agar tetap memenuhi tingkatan standar

yang diperbolehkan dan memperoleh informasi yang diperlukan untuk mengatasi masalah tersebut. Akhirnya, deregulasi menciptakan suatu tantangan dan kompetisi dimana kualitas daya menjadi sebuah komoditi yang harus dipantau dan diukur secara berkesinambungan.

Terminologi kualitas daya mengacu pada suatu fenomena elektromagnetik yang sangat variatif, baik dalam frekuensi, durasi dan magnitud serta memiliki karakteristik tegangan dan arus pada suatu waktu dan suatu tempat didalam sebuah sistem tenaga listrik yang sama (Bollen and Styvaktakis, 2000, p.193–194). Kejadian (events) sistem tenaga adalah suatu rekaman atau catatan mengenai tegangan atau arus yang melebihi batasan yang telah ditetapkan. Gangguan sistem tenaga adalah suatu rekaman atau catatan atau pengamatan mengenai tegangan atau arus yang menimbulkan reaksi yang tidak diharapkan pada sistem kelistrikan atau pada peralatan elektronik atau pada suatu sistem. Terminologi masalah daya mengacu kepada keadaan gangguan atau suatu kondisi yang menimbulkan hal-hal yang tidak diharapkan terhadap peralatan atau operasi peralatan, sistem, atau suatu fasilitas.

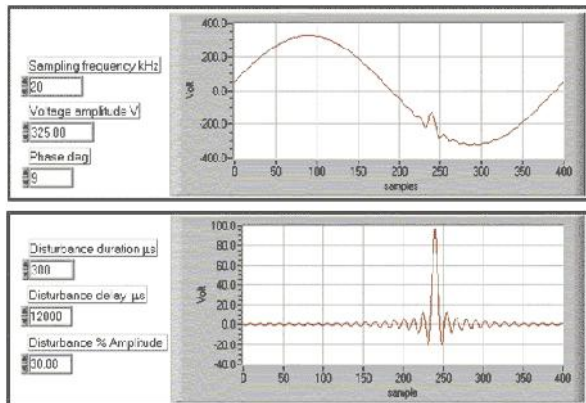
Terminologi kejadian, dipergunakan untuk menjelaskan perubahan signifikan terhadap besaran tegangan atau arus dari kondisi atau ukuran normal tegangan atau arus tersebut, atau dalam bentuk gelombang idealnya seperti Gambar 1.



**Gambar 1.** Bentuk gelombang sistem dalam berbagai kondisi

Sedangkan variasi dipergunakan untuk menggambarkan perubahan kecil dari bentuk gelombang ideal sistem. Pengamatan kejadian dilakukan dengan menggunakan batasan (threshold) yang telah ditetapkan berdasarkan standar yang berlaku. Variasi tegangan atau arus ditentukan dari

hasil pengamatan secara kontinu terhadap besaran tersebut seperti dalam Gambar 2.



**Gambar 2.** Pengamatan tegangan efektif dalam suatu siklus

Beberapa katagori atau klasifikasi fenomena elektromagnetik yang mungkin terjadi pada suatu sistem tenaga listrik diberikan dalam (Bollen and Styvaktakis, 2000, p.193–194). Katagori ini ditetapkan berdasarkan terminologi dan tinjauan terhadap komponen frekuensi yang muncul dalam sinyal tegangan pada saat fenomena tersebut berhasil diamati, durasi dan tipikal magnitud tegangan. Fenomena ini umumnya disebabkan oleh beberapa hal, antara lain: Faktor eksternal dari luar sistem tenaga, seperti sambaran petir dan lainnya; Operasi pensaklaran; Gangguan pada sistem tenaga; dan Beban-beban yang terhubung pada sistem tersebut yang menggunakan elektronika daya.

Untuk beberapa katagori kejadian seperti yang terdapat dalam (Bollen and Styvaktakis, 2000, p.193–194), akan memicu bekerjanya sistem proteksi yang terpasang. Dalam kasus terjadinya gangguan, sistem proteksi akan bekerja untuk mengisolir bagian sistem yang tidak mengalami gangguan. Sistem proteksi ini didesain untuk dapat bekerja dengan waktu pemutusan yang sesingkat mungkin guna mengurangi kemungkinan kerusakan yang timbul baik disisi konsumen maupun disisi pengelola sistem, demikian pula halnya untuk kejadian yang terjadi akibat sambaran petir, peralatan proteksi yang ada akan melindungi sistem yang tidak mengalami gangguan. Namun demikian, untuk katagori fenomena lainnya, operasi sistem proteksi tidaklah cukup.

Peningkatan kebutuhan supervisi, kendali dan kinerja sistem tenaga listrik modern membuat pemantauan kualitas daya menjadi sesuatu yang kurang praktis bagi utilitas sistem tenaga.

Pemantauan kualitas daya dibutuhkan untuk menentukan karakteristik dari fenomena elektromagnetik yang terjadi untuk berbagai lokasi dalam suatu sistem tenaga listrik. Tujuan pemantauan ini menurut (Bollen and Styvaktakis, 2000, p.193–194), antara lain adalah:

1. Mendiagnosis inkompetibeliti dari sistem terhadap beban.
2. Mengevaluasi kondisi lingkungan sistem sebagai bagian dari sistem dalam pembuatan model kajian yang dibutuhkan untuk operasi sistem dimasa mendatang.
3. Memprediksi kinerja masa depan sistem atau mengurangi pengaruh kualitas daya pada peralatan yang terpasang atau beban yang terhubung.

Aspek penting dari pemantauan kualitas daya adalah mengumpulkan data dan informasi yang berhubungan dengan kinerja sistem, dalam terminologi dip tegangan dan interupsi. Untuk dip tegangan, imformasi yang diperoleh (magnitud dan durasi) akan dibandingkan dengan kurva toleransi tegangan dari beban seperti pada (Styvaktakis, Bollen and Gu, 2002, p. 425) guna mengevaluasi pengaruh dari munculnya kejadian ini.

Pemantauan dalam lokasi yang berbeda (Industri, perumahan dan domestik) dibutuhkan untuk menentukan asal masalah dan memberikan informasi yang dibutuhkan untuk menentukan metode yang tepat untuk menyelesaikan masalah. Dalam (Styvaktakis, Bollen and Gu, 2002, p. 425), dijelaskan dua kasus berbeda. Kasus pertama, terjadi pada suatu lokasi yang memiliki sistem pengendali pompa yang sangat sensitif terhadap adanya dip tegangan. Untuk kasus ini, metode penyelesaian yang dipilih adalah dengan jalan memasang sebuah transformator tegangan konstan. Pada kasus lainnya, hasil pemantauan memperlihatkan bahwa pusat-pusat pembangkit dengan letak geografis yang sama memiliki kecenderungan yang sama terhadap munculnya fenomena dip tegangan dengan durasi yang cukup lama. Dip tegangan yang terjadi dengan prioda waktu yang cukup lama akan mempengaruhi operasi beberapa peralatan elektrik yang terhubung pada pusat pembangkit tersebut. Masalah ini diselesaikan dengan cara memperbaiki waktu pemutusan gangguan.

Capaian perkembangan teknologi dalam prosesing sinyal digital, mikroprosesor dan peralatan-peralatan penyimpanan memungkinkan dikembangkan-kannya sistem pemantauan yang

memiliki kapabilitas yang memungkinkan semua fenomena elektromagnetik dapat teramati. Sistem pemantauan dengan variasi yang sangat luas tersedia untuk berbagai keperluan. Sistem pemantauan seperti ini didesain untuk dapat menerima besaran-besaran tegangan dan arus. Tipikal batasan instrumen masukan tegangan dan arus masing-masing sebesar 600 V tegangan efektif dan 5 A arus efektif. Transduser tegangan dan transformator arus diperlukan untuk memperoleh level sinyal yang dibutuhkan, Tipikal parameter kualitas daya yang didapat dari pemantau an antara lain: harga tegangan dan arus efektif, harmonisa tegangan, arus dan total distorsi harmonisa tegangan, arus (THD).

## METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan selama delapan bulan, dilaksanakan didua lokasi, yaitu: Laboratorium Distribusi dan Sistem Tenaga jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Unsri dan beberapa titik pengambilan dan atau pengukuran data, yang mencakup tiga lokasi beban yang dipilih secara proporsif berdasarkan data pelanggan yang ada di Palembang.

Dalam penelitian ini selain dibutuhkan peralatan untuk memantau besaran-besaran listrik diperlukan equipment log. Peralatan utama yang dibutuhkan, antara lain: 1. Circuit/Impedance Tester; 2. RMS Multitester; 3. Clamp-on Current Probe; 4. Oscilloscope; dan 5. Equipment log.

Persiapan penelitian adalah langkah awal dalam implementasi penelitian. Dokumentasi dan pengumpulan data diperlukan dalam menunjang keberhasilan penelitian. Mencatat dan mendokumentasikan fasilitas dan catatan operasi dari sistem yang diamati, sejarah mengenai objek penelitian dibutuhkan dalam penelitian guna mempermudah dalam menentukan dan mengidentifikasi persoalan yang mungkin muncul. Sebelum dilakukan pengukuran, proses awal yang perlu dilaksanakan adalah melaksanakan *visual inspection* dan *physical inspection* mencakup seluruh atau sebagian dari diagram pengkawatan yang ada pada objek penelitian. Letak atau posisi pengamatan harus ditetapkan lebih dahulu. Posisi pengamatan sangat tergantung pada tujuan penelitian ini. Untuk dapat menentukan kualitas sistem, letak pengamatan adalah pada *services entrace* objek penelitian.

Meski pengukuran arus diperlukan, langkah pertama dalam pengamatan daya adalah pengukuran

tegangan dan bilamana memungkinkan baik arus maupun tegangan dapat diukur secara bersamaan. Diagram pengkawatan yang dibutuhkan dalam pengamatan daya dalam penelitian ini diberikan dalam (Hendra Marta Yudha, 2007, Laporan Akhir Hasil Penelitian Dana Hibah PHK A2 Tahun 2007, Unsri, Indralaya, OI). dengan data sheet, equipment log yang digunakan dalam pengamatan seperti disajikan dalam (Hendra Marta Yudha, 2007, Laporan Akhir Hasil Penelitian Dana Hibah PHK A2 Tahun 2007, Unsri, Indralaya, OI).

Bilamana pengamat daya telah terpasang, level tegangan, distorsi tegangan dan aktivitas impulse belum dapat diperoleh. Besaran ini bergantung pada penyetelan batasan yang diinginkan, meliputi: sensitif, normal dan toleran. Langkah berikutnya adalah melakukan pemantauan dan pemeriksaan berkala. Hal ini diperlukan selain untuk mengumpulkan data, juga untuk menghindari dan mengurangi kemungkinan kurang efektifnya pengamatan daya. Bila hal ini terjadi dibutuhkan modifikasi dan relokasi pengamatan daya.

Analisis data adalah untuk mengidentifikasi kualitas daya listrik dan pengaruhnya pada unjuk kerja peralatan yang terhubung pada sistem tenaga listrik tersebut. Kunci untuk mengidentifikasi daya yang berhubungan dengan peralatan listrik terpasang mencakup: kejadian dan jumlah kejadian. Prosedur berikutnya adalah *plotting power monitor event* dan membandingkannya dengan equipment log. Koordinasi pengamatan daya dan equipment log dilakukan untuk analisis kecenderungan. Untuk menentukan klasifikasi dan mengidentifikasi penyebab analisis bentuk gelombang menggunakan metoda *extract key power monitor event*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Penyetelan Harga Batas dan Pemilihan Objek

Langkah awal yang dilakukan sebelum melaksanakan pengukuran adalah menentukan penyetelan harga batas. Penyetelan harga batas untuk kebutuhan pemantau daya terbagi dalam dua katagori, yaitu penyetelan dasar dan penyetelan lanjut. Dalam suatu sistem tenaga listrik, tegangan merupakan 'raja', tanpa tegangan beban tidak akan mungkin bekerja. Untuk menentukan kondisi sistem, kadangkala hanya dibutuhkan pengukuran tegangan guna menentukan kenapa beban berkinerja buruk, ini adalah penyetelan dasar. Meski demikian, bila penyebab atau sumber masalah harus ditentukan,

maka dibutuhkan pengukuran arus. Pengukuran arus dan tegangan diperlukan untuk menentukan apakah beban merupakan korban atau penyebab, ini adalah penyetelan lanjut.

Umumnya terdapat tiga tingkatan batas pemantau daya, yaitu: sensitif, normal dan toleran. Tingkat sensitif merekam hampir semua kejadian dan memperlihatkan masalah yang terjadi didaerah pengukuran. Tingkat Normal merekam kejadian yang lebih berbahaya dan memperlihatkan kapabilitas sistem menerima kejadian, dan tingkat toleran merekam beberapa kejadian yang menunjukkan kemampuan sistem menerima kondisi.

Selain penyetelan harga batas tegangan dibutuhkan pula penyetelan harga batas pengukuran arus. Penyetelan harga batas arus tidak diperlukan pada keadaan normal sehingga penyetelan harga batas hanya untuk batasan harga maksimum yang bergantung pada kemampuan perangkat deteksi arus. Artinya high limit, sensitiviy, wave, impulse dan frequency harus disetel pada batas maksimum, sesuai dengan harga batas yang masih diizinkan.

Persiapan survey adalah langkah awal penelitian, tahap berikutnya pengukuran dan pengambilan data. Sebagai bagian dari proses persiapan dan perencanaan penelitian sangat penting untuk memperoleh informasi mengenai sejarah fasilitas atau peralatan yang dijadikan objek. Catatan kejadian merupakan hal penting lainnya agar hasil pengukuran dapat dijadikan ukuran dalam menentukan kondisi sistem atau peralatan yang diteliti. Aspek penting lainnya selain kedua hal diatas adalah permasalahan izin serta kemudahan pengukuran. Berdasarkan pertimbangan diatas, ditetapkan dua objek penelitian, yaitu: Gedung dan Fasilitas Komputer jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Unsri.

**Pengukuran dan Hasil**

Gedung jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Unsri selesai dibangun tahun 1990 dan dipergunakan tahun 1992. dengan luas ± 2.323,40 m<sup>2</sup>. Sebagian ruangan dipergunakan untuk ruang administrasi, ruang dosen dan sebagian besar ± 1.378,34 m<sup>2</sup> dipergunakan untuk ruang-ruang laboratorium. Instalasi listrik terpasang dibangun bersamaan dengan pembangunan gedung, suplai daya didapat dari PT. PLN (Persero) WS2JB dengan tegangan 220/380 V, 3 , 4W, 50 Hz.

Suplai daya listrik dipergunakan untuk sistem penerangan, pengkondisi udara (AC), kebutuhan laboratorium dan Fasilitas komputer. Sistem penerangan menggunakan lampu TL 40 W, pengkondisi udara digunakan tipe split dengan pola

penggunaan yang sangat variatif dengan beban utama seperti disajikan dalam Tabel 1 berikut.

**Tabel 1.** Beban utama Gedung Jurusan Elektro

No	Nama Peralatan	Daya Terpasang	Unit	Ket
1	AC	1 PK	8	8 h/day
2	AC	¾ PK	2	8 h/day
3.	Transformator uji	24 kV, 5 kVA	1	3 times/day
4.	Motor Induksi	1 , 220 V, 500W	1	2 h/day/smt
5.	Sistem Penerangan	8.800 W	45	18 h/day, UF = 0,3

Belum adanya aturan yang mewajibkan pengguna listrik melakukan pemeriksaan berkala terhadap instalasi listrik mengakibatkan hampir tidak ada catatan mengenai kondisi instalasi terpasang, sehingga tidak dapat dipastikan apakah instalasi yang ada, terutama yang usianya sudah diatas 10 tahun, masih layak untuk dipergunakan.

**Tabel 2.** Catatan kejadian pada Sistem

No	Tanggal/ Thn	Waktu	Uraian Kejadian	Un-usualevent
1	2007	Unknown	Computer memory scramble	No breaker was opened
		Unknwon	Hardisk crash	
2	2006	Unknown	Penambahan beban sebesar 4 A (AC – 2 PK)	Unbalaced
3	2005	Unknwon	Penambahan beban Fasilitas Komputer (AC + Komputer)	Unbalance d
5	2004	Unknwon	Kontaktor pada AC ruang pimpinan terbakar	Breaker failure
		Unknwon	Kontaktor pada AC ruang pimpinan terbakar	Breaker opened
6	2003	Unknwon	Receptacle burning	Breaker opened
		Unknwon	UPS exploded	Breaker opened
7.	2002	Unknwon	Kontaktor AC terbakar	Breaker failure
8	2001	Unknown	Hardisk crash	No breaker was opened

Selain itu, jika terjadi perubahan tidak diikuti dengan revisi diagram pengkawatan atau segaris dari instalasi, namun demikian beberapa catatan kejadian yang berhasil direkam tersaji dalam Tabel 2.

Pemeriksaan objek penelitian meliputi pemeriksaan visual dan fisik. Pemeriksaan visual mencakup pemeriksaan tipe layanan atau instalasi, faktor utilitas dan instalasi kapasitor sebagai korektor, fasilitas utilitas lain terdekat dan Gardu Distribusi terdekat. Selain pemeriksaan visual luar dilaksanakan pula pemeriksaan visual dalam. Hasil pemeriksaan visual pada objek penelitian diberikan dalam Tabel 3.

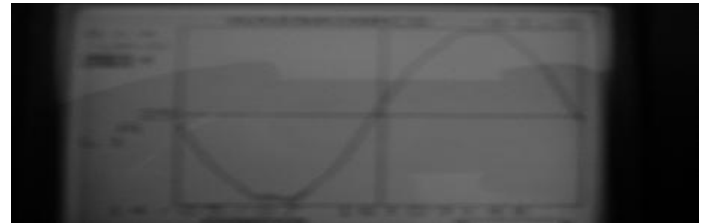
**Tabel 3.** Hasil pemeriksaan visual Objek Penelitian

No	Objek	Hasil Pemeriksaan Visual
1	Tipe Instalasi	Aerial – inbow, 3 , 4 W, ungrounded
2	Faktor Utilitas	± 40%
3	Instalasi kapasitor sbg korektor	Tidak ADA
4	Fasilitas utilitas terdekat	± 500 m
5	Gardu Distribusi Terdekat	± 2.500 m
6	UPS sistem	ADA
7	AC	Tipe split, 10 unit, 1 PK
8	Transformator Uji Teg. Tinggi	ADA

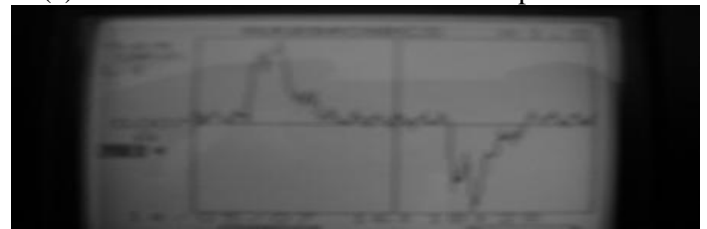
Setelah pemeriksaan visual dilakukan pemeriksaan fisik mencakup peninjauan kembali fasilitas terpasang berdasarkan diagram pengkawatan yang dibuat sebelum instalasi terpasang dan revisi diagram pengkawatan yang terakhir dilakukan. Pemeriksaan fisik meliputi pemeriksaan: equipment power cord and plugs, receptacles, undercarpet wiring, electrical panel board, electrical conduit dan electrical service entrance. Pemeriksaan panelboard mencakup pemeriksaan sistem pentanahan, pengukuran tegangan fasa-fasa, tegangan fasa netral dan tegangan fasa-tanah. Selain itu juga dilakukan pengukuran arus pada rangkaian cabang dan konduktor penyalur. Hasil pemeriksaan dan pengukuran panelboards, ringkasan hasil pemeriksaan fisik pada kedua objek penelitian dan gambar rekaman hasil pemeriksaan fisik electrical service entrance dan panelboard pada objek penelitian disajikan dalam (Hendra Marta Yudha, 2007, Laporan Akhir Hasil Penelitian Dana Hibah PHK A2 Tahun 2007, Unsri, Indralaya, OI).

Pemantauan daya memerlukan prosedur khusus guna dapat meng-identifikasi penyebab atau asal kejadian. Penentuan lokasi didasarkan pada

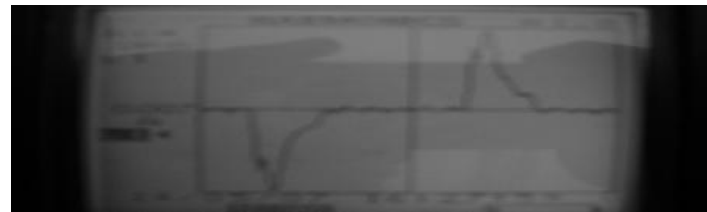
kebutuhan pemantauan. Dalam penelitian ini, lokasi pemantauan dilakukan pada dua lokasi, yaitu: panelboard dan receptable yang berada di Ruang Fasilitas Komputer, dengan koneksi seperti pada (Hendra Marta Yudha, 2007, Laporan Akhir Hasil Penelitian Dana Hibah PHK A2 Tahun 2007, Unsri, Indralaya, OI).



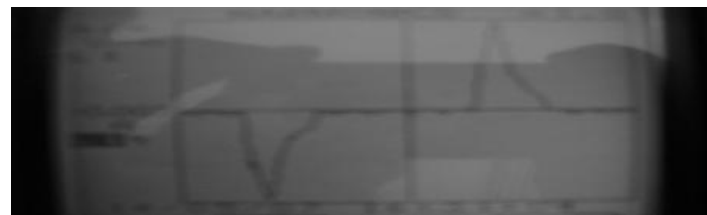
(a). Service entrance saat kondisi breaker posisi Off



(b) Receptacles pada saat sistem penerangan LHE



(c) Rekaman tegangan saat LHE dinyalakan



(d) LHE dan komputer dinyalakan

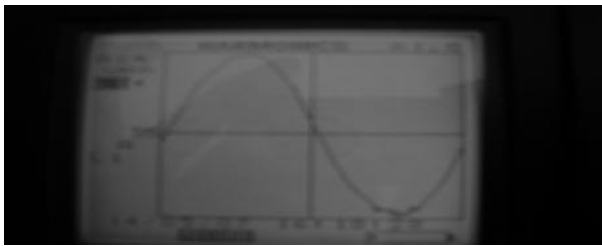


(e) Beban non linear dinyalakan

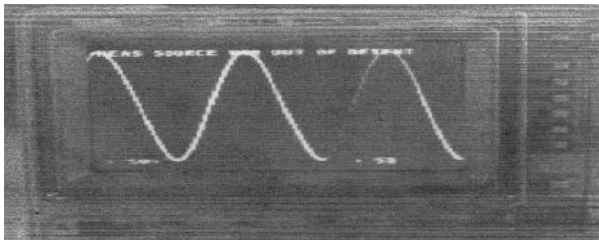
**Gambar 3.** Hasil rekaman tegangan panel board entrance Gedung jurusan Teknik Elektro

Diagram pengkawatan merupakan penyetelan pemantauan dasar (tegangan) dan penyetelan pemantauan lanjutan (tegangan dan arus) untuk

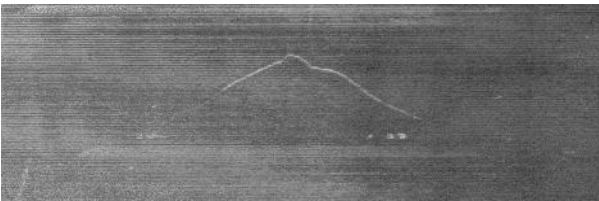
berbagai konfigurasi pemantauan daya pada umumnya. Ringkasan hasil pemantauan daya secara lengkap disajikan dalam (Hendra Marta Yudha, 2007, Laporan Akhir Hasil Penelitian Dana Hibah PHK A2 Tahun 2007, Unsri, Indralaya, OI). Sedangkan rekaman hasil pemantauan daya pada objek penelitian untuk berbagai konfigurasi dan kondisi disajikan dalam Gambar 1 dan Gambar 2.



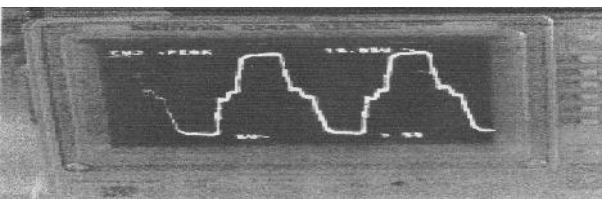
(a) Tanpa beban



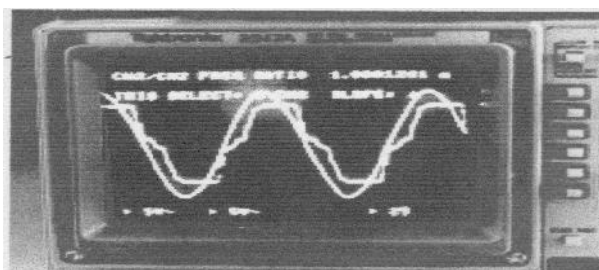
(b) Komputer Tipe 1 dinyalakan



(c) Komputer Tipe 2 dinyalakan



(d) UPS dinyalakan



(e) Semua beban Fasilitas Komputer dinyalakan

**Gambar 4.** Hasil rekaman tegangan receptacles Fasilitas Komputer

### Pembahasan dan Analisis Data

Sasaran pertama dari analisis data pemantauan adalah mengidentifikasi apakah daya menimbulkan suatu masalah yang mempengaruhi kinerja peralatan. Kunci dari identifikasi adalah untuk: melihat apakah power event yang terjadi pada saat suatu peralatan tidak berfungsi, mengidentifikasi power event yang melebihi parameter-parameter kinerja bagi peralatan yang terpengaruh, meninjau kembali data hasil pemantauan untuk mengidentifikasi sesuatu yang tidak lazim atau kerusakan yang mungkin terjadi dan korelasi antara masalah yang ditemukan selama pemeriksaan dan gejala yang terjadi pada suatu peralatan.

Satu kesulitan dari pemantau daya karena ketergantungan observasi dan kesimpulan hanya pada keakuratan hasil rekaman data. Jika peristiwa tidak terjadi selama prioda pemantauan, maka hasil akhir dari tidak akan menghasilkan sebuah kesimpulan adanya suatu kejadian. Jika suatu kejadian tidak berhubungan dengan hasil rekaman daya terjadi sewaktu muncul sebuah masalah kinerja peralatan, lalu bentuk gelombang yang salah terekam. Oleh karena itu sangat penting untuk melakukan konfirmasi yang memperlihatkan korelasi antara suatu peristiwa dan gejala yang dialami oleh suatu peralatan.

Beberapa peralatan mengalami gejala atau tanda-tanda yang berhubungan dengan masalah daya, contohnya tegangan sag dan tegangan jatuh akan mengakibatkan peralatan mereset ulang atau reboot. Mengacu pada (David G. Kreiss, 1991, Power Quality Analysis) sebagai verifikasi yang menunjukkan korelasi antara gejala yang dialami oleh peralatan listrik dan kejadian pemantau daya. Bila gejala yang terjadi memiliki korelasi dengan kejadian pada rekaman pemantau daya dapat disimpulkan bahwa masalah mungkin terjadi pada sistem yang dipantau dan hal ini dapat dikonfirmasi dari hasil pemeriksaan visual dan fisik, sehingga dapat dicarikan solusinya.

Identifikasi sumber atau asal kejadian merupakan hal penting untuk menjamin agar perbaikan yang dilaksanakan dapat berhasil. Pencocokan bentuk rekaman gelombang pemantau daya adalah salah satu dari tiga teknik yang dapat dipergunakan, namun cara ini tidak selalu berhasil. Teknik berikutnya adalah dengan cara menggeser-geser lokasi atau titik pemantauan, bila titik pemantauan semakin dekat dengan sumber atau asal kejadian, tingkat kerusakan semakin meningkat. Teknik ketiga adalah merekam bentuk gelombang tegangan dan arus pada saat kejadian.

### **Tegangan SAG**

Fenomena tegangan Sag pada beban disebabkan oleh beberapa hal, antara lain: gangguan pada sumber, interaksi beban dengan pengkawatan dan interaksi beban dengan tegangan impedansi sumber.

Kebanyakan beban listrik membutuhkan daya agar dapat bekerja sesuai fungsinya. Pada saat beban membutuhkan daya, beban akan menyebabkan arus mengalir. Arus akan berinteraksi dengan impedansi sepanjang jalur yang dilalui, hal ini menimbulkan susut tegangan. Bila susut ini cukup besar, tegangan yang akan diterima oleh peralatan akan menurun drastis, hal ini menyebabkan penurunan daya yang digunakan oleh peralatan dan akan mempengaruhi kinerja peralatan. Tegangan Sag yang terjadi dalam waktu singkat dapat menimbulkan kerusakan.

Pada saat beban-beban listrik dinyalakan, arus inrush yang terjadi cukup besar. Dalam kasus pada objek penelitian, arus inrush mungkin terjadi pada saat startup dari beberapa beban terpasang, seperti pengkondisi udara, transformator pengujian tegangan dan beban-beban non linear lain. Rekaman tegangan pada saat startup beban-beban non linear yang memiliki korelasi dengan tegangan Sag. Namun demikian dari hasil pemantauan, indikasi terjadinya tegangan jatuh pada saat startup beban-beban non linear tidak terjadi.

### **Tegangan Netral - Pentanahan**

Tegangan netral-pentanahan disebabkan oleh beberapa hal, yaitu: arus balik yang melalui konduktor netral, tahanan konduktor netral yang berlebihan, arus tanah dan tahanan pentanahan yang terlalu besar. Pengukuran tegangan antara netral dan pentanahan lazim dilakukan. Arus mengalir melalui konduktor netral akan berinteraksi dengan tahanan konduktor menyebabkan tegangan jatuh sepanjang lintasan konduktor. Pengukuran tegangan antara kawat netral dan pentanahan mulai dari titik awal pengukuran sampai pada titik dimana kawat netral dibonding bersama. Berdasarkan rekomendasi NEC 1990, maksimum tegangan jatuh dari titik pengukuran sampai titik dimana bonding dilakukan sebesar 5%. Dari hasil pemeriksaan fisik dan pengukuran yang dilaksanakan pada main entrance objek penelitian menunjukkan tegangan jatuh terukur hanya 6 Volt, jauh dibawah angka 5% dari tegangan sistem tiga fasa 380 V.

### **Impulse**

Kebanyakan impulse pada suatu fasilitas dibangkitkan saat beban on dan off. Impulse seperti ini terjadi akibat pertemuan antara kontak-kontak saklar atau akibat transisi arus yang disebabkan adanya interaksi dengan impedansi sumber.

Peristiwa seperti ini seringkali mengakibatkan kehilangan energi sesaat pada jaringan daya akibat distorsi dan susut daya. Impulse yang sangat cepat akan menurun secara drastis akibat impedansi jaringan, impulse tipe ini hanya terjadi didekat sumber daya.

Arah asal dari sebuah impulse dapat ditentukan dengan melihat polaritas hasil rekaman tegangan dan arus. Jika perubahan polaritas keduanya terjadi bersamaan, kemungkinan asal impulse dari sumber daya, jika kedua polaritas berubah berlawanan, maka asal impulse dipastikan dari beban terhubung.

Dari rekaman tegangan yang terpantau memperlihatkan kemungkinan terjadinya impulse pada Fasilitas Komputer seperti diperlihatkan pada Gambar 5.5a. pada (Hendra Marta Yudha, 2007, Laporan Akhir Hasil Penelitian Dana Hibah PHK A2 Tahun 2007, Unsri, Indralaya, OI). Fakta hasil pemeriksaan visual atau fisik menunjukkan kemungkinan terjadinya loose connection (Tabel 5.8 pada (Hendra Marta Yudha, 2007, Laporan Akhir Hasil Penelitian Dana Hibah PHK A2 Tahun 2007, Unsri, Indralaya, OI). Meski impulse tidak mengandung jumlah energi yang cukup besar, perubahan tegangan dan arus yang sangat cepat dapat berpengaruh pada beban sensitif seperti komputer dan peralatan elektronik.

### **Distorsi Tegangan**

Distorsi adalah deviasi suatu besaran dari suatu bentuk gelombang ideal tertentu menjadi sebuah bentuk gelombang yang mengalami kecacatan. Untuk sistem ketenagalistrikan yang dioperasikan secara komersial, distorsi tegangan adalah deviasi yang terjadi pada suatu gelombang sinusoidal 50 Hz. Deviasi gelombang ini terukur sebagai suatu distorsi harmonik. Dua penyebab utama adalah arus harmonisa yang muncul akibat beroperasinya beban-beban non linear dan sumber daya dengan karakteristik tegangan non sinusoidal.

Distorsi tegangan mempengaruhi beban-beban elektronik dengan tiga cara, yaitu: distorsi bentuk gelombang tegangan mungkin menurunkan suplai daya ke beban, mengurangi waktu yang dibutuhkan oleh suatu peralatan untuk menyelesaikan rangkaian operasinya dan distorsi tegangan menyebabkan kesalahan deteksi besaran operasi sehingga peralatan beroperasi salah.

Untuk menentukan penyebab distorsi dapat dilakukan dengan cara mengukur total distorsi harmonik tegangan dan arus pada beban. Beban yang menimbulkan distorsi harmonik akan menimbulkan level arus harmonisa yang tinggi, sedangkan beban yang tidak menimbulkan distorsi



harmonik menimbulkan level arus harmonik yang rendah.

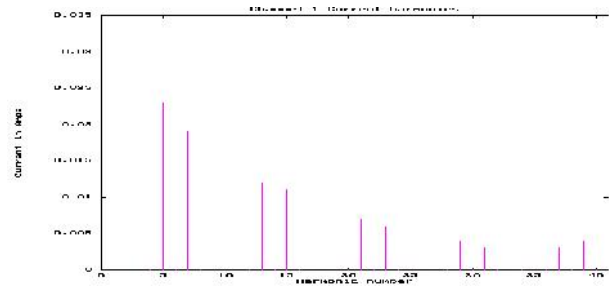
Distorsi harmonik dari bentuk tegangan umumnya disebabkan oleh interaksi antara arus harmonisa beban dan kombinasi antara impedansi sumber tegangan dan fasilitas sistem distribusi. Distorsi harmonik pada umumnya sangat nyata dan muncul dengan kecacatan pada bentuk gelombang idealnya.

Kondisi ini terlihat nyata dari hasil rekaman pemantauan daya dari kedua lokasi pengukuran. Pada saat sistem penerangan diaktifkan dan posisi beban off, rekaman memperlihatkan bentuk gelombang sinusoidal yang tidak mengalami kecacatan, demikian pula pada waktu sistem penerangan dinyalakan, diperoleh hasil yang sama. Sebaliknya saat dioperasikan beberapa beban non linear, rekaman secara nyata memperlihatkan adanya distorsi tegangan, baik pada saat pengukuran dilakukan di entrance Gedung maupun pada receptacle yang menghubungkan beban-beban non linear tersebut dengan suplai daya yang tersedia di ruang fasilitas komputer dengan bentuk kecacatan yang terjadi berbeda satu dengan lainnya. Selain dapat dilihat dari hasil rekaman pemantauan daya, hasil pengujian crest factor juga memperlihatkan kecenderungan yang sama, ringkasan hasil perhitungan diberikan pada Tabel 4.

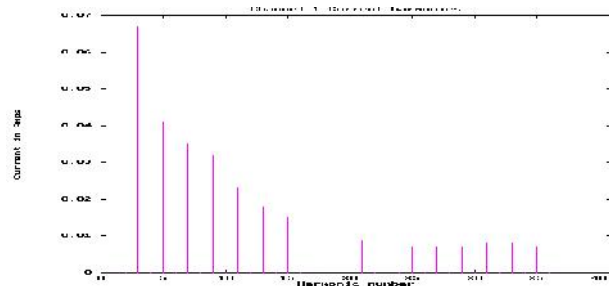
**Tabel 4.** Hasil Pemantauan THD pada Fasilitas Komputer

$V_{rms}(V)$	$V_{peak}(V)$	$V_{THD}(\%)$	$I_{THD}(\%)$	Tipe Beban
220.3		3.6	0	No Load
142.54	102	3.5	7.1	PC Tipe 1,2
141.25	100	3.5	98	LHE
154.25	102.5	3.2	87.65	UPS
148.35	100.5	3.1	107.3	Printer
142.54	102.5	3.1	112.1	All PC
152.20	110.50	3	74.6	PC with UPS
154.50	110.50	3.05	84.6	All load

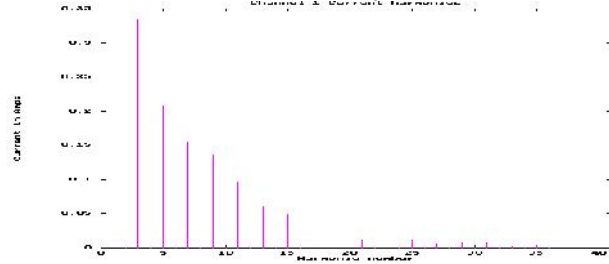
Dari ringkasan hasil perhitungan dan rekaman pemantauan daya nyata terlihat adanya distorsi harmonik pada saat beroperasinya beban-beban non linear tersebut. Komponen arus harmonisa yang muncul secara dominan pada hampir semua peristiwa adalah harmonisa ketiga dan komponen harmonisa tertinggi adalah harmonisa ke 39, seperti yang terlihat pada hasil ekstrasi rekaman pemantauan daya pada Gambar 3.



(a). Hasil ekstraksi daya beban penerangan



(b). Hasil ekstraksi daya beban PC



(c). Hasil ekstraksi daya beban lainnya

**Gambar 5.** Ekstraksi hasil rekaman pemantauan daya untuk berbagai kondisi

### Penanganan Masalah

Dari hasil pemantauan dan hasil analisis yang dilakukan terlihat bahwa sistem ketenagalistrikan objek penelitian memiliki kecenderungan mengalami elektromagnetik Impulse nanosecond, temporary interruption Sag dan harmonic wavedistortion yang dapat dieliminasi dengan cara tertentu, sebagai berikut.

### Impulse

Impulse tegangan mencapai sirkit logik dari peralatan listrik melalui tiga cara yang berbeda. Pertama, impulse dapat melewati peralatan listrik melalui lintasan kapasitip. Lintasan kapasitip yang mungkin terbentuk antara lain kapasitansi antar belitan transformador, kabel data dan kabel daya, serta rangkaian yang terhubung dengan konduktor penghubung sumber daya. Kedua, impulse dapat searah dengan sumber dan lewat langsung ke peralatan melalui sumber daya terhubung. Ketiga, elevasi tegangan berasal dari ground menuju titik sumber. Faktor-faktor yang akan mempengaruhi kemampuan impulse mempengaruhi beban antara

lain: amplitudo, lama kejadian, frekuensi kejadian filter sistem dan baypas kapasitor, desain semikonduktor dan kecepatan operasi dan pentanahan. Mengacu pada gejala kerusakan yang terjadi pada beban kelistrikan yang ada dan hasil pemeriksaan fisik yang dilakukan penyelesaian awal yang dapat dilakukan untuk mengurangi pengaruh impulse tegangan dengan, antara lain: memperbaiki rangkaian yang mengalami loose connection, mengganti breaker yang mengalami kegagalan dan memindahkan beban-beban sensitif.

### Tegangan SAG

Kebanyakan tegangan Sag yang terjadi pada sebuah fasilitas akibat penyalan beban-beban yang membutuhkan arus awal cukup besar. Tegangan jatuh terjadi disebabkan adanya aliran arus inrush yang cukup besar yang melalui impedansi sepanjang lintasannya menuju beban. Kebanyakan tegangan Sag yang berasal dari utilitas listrik muncul karena operasi pemisahan gangguan. Mengacu pada fenomena yang terjadi pada objek penelitian dimana beberapa peralatan mengalami gejala kegagalan sebagaimana gejala yang terjadi pada peralatan yang mengalami tegangan Sag, seperti reset atau reboot dan deteksi adanya jatuh tegangan yang dapat disebabkan loose wiring atau penyalan beban, penyelesaian awal yang dapat dilakukan adalah memperbaiki pengkawatan sistem, mengganti breaker yang pernah mengalami kerusakan dan menggunakan UPS.

### Distorsi Tegangan

Distorsi tegangan mengakibatkan kenaikan temperatur terutama pada motor listrik dan transformator. Kehilangan tegangan puncak mungkin dapat mengakibatkan pendeteksi operasi sebuah peralatan listrik mendeteksi besaran yang salah sehingga peralatan beroperasi tidak sebagaimana seharusnya.

Meski distorsi harmonisa secara nyata terdeteksi pada objek penelitian, namun gejala kerusakan pada peralatan yang dipergunakan tidak terdeteksi, namun demikian, dengan pertimbangan bahwa dimasa mendatang akan terjadi perubahan beban yang cukup besar, maka perlu dilakukan penanganan segera untuk mengurangi terjadinya distorsi tegangan dengan cara memasang filter harmonisa pada beban sensitif dan melaksanakan pemindahan beban.

### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penggunaan beban-beban non linear mengakibatkan distorsi harmonisa pada sistem ketenagalistrikan Gedung jurusan Teknik Elektro.
2. Munculnya fenomena elektromak-netik pada sebuah sistem ketenagalistrikan mengakibatkan penurunan kualitas sistem tersebut.
3. Sistem pengkawatan terpasang memiliki peran dominan terhadap kemungkinan terjadinya fenomena elektromagnetik pada suatu instalasi terpasang.

### DAFTAR PUSTAKA

- David G. Kreiss, 1991, *Power Quality Analysis*, Dranetz Technologies Inc, New Jersey, USA.
- E. Styvaktakis, M.H.J. Bollen and I.Y.H. Gu, 2000. *Classification of Power System Transients: Synchronised Switching*, IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, vol. 4, pp. 2681–2686.
- E. Styvaktakis, M.H.J. Bollen and I.Y.H. Gu, 2000. *Transformer Saturation After a Voltage Dip*, IEEE Power Engineering Review, vol. 20, no. 4, pp. 60–62.
- E. Styvaktakis, M.H.J. Bollen and I.Y.H. Gu, 2001. *Voltage Dip Detection and Power System Transients*, IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, vol. 1, pp. 683–688.
- E. Styvaktakis, M.H.J. Bollen and I.Y.H. Gu, 2002. *Expert System for Classification and Analysis of Power System Events*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 17, no. 2, pp. 423–428.
- Hendra Marta Yudha, 2007, *Laporan Akhir Hasil Penelitian Dana Hibah PHK A2 Tahun 2007*, Unsri, Indralaya, OI
- I.Y.H. Gu, M.H.J. Bollen and E. Styvaktakis, 2000. *The use of Time-Varying AR Models for The Characterization of Voltage Disturbances*, IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, vol. 4, pp. 2943–2948
- M.H.J. Bollen and E. Styvaktakis, 2000. *Tutorial on Voltage Sag Analysis*, 9<sup>th</sup> International IEEE Conference on Harmonics and Quality of Power, vol. 1, pp.193–194.