



UNIVERSITAS INDONESIA

**AUDIT KUALITAS DAYA LISTRIK
KHUSUSNYA HARMONISA
PADA INDUSTRI PAPER**

SKRIPSI

IBNU NGAKIL

08 06 36 5910

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA**

JUNI, 2010



UNIVERSITAS INDONESIA

**AUDIT KUALITAS DAYA LISTRIK
KHUSUSNYA HARMONISA
PADA INDUSTRI PAPER**

SKRIPSI

**Diajukan untuk melengkapi
sebagian persyaratan menjadi sarjana teknik**

IBNU NGAKIL

08 06 36 5910

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
JUNI, 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Ibnu Ngakil

NPM : 0806365910

Tanda Tangan :

Tanggal : 15 Juni 2010


LEMBAR PENGESAHAN


Skripsi ini diajukan oleh :


Nama : Ibnu Ngakil
NPM : 0806365910
Program Studi : Elektro
Judul Skripsi : Audit Kualitas Daya Listrik Khususnya Harmonisa
Pada Industri Paper

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. I Made Ardita Y MT ()

Penguji : Prof. Dr. Iwa Garniwa M K MT ()

Penguji : Chairul Hudaya ST, M.Sc ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 01 Juli 2010

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis sampaikan kepada Allah SWT atas segala Karunia dan Rahmat-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

Ir. I Made Ardita Y MT

Sebagai dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan arahan, bimbingan dan diskusi sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak, ibu dan adik-adikku atas segala dukungan moril dan materil yang telah diberikan.
2. Rekan-rekan elektro angkatan 2008.
3. Seluruh civitas akademika Departemen Elektro Universitas Indonesia yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ibnu Ngakil
NPM : 0806365910
Program Studi : Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas skripsi saya yang berjudul :

Audit Kualitas Daya Listrik Khususnya Harmonisa Pada Industri Paper

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 15 Juni 2010
Yang menyatakan

(Ibnu Ngakil)

ABSTRAK

Nama : Ibnu Ngakil
Program Studi : Teknik Elektro
Judul : Audit Kualitas Daya Listrik Khususnya Harmonisa Pada Industri Paper

Kualitas daya listrik punya peranan yang sangat penting bagi kehidupan di abad era informasi ini, baik dibidang telekomunikasi, teknologi informasi, industri dan sebagainya. Perkembangan teknologi yang begitu pesat telah mendorong terciptanya pemakaian sistem otomasi yang makin kompleks bagi suatu industri, termasuk adanya penggunaan peralatan kontrol yang sensitif terhadap perubahan deviasi tegangan. Jika kualitas suplai daya listrik kurang baik dan sering mengalami gangguan akan berdampak secara ekonomis bagi perusahaan tersebut berupa kerugian seperti rusaknya peralatan, produk yang dihasilkan menjadi cacat atau sampai mengakibatkan aktifitas produksi jadi terhenti. Oleh karena itu perlu mengetahui tingkat kualitas daya listrik pada perusahaan yang bersangkutan dengan melakukan audit, minimal audit pada kondisi *steady state* yang meliputi beberapa parameter yaitu tegangan, frekuensi, faktor daya dan harmonisa.

Audit ini dilakukan pada industri paper untuk mengetahui sejauh mana tingkat kualitas daya listrik khususnya pengaruh harmonisa pada industri tersebut. Hasil audit diketahui bahwa harmonisa arus I_{THD} cukup tinggi pada trafo distribusi 2 MVA yang digunakan untuk mensuplai motor-motor induksi 3 fasa dan AC Drives sebagai pengatur kecepatan putarannya. Dari hasil audit tersebut bisa selanjutnya dilakukan analisa dan perlu tindakan untuk menurunkan besarnya harmonisa arus I_{THD} sehingga nilainya masih dalam batas yang diijinkan sesuai standar IEEE 559-1992, salah satu solusinya dengan memasang filter pasif pada sisi *outgoing* trafo tersebut.

Kata Kunci : Kualitas Daya Listrik, Faktor Daya, Harmonisa, dan Filter Pasif

ABSTRACT

Name : Ibnu Ngakil
Study Program : Teknik Elektro
Title : Auditing Of Power Quality Especially Harmonics In Paper Industry

The power quality is essential for the life of the information in this century, such as telecommunications, information technology, industries, etc. So rapid technological developments have encouraged the creation of increasingly complex automation systems using an industry, including the use of control equipment which is sensitive to changes in voltage deviation. if the quality of electric power supply is less well and frequent disturbances will have an economic impact for the company in the form of loss, such as damaged equipment, produced a defective product or to result in productive activities stopped. Therefore it is necessary to know the level of quality of energy in the respective companies with audit, minimum audit at steady state which covers a number of parameters, i.e. voltage, frequency, power factor and harmonics.

This audit is carried out in the paper industry to determine the scope of the power quality, especially the influence of the harmonics in the industry. The audit results found that high harmonics currents on the distribution I_{THD} than 2 MVA transformers used to supply motor three-phase induction motors and AC Drives as the rotation speed controller. From the results will be further analyzed and the necessary measures to reduce the amount of harmonic currents I_{THD} so that the values are still within the allowable limits based on IEEE standard 559-1992, one solution is to install passive filters on the side of the transformer output.

Key words: Power Quality, Power Factor, Harmonics, and Passive Filter

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PUBLIKASI	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	1
1.3 Tujuan Audit	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Sistematika Penulisan	2
BAB 2 LANDASAN TEORI.....	3
2.1 Kualitas Daya Listrik.....	3
2.2 Tegangan Listrik	4
2.3 Frekuensi	8
2.4 Faktor Daya.....	8
2.5 Harmonisa	10
BAB 3 AUDIT KUALITAS DAYA LISTRIK	21
3.1 Sinle Line Diagram 3 Fasa.....	22
3.2 Data Teknik.....	22
3.3 Data Pengukuran	26
BAB 4 ANALISA HASIL AUDIT.....	30
4.1 Analisa Tegangan	30
4.2 Analisa Tegangan Unbalance Dan Keseimbangan Beban.....	32
4.3 Analisa Frekuensi.....	33
4.4 Analisa Faktor Daya.....	35
4.5 Analisa Harmonisa.....	37
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Kesimpulan	41
5.2 Saran.....	41
DAFTAR ACUAN	42
DAFTAR PUSTAKA.....	43
LAMPIRAN.....	44

DAFTAR TABEL

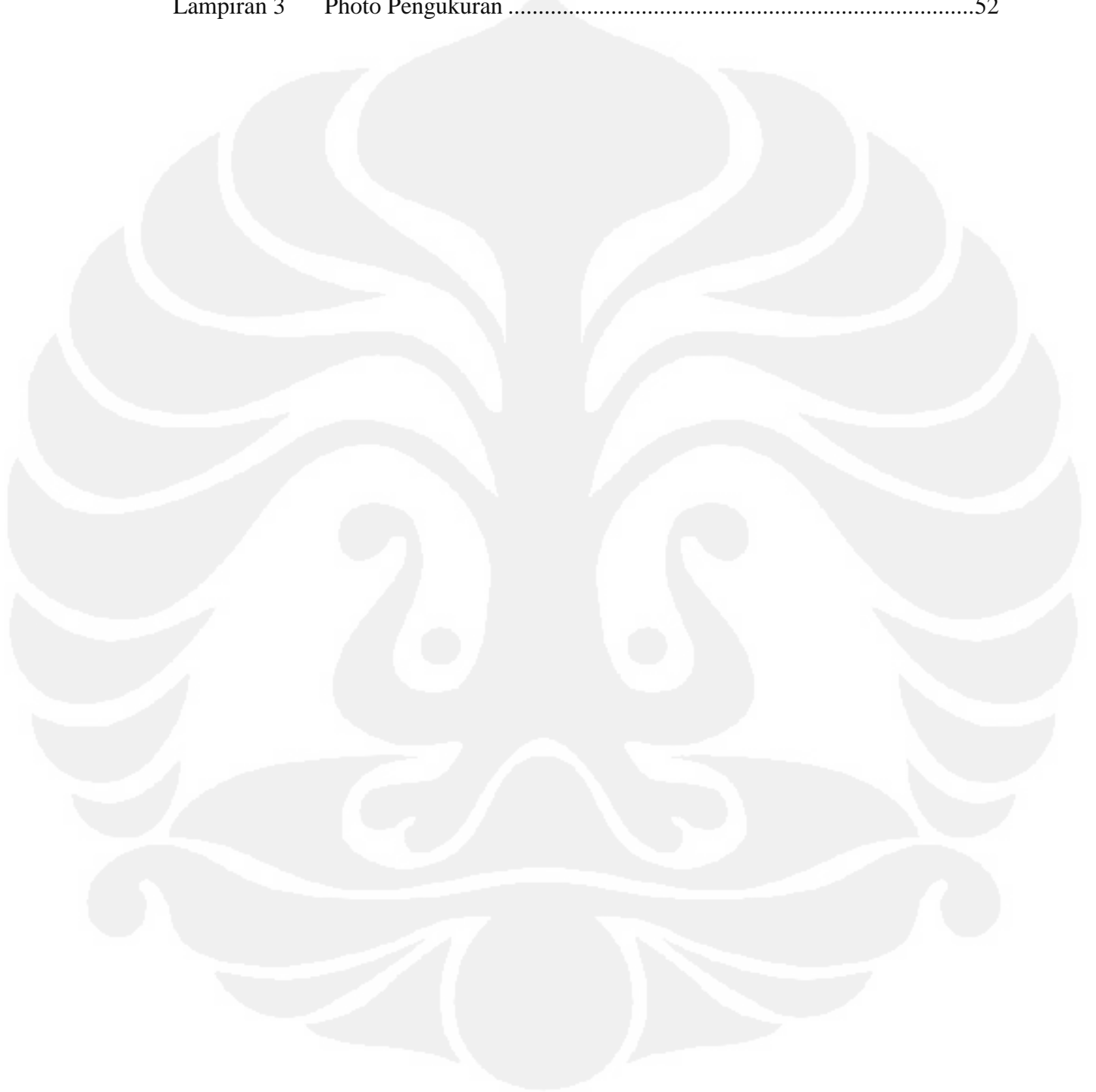
Tabel 2.1	Tabel Polaritas Orde Harmonisa.....	13
Tabel 2.2	Tabel Limit Distorsi Arus Harmonisa.....	14
Tabel 2.3	Tabel Limit Distorsi Tegangan Harmonisa.....	15
Tabel 3.1	Tabel Hasil Pengukuran Trafo 01.....	27
Tabel 3.2	Tabel Hasil Pengukuran Trafo 03.....	27
Tabel 3.3	Tabel Hasil Pengukuran Trafo 04.....	28
Tabel 3.4	Tabel Hasil Pengukuran Trafo 05.....	28
Tabel 3.5	Tabel Hasil Pengukuran Trafo 06.....	28
Tabel 3.6	Tabel Hasil Pengukuran Orde Harmonisa Arus Trafo 06.....	29
Tabel 4.1	Tabel Deviasi Tegangan Incoming Trafo 01.....	30
Tabel 4.2	Tabel Deviasi Tegangan Outgoing Trafo 01.....	30
Tabel 4.3	Tabel Deviasi Tegangan Outgoing Trafo 03.....	30
Tabel 4.4	Tabel Deviasi Tegangan Outgoing Trafo 04.....	31
Tabel 4.5	Tabel Deviasi Tegangan Incoming Trafo 05.....	31
Tabel 4.6	Tabel Deviasi Tegangan Outgoing Trafo 06.....	31
Tabel 4.7	Tabel Tegangan Unbalance.....	32
Tabel 4.8	Tabel Kesetimbangan Arus Beban.....	33
Tabel 4.9	Tabel Deviasi Frekuensi Incoming Trafo 01.....	33
Tabel 4.10	Tabel Deviasi Frekuensi Outgoing Trafo 03.....	34
Tabel 4.11	Tabel Deviasi Frekuensi Outgoing Trafo 04.....	34
Tabel 4.12	Tabel Deviasi Frekuensi Outgoing Trafo 05.....	34
Tabel 4.13	Tabel Deviasi Frekuensi Outgoing Trafo 06.....	35
Tabel 4.14	Tabel Faktor Daya Incoming Trafo 01.....	35
Tabel 4.15	Tabel Faktor Daya Outgoing Trafo 03.....	36
Tabel 4.16	Tabel Faktor Daya Outgoing Trafo 04.....	36
Tabel 4.17	Tabel Faktor Daya Outgoing Trafo 05.....	36
Tabel 4.18	Tabel Faktor Daya Outgoing Trafo 06.....	36
Tabel 4.19	Tabel Harmonisa Arus I_{THD} Outgoing Trafo 03.....	37
Tabel 4.20	Tabel Harmonisa Arus I_{THD} Outgoing Trafo 04.....	38
Tabel 4.21	Tabel Harmonisa Arus I_{THD} Outgoing Trafo 05.....	38
Tabel 4.22	Tabel Harmonisa Arus I_{THD} Outgoing Trafo 06.....	38
Tabel 4.23	Tabel Harmonisa Tegangan V_{THD} Outgoing Trafo 03.....	39
Tabel 4.24	Tabel Harmonisa Tegangan V_{THD} Outgoing Trafo 04.....	39
Tabel 4.25	Tabel Harmonisa Tegangan V_{THD} Outgoing Trafo 05.....	39
Tabel 4.26	Tabel Harmonisa Tegangan V_{THD} Outgoing Trafo 06.....	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tegangan Sag Akibat Short Phase Ground.....	6
Gambar 2.2	Tegangan Sag Akibat Starting Motor.....	7
Gambar 2.3	Tegangan Swell.....	7
Gambar 2.4	Segitiga Daya.....	9
Gambar 2.5	Perbaikan Faktor Daya.....	10
Gambar 2.6	Bentuk Gelombang Harmonisa	11
Gambar 2.7	Gelombang Harmonisa Ketiga Dan Kelima	12
Gambar 2.3	Single Tuned Filter.....	18
Gambar 2.4	Double Tuned Filter.....	19
Gambar 2.5	Damped Filter.....	20
Gambar 2.6	Pilihan Penempatan Filter Pasif	20
Gambar 3.1	Single Line Diagram 3 Fasa.....	22

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Spesifikasi Alat Ukur	45
Lampiran 2	Photo Trafo	49
Lampiran 3	Photo Pengukuran	52



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kualitas daya listrik yang baik mempunyai kontribusi yang sangat penting bagi kehidupan dalam abad modern karena peranannya yang dominan dibidang telekomunikasi, teknologi informasi, industri dan sebagainya. Hal itu dikarenakan semua dapat beroperasi dengan tersedianya energi listrik yang memenuhi standar dan suplai daya listrik dengan kualitas yang baik,

Kualitas daya listrik yang buruk atau mengalami gangguan seperti terjadi pemadaman listrik tiba-tiba atau tegangan listrik yang tidak stabil dapat mengakibatkan perusahaan yang bersangkutan mengalami kerugian cukup besar dimana aktifitasnya akan terhenti atau produk yang dihasilkannya menjadi cacat atau rusak. Oleh karena itu perlu mengetahui tingkat kualitas daya listrik dengan melakukan audit pada perusahaan yang bersangkutan..

1.2 Perumusan Masalah

Pada skripsi ini penulis memilih industri paper sebagai tempat untuk melakukan audit kualitas daya listrik untuk mengetahui sejauh mana tingkat kualitas daya listrik khususnya harmonisa pada industri tersebut. Kondisi perusahaan tersebut 24 jam beroperasi dan suplai daya listrik yang 100% dari PLN disalurkan melalui trafo distribusi 20 KV/ 6.3 KV yang berkapasitas 12.5 MVA. Alat ukur utama yang penulis pakai untuk melakukan audit adalah AFLEX-6300 Graphic Power Quality Analyzer, selain itu juga menggunakan alat ukur yang bersifat permanen yang sudah terpasang pada panel-panel operasional trafo. Kondisi yang memungkinkan untuk dilakukan audit adalah kondisi *steady state* atau ajek dengan mengaudit beberapa parameter yaitu tegangan, frekuensi, faktor daya dan harmonisa. Untuk fenomena kualitas daya karena pengaruh adanya gangguan seperti kondisi *short duration variations*, *long duration variations* dan kondisi *transients* pada perusahaan tersebut belum bisa dilaksanakan pada kesempatan audit kali ini.

1.3 Tujuan Audit

Berdasarkan perumusan masalah di atas maka tujuan yang akan dicapai dalam audit ini adalah :

1. Mengetahui besarnya deviasi hasil data audit yang diperoleh terhadap standar kelistrikan yang berlaku.
2. Mengetahui dan menganalisa tingkat kualitas daya pada industri paper dari data hasil pengukuran.
3. Mengetahui besarnya harmonisa.
4. Menentukan letak dan besarnya filter pasif.

1.4 Batasan Masalah

Audit ini difokuskan pada pengukuran dan analisa untuk mendapatkan gambaran tingkat kualitas daya listrik khususnya harmonisa pada industri paper dengan batasan sebagai berikut:

1. Pengambilan data pengukuran pada sisi tegangan medium voltage 6.3 KV/20 KV hanya dengan membaca alat ukur yang sudah terpasang.
2. Pengukuran dengan menggunakan alat ukur power quality analyzer dilakukan hanya pada sisi bagian tegangan rendah 380 V/460 V.
3. Pengukuran dilakukan pada titik-titik pengukuran yang telah diberikan ijin dan disepakati oleh pihak perusahaan.
4. Pengukuran tidak mengambil data-data yang berupa data grafik.

1.5 Sistematika Penulisan

Bab satu meliputi latar belakang, batasan masalah dan sistematika penulisan. Bab dua menjelaskan teori mengenai kualitas daya listrik, tegangan listrik, frekuensi, faktor daya dan harmonisa. Bab tiga adalah audit dan pengumpulan data yang terdiri dari studi literatur, sumber daya listrik, audit beban terpasang, dan audit kualitas daya listrik dengan melakukan pengukuran. Bab empat menjelaskan mengenai analisa dari data audit yang diperoleh. Bab lima menjelaskan kesimpulan dari audit kualitas daya listrik ini.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Audit Kualitas Daya Listrik

2.1.1 Pengertian

Audit menurut sumber wikipedia dalam arti luas bermakna evaluasi terhadap suatu organisasi, sistem, proses, atau produk. Kualitas daya listrik (*power quality*) seperti yang tercantum dalam buku *Electrical Power System Quality* karya Roger C. Dugan, Mark F. McGranaghan, dan H. Wayne Beaty pada halaman 2 didefinisikan sebagai suatu problem daya yang ditimbulkan berupa deviasi tegangan, arus, ataupun frekuensi yang mengakibatkan kegagalan atau tidak beroperasinya peralatan pelanggan. Dari kedua pengertian tersebut bisa didefinisikan makna audit kualitas daya listrik adalah serangkaian tindakan sistematis untuk mengevaluasi deviasi atau penyimpangan berupa tegangan, arus ataupun frekuensi dari bentuk aslinya yang menyebabkan kegagalan atau tidak beroperasinya peralatan pelanggan sesuai standar yang diijinkan.

2.1.2 Faktor eksternal dan internal

Kualitas daya listrik pada sektor industri yang mendapatkan pasokan listrik dari PLN akan dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain:

1. Kualitas daya listrik dari pembangkit listrik (PLN).
2. Kualitas daya listrik pada bagian transmisi dan distribusi (PLN).
3. Kualitas daya listrik pada industri tersebut (faktor internal).

Kualitas daya listrik dari pembangkit listrik, transmisi dan distribusi (PLN) dituntut dapat memenuhi syarat dasar kebutuhan layanan (service requirement) kepada konsumennya yaitu:

1. Dapat memenuhi beban puncak.
2. Mempunyai deviasi tegangan dan frekuensi yang minimum.
3. Distorsi gelombang tegangan dan harmonik yang minimum.
4. Terbebas dari surja tegangan

5. Suplai sistem tegangan dalam keadaan setimbang.
6. Urutan phase terjamin dengan benar.
7. Memberikan suplai daya dan waktu layanan dengan keandalan tinggi dimana sistem dapat melayani beban secara kontinu.

Selain faktor eksternal yang penyebab datangnya dari PLN, kualitas daya listrik suatu industri juga dipengaruhi oleh faktor internal pada industri tersebut diantaranya:

1. Konsumen belum memiliki dan mendapat informasi yang cukup menyangkut masalah kualitas daya listrik (*power quality*).
2. Besarnya kapasitas beban terpasang dengan kapasitas beban pemakaian.
3. Penggunaan dan pemasangan kapasitor bank.
4. Beban-beban non linier seperti peralatan-peralatan elektronik, *AC drives*, *DC drives* dan sebagainya yang berpengaruh terhadap tingkat harmonisa.

2.1.3 Parameter – parameter kualitas daya listrik

Secara umum kualitas daya listrik pada kondisi *steady state* atau ajek ditentukan oleh parameter – parameter sebagai berikut:

1. Tegangan (Volt)
2. Frekuensi (Hz)
3. Faktor daya ($\cos \phi$)
4. Harmonisa

2.2 Tegangan Listrik

Tegangan listrik yang ideal adalah tegangan dalam bentuk gelombang sinus murni tanpa distorsi dengan nilai amplitudo yang konstan. Oleh karena adanya faktor gangguan yang terjadi yang tidak bisa dihindari, sehingga nilai tegangan menjadi tidak konstan (turun-naik).

Dalam kondisi normal, toleransi tegangan boleh naik atau turun yang diijinkan oleh PLN adalah -10% s/d $+5\%$. Jika dalam kondisi darurat berdasarkan IEEE Std. 446-1995 ” *Recommended Practice for Emergency and Standby power*

system industrial and Commercial Applications “ toleransi tegangan adalah – 13 % s/d + 6 % .

Gangguan – gangguan pada tegangan listrik yang berpengaruh pada kualitas daya listrik antara lain:

1. Fluktuasi tegangan.
2. Tegangan tidak setimbang (unbalance voltage).
3. Tegangan *sag*.
4. Tegangan *swell*.

2.2.1 Fluktuasi Tegangan

Penyebabnya seperti: Tegangan Lebih (*Over Voltage*), Tegangan Turun (*Drop Voltage*) dan tegangan getar (*flicker voltage*). Tegangan lebih pada sistem akan mengakibatkan arus listrik yang mengalir menjadi besar dan mempercepat kemunduran isolasi (*deterioration of insulation*) sehingga menyebabkan kenaikan rugi-rugi daya dan operasi, memperpendek umur kerja peralatan dan yang lebih fatal akan terbakarnya peralatan tersebut. Peralatan-peralatan yang dipengaruhi saat terjadi tegangan lebih adalah transformer, motor-motor listrik, kapasitor daya dan peralatan kontrol yang menggunakan *coil*/kumparan seperti *solenoid valve*, *magnetic switch* dan relay. tegangan lebih biasanya disebabkan karena eksitasi yang berlebihan pada generator listrik (*over excitation*), sambaran petir pada saluran transmisi, proses pengaturan atau beban kapasitif yang berlebihan pada sistem distribusi.

Tegangan turun pada sistem akan mengakibatkan berkurangnya intensitas cahaya (*redup*) pada peralatan penerangan; bergetar dan terjadi kesalahan operasi pada peralatan kontrol seperti *automatic valve*, *magnetic switch* dan *auxiliary relay*; menurunnya torsi pada saat start (*starting torque*) pada motor-motor listrik. Tegangan turun biasanya disebabkan oleh kurangnya eksitasi pada generator listrik (*drop excitation*), saluran transmisi yang terlalu panjang, jarak beban yang terlalu jauh dari pusat distribusi atau peralatan yang sudah berlebihan beban kapasitifnya.

2.2.2 Tegangan Tidak Setimbang (*Unbalance Voltage*)

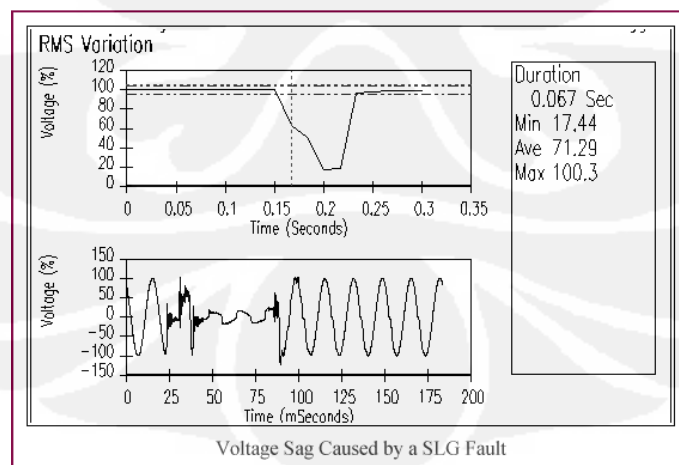
Tegangan tidak setimbang didefinisikan sebagai maksimum deviasi dari tegangan *average* 3 phase dibagi dengan tegangan *average* 3 phase dan dinyatakan dalam %, berdasarkan IEEE 1159 berkisar antara 0.5 – 2.0%. Tegangan tidak setimbang pada umumnya terjadi di sistem distribusi karena pembebanan fasa yang tidak merata, atau bisa juga disebabkan oleh salah satu fuse pada *capacitor bank* yang sudah lemah.

2.2.3 Tegangan Sags (*Dips*)

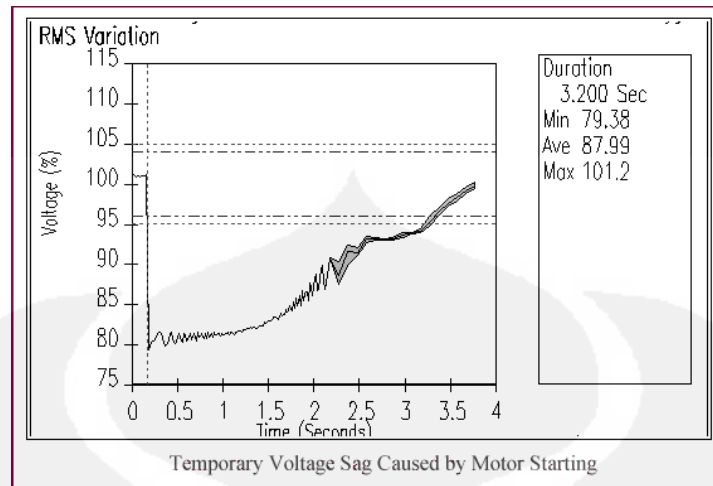
Tegangan *sag* merupakan pengurangan pada tegangan dalam waktu yang singkat (lamanya 0.02 – 0.5 detik) diluar toleransi normal peralatan elektronik. Sebagai penyebab tegangan sag adalah :

1. Kesalahan pada saluran transmisi atau di dalam sistem distribusinya.
2. Penambahan beban dalam jumlah yang besar dari awal star (motor-motor, transformer, suplai tenaga arus DC yang besar).

Tegangan *sag* menunjukan hilangnya daya yang ada untuk sementara waktu dan dapat menyebabkan peralatan mati (*shutdown*). Tegangan sag dalam sebuah fasilitas industri biasanya dikarenakan oleh beban penyalaan (*switching on*) yang besar.



Gambar 2.1 Tegangan *sag* akibat gangguan *short phase-ground*

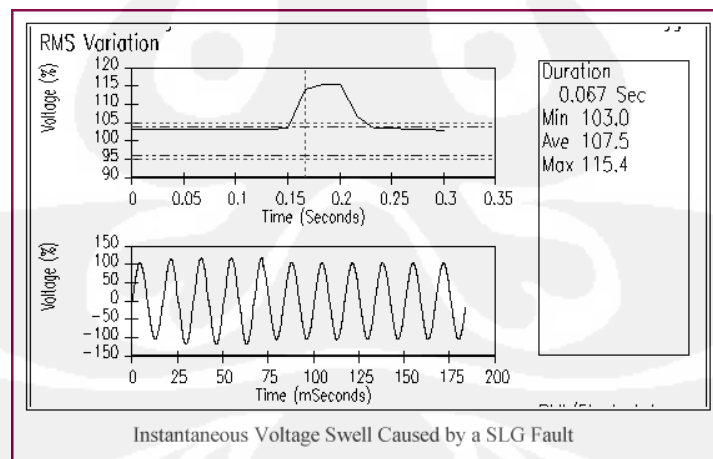


Gambar 2.2 Tegangan *sag* akibat *starting* motor listrik

Dan kadang – kadang tegangan *sag* ini dapat menjadi besar dan mempengaruhi peralatan - peralatan PLC atau komputer menjadi trip.

2.2.4 Tegangan *Swell*

Tegangan *swell* merupakan penambahan pada tegangan (lamanya kurang dari 0.02 – 0.5 detik) diluar dari toleransi normal.



Gambar 2.3 Tegangan *swell*

Tegangan *Swell* disebabkan dari pengurangan beban mendadak seperti pada terbuangnya dari banyaknya motor yang digunakan. *Swell* dapat merusak peralatan elektronika. Lamanya gangguan tegangan *swell* ini tergantung pada sistem proteksinya, yang mana dapat berlangsung beberapa detik . perbedaan

antara *overvoltage* dan *swell* terletak pada waktunya, apabila kenaikan tegangannya lebih dari 0.5 detik berarti termasuk *overvoltage* tetapi bila kenaikan tegangan antara 0.02 – 0.5 detik termasuk tegangan *swell*.

2.3 Frekuensi (Hz)

Yaitu jumlah siklus arus bolak-balik (*alternating current*) per detik. Beberapa negara termasuk Indonesia menggunakan frekuensi listrik standar, sebesar 50 Hz. Salah satu contoh akibat dari frekuensi listrik yang tidak stabil adalah akan mengakibatkan perputaran motor listrik sebagai penggerak mesin-mesin produksi di industri manufaktur juga tidak stabil, dimana hal ini akan mengganggu proses produksi.

Gangguan-gangguan yang terjadi pada sistem frekuensi:

1. Penyimpangan terus-menerus (*Continuous Deviation*)

Yaitu frekuensi berada diluar batasnya pada saat yang lama (secara terus menerus), frekuensi standar 50 Hz dengan toleransi $\pm 0,5$ Hz ----- (49,5 – 50,5 Hz).

2. Penyimpangan sementara (*Transient Deviation*)

Yaitu penurunan atau penaikan frekuensi secara tiba-tiba dan sesaat.

2.4 Faktor Daya

2.4.1 Pengertian Faktor Daya

Faktor daya ($\text{Cos } \phi$) merupakan rasio perbandingan antara daya aktif (P) dengan daya nyata (S), nilainya berkisar antara 0 hingga 1.

$$\begin{aligned}\text{Faktor Daya} &= P / S && (2.1) \\ &= \text{kW} / \text{kVA} \\ &= V.I \text{Cos } \phi / V.I\end{aligned}$$

PLN menetapkan faktor daya untuk industrial minimum 0.85 agar tidak dibebani biaya tambahan, Jika faktor daya lebih kecil daripada 0,85 maka PLN akan mengenakan denda bagi industrial, tapi bagi pelanggan rumah tangga tidak dikenakan biaya tambahan. Semakin rendah faktor daya, maka semakin besar biaya yang dibebankan kepada pelanggan industrial yang dihitung dari besarnya pemakaian daya reaktif (Q) dalam sebulan (kvarh). Hubungan antara daya aktif, daya nyata dan daya reaktif dapat dilihat pada persamaan di bawah ini :

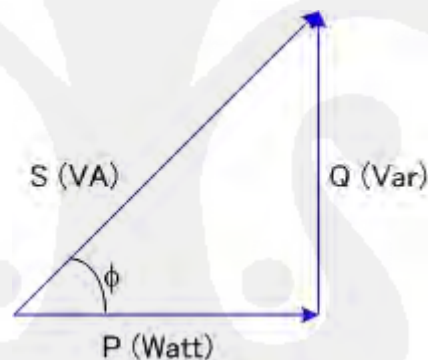
$$\text{Daya aktif, } P = V.I \cos \phi \quad (2.2)$$

$$\text{Daya nyata, } S = V.I \quad (2.3)$$

$$\text{Daya reaktif, } Q = V.I \sin \phi \quad (2.4)$$

Daya aktif merupakan daya yang sebenarnya terpakai untuk melakukan kerja, satuannya W, KW dan MW. Daya nyata adalah daya yang merupakan perkalian antara tegangan rms dan arus rms, satuannya VA, KVA, dan MVAR. Daya nyata merupakan daya yang disalurkan PLN ke para pelanggan yang merupakan penjumlahan trigonometri daya aktif dan daya reaktif. Daya reaktif adalah daya yang digunakan untuk pembentukan medan magnet, misalnya pada trafo, motor listrik dan sebagainya.

Hubungan matematika ketiga daya tersebut dapat digambarkan dalam diagram segitiga daya.



Gambar 2.4 Segitiga daya.

$$\text{Daya nyata, } S = \sqrt{P^2 + Q^2} \angle \phi \quad (2.5)$$

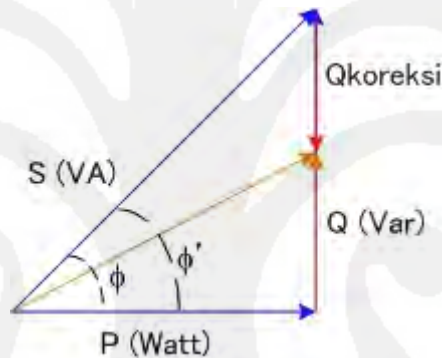
$$\tan \phi = Q/P \quad (2.6)$$

$$\text{Daya reaktif, } Q = P \cdot \tan \phi \quad (2.7)$$

2.4.2 Cara Memperbaiki Faktor Daya

Salah satu cara untuk memperbaiki faktor daya adalah dengan memasang kompensasi kapasitif menggunakan kapasitor pada jaringan tersebut. Kapasitor adalah komponen listrik yang menghasilkan daya reaktif yang dibutuhkan oleh

beban induktif pada jaringan dimana dia tersambung, sehingga mengurangi daya yang diserap oleh beban induktif dari sumber tegangan pembangkit (PLN). Sudut yang ditimbulkan kapasitor dan beban induktif mempunyai perbedaan 180° atau saling berlawanan sehingga saling meniadakan. Pada segitiga daya seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4, apabila kapasitor dipasang maka daya reaktif yang harus disediakan oleh sumber akan berkurang sebesar $Q_{koreksi}$ (yang merupakan daya reaktif berasal dari kapasitor). Karena daya aktif tidak berubah sedangkan daya reaktif berkurang, maka dari sudut pandang sumber, segitiga daya yang baru diperoleh; ditunjukkan pada Gambar 2.5 garis oranye. Terlihat bahwa sudut ϕ mengecil akibat pemasangan kapasitor tersebut sehingga faktor daya jaringan akan naik.



Gambar 2.5. Perbaikan faktor daya

Untuk menghitung berapa besarnya kapasitor yang diperlukan untuk menaikkan faktor daya yang dikehendaki dengan mengacu pada rumus persamaan 2.7 yaitu Daya reaktif, $Q = P \cdot \tan \phi$ dan gambar 2.5 Perbaikan faktor daya.

$$\text{Daya reaktif (KVAR) pada } pf \text{ awal} = P \text{ (KW)} \cdot \tan \phi \quad (2.8)$$

$$\text{Daya reaktif (KVAR) pada } pf \text{ diperbaiki} = P \text{ (KW)} \cdot \tan \phi' \quad (2.9)$$

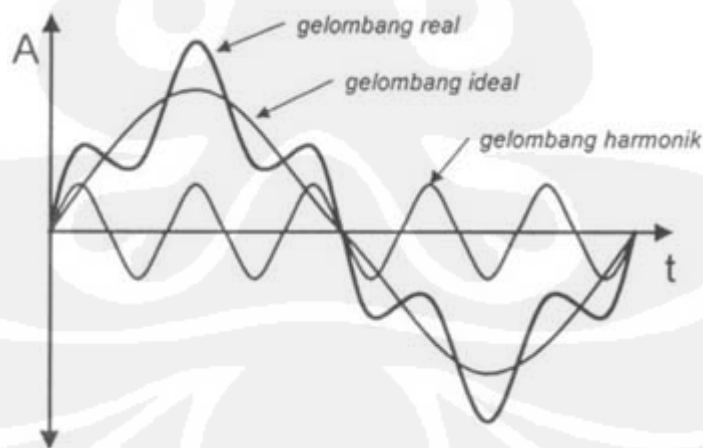
2.5 Harmonisa

Perkembangan teknologi pada beberapa dekade akhir ini yang begitu pesat telah mendorong baik di kalangan industrial maupun komersial terhadap kecenderungan pemakaian beban yang sifatnya non linear, yang lebih dikenal

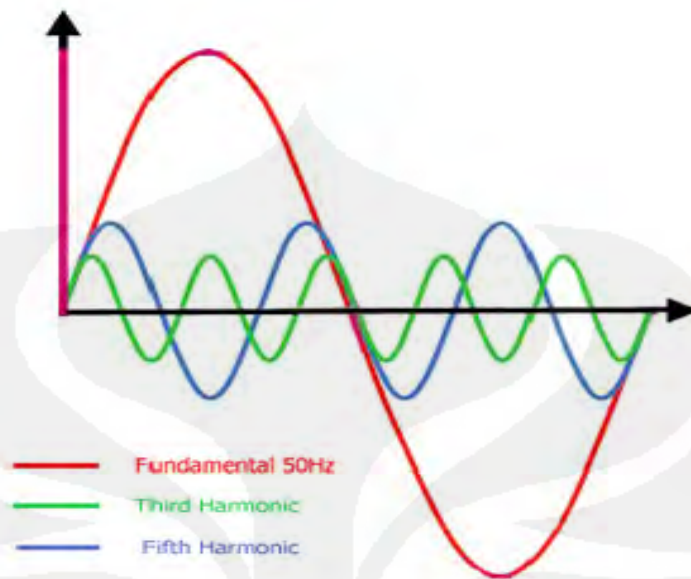
dengan istilah beban non linier yaitu seperti UPS (*Uninterruptible Power Supply*), lampu hemat energy, *AC drives* dan sebagainya. Akibat dari beban non linier tersebut menimbulkan harmonisa yaitu bentuk gelombang tegangan maupun arus yang semula murni sinus menjadi terdistorsi tidak murni sinus lagi. Hal ini berbeda dengan beban linier dimana beban tersebut tidak merubah bentuk gelombang sehingga gelombang masih murni berbentuk sinus baik tegangan maupun arusnya. Dengan adanya harmonisa maka sangat berpengaruh terhadap kualitas daya listrik pada jaringan tersebut.

2.4.1 Definisi Harmonisa

Harmonisa adalah tegangan ataupun arus sinusoida yang mempunyai frekuensi sebesar kelipatan dari frekuensi dasarnya. Frekuensi dasar adalah 50 Hz, maka harmonisa kedua adalah gelombang dengan frekuensi 100 Hz, harmonisa ketiga yaitu gelombang dengan frekuensi 150 Hz dan seterusnya. Gelombang-gelombang tersebut selanjutnya menumpang pada gelombang sinusoida frekuensi dasarnya atau sinusoida murni sehingga terbentuk gelombang sinusoida yang terdistorsi. Bentuk gelombang sinusoida murni dengan gelombang harmonisa dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.6 Bentuk gelombang murni dan gelombang terdistorsi harmonisa



Gambar 2.7 Gelombang harmonisa ketiga dan kelima

Pada gambar 2.7 memperlihatkan gelombang harmonisa ketiga dan kelima terhadap gelombang frekuensi dasarnya 50 Hz. Harmonisa ketiga didefinisikan sebagai 3 periode gelombang yang terbentuk pada saat gelombang dasarnya mencapai satu periode pada waktu yang sama. Harmonisa kelima terbentuk pada saat gelombang dasarnya mencapai satu periode telah terbentuk 5 periode gelombang harmonisa.

2.4.2 Macam-Macam Harmonisa

Berdasarkan sumber gelombangnya, kita ketahui ada harmonisa arus dan harmonisa tegangan. Harmonisa berdasarkan urutan ordenya dibedakan menjadi harmonisa urutan ganjil dan harmonisa urutan genap. Harmonisa urutan ganjil yaitu harmonisa ke 3, 5, 7, 9, 11 dan seterusnya. Urutan gelombang ke 1 adalah gelombang aslinya pada frekuensi dasar 50 Hz. Harmonisa Genap yaitu harmonisa ke 2, 4, 6, 8, 10 dan seterusnya.

Harmonisa berdasarkan urutan fasanya dibedakan menjadi 3 macam yaitu harmonisa urutan positif, harmonisa urutan nol dan harmonisa urutan negative.

Harmonisa urutan positif (*positive sequence*) mempunyai fasa yang sama dengan gelombang murni frekuensi dasarnya 50 Hz. Harmonisa urutan nol (*zero sequence*) tidak berpengaruh pada putaran medan., tapi menghasilkan panas pada komponen dan sistem. Harmonisa urutan nol sering disebut juga dengan *triplens harmonics* yaitu harmonisa ke 3, 9, 15 dan seterusnya. Harmonisa urutan negative (*negative sequence*) mempunyai fasa yang berlawanan dengan gelombang murni frekuensi dasarnya 50 Hz.

Tabel 2.1 Polaritas orde harmonisa

Orde harmonisa	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Frekuensi (Hz)	50	100	150	200	250	300	350	400	450
Urutan/Polaritas	+	-	0	+	-	0	+	-	0

2.4.3 Persamaan Fourier

Setiap bentuk gelombang periodik yang tidak berbentuk sinusioda dapat dinyatakan dalam jumlah seri harmonisa frekuensi dasar dengan menggunakan analisa Fourier.

Rumus persamaan analisis Fourier ;

$$\begin{aligned}
 F(t) &= a_0 + a_1 \cos \omega_0 t + a_2 \cos 2 \omega_0 t + a_3 \cos 3 \omega_0 t + \dots + a_n \cos n \omega_0 t + b_1 \sin \omega_0 t \\
 &\quad + b_2 \sin 2 \omega_0 t + b_3 \sin 3 \omega_0 t + \dots + b_n \sin n \omega_0 t \\
 &= a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n \omega_0 t + b_n \sin n \omega_0 t)
 \end{aligned}
 \tag{2.10}$$

dimana:

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \tag{2.11}$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos n \omega_0 t dt \tag{2.12}$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin n \omega_0 t dt \tag{2.13}$$

Jika $f(t)$ adalah fungsi genap, maka nilai koefisien $b_n = 0$, sehingga $f(t)$ hanya terdiri dari komponen cosinus saja. Jika $f(t)$ adalah fungsi ganjil maka nilai koefisien $a_0 = 0$ sehingga $f(t)$ hanya terdiri dari komponen sinus saja.

Sedangkan untuk mengetahui harmonisasi ganjil berapa saja yang muncul, ini tergantung dari beberapa pasang dioda yang dipakai. Bila dioda yang dipasang adalah 3 pasang maka digunakan rumus $6n \pm 1$, jadi harmonisasi yang muncul adalah 5,7,11,13, dan seterusnya. Tetapi bila dioda yang di pasang adalah 2 pasang maka digunakan rumus $4n \pm 1$, jadi harmonisa yang muncul adalah 3,5,7,9 dan seterusnya.

2.4.4 Standar Harmonisa

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

Tabel 2.2 Tabel limit distorsi arus harmonisa

MAXIMUM HARMONIC CURRENT DISTORSION						
In % of fundamental						
Isc/IL	HARMONIS ORDER (ODD DISTORSION)					
	< 11	11 ≤ h < 17	17 ≤ h < 23	23 ≤ h < 35	35 ≤ 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						
<ul style="list-style-type: none"> ▪ All power generation equipment in limited to these values of current distorsion \, regarless of actual Isc/IL 						
Isc = Maximum short circuit current at PCC						
IL = Maximum load current (fundamental frequency) at PCC						

Tabel 2.3 Limit distorsi Tegangan Harmonisa

HARMONIC VOLTAGE DISTORSION			
In% of fundamental			
	<69 kV	69-138 kV	>138 kV
Max.for individual Harmonic	3.0	1.5	1.0
Total Harmonic Distorsion (THD)	5.0	2.5	1.5

V_{THD} adalah jumlah total tegangan yang terdistorsi oleh harmonisa yang dinyatakan dalam persen. I_{THD} adalah jumlah total arus yang terdistorsi oleh harmonisa dan dinyatakan dalam bentuk persen. Untuk mencari standar I_{THD} yang diijinkan pada tabel 2.2 dari suatu sistem/trafo, maka perlu mencari terlebih dahulu besarnya arus *short circuit* I_{sc} dan mengukur arus beban I_L . Untuk mencari arus *short circuit* I_{sc} dengan menggunakan rumus dibawah ini :

$$I_{sc} = \frac{\text{Daya trafo (VA)}}{\sqrt{3} \cdot V_{LL} \cdot Z\%} \quad (2.14)$$

Dimana : V_{LL} = tegangan antar fasa (volt)

$\%Z$ = impedansi trafo

Untuk mencari standar V_{THD} yang diijinkan dengan menggunakan table 2.3 dengan cara mengetahui besarnya tegangan sistem/trafo tersebut berada pada range tegangan berapa pada table tersebut.

Total harmonisa Distorsion (THD) pada arus didefinisikan :

$$I_{THD} = \frac{\sum_{h=2}^{\infty} \sqrt{I_h^2}}{I_1} \quad (2.15)$$

Total harmonisa Distorsion (THD) pada tegangan didefinisikan :

$$V_{THD} = \frac{\sum_{h=2}^{\infty} \sqrt{V_h^2}}{V_1} \quad (2.16)$$

2.4.5 Sumber Harmonisa

Penyebab terjadinya gangguan harmonisa pada jala-jala listrik di industri diantaranya adalah banyaknya pemakaian beban-beban non linear seperti AC drives, DC drives, Converter Statis. Selain itu harmonisa bisa disebabkan oleh:

1. Transformator.
2. Penyearah dan *thyristor* (SCR).
3. Lampu hemat energi.
4. UPS (*Uninterruptible Power Supply*).
5. Mesin Las (*Arc Furnace*).
6. *Discharge Lamp*.

2.4.6 Efek Harmonisa

Secara umum, efek harmonisa yang timbul pada jala-jala listrik tergantung pada sumber harmonisa dan letak harmonisa. Harmonisa pada jala-jala listrik dapat menimbulkan pengaruh yang tidak diinginkan, seperti peralatan menjadi panas, *life time* peralatan jadi berkurang, bahkan peralatan menjadi rusak, interferensi sinyal (seperti noise pada saluran telepon).

Harmonisa urutan positif mempunyai urutan fasa yang sama dengan harmonisa dasarnya dan menyebabkan penambahan panas di konduktor, *circuit breaker*. Harmonisa urutan negatif mempunyai urutan fasa yang berlawanan dengan harmonisa dasarnya dan menyebabkan penambahan panas di berbagai peralatan. Selain itu, urutan negatif juga menyebabkan masalah di motor induksi karena urutan negatif berputar berlawanan arah. Perputaran ini tidak dapat membuat motor berputar melawan arah yang dikehendaki, namun dapat mengurangi laju kecepatan motor dan menyebabkan motor lebih panas dari semestinya. Harmonisa urutan kosong tidak memproduksi suatu perputaran medan di kedua arah, tapi menghasilkan panas lebih tinggi dibandingkan urutan positif dan urutan negatif.

2.4.7 Filter Harmonisa

Filter harmonisa utamanya digunakan untuk menurunkan atau mereduksi amplitudo frekuensi tertentu dari harmonisa tegangan atau harmonisa arus. Filter

harmonisa dibedakan menjadi 2 yaitu filter aktif dan filter pasif. Pada filter pasif terdapat komponen kapasitor, selain berfungsi sebagai filter juga diharapkan dapat memperbaiki faktor daya pada jala-jala listrik tersebut. Jenis filter pasif diantaranya yaitu :

1. Filter dengan penalaan tunggal (*Single Tuned Shunt Filter*).
2. Filter dengan penalaan ganda (*Double Tuned Filter*).
3. *Damped Filter*.

2.4.8 Komponen Filter Pasif

Komponen pembentuk filter harmonisa adalah resistor, kapasitor dan induktor. Ketiga komponen tersebut cara merangkainya tergantung dari jenis filter harmonisa. Kapasitor dipilih dengan daya reaktif yang besar dalam per unit volume supaya rugi-rugi yang terjadi kecil dan mampu dioperasikan pada tegangan tinggi. Induktor yang digunakan dirancang supaya mampu menahan selubung frekuensi tinggi yaitu efek kulit.

2.4.9 Filter Dengan Penalaan Tunggal

Filter Dengan Penalaan Tunggal (*Single Tuned Shunt Filter*) disusun dari rangkaian seri RLC. Besarnya reaktansi yang dihasilkan adalah :

$$X_{\text{filter}} = \frac{v^2(1000)}{Qc} \quad (2.17)$$

dimana : X_{filter} = reaktansi filter (Ω)

V = tegangan antar fasa (KV)

Qc = daya reaktif yang dikompensasi

Dengan diketahui besarnya X_{filter} , maka dapat dicari besarnya reaktansi kapasitif dengan rumus :

$$Xc = \frac{X_{\text{filter}} h^2}{h^2 - 1} \quad (2.18)$$

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c} \quad (2.19)$$

$$X_L = \frac{X_c}{h^2} \quad (2.20)$$

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} \quad (2.21)$$

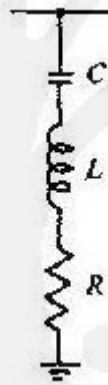
Dimana : X_c = reaktansi kapasitor (Ω)

X_L = reaktansi induktor (Ω)

C = kapasitor (μF)

L = induktor (mH)

h = orde harmonisa yang akan ditala



Gambar 2.8 Single tuned filter

Mentala filter harmonisa berdasarkan standar IEEE 1531-2003 besarnya adalah 3% - 15% dibawah frekuensi yang ditala. Single tuned filter dirancang hanya mentala pada frekuensi tertentu, pada umumnya pada frekuensi yang paling rendah. Sebuah filter dikatakan ditala pada sebuah frekuensi jika X_c dan X_L bernilai sama dengan nol.

2.4.10 Filter Dengan Penalaan Ganda

Filter dengan penalaan ganda ekivalen dengan dua buah filter penalaan tunggal yang mempunyai frekuensi resonansi yang berdekatan. Hubungan dari kedua rangkaian tersebut adalah :

$$C1 = Ca + Cb \quad (2.22)$$

$$C2 = \frac{CaCb(Ca+Cb)(La+Lb)^2}{(LaCa-LbCb)^2} \quad (2.23)$$

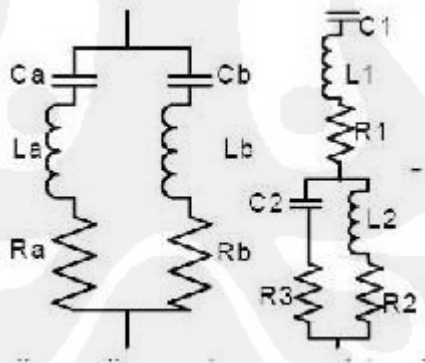
$$L1 = \frac{LaLb}{(La + Lb)} \quad (2.24)$$

$$L2 = \frac{(LaCa-LbCb)^2}{(Ca + Cb)^2(La+Lb)^2} \quad (2.25)$$

$$Ra = Ra \left[\frac{a^2(1-x^2)}{(1+ax^2)^2(1+x^2)} \right] + Rb \left[\frac{1-x^2}{(1+ax^2)^2(1+x^2)} \right] + R1 \left[\frac{(1-x^2)(1-ax^2)}{(1+x^2)^2(1+ax^2)} \right] \quad (2.26)$$

$$a = \frac{Ca}{Cb} \quad (2.27)$$

$$X = \sqrt{(LbCb)/(LaCa)} \quad (2.28)$$

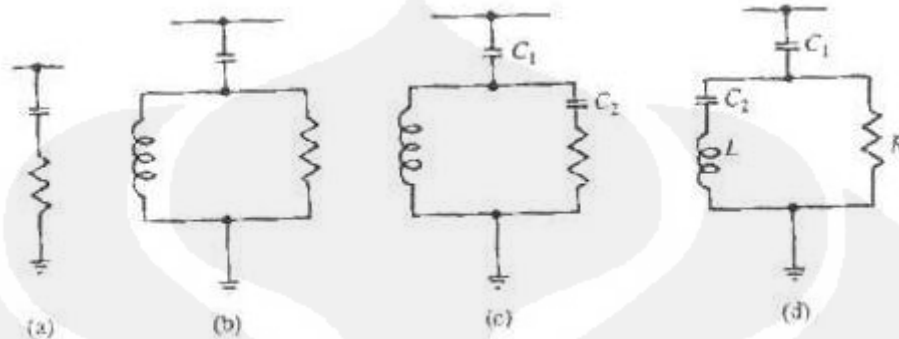


Gambar 2.9 Double tuned filter

2.4.11 Damped Filter

Perhitungan penalaan damped filter dapat dilakukan dengan perhitungan single tuned filter. Penalaan filter pada harmonisa ke n dapat menggunakan rumus dibawah ini :

$$S = Ra \left[\frac{Vs^2}{Xc} \right] \left[\frac{n^2}{n^2 - 1} \right] \text{Mvar} \quad (2.29)$$



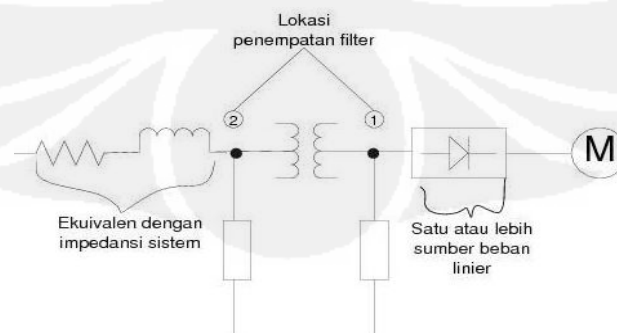
Gambar 2.10 Damped filter

Keuntungan penggunaan damped filter diantaranya :

1. Memberikan impedansi yang rendah pada spektrum frekuensi harmonisa yang lebar.
2. Tidak begitu sensitif terhadap perubahan temperatur, frekuensi, dan dari rugi-rugi kapasitor.

2.4.12 Penempatan Filter Pasif

Terdapat dua pilihan lokasi untuk penempatan filter yaitu filter dipasang pada bagian incoming trafo atau filter dipasang pada bagian outgoing trafo dekat dengan beban. Penempatan filter pasif sedapat mungkin dapat mereduksi gangguan harmonisa secara maksimal, diusahakan dekat dengan beban non linier. Gambar dibawah memperlihatkan dua pilihan lokasi penempatan filter harmonisa.



Gamabar 11 Pilihan penempatan filter pasif

BAB 3

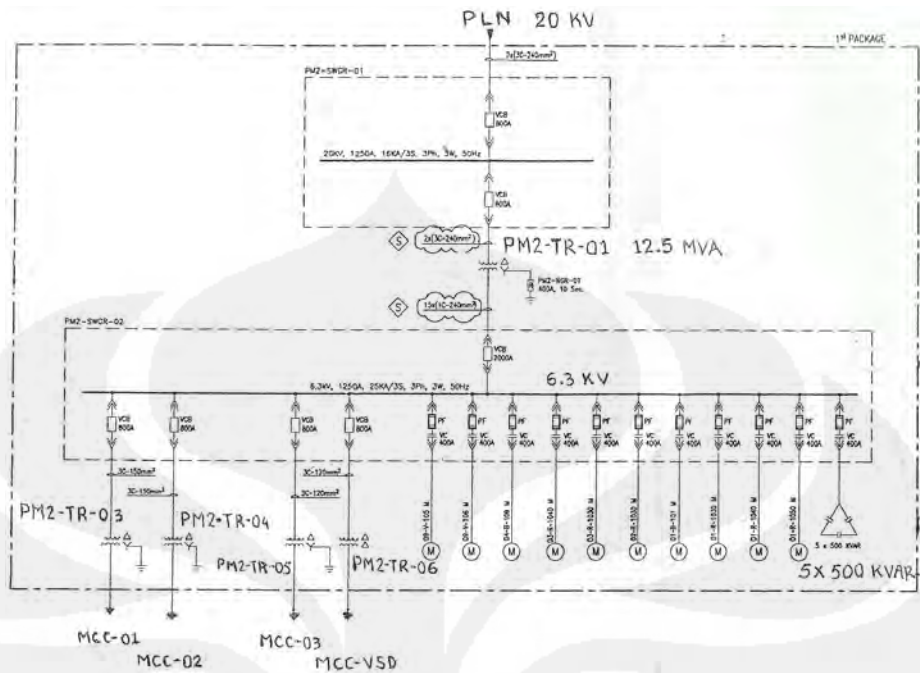
AUDIT KUALITAS DAYA LISTRIK

Audit ini dilakukan pada industri paper yang beroperasi selama 24 jam tiap harinya yang membutuhkan sumber daya listrik secara kontinyu dari PLN tanpa adanya gangguan karena bisa menghambat dan menghentikan dari proses produksi. Hal ini dikarenakan suplai sumber daya listrik sampai saat ini sepenuhnya dari PLN dan untuk pembangunan power plant ataupun pengadaan Genset sesuai kapasitas masih dalam taraf perencanaan. Selain membutuhkan sumber daya listrik yang kontinyu juga penting memperhatikan masalah tingkat kualitas daya listriknya, oleh karena itu sangat penting diadakan audit kualitas daya listrik pada industri tersebut.

Langkah-langkah dalam melakukan audit ini yaitu dari memahami single line diagram, mencari data teknik (spesifikasi) peralatan yang terpasang, melakukan pengukuran, membandingkan hasilnya dengan standar yang berlaku dan melakukan analisa dari hasil audit tersebut.

3.1 Single Line Diagram 3 Fasa

Single line diagram digunakan untuk melihat peta pendistribusian daya listrik 3 fasa dari sumber daya listrik PLN sampai ke peralatan yang terpasang pada industri paper. Disamping itu juga single line diagram berguna untuk mempermudah melakukan trouble shooting jika ada problem misalnya ada bagian yang padam karena trip pada circuit breaker.



Gambar 3.1 Single Line Diagram 3 Fasa

3.2 Data Teknik

Pada sub bab ini tidak membahas semua data teknik atau spesifikasi peralatan listrik yang terpasang, tapi hanya peralatan yang berfungsi dalam menyalurkan daya listrik dari PLN dan peralatan yang difungsikan untuk memperbaiki faktor daya pada perusahaan tersebut yaitu trafo distribusi dan capacitor bank.

3.2.1 Transformator 01

Berfungsi sebagai trafo distribusi untuk menurunkan tegangan PLN dari 21 KV menjadi 6.3 KV, data spesifikasinya sbagai berikut:

Type	: Indoor/Outdoor
Output	: 12.5 MVA
Phasa	: 3
Frekuensi	: 50 Hz
Rated Voltage Primary	: 20 KV
Rated Voltage Secondary	: 6.3 KV
Secondary Current	: 1145.53 A

Impedance	: 9.0 %
Vector Group	: Dyn-5
Rating	: Continue
Total Weight	: 20790 kg
Type of cooling	: ONAN
Oil Quantity	: 5400 Liter
Serial No.	: 05130655
Year	: 2005
Merk	: PT. Trafoindo Prima Perkasa

3.2.2 Transformator 03

Berfungsi sebagai trafo distribusi untuk menurunkan tegangan 6.3KV ke tegangan 380 V dan outgoingnya digunakan untuk mensuplai daya listrik panel MCC-01, data spesifikasinya sebagai berikut:

Type	: Indoor/Outdoor
Output	: 2.5 MVA
Phasa	: 3
Frekuensi	: 50 Hz
Rated Voltage Primary	: 6.3 KV
Rated Voltage Secondary	: 400 KV
Secondary Current	: 3608 A
Impedance	: 6.0 %
Vector Group	: Dyn-5
Rating	: Continue
Total Weight	: 5870 kg
Type of cooling	: ONAN
Oil Quantity	: 1600 Liter
Serial No.	: 05230653
Year	: 2005
Merk	: PT. Trafoindo Prima Perkasa

3.2.3 Transformator 04

Berfungsi sebagai trafo distribusi untuk menurunkan tegangan 6.3KV ke tegangan 380 V dan outgoingnya digunakan untuk mensuplai daya listrik panel MCC-02, data spesifikasinya sebagai berikut:

Type	: Indoor/Outdoor
Output	: 2.5 MVA
Phasa	: 3
Frekuensi	: 50 Hz
Rated Voltage Primary	: 6.3 KV
Rated Voltage Secondary	: 400 KV
Secondary Current	: 3608 A
Impedance	: 6.0 %
Vector Group	: Dyn-5
Rating	: Continue
Total Weight	: 5870 kg
Type of cooling	: ONAN
Oil Quantity	: 1600 Liter
Serial No.	: 05230654
Year	: 2005
Merk	: PT. Trafoindo Prima Perkasa

3.2.4 Transformator 05

Berfungsi sebagai trafo distribusi untuk menurunkan tegangan 6.3KV ke tegangan 380 V dan outgoingnya digunakan untuk mensuplai daya listrik panel MCC-03, data spesifikasinya sebagai berikut:

Type	: Indoor/Outdoor
Output	: 2 MVA
Phasa	: 3
Frekuensi	: 50 Hz
Rated Voltage Primary	: 6.3 KV
Rated Voltage Secondary	: 400 KV
Secondary Current	: 3608 A

Impedance	: 6.0 %
Vector Group	: Dyn-11
Rating	: Continue
Total Weight	: 5210 kg
Type of cooling	: ONAN
Oil Quantity	: 1380 Liter
Serial No.	: 05330652
Year	: 2005
Merk	: PT. Trafoindo Prima Perkasa

3.2.5 Transformator 06

Berfungsi sebagai trafo distribusi untuk menurunkan tegangan 6.3KV ke tegangan 460 V dan outgoingnya digunakan untuk mensuplai daya listrik panel MCC-*Variable Speed Drives*, data spesifikasinya sebagai berikut:

Type	: Indoor/Outdoor
Output	: 2 MVA
Phasa	: 3
Frekuensi	: 50 Hz
Rated Voltage Primary	: 6.3 KV
Rated Voltage Secondary	: 460 V
Secondary Current	: 2510.22 A
Impedance	: 6.0 %
Vector Group	: Dd-0
Rating	: Continue
Total Weight	: 4940 kg
Type of cooling	: ONAN
Oil Quantity	: 1360 Liter
Serial No.	: 05230652
Year	: 2005
Merk	: PT. Trafoindo Prima Perkasa

3.2.6 Capacitor Bank 6.3 KV

Berfungsi untuk memperbaiki faktor daya, dipasang pada sisi busbar 6.3 KV sebanyak 5 unit capacitor, dengan spesifikasi sebagai berikut:

Type	: LOW VAC LV-5N
Installation	: Indoor and outdoor
Ambient temperature	: -20° C to + 50°
Rated voltage	: 6600 V.
Rated output	: 500 kvar with a tolerance of + 10% - 5 %
Rated frequency	: 50 or 60 Hertz
Phase	: 3 phase and wye connection
Discharge device	: Discharge resistors are built-in as a safety feature to discharge the residual voltage to 50 volt or less within a maximum time of 5 minutes after disconnecting from supply source.
Maximum working voltage	: 110% of the rated voltage and also 130% of the rated current.
Capacitance	: + 10 % ~ - 5% of rated value measured
Insulation resistance	: Minimum 1,000 M ohms
Capacitors loss	: not more than 0.25 watt /kvar at 20°
Basis insulation	: 6600V – 60kV impulse test voltage

3.3 Data Pengukuran

Dalam bab ini tidak dibahas faktor-faktor kesalahan dalam pengukuran. Pengukuran dilakukan pada *incoming-outgoing* trafo distribusi 12.5 MVA 20KV/6.3 KV, *outgoing* trafo 2.5 MVA 380 V, *outgoing trafo* 2.0 MVA 380 V dan *outgoing* trafo 2.0 MVA 460 V. Pengukuran pada *incoming-outgoing* trafo distribusi 12.5 MVA 20KV/6.3 KV dengan cara membaca pada alat yang berupa modul digital proteksi yang terpasang pada panel *switch-gear* 20 KV, sedangkan pengukuran pada *outgoing* trafo 460 V dan 380 V dengan menggunakan alat ukur AFLEX-6300 Graphic Power Quality Analyzer.

3.3.1 Data Pengukuran Pada Sistem Tegangan 20 KV/ 6.3 KV

Pengukuran dilakukan terhadap incoming dan outgoing trafo 01 dengan membaca dan mencatat pada alat ukur yang sudah terpasang pada panel switch gear incoming 20 KV dan pada panel switch gear outgoing 6.3 KV. Hasil pengukuran sebagai berikut.

Tabel 3.1 Hasil Pengukuran Trafo 01

Pengukuran ke	Daya			Tegangan		PF	Frekuensi Hz
	(S) MVA	(P) MW	(Q) Mvar	IN kV	OUT kV		
1	5.5	4.9	2.2	21.03	6.24	0.91	50.01
2	3.5	3.4	1.2	20.9	6.18	0.94	49.96
3	5.2	4.7	2.1	20.6	6.17	0.94	49.98
4	4.8	4.4	1.7	20.7	6.17	0.93	49.98

3.3.2 Data Pengukuran Pada Sistem Tegangan 380 Volt

Pengukuran dilakukan terhadap outgoing trafo distribusi 380 V yaitu pada trafo 03, trafo 04, dan trafo 05. Pengukuran dengan menggunakan alat ukur AFLEX-6300 Graphic Power Quality Analyzer.

Hasil pengukuran sebagai berikut.

Tabel 3.2 Hasil pengukuran outgoing trafo 03

Pengukuran ke	Phase	Irms (A)	I _{THD} %	V _{rms} (V)	V _{THD} %	PF	Frekuensi (Hz)
1	R	943.2	3.7	381.8	1.9	0.79	49.99
	S	957.7	3.4	380.4	1.9	0.82	50.06
	T	951.4	3.6	382.1	1.7	0.78	50.02
2	R	907.6	2.9	384.2	1.1	0.77	50.12
	S	915.9	3.3	383.7	1.3	0.78	49.94
	T	909.3	3.4	384.3	1.2	0.77	49.91

Tabel 3.3 Hasil pengukuran outgoing trafo 04

Pengukuran ke	Phase	Irms (A)	I _{THD} %	Vrms (V)	V _{THD} %	PF	Frekuensi (Hz)
1	R	1616	4.7	381.8	1	0.83	50.08
	S	1607	6.2	379.4	1.3	0.84	50.02
	T	1611	5.1	379.7	1.1	0.84	49.95
2	R	1673	4.9	380.6	1.1	0.83	49.99
	S	1683	6.4	379.4	1.5	0.82	50.01
	T	1677	5.6	378.9	1.2	0.86	49.97

Tabel 3.4 Hasil pengukuran outgoing trafo 05

Pengukuran ke	Phase	Irms (A)	I _{THD} %	Vrms (V)	V _{THD} %	PF	Frekuensi (Hz)
1	R	743.1	3.1	388.9	1.4	0.89	50.2
	S	746.4	3.1	386.7	1.5	0.87	50.07
	T	725.6	3.5	386.4	1.4	0.89	50.19
2	R	778.2	3.0	387.7	1.6	0.9	50.02
	S	771.4	3.2	385.3	1.4	0.9	50.04
	T	732.4	3.2	386.2	1.5	0.89	50.1

3.3.3 Data Pengukuran Pada Sistem Tegangan 460 Volt

Pengukuran dilakukan pada *outgoing* trafo 06, 2 MVA, 6.3KV/460V. Pengukuran dengan menggunakan alat ukur AFLEX-6300 Graphic Power Quality Analyzer. Hasil pengukuran sebagai berikut.

Tabel 3.5 Hasil pengukuran outgoing trafo 06

Pengukuran ke	Phase	Irms (A)	I _{THD} %	Vrms (V)	V _{THD} %	PF	Frekuensi (Hz)
1	R	533.8	52.6	447.8	4.4	0.78	50.08
	S	528.4	54.7	449.2	4.7	0.77	50.02
	T	529.6	58.2	450.6	4.5	0.76	50.04
2	R	625.3	47.5	446.4	5.4	0.78	50.1
	S	602.3	54.1	448.2	4.9	0.78	49.96
	T	617.4	53.4	442.3	5.3	0.77	49.94

Tabel 3.6 Pengukuran orde harmonisa arus outgoing trafo 06

Orde ke	Arus harmonisa (%)	I_{THD} (%)
2	0.8	54.1
3	1.8	53.3
4	1.5	53.6
5	47.6	53.0
6	0.7	52.6
7	20.6	55.1
8	0.5	53.1
9	1	53.8
10	0.1	51.6
11	9.9	55.3
12	0.9	54.9
13	5.1	54.4
14	0.7	54.2
15	1.2	54.2
16	0.5	54
17	4.9	53.7
18	0.5	55.1
19	1.4	54.5
20	0.6	56.3
21	0.7	56.3

BAB 4
ANALISA HASIL AUDIT

4.1. Analisa Tegangan

Tabel 4.1 Deviasi tegangan *incoming* trafo 01

No	Hasil Pengukuran	Tegangan Nominal (KV)	Selisih	Deviasi (%)
1	20.8	20.0	0.8	4.0
2	20.9	20.0	0.9	4.5
3	20.6	20.0	0.6	3.0
4	20.7	20.0	0.7	3.5

Tabel 4.2 Deviasi tegangan *outgoing* trafo 01

No	Hasil Pengukuran	Tegangan Nominal (KV)	Selisih	Deviasi (%)
1	6.24	6.30	-0.06	-0.95
2	6.18	6.30	-0.12	-1.90
3	6.17	6.30	-0.13	-2.06
4	6.17	6.30	-0.13	-2.06

Tabel 4.3 Deviasi tegangan *outgoing* trafo 03

No	Phase	Hasil Pengukuran	Tegangan Nominal (KV)	Selisih	Deviasi (%)
1	R	381.8	380.0	1.80	0.47
	S	380.4	380.0	0.40	0.11
	T	382.1	380.0	2.10	0.55
2	R	384.2	380.0	4.20	1.11
	S	383.7	380.0	3.70	0.97
	T	384.3	380.0	4.30	1.13

Tabel 4.4 Deviasi tegangan *outgoing* trafo 04

No	Phase	Hasil Pengukuran	Tegangan Nominal (KV)	Selisih	Deviasi (%)
1	R	381.8	383.0	-1.20	-0.31
	S	379.4	384.0	-4.60	-1.20
	T	379.7	385.0	-5.30	-1.38
2	R	380.6	386.0	-5.40	-1.40
	S	379.4	387.0	-7.60	-1.96
	T	378.9	388.0	-9.10	-2.35

Tabel 4.5 Deviasi tegangan *outgoing* trafo 05

No	Phase	Hasil Pengukuran	Tegangan Nominal (KV)	Selisih	Deviasi (%)
1	R	388.9	383.0	5.90	1.54
	S	386.7	384.0	2.70	0.70
	T	386.4	385.0	1.40	0.36
2	R	387.7	386.0	1.70	0.44
	S	385.3	387.0	-1.70	-0.44
	T	386.2	388.0	-1.80	-0.46

Tabel 4.6 Deviasi tegangan *outgoing* trafo 06

No	Phase	Hasil Pengukuran	Tegangan Nominal (KV)	Selisih	Deviasi (%)
1	R	447.8	464.0	-16.20	-3.49
	S	449.2	465.0	-15.80	-3.40
	T	450.6	466.0	-15.40	-3.30
2	R	446.4	467.0	-20.60	-4.41
	S	448.2	468.0	-19.80	-4.23
	T	447.2	469.0	-21.80	-4.65

Dari table-tabel di atas terlihat bahwa nilai tegangan tidak konstan pada nilai tertentu tapi bervariasi turun naik dari nilai nominalnya. Hal ini terjadi untuk semua titik pengukuran dari masing-masing trafo, penyebab utamanya karena tegangan incoming 20 KV yang dari PLN turun naik sehingga pada tegangan outgoing trafo jadi bervariasi. Kondisi arus beban yang bervariasi juga bisa

mempengaruhi terhadap turun naiknya tegangan tetapi pengaruhnya kecil. Tegangan masing-masing phase juga memperlihatkan nilai yang berbeda walupun nilai perbedaannya kecil, ini bisa terjadi kemungkinan karena faktor pengukuran yang tidak bisa mengukur tegangan ketiga phase dalam waktu yang sama. Kemungkinan yang lain karena faktor kondisi dari beban yang masing-masing phase tidak 100% balance. Meskipun nilai tegangan masing-masing phase tidak menunjukkan nilai yang sama dan kondisi yang diperlihatkan tegangan turun naik tetapi secara keseluruhan dari semua titik pengukuran bisa dinyatakan bahwa kualitas tegangan pada industri tersebut baik dan masih dalam batas normal sesuai standar yang diijinkan.

4.2 Analisa Tegangan *Unbalance* Dan Kesetimbangan Beban

Tabel 4.7 Besarnya tegangan unbalance

Pengukuran		Tegangan (V)			Tegangan <i>average</i>	Deviasi maksimum	Tegangan <i>unbalance</i> (%)
pada	ke	R	S	T			
Outgoing trafo 03	1	381.8	380.4	382.1	381.4	0.7	0.2
	2	384.2	383.7	384.3	384.1	0.2	0.1
Outgoing trafo 04	1	381.8	379.4	379.7	380.3	1.5	0.4
	2	380.6	379.4	378.9	379.6	1.0	0.3
Outgoing trafo 05	1	388.9	386.7	386.4	387.3	1.6	0.4
	2	387.7	385.3	386.2	386.4	1.3	0.3
Outgoing trafo 06	1	447.8	449.2	450.6	449.2	1.4	0.3
	2	446.4	448.2	442.3	445.6	2.6	0.6

Dari tabel diatas memperlihatkan bahwa tegangan masing-masing fasa dari outgoing trafo 03, trafo 04, trafo 05, dan trafo 06 besarnya jauh dibawah 2.0 %, sehingga bisa dikatakan bahwa kondisi tegangan semuanya dalam kondisi seimbang (*balance*).

Tabel 4.8 Keseimbangan beban (arus beban)

Pengukuran		Arus (A)			Arus <i>average</i>	Deviasi maksimum	Arus beban unbalance (%)
pada	ke	R	S	T			
Outgoing trafo 03	1	943.2	957.7	951.4	950.8	6.9	0.7
	2	907.6	915.9	909.3	910.9	5.0	0.5
Outgoing trafo 04	1	1616	1607	1611	1,611.3	4.7	0.3
	2	1673	1683	1677	1,677.7	5.3	0.3
Outgoing trafo 05	1	743.1	746.4	725.6	738.4	8.0	1.1
	2	778.2	771.4	732.4	760.7	17.5	2.3
Outgoing trafo 06	1	533.8	528.4	529.6	530.6	3.2	0.6
	2	625.3	602.3	617.4	615.0	10.3	1.7

Dari tabel diatas memperlihatkan bahwa arus beban masing-masing fasa dari outgoing trafo 03, trafo 04, trafo 05, dan trafo 06 besarnya dibawah 2.0 %, sehingga bisa dikatakan bahwa kondisi tegangan semuanya dalam kondisi seimbang (*balance*). Pada pengukuran yang ke-2 pada outgoing trafo 05 nilai unbalance diatas 2,0% hal ini kemungkinan besar karena pada saat pengukuran pindah ke fasa T kondisi pemakaian beban sudah mulai turun sehingga menghasilkan pengukuran arus beban yang jauh lebih kecil dari pada fasa R dan fasa T.

4.3 Analisa Frekuensi

Tabel 4.9 Deviasi frekuensi *incoming* trafo 01

No	Hasil Pengukuran Hz	Frekuensi Dasar Hz	Besarnya Deviasi Hz	Standar Deviasi Hz
1	50.01	50.00	0.01	-0.5 - +0.5
2	49.96	50.00	-0.04	-0.5 - +0.5
3	49.98	50.00	-0.02	-0.5 - +0.5
4	49.98	50.00	-0.02	-0.5 - +0.5

Tabel 4.10 Deviasi frekuensi *outgoing* trafo 03

No	Hasil Pengukuran Hz	Frekuensi Dasar Hz	Besarnya Deviasi Hz	Standar Deviasi Hz
1	49.95	50.00	-0.05	-0.5 - +0.5
2	50.1	50.00	0.10	-0.5 - +0.5
3	49.87	50.00	-0.13	-0.5 - +0.5
4	50.22	50.00	0.22	-0.5 - +0.5

Tabel 4.11 Deviasi frekuensi *outgoing* trafo 04

No	Hasil Pengukuran Hz	Frekuensi Dasar Hz	Besarnya Deviasi Hz	Standar Deviasi Hz
1	50.01	50.00	0.01	-0.5 - +0.5
2	50.18	50.00	0.18	-0.5 - +0.5
3	50.24	50.00	0.24	-0.5 - +0.5
4	49.86	50.00	-0.14	-0.5 - +0.5

Tabel 4.12 Deviasi frekuensi *outgoing* trafo 05

No	Hasil Pengukuran Hz	Frekuensi Dasar Hz	Besarnya Deviasi Hz	Standar Deviasi Hz
1	50.08	50.00	0.08	-0.5 - +0.5
2	49.9	50.00	-0.10	-0.5 - +0.5
3	49.94	50.00	-0.06	-0.5 - +0.5
4	50.03	50.00	0.03	-0.5 - +0.5

Tabel 4.13 Deviasi frekuensi *outgoing* trafo 06

No	Hasil Pengukuran Hz	Frekuensi Dasar Hz	Besarnya Deviasi Hz	Standar Deviasi Hz
1	50.12	50.00	0.12	-0.5 - +0.5
2	49.96	50.00	-0.04	-0.5 - +0.5
3	50.03	50.00	0.03	-0.5 - +0.5
4	50.01	50.00	0.01	-0.5 - +0.5

Dari table-tabel di atas memperlihatkan nilai frekuensi yang bervariasi, nilai minimum dan maksimum yang tercatat adalah 49.86 dan 50.24. Kondisi arus beban yang turun naik tidak berpengaruh banyak terhadap perubahan nilai frekuensi, hal ini menunjukkan bahwa perubahan arus beban terjadi tidak secara drastis tapi secara pelan-pelan. Dari hasil audit terhadap frekuensi menunjukkan bahwa frekuensi dari suplai PLN cukup baik dan kondisi perubahan beban pada industri paper tidak banyak berpengaruh terhadap frekuensi. Dengan demikian bisa dinyatakan bahwa frekuensi pada industri tersebut adalah baik dan sesuai dengan standar yang diijinkan yaitu antara 49.5 s/d 50.5 Hz.

4.4 Analisa Faktor Daya

Tabel 4.14 Power faktor *incoming* trafo 01

No	Hasil Pengukuran	Penalti/Standar PLN	Keterangan
1	0.91	> 0.85	memenuhi standar PLN
2	0.94	> 0.85	memenuhi standar PLN
3	0.94	> 0.85	memenuhi standar PLN
4	0.93	> 0.85	memenuhi standar PLN

Tabel 4.15 Power faktor *outgoing* trafo 03

No	Hasil Pengukuran	Standar IEEE 446	Keterangan
1	0.82	8.0 - 9.0	sesuai standar
2	0.77	8.0 - 9.0	dibawah standar
3	0.76	8.0 - 9.0	dibawah standar
4	0.77	8.0 - 9.0	dibawah standar

Tabel 4.16 Power faktor *outgoing* trafo 04

No	Hasil Pengukuran	Standar IEEE 446	Keterangan
1	0.77	8.0 - 9.0	dibawah standar
2	0.81	8.0 - 9.0	sesuai standar
3	0.81	8.0 - 9.0	sesuai standar
4	0.84	8.0 - 9.0	sesuai standar

Tabel 4.17 Power faktor *outgoing* trafo 05

No	Hasil Pengukuran	Standar IEEE 446	Keterangan
1	0.89	8.0 - 9.0	sesuai standar
2	0.90	8.0 - 9.0	sesuai standar
3	0.89	8.0 - 9.0	sesuai standar
4	0.88	8.0 - 9.0	sesuai standar

Tabel 4.18 Power faktor *outgoing* trafo 06

No	Hasil Pengukuran	Standar IEEE 446	Keterangan
1	0.89	8.0 - 9.0	sesuai standar
2	0.90	8.0 - 9.0	sesuai standar
3	0.89	8.0 - 9.0	sesuai standar
4	0.88	8.0 - 9.0	sesuai standar

Faktor daya (PF) hasil pengukuran pada bab sebelumnya memperlihatkan bahwa faktor daya pada sisi incoming 20 KV mempunyai nilai yang cukup tinggi, tercatat nilai minimum dan maksimumnya adalah 0.91 dan 0.94. Hal ini berarti

industri tersebut tidak terkena denda dari PLN karena nilai faktor dayanya di atas 0.85 sesuai dengan ketentuan yang diberlakukan oleh PLN untuk sektor industri. Juga dapat dinyatakan bahwa capacitor bank berfungsi dengan baik. Namun untuk outgoing trafo bertegangan rendah 380 V ataupun 460 V nilai faktor dayanya rendah, rata-rata dibawah 0.85. Hal ini disebabkan beban yang terpasang hampir semuanya berupa beban jenis induktif yaitu berupa motor induksi 3 phase, sedangkan capacitor bank yang ada terpasang pada bagian tegangan menengah yaitu 6.3 KV.

4.5 Analisa Harmonisa

4.5.1 Analisa Harmonisa Arus

Dari table-tabel dibawah memperlihatkan bahwa hasil audit terhadap I_{THD} mempunyai nilai minimum 3.1% dan maksimum 6.2% pada semua titik pengukuran outgoing trafo 380 V yaitu pada trafo 03, trafo 04 dan trafo 05. Naik turunnya nilai I_{THD} tidak berhubungan langsung dengan naik turunnya arus beban. Untuk outgoing trafo 06 nilainya I_{THD} berkisar antara 47.2 – 58.3% dan yang besar dari orde ke-5 sebesar 47.6% pada saat $I_{THD} = 53.0%$ dan orde ke-7 sebesar 20.6% pada saat $I_{THD} = 55.1%$. Hal ini dikarenakan jenis beban yang terpasang pada outgoing trafo 06 seluruhnya adalah motor induksi dengan pengatur kecepatan berupa inverter (*AC drives*).

Tabel 4.19 Harmonisa arus I_{THD} outgoing trafo 03

Pengukuran ke	Phase	Irms (A)	I_{THD} %	ISC/IL	Standar Max I_{THD} (%)
1	R	943.2	3.7	67.1	12
	S	957.7	3.4	66.1	12
	T	951.4	3.6	66.5	12
2	R	907.6	2.9	69.8	12
	S	915.9	3.3	69.1	12
	T	909.3	3.4	69.6	12

Tabel 4.20 Harmonisa arus I_{THD} *outgoing* trafo 04

Pengukuran ke	Phase	Irms (A)	I_{THD} %	ISC/IL	Standar Max I_{THD} (%)
1	R	1616	4.7	39.2	8
	S	1607	6.2	39.4	8
	T	1611	5.1	39.3	8
2	R	1673	4.9	37.8	8
	S	1683	6.4	37.6	8
	T	1677	5.6	37.8	8

Tabel 4.21 Harmonisa arus I_{THD} *outgoing* trafo 05

Pengukuran ke	Phase	Irms (A)	I_{THD} %	ISC/IL	Standar Max I_{THD} (%)
1	R	743.1	3.1	68.2	12
	S	746.4	3.1	67.9	12
	T	725.6	3.5	69.8	12
2	R	778.2	3.0	65.1	12
	S	771.4	3.2	65.7	12
	T	732.4	3.2	69.2	12

Tabel 4.22 Harmonisa arus I_{THD} *outgoing* trafo 06

Pengukuran ke	Phase	Irms (A)	I_{THD} %	ISC/IL	Standar Max I_{THD} (%)
1	R	533.8	52.6	78.7	12
	S	528.4	54.7	79.5	12
	T	529.6	58.2	79.3	12
2	R	625.3	47.5	67.2	12
	S	602.3	54.1	69.8	12
	T	617.4	53.4	68.1	12

4.5.2 Analisa Harmonisa Tegangan

Tabel 4.23 Harmonisa tegangan V_{THD} *outgoing* trafo 03

Pengukuran ke	Phase	Vrms (V)	V_{THD} %	Standar Max V_{THD} (%)
1	R	381.8	1.9	5.0
	S	380.4	1.9	5.0
	T	382.1	1.7	5.0
2	R	384.2	1.1	5.0
	S	383.7	1.3	5.0
	T	384.3	1.2	5.0

Tabel 4.24 Harmonisa tegangan V_{THD} *outgoing* trafo 04

Pengukuran ke	Phase	Vrms (V)	V_{THD} %	Standar Max V_{THD} (%)
1	R	381.8	1	5.0
	S	379.4	1.3	5.0
	T	379.7	1.1	5.0
2	R	380.6	1.1	5.0
	S	379.4	1.5	5.0
	T	378.9	1.2	5.0

Tabel 4.25 Harmonisa tegangan V_{THD} *outgoing* trafo 05

Pengukuran ke	Phase	Vrms (V)	V_{THD} %	Standar Max V_{THD} (%)
1	R	388.9	1.4	5.0
	S	386.7	1.5	5.0
	T	386.4	1.4	5.0
2	R	387.7	1.6	5.0
	S	385.3	1.4	5.0
	T	386.2	1.5	5.0

Tabel 4.26 Harmonisa tegangan V_{THD} *outgoing* trafo 06

Pengukuran ke	Phase	Vrms (V)	V_{THD} %	Standar Max V_{THD} (%)
1	R	447.8	4.4	5.0
	S	449.2	4.7	5.0
	T	450.6	4.5	5.0
2	R	446.4	5.4	5.0
	S	448.2	4.9	5.0
	T	442.3	5.3	5.0

Dari table-tabel di atas memperlihatkan harmonisa tegangan V_{THD} pada *outgoing* trafo 03, trafo 04 dan trafo 05 bernilai rendah yaitu antara 1.0% - 1.9% , sedangkan untuk *outgoing* trafo 06 yang mempunyai beban non linier berupa *AC drives* mempunyai nilai V_{THD} lebih tinggi sedikit yaitu berkisar antara 4.4% - 5.9%. Hal ini menunjukkan bahwa beban *AC drives* yang terpasang pada *outgoing* trafo 06 yang digunakan untuk mengatur kecepatan motor-motor induksi menimbulkan pengaruh distorsi gelombang harmonisa pada arus jauh lebih besar dari pada yang dtimbulkan pada tegangan.

4.5.3 Menentukan Filter Pasif

Dari hasil pengukuran pada bab sebelumnya telah diketahui bahwa telah terjadi harmonisa yang tinggi diluar batas standar yang diijinkan yaitu harmonisa arus I_{THD} pada *outgoing* trafo 06 yang berkisar antara 47.5 – 48.2 %. Komponen harmonisa yang menyebabkan I_{THD} tinggi adalah harmonisa orde ke-5 sebesar 47.6 % dan orde ke-7 sebesar 20.6%. Oleh karena itu salah satu solusinya adalah perlunya pemasangan filter pasif pada *outgoing* trafo 06 pada lokasi dekat dengan panel *AC drives*. Pemilihan filter pasif didasarkan pada orde harmonisa yang dominan, yaitu orde ke-5 dan orde ke-7. Filter yang dipilih adalah filter pasif jenis *single tuned*. Jenis filter ini dapat menala dengan tajam pada frekuensi penalaannya.

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah diuraikan pada bab-bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Industri paper tersebut membutuhkan suplai daya listrik dari PLN sebesar 12.5 MVA sesuai dengan kapasitas trafo 01, namun untuk saat ini beban pemakaian yang tertinggi tercatat masih dibawah 6 MVA.
2. Faktor daya pada *incoming* trafo 01 12.5 MVA, 20 KV/6.3 KV yang berhubungan langsung dengan PLN diatas 0.85 yaitu rata-rata 0.92 sehingga industri paper tersebut tidak terkena biaya tambahan (biaya KVARH) oleh PLN.
3. Hasil audit kualitas daya listrik pada industri paper cukup baik dan masih sesuai stándar yang berlaku, kecuali harmonisa arus I_{THD} pada *outgoing* trafo 06 sebesar 52.5% – 57.8%.
4. Tingginya harmonisa arus I_{THD} pada *outgoing* trafo 06 sebesar 52.5% – 57.8% disebabkan beban yang terpasang banyak jenis beban non linier yaitu *AC Drives-AC Drives* yang digunakan untuk mengontrol kecepatan putaran motor-motor induksi 3 phase.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas, maka penulis memberikan beberapa saran untuk meningkatkan kontinyuitas dan kualitas daya listrik pada industri paper tersebut sebagai berikut :

1. Untuk menjaga kontinyuitas sumber daya listrik yang sampai saat ini masih mengandalkan suplai daya listrik dari PLN maka perlu dibangun power plant atau pengadaan peralatan Genset dengan kapasitas daya yang memadai sesuai dengan beban yang terpasang.

2. Untuk menurunkan harmonisa arus pada outgoing trafo 06 yang cukup besar sehingga besarnya harmonisa arus masih dalam batas normal yang diijinkan, maka perlu dipasang filter harmonisa pasif jenis *single tuned filter* pada sisi outgoing trafo 06.



DAFTAR ACUAN

- [1] Dugan Roger C., McGranaghan Mark F., Beaty H. Wayne. Electrical Power System Quality. New York : McGraw-Hill, 1996.
- [2] Fuchs, Ewald F. & Masoum, Mohammad A. S. Power Quality in Power Systems and Electrical Machines. Elsevier Inc, 2008.

DAFTAR PUSTAKA

- Aris Munanadar, Artono. Teknik Tegangan Tinggi. Jakarta : PT. Pradnya, Paramita, 1973
- Arrillaga, J. & Bradley, D. A. Power System Harmonics Analysis. New York : John Willey & Sons, 1997.
- De La Rosa, Francisco C. Harmonics And Power System. Missouri: Taylor & Francis Group, 2006.
- Wildi, Theodore. Electrical Machines, Drives, And Power Systems (3rd ed). New Jersey: Prentice Hall International, Inc, 1997.

LAMPIRAN 1



AFLEX-6300 Graphic Power Quality Analyzer



FEATURES:

- Display of Overlapped Voltage and Current Waveform
- Maximum Demand(MD in W,KW,MW) with Programmable Period
- Harmonics Analysis (V and I) to the 50th Order
- Display of 25 Harmonics in One Screen with Waveform
- Display of waveform with Peak Values (512 Samples / Period), Datalogging of 32, 64, 128 or 256 Points/Cycles
- Analysis of Total Harmonics Distortion (% THD-F)
- Graphic Phasor Diagram
- Programmable PT (1 to 3000) Ratios

- Capture 128 Transient Events (Time + Cycles + Faults) with Programmable Threshold(%), Can Also be Reviewed in LCD
- 50000 Records with Programmable Interval (1 to 6000 seconds)
- Output of Waveform, Power Parameters and 50 Harmonics at Command.
- Large Dot Matrix LCD Display with Backlight
- Optical Isolated RS-232C Interface
- Smart Datalogging to save Battery Power for Long-term Monitoring
- Built - in Calendar Clock for Data Logging

SPECIFICATION:

AC Watt (45 ~ 65 Hz, PF 0.5 to 1 , CT=1)

Range	Resolution	Accuracy of Readings
100.0 - 999.9 W	0.1 W	2% ± 8 dgts
1.000 - 9.999 KW	0.001 KW	2% ± 8 dgts
10.00 - 99.99 KW	0.01 KW	2% ± 8 dgts
100.0 - 999.9 KW	0.1 KW	2% ± 8 dgts
1000 - 9999KW	1 KW	2% ± 8 dgts

AC Current (45–65 Hz , True RMS)

Range	Range	Resolution	Accuracy of Readings
30 - 300 A	0.00 - 300 A	0.1 A	1 % of range ± 8 dgts
300 - 999.9 A	100.0 - 999.9 A	0.1 A	1 % of range ± 8 dgts
1000 - 3000 A	1000 - 3000 A	1 A	1 % of range ± 8 dgts

Harmonics of ACA in % and Magnitude (1 to 50th order)

Range	Resolution	Accuracy in %	Resolution	Accuracy in Magnitude
10.0 - 300 A	0.1 %	±1.0%	0.1 A	±1.0% of range ± 0.8A
1000 - 3000 A	0.1 %	±1.0%	1 A	±1.0% of range ± 3 A

Power Factor (PF)

Range	Resolution	Accuracy of Readings
0.00 - 1.00	0.01	± 1.5 % ± 8 digits

Harmonics of AC Voltage in % and Magnitude (1 to 50th order)

Range	Resolution	Accuracy in %	Resolution	Accuracy in Magnitude
50 - 600 V	0.1 %	±0.5%	0.1V	±0.5 % ± 0.5V

Phase Angle (Φ)

Range	Resolution	Accuracy of Readings
-180 ° to 180 ° (0 ° to 360 °)	0.1 °	± 1 % ± 2 digits

AC Voltage (45 ~ 65 Hz, True RMS)

Range	Resolution	Accuracy of Readings
3 V - 600 V	0.1 V	± 0.5 % ± 5 dgts

Total Harmonics Distortion (% THD-F , 1 to 50th order)

Range	Resolution	Accuracy of Readings
0.0 - 999.9 %	0.1 %	± 0.5 % ± 5 digits

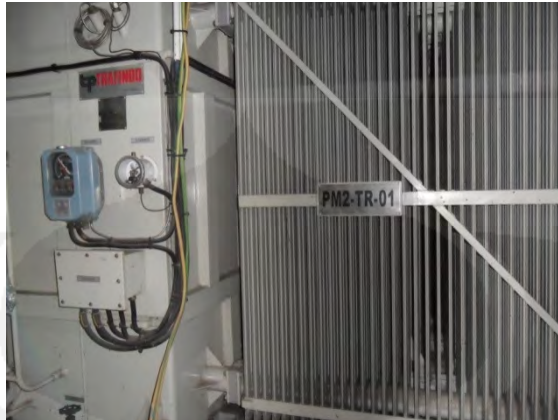
General Specification:

Conductor Size	150 mm (approx.)
Battery Type	1.5 V SUM-3 *2
Display	128*64 Dot Matrix
Power Consumption	10 mA (approx.)
Auto - Power - Off	15 minutes
LCD update rate	2 times/sec
Dimension	130mm(L)*80mm(W)*43mm(H),5.1"(L)*3.1"(W)*1.7"(H)

Accessories	Test lead*1 pair, Users ,anual*1, Batteries 1.5V*2
No. of Sample / Period	512 (V & A), 256 (W)
Operating Temperature	-10 °C to 50 °C
Operating Humidity	<85% RH
Storage Temperature	-20 °C to 60 °C
Storage Humidity	<75 % RH
Weight	450g

LAMPIRAN 2





Gambar Trafo Distribusi PM2-TR-01, 20KV/6.3 KV



Gambar Trafo Distribusi PM2-TR-03, 6.3 KV/380 V



Gambar Trafo Distribusi PM2-TR-04, 6.3 KV/380 V



Gambar Trafo Distribusi PM2-TR-05, 6.3 KV/380 V



Gambar Trafo Distribusi PM2-TR-06, 6.3 KV/460 V

LAMPIRAN 3





Gambar Graphic Power Quality Analyzer



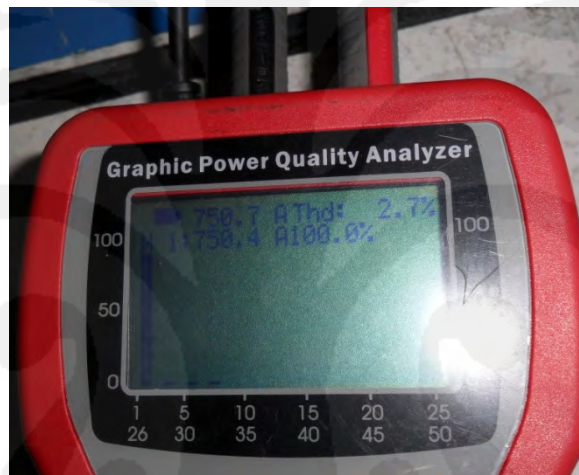
Gambar Pengukuran Pada Outgoing Trafo



Gambar Sample Hasil Pengukuran Arus dan Tegangan



Gambar Sample Hasil Pengukuran Faktor Daya



Gambar Sample Hasil Pengukuran I_{TD}



Gambar Sample Hasil Pengukuran V_{TD}