

**ANALISIS PENGARUH HARMONISA DARI
PEMAKAIAN PERANGKAT KOMPUTER TERHADAP
KUALITAS TENAGA LISTRIK
DI SCS (STUDENT COMPUTER SERVICE) UNIT TIK-UB**

SKRIPSI

**Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar sarjana teknik**



Disusun oleh :

**A. FAJAR NUGRAHA, AL
NIM. 0210630001**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2009**

**ANALISIS PENGARUH HARMONISA DARI
PEMAKAIAN PERANGKAT KOMPUTER TERHADAP
KUALITAS TENAGA LISTRIK
DI SCS (STUDENT COMPUTER SERVICE) UNIT TIK-UB**

SKRIPSI

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh :

**A. FAJAR NUGRAHA, AL
NIM. 0210630001**

Telah diperiksa dan disetujui oleh
Dosen Pembimbing :

Dr. Ir. Harry Soekotjo Dachlan, M.Sc.
NIP. 131 586 562

Ir. Hery Purnomo, MT.
NIP. 131 131 027

**ANALISIS PENGARUH HARMONISA DARI
PEMAKAIAN PERANGKAT KOMPUTER TERHADAP
KUALITAS TENAGA LISTRIK
DI SCS (STUDENT COMPUTER SERVICE) UNIT TIK-UB**

Disusun oleh :

A. FAJAR NUGRAHA. AL
NIM. 0210630001

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 10 Agustus 2009

Dosen Penguji :

Ir. Soemarwanto, MT.
NIP. 130 873 485

Ir. Chairuzzaini
NIP. 130 682 589

Ir. Teguh Utomo, MT.
NIP. 131 960 444

Mengetahui :

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ir. Heru Nurwasito, M.Kom.
NIP. 131 879 033

KATA PENGANTAR

السَّلَامُ عَلَيْكُمْ وَرَحْمَةُ اللَّهِ وَبَرَكَاتُهُ

Puji Syukur kehadirat Allah SWT Tuhan semesta Alam atas rahmat dan karunia serta ridlo yang diberikan-Nya sehingga penyusunan skripsi dengan judul “**Analisis Pengaruh Harmonisa dari Pemakaian Perangkat Komputer Terhadap Kualitas Tenaga Listrik Di SCS (Student Computer Service) Unit TIK-UB** ” dapat terselesaikan. Penulis menyadari bahwa penyelesaian penulisan tugas akhir ini juga mendapatkan bantuan dari berbagai pihak, karenanya penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Almarhumah Ibunda, Ayah, dan segenap keluarga tercinta.
2. Bapak Ir. Heru Nurwarsito, M.Kom. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro.
3. Bapak Rudy Yuwono, ST., M.Sc. selaku Wakil Ketua Jurusan Teknik Elektro.
4. Bapak Dr. Ir. Harry Soekotjo Dachlan, M.Sc. selaku Ketua Kelompok Dosen dan Keahlian Teknik Sistem Tenaga, serta dosen pembimbing skripsi yang memberikan bimbingan dan arahan serta bantuan yang sangat besar sampai terselesaikannya skripsi ini.
5. Bapak Ir. Hery Purnomo, MT. selaku dosen pembimbing skripsi yang memberikan bimbingan dan arahan serta bantuan yang sangat besar sampai terselesaikannya skripsi ini.
6. Ibu Dr. Rini Nur Hasanah, ST., M.Sc. dan bapak Ir. Soeprpto, MT. yang telah membukakan mata saya tentang betapa pentingnya menghargai waktu dan ilmu.
7. Rekan-rekan SCS, PPTI, TPTIFT, Kafet, dan Mahasiswa Teknik Elektro khususnya angkatan 2002.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan sehingga saran dan kritik membangun sangat penulis harapkan. Akhirnya, semoga skripsi ini bermanfaat untuk kita semua, khususnya Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

وَالسَّلَامُ عَلَيْكُمْ وَرَحْمَةُ اللَّهِ وَبَرَكَاتُهُ

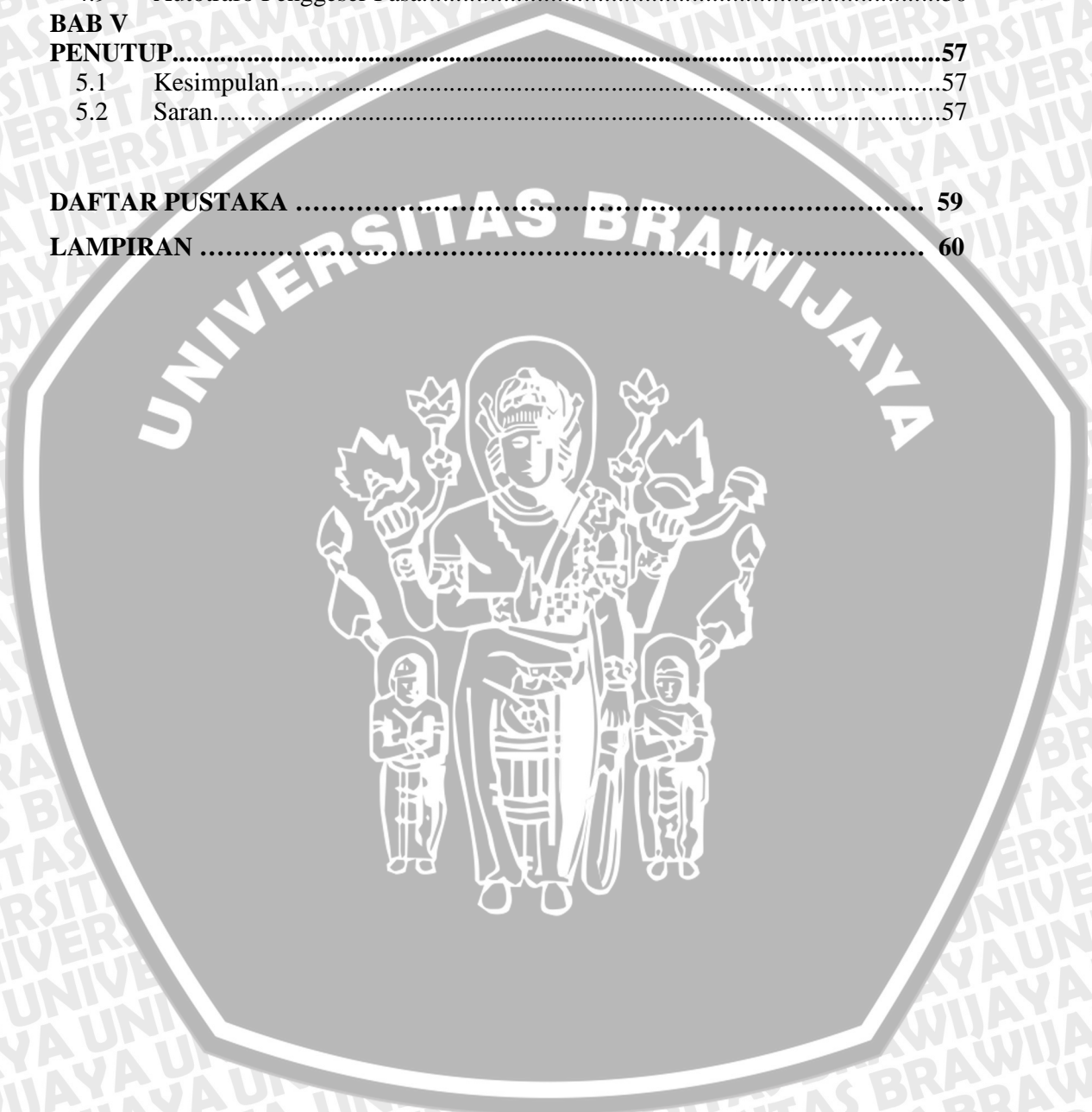
Malang, Agustus 2009

Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	vi
ABSTRAKSI	vii
BAB I	
PENDAHULUAN	2
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Sistematika Penulisan	2
BAB II	
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Kualitas Energi Listrik	4
2.1.1 Tegangan	4
2.1.2 Gangguan Gelombang Elektrik (Electrical Noise)	8
2.1.3 Deviasi Frekuensi	9
2.2 Harmonisa Pada Sistem Tenaga Listrik	9
2.2.1 Pengertian Harmonisa	9
2.2.2 Sumber–Sumber Harmonisa	13
2.2.3 Metode Fourier untuk Analisa Harmonisa	14
2.2.4 Injeksi Pada Point Of Common Coupling	15
2.2.5 Tegangan Harmonisa	16
2.2.6 Distorsi Harmonisa	16
2.2.7 Pengaruh Harmonisa	18
2.3 Minimalisasi Harmonisa Arus Sistem Dengan Metode Pergeseran Fasa	20
2.4 Faktor Daya (Power Factor)	27
BAB III	
METODOLOGI PENELITIAN	28
3.1 Studi literatur	28
3.2 Gambaran Pengujian Sistem	28
3.3 Pengukuran Sistem	29
3.4 Analisa Hasil Pengujian	31
3.5 Kesimpulan dari Hasil Pengujian dan Saran	32
BAB IV	
ANALISIS DATA PENGOPERASIAN PERANGKAT KOMPUTER	33
4.1 Sekilas Tentang SCS	33
4.2 Gambaran Pengujian Sistem	33
4.3 Data Peralatan Sistem	35
4.9 Data Spesifikasi :	36
4.4 Metode Pengukuran Harmonisa Sistem	36
4.5 Hasil Pengukuran Harmonusa Sistem	37
4.6 Analisa Persamaan Matematis Hasil Pengukuran Sistem Error! Bookmark not defined.	

4.6.1	Harmonisa ke 3	38
4.6.2	Harmonisa ke 5	39
4.6.3	Harmonisa ke 7	40
4.6.4	Harmonisa ke 9	41
4.7	Analisis Perhitungan Arus Total Harmonics Distortion (THD).....	42
4.8	Minimisasi Harmonisa Arus Sistem	49
4.9	Autotrafo Penggeser Fasa.....	50
BAB V		
PENUTUP.....		57
5.1	Kesimpulan.....	57
5.2	Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA		59
LAMPIRAN		60



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Tegangan Transien	5
Gambar 2.2. Gelombang Voltage Instability	7
Gambar 2.3. Voltage Sags	7
Gambar 2.4. Voltage Swells	7
Gambar 2.5. Kurva Toleransi Tegangan	7
Gambar 2.6. Gelombang Yang Terdistorsi Electrical Noise.....	8
Gambar 2.7. Bentuk Gelombang Terdistorsi	9
Gambar 2.8. Bentuk Gelombang Pada Frekuensi Fundamental	10
Gambar 2.9. Bentuk Gelombang Harmonisa	10
Gambar 2.10. Rangkaian Ekuivalen Jaringan Sistem Tenaga Listrik	11
Gambar 2.11. Rangkaian Pengganti untuk $n > 1$	11
Gambar 2.12. Elemen Tak Linier Sebagai Sumber Arus Harmonisa	12
Gambar 2.13. Resonansi Paralel Pada Point of Common Coupling	19
Gambar 2.14. Sistem yang Mensuplai Beban Nonlinier	21
Gambar 2.15. Sistem Mensuplai Dua Cabang Beban	22
Gambar 2.16. Kurva THD Arus Sistem terhadap Pergeseran Sudut Fasa Tegangan.	25
Gambar 2.17. Pengaruh Perbedaan Arus Kerja Cabang Beban A dan B (D I) terhadap THD Arus di Sumber Tegangan.....	26
Gambar 2.18. Minimisasi Harmonisa Arus Sistem yang Mensuplai Lima Cabang Beban	26
Gambar 2.19. Diagram Fasor	27
a). Kondisi Lagging	
b). Kondisi Leading	
Gambar 3.1. Gambaran Pengujian Sistem	29
Gambar 3.2. Gambaran mekanisme metode pergeseran fasa	29
Gambar 3.3. Pengukuran arus harmonisa dengan Power Quality Analyzer	30
Gambar 4.1. Single Line Diagram Panel Listrik	34
Gambar 4.2. Sistem Pengujian Beban 23 unit komputer	35
Gambar 4.3. Alat Ukur Power Quality Analyzer Fluke 41B	35
Gambar 4.4. Data Hasil Pengukuran.....	37
Gambar 4.5. Grafik Persentase Arus Harmonisa ke -3 Terhadap Penambahan Beban Komputer	39



Gambar 4.6. Grafik Persentase Arus Harmonisa ke -5 Terhadap Penambahan Beban Komputer 40

Gambar 4.7. Grafik Persentase Arus Harmonisa ke -7 Terhadap Penambahan Beban Komputer 41

Gambar 4.8. Grafik Persentase Arus Harmonisa ke -9 Terhadap Penambahan Beban Komputer 42

Gambar 4.9. Grafik Hubungan % I THD Terhadap Penambahan Beban 47

Gambar 4.10. Grafik perbandingan % I THD Hasil Pengukuran Dengan Hasil Perhitungan 49

Gambar 4.11. Mekanisme Metode Pergeseran Fasa pada Beban Non Linier 50

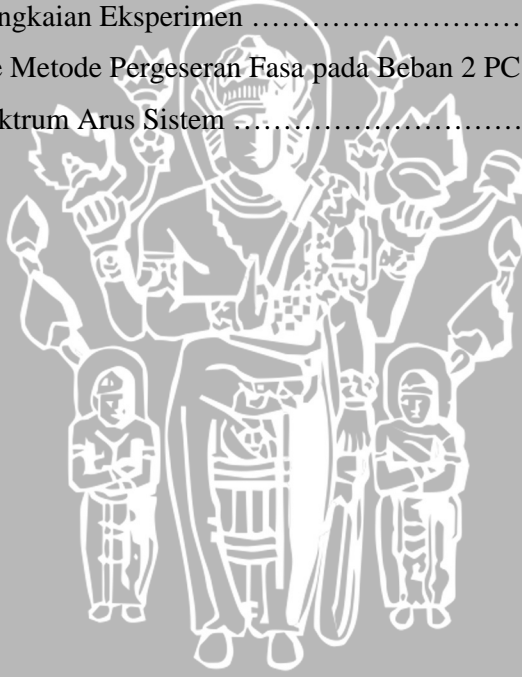
Gambar 4.12. Konfigurasi Autotrafo Penggeser Fasa 50

Gambar 4.13. Kurva rating VA autotrafo terhadap besar sudut penggeser fasa 51

Gambar 4.14. Model Rangkaian Eksperimen 52

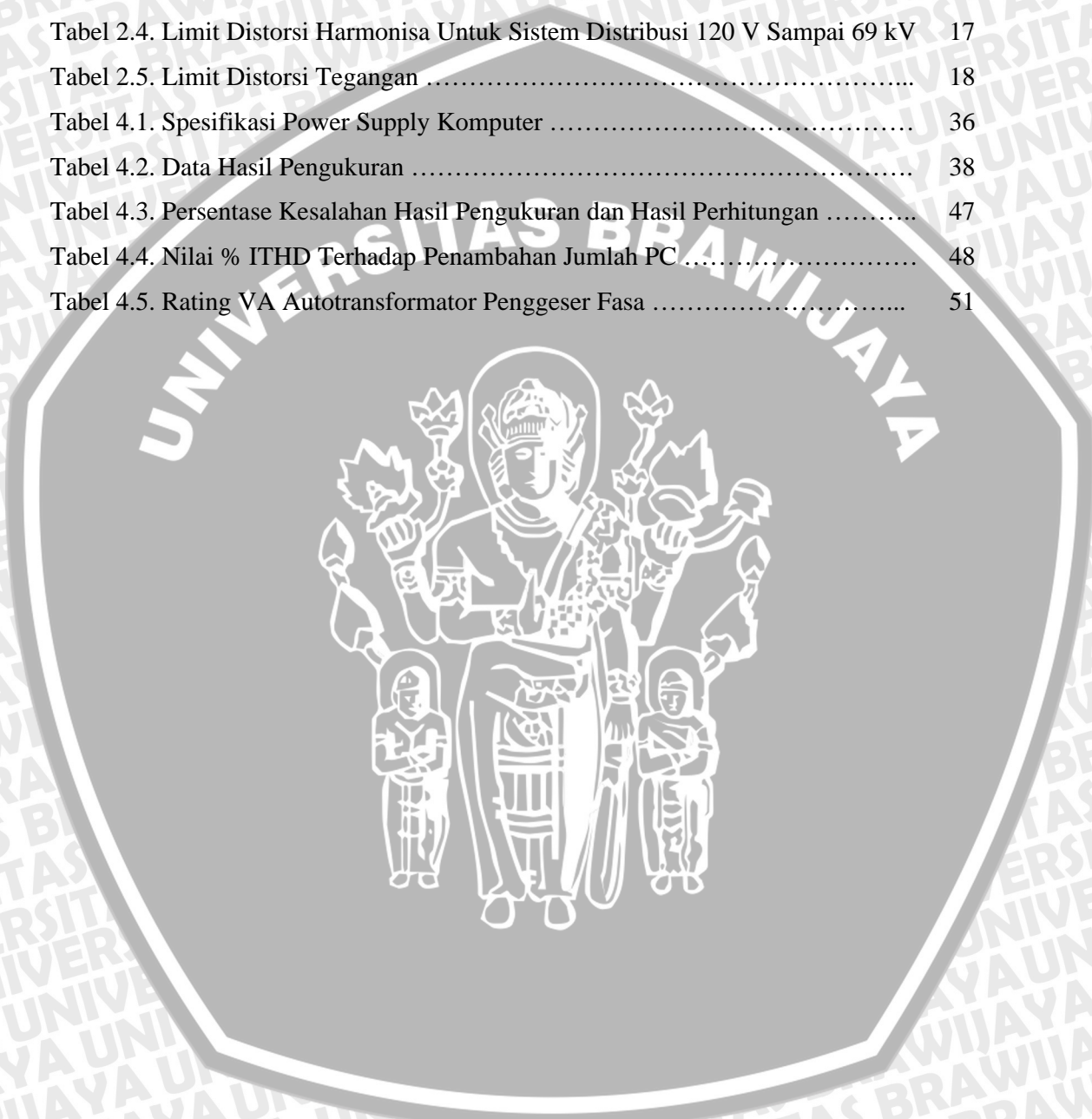
Gambar 4.15 Mekanisme Metode Pergeseran Fasa pada Beban 2 PC 52

Gambar 4.16. Kurva Spektrum Arus Sistem 51



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Orde Harmonisa Berdasarkan Urutan	13
Tabel 2.2. Arus Harmonisa Per Unit yang Diakibatkan Oleh Konverter 6 Pulsa	15
Tabel 2.3. Standar IEEE – 519	17
Tabel 2.4. Limit Distorsi Harmonisa Untuk Sistem Distribusi 120 V Sampai 69 kV	17
Tabel 2.5. Limit Distorsi Tegangan	18
Tabel 4.1. Spesifikasi Power Supply Komputer	36
Tabel 4.2. Data Hasil Pengukuran	38
Tabel 4.3. Persentase Kesalahan Hasil Pengukuran dan Hasil Perhitungan	47
Tabel 4.4. Nilai % ITHD Terhadap Penambahan Jumlah PC	48
Tabel 4.5. Rating VA Autotransformator Penggeser Fasa	51



RINGKASAN

A. Fajar Nugraha. AL., Agustus 2009. *Analisis Pengaruh Harmonisa Dari Pemakaian Perangkat Komputer Terhadap Kualitas Tenaga Listrik Di Scs (Student Computer Service) Unit Tik-Ub*. Dosen Pembimbing: **Harry Soekotjo Dachlan, Hery Purnomo.**

Di era globalisasi, kata komputer sangat erat hubungannya dengan cara kerja secara efisien, efektif, dan serba cepat. Di Universitas Brawijaya Malang sendiri banyak perangkat komputer yang digunakan untuk mendukung proses akademisi maupun administrasi seperti pada ruang SCS (Student Computer Service) yang berada di gedung Puskom It.2. Namun seringkali terjadi kerusakan pada perangkat komputer, seperti terbakarnya komponen elektronik pada motherboard, kerusakan pada power supply dan beberapa kerusakan lainnya. Tentunya kerusakan-kerusakan ini sangat mengganggu kelancaran proses kerja. Terdapat beberapa kemungkinan yang menyebabkan kerusakan itu antara lain buruknya kualitas daya listrik yang disuplai, terlalu besarnya kandungan harmonisa pada jaringan akibat beban nonlinier. Di samping itu, kemungkinan buruknya kualitas suplai daya komputer itu sendiri.

Komputer sebagai beban non linier berpotensi besar untuk menghasilkan kandungan harmonisa. Untuk itu dilakukan sebuah analisis seberapa besar pengaruh perangkat komputer sebagai penghasil harmonisa serta bagaimana meminimisasi kandungan harmonisa yang dihasilkan dengan menggunakan metode pergeseran fasa sehingga kualitas daya serta gangguan yang diakibatkan bisa diminimalkan.

Dari hasil pengujian serta analisis didapat bahwa besarnya kandungan harmonisa (Total Harmonics Distortion / THD) yang ditimbulkan dari beban komputer melebihi batas standar yang ditetapkan oleh IEEE sebesar 20 %. Namun dengan menggunakan metode pergeseran fasa ternyata mampu meminimisasi besarnya kandungan harmonisa sampai sebesar 10,25 %.

Kata kunci : harmonisa, beban non-linier, kualitas daya, THD, metode pergeseran fasa.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di era globalisasi, kata komputer sangat erat hubungannya dengan cara kerja secara efisien, efektif, dan serba cepat. Oleh karena itu berbagai sektor penting seperti perindustrian, perkantoran sangat membutuhkan perangkat komputer sebagai sarana kerja.

Demikian pula di Universitas Brawijaya Malang, banyak perangkat komputer yang digunakan untuk mendukung proses akademisi maupun administrasi seperti pada ruang SCS (Student Computer Service) yang berada di gedung Puskom It.2. Namun seringkali terjadi kerusakan pada perangkat komputer, seperti terbakarnya komponen elektronik pada motherboard, kerusakan pada hardisk, kerusakan pada peralatan suplai daya komputer dan beberapa kerusakan lainnya. Tentunya kerusakan-kerusakan ini sangat mengganggu kelancaran proses kerja. Terdapat beberapa kemungkinan yang menyebabkan kerusakan itu antara lain buruknya kualitas suplai daya listrik, terlalu besarnya kandungan harmonisa pada jaringan akibat beban nonlinier. Di samping itu, kemungkinan buruknya kualitas peralatan suplai daya komputer itu sendiri.

Berhubungan tentang kandungan harmonisa dari beban nonlinier, perlu diketahui bahwa distorsi harmonisa merupakan penyimpangan gelombang sinusoidal tegangan dan arus akibat dari sifat non linier beban seperti pada beban perangkat komputer. Hal ini dikarenakan karena beban perangkat komputer tersebut terbuat dari bahan-bahan semikonduktor yang memiliki karakteristik non linier. Tingkat toleransi suatu peralatan terhadap kualitas daya berbeda-beda tergantung disain peralatan tersebut. Kestabilan tingkat arus merupakan bagian dari kualitas daya yang sangat penting bagi perangkat komputer, karena komputer dan peralatannya merupakan peralatan dengan operasi digital yang sangat membutuhkan kestabilan tingkat arus. oleh karena itu komputer dan peralatannya dikategorikan sebagai peralatan elektronik yang sensitif.

Adanya sifat non linier dari beban komputer ini membutuhkan suatu analisis tentang seberapa besar pengaruh kandungan harmonisa yang dihasilkan beban komputer terhadap tingkat kualitas tenaga listrik.

1.2 Rumusan Masalah

Sehubungan dengan hal yang sudah dijelaskan dalam latar belakang dari tugas akhir ini maka perumusan masalah dititikberatkan pada :

1. Bagaimana pengaruh arus harmonisa yang ditimbulkan oleh perangkat komputer di Ruang SCS, Gedung Puskom Lt. 2 Universitas Brawijaya, Malang.
2. Bagaimana mengukur tingkat kualitas energi listrik bagi komputer dan peralatannya termasuk distorsi harmonisa yang ditimbulkan oleh sistem komputer di Ruang SCS, Gedung Puskom Lt. 2 Universitas Brawijaya, Malang.
3. Bagaimana menganalisa besar Total Harmonic Distortion (THD) arus terhadap penambahan beban komputer yang ada di Ruang SCS, Gedung Puskom Lt. 2 Universitas Brawijaya, Malang
4. Bagaimana meminimisasi besar Total Harmonic Distortion (THD) arus yang ditimbulkan oleh beban komputer.

1.3 Batasan Masalah

Untuk menghindari perluasan masalah, penulis hanya membahas :

1. Hanya membahas sumber penyebab terjadinya arus harmonisa dari pemakaian perangkat komputer.
2. Hanya membahas gejala-gejala arus harmonisa yang terjadi pada pemakaian perangkat komputer.
3. Dari sisi pembangkitan dianggap dalam keadaan normal (sistem stabil)

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Untuk menganalisis pengaruh kandungan distorsi harmonisa yang dihasilkan dari pengoperasian perangkat komputer terhadap kualitas tenaga listrik di ruang SCS Universitas Brawijaya ditinjau dari besar nilai Total Harmonic Distortion (THD) yang dihasilkan.
2. Meminimisasi kandungan harmonisa dengan metode pergeseran fasa,

1.5 Sistematika Pembahasan

Sistematika yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Memuat latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup, tujuan dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Terdiri dari : teori tentang dasar-dasar tenaga elektrik, beban nonlinier, metode perhitungan harmonisa pada sistem tenaga listrik, serta metode pergeseran fasa dalam proses minimisasi arus Total Harmonics Distortion.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi tentang metodologi penelitian dan analisa hasil penelitian.

BAB IV ANALISIS DATA PENGOPERASIAN PERANGKAT KOMPUTER

Terdiri dari : studi dan analisa dari data pengoperasian perangkat komputer terhadap sistem tenaga listrik di SCS UB ditinjau dari arus harmonisa yang ditimbulkan

BAB V PENUTUP

Memuat kesimpulan dan saran tugas akhir.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kualitas Energi Listrik

Kualitas Energi Listrik didefinisikan sebagai parameter atau tingkat baik buruknya suplai listrik suatu sistem tenaga. Penentuan kualitas energi bersifat relatif, karena sangat tergantung pada jenis beban atau peralatan yang akan disuplai, dengan kata lain bahwa dalam mendisain suatu sistem tenaga hendaknya tingkat kualitas energi suplai listrik dipertimbangkan dan disesuaikan dengan tingkat kebutuhan kualitas energi dari peralatan atau beban yang disuplai. Seperti komputer dan peralatannya memiliki nilai toleransi kualitas energi yang sangat ketat, oleh karena itu komputer dan peralatannya dimasukkan dalam kategori peralatan elektronik yang sensitif.

Di sisi lain unit komputer serta peralatan-peralatan elektronik sensitif yang berkaitan seperti printer, scanner dan lain-lain merupakan peralatan yang bersifat non linier, karena terbuat dari bahan-bahan semikonduktor. Sifat ini yang menjadi faktor penyebab terjadinya distorsi pada suplai listrik yang pada akhirnya menyebabkan gangguan bahkan kerusakan pada unit komputer itu sendiri. Distorsi tersebut biasanya disebut sebagai Distorsi Harmonisa (Harmonic Distortion).

2.1.1 Tegangan

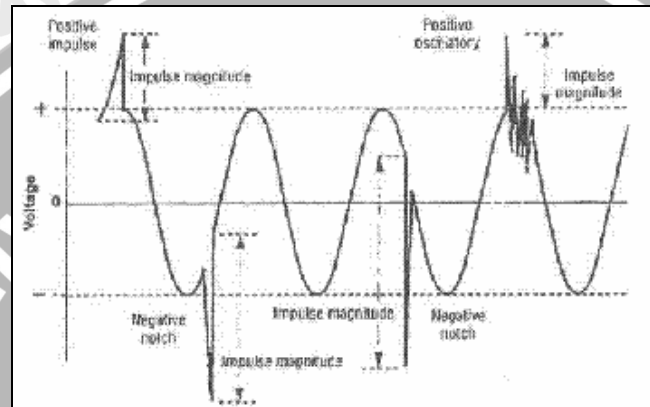
Secara ideal, suplai tegangan listrik harus selalu konstan pada tingkat tegangan nominal yang telah ditentukan sesuai dengan spesifikasi beban atau peralatan yang disuplai, namun kondisi tersebut sangat sulit dicapai pada praktek di lapangan. Fakta di lapangan menunjukkan bahwa suplai tegangan tidak dapat selalu konstan, ada selang waktu tingkat tegangan melewati batas nominal yang telah ditentukan baik itu naik maupun turun, hal itu disebabkan oleh berbagai faktor dan berdampak sangat tidak baik bagi komputer dan peralatannya. Adapun pokok-pokok penting yang akan dibahas adalah Tegangan Transien, Ketidakstabilan Tegangan, dan Ketidakseimbangan Tegangan 3 fasa.

2.1.1.1 Tegangan Transien (Voltage Transient)

Tegangan transien adalah gejala dimana terjadi kenaikan tingkat tegangan dari batas normal sistem dalam durasi waktu yang sangat singkat (mikrodetik) pada frekuensi yang tinggi dan dapat terjadi berkali-kali secara berturut-turut. Tegangan transien juga sering disebut sebagai Spike / Voltage Impulse.

Beberapa kemungkinan yang menyebabkan timbulnya gejala ini :

- Serangan petir (lightning strike)
- Operasi switching dengan daya yang besar
- Kesalahan Arching (Archingfault)
- Interupsi daya, terjadi pemutusan daya secara mendadak



Gambar 2.1 Tegangan Transien

(Sumber : R. M. Waggoner. *Practical Guide to Quality Power for Sensitive Electronic Equipment 2nd edition* (Kansas :Overland Park). 1997. p. 34.)

Dampak yang timbul pada komputer dan peralatannya akibat dari gejala tegangan transien seperti :

- Kesalahan operasi pada komputer
- Kerusakan memori komputer secara permanen
- Kerusakan komponen- komponen komputer secara permanen

Toleransi Tegangan Transien bagi unit komputer dan peralatannya berdasarkan IEEE Standard, sebesar 150-200 % dari rating tegangan nominal, dengan durasi < 0.2 ms Untuk mengatasinya biasanya digunakan Transient Voltage Surge Suppressor (TVSS).

2.1.1.2 Ketidakstabilan Tegangan (Voltage Instabilit)

Ketidakstabilan tegangan (*Voltage Instability*) adalah gejala dimana terjadi ketidakstabilan tingkat tegangan sistem, baik itu penurunan (*voltage sags*) maupun kenaikan (*voltage swells*) dari batas normal tegangan sistem.

Faktor - faktor yang menyebabkan ketidakstabilan tegangan meliputi :

- Fault pada sistem, menyebabkan gejala tegangan bawah standar.
- Terjadinya perubahan tingkat beban yang besar pada sistem, baik itu starting (imdervoltage) maupun lepasnya beban dengan daya yang besar (overvoltage).
- Adanya gangguan pada distribusi listrik.

Melalui gelombang sags and swelts dapat diketahui sumber terjadinya ketidakstabilan tegangan. Terdapat dua kemungkinan sumber terjadinya ketidakstabilan tegangan yaitu:

- Upstream, jika terlihat ada perubahan tegangan, namun arus tidak berubah atau berubah sedikit, maka dapat disimpulkan bahwa ketidakstabilan tersebut bukan disebabkan karena perubahan beban atau gangguan.
- Downstream, jika terlihat ada perubahan tegangan dengan diikuti dengan perubahan arus, maka dapat disimpulkan bahwa ketidakstabilan tersebut disebabkan karena adanya perubahan tingkat beban pada sistem.

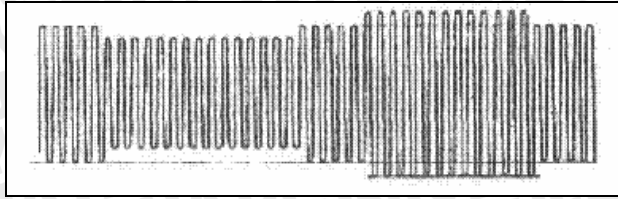
Pada komputer dan peralatannya, ketidakstabilan tingkat tegangan dapat menyebabkan:

- Kesalahan operasi (erroneous operation) akibat dari error pada memori komputer
- Kerusakan secara permanen pada beberapa komponen komputer termasuk memorinya.

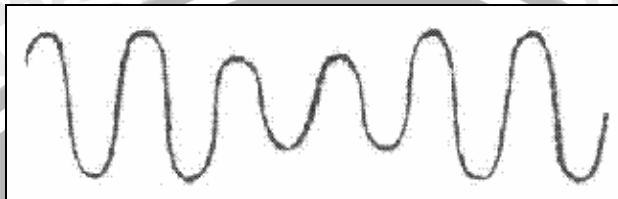
Toleransi Ketidakseimbangan Tegangan bagi unit komputer dan peralatannya berdasarkan IEEE Standard:

- Untuk Under Voltage sebesar 10 % dari rating tegangan normal
- Untuk Over Voltage sebesar 5 % dari rating tegangan normal Jika asumsi rating tegangan normal 230 Volt, maka batas bawah dan atas tegangan bagi komputer dan peralatannya adalah: 207-241.5 Volt.

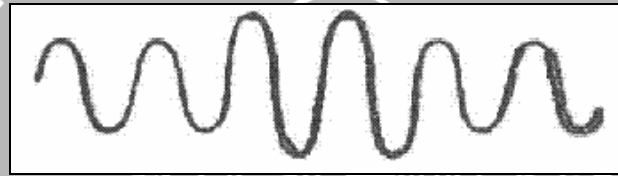
Untuk mengatasinya biasanya digunakan *Vollage Regulator*.



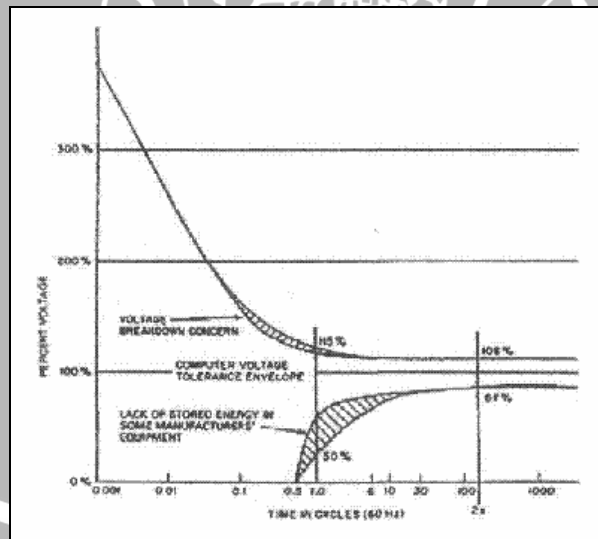
Gambar 2.2 Gelombang Voltage Inslability



Gambar 2.3 Voltage Sags



Gambar 2.4 Voltage Swells



Gambar 2.5 Kurva Toleransi Tegangan

(Sumber : Sankaran, C. *Power Quality*, Florida : CRC Press LLC, 2002)



2.1.1.3 Ketidakseimbangan Tegangan Tiga Fasa (Three Phase Voltage Unbalance)

Secara ideal, sistem tenaga listrik tiga fasa memiliki tingkat tegangan fasa (phase to netral) yang sama antara masing-masing fasa, hal tersebut sulit ditemukan di lapangan.

$$\% Vu = 3(V_{\max} - V_{\min}) / (V_r + V_s + V_t) \times 100 \quad (2.8)$$

dimana :

% Vu = Persentase Ketidakseimbangan Tegangan Tiga Fasa

V_{max} = Tegangan Tertinggi

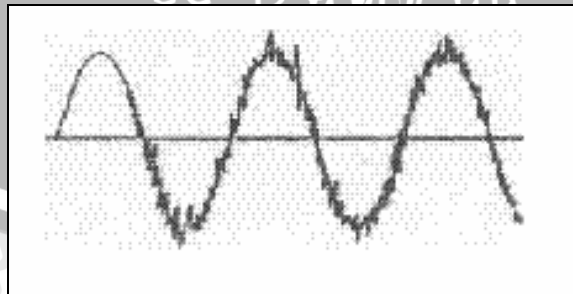
V_{min} = Tegangan Terendah

V_{r,s,t} = Tegangan Fasa

Batas maximum persentase Ketidakseimbangan Tegangan Tiga Fasa yang diperbolehkan bagi komputer dan peralatannya berdasarkan standar IEEE adalah : 5 % .

2.1.2 Gangguan Gelombang Elektrik (Electrical Noise)

Electrical Noise adalah gelombang yang terinduksikan pada saluran listrik secara elektromagnetik dan elektrostatik, dimana gelombang ini akan mempengaruhi gelombang murni peralatan. Gangguan dapat timbul dari radiasi microwave, pengoperasian gelombang elektrostatik, transmisi siar dan lain-lain. Noise dapat menyebabkan kegagalan pengoperasian serta kerusakan komponen-komponen komputer secara perlahan-lahan. Noise dapat direduksi dengan memasang pelindung (shield) pada penghantar atau kabel serta pentanahan yang baik.



Gambar 2.6 Gelombang Yang Terdistorsi Electrical Noise

2.1.3 Deviasi Frekuensi

Deviasi frekuensi adalah gejala dimana terjadi pergeseran atau penyimpangan tingkat frekuensi dari tingkat frekuensi dasar. Secara ideal frekuensi harus konstan, namun hal itu sulit ditemui di lapangan, terutama pada saat penggunaan suplai listrik cadangan (genset).

Pada saat menggunakan genset, starting beban dengan daya yang besar dapat menyebabkan putaran genset (Rpm) mengalami penurunan yang pada akhirnya menyebabkan frekuensi juga turun.

Naik turunnya frekuensi akan berdampak negatif bagi berbagai peralatan elektronika termasuk komputer dan peralatannya seperti kerusakan pada disk drive komputer serta kegagalan pengoperasian.

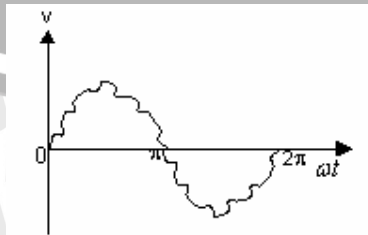
Toleransi deviasi frekuensi dan batas perubahan frekuensi bagi komputer dan peralatannya berdasarkan standar IEEE adalah $\pm 1\%$, 1.5 Hz / detik.11, untuk indonesia, frekuensi daya listrik yang dipakai adalah 50 Hz, jadi batas toleransi yang diijinkan adalah 49.5 Hz - 50.5 Hz. Untuk mengatasinya, perlu dipasang UPS (Uninterruptible Power Supply) dengan dilengkapi inverter frekuensi.

2.1.4 Harmonisa Pada Sistem Tenaga Listrik

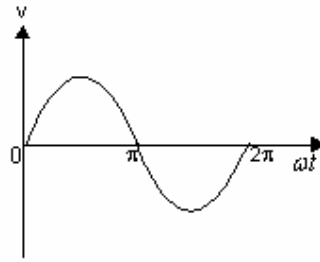
2.2.1 Pengertian Harmonisa

Pada sistem tenaga listrik ac ideal, energi listrik disalurkan dalam frekuensi tunggal yang konstan dan pada level tegangan yang konstan pula. Tetapi dengan perkembangan beban listrik yang semakin besar dan kompleks, terutama penggunaan beban-beban tak linier, akan menimbulkan perubahan pada bentuk gelombangnya seperti terlihat pada Gambar 2.7.

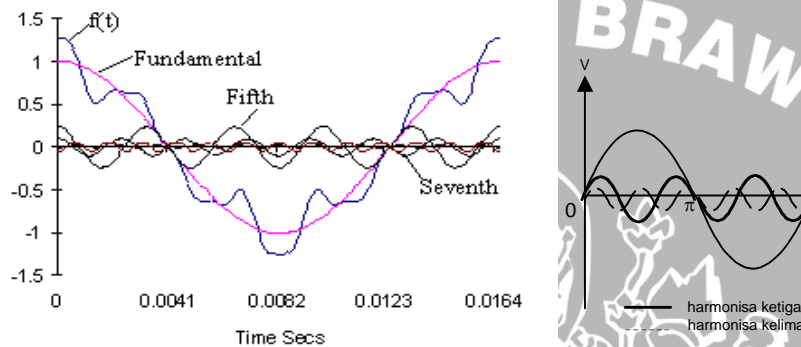
Cacat gelombang yang disebabkan oleh interaksi antara bentuk gelombang sinusoidal sistem dengan komponen gelombang lain lebih dikenal dengan harmonisa, yaitu komponen gelombang lain yang mempunyai frekuensi kelipatan integer dari komponen fundamentalnya seperti ditunjukkan pada Gambar 2.7, 2.8 dan 2.9.



Gambar 2.7 Bentuk Gelombang Terdistorsi



Gambar 2.8 Bentuk Gelombang Pada Frekuensi Fundamental



Gambar 2.9 Bentuk Gelombang Harmonisa

Distorsi harmonisa akan mengakibatkan kerugian pada sistem jaringan, diantaranya adalah terjadinya resonansi paralel maupun seri. Salah satu penyebabnya adalah pemasangan kapasitor shunt pada jaringan yang digunakan untuk kompensasi daya reaktif. Terjadinya resonansi ini akan meningkatkan tegangan harmonisa yang cukup besar pada bus kapasitor yang bisa merusak kapasitor itu sendiri dan komponen jaringan lainnya. Sehingga dalam upaya memperoleh efisiensi dan kualitas sistem tenaga listrik, maka pengaruh harmonisa harus diperhitungkan.

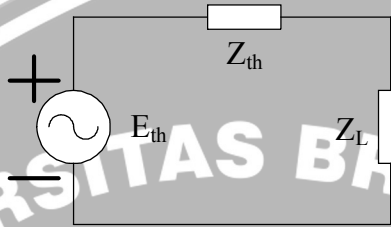
Harmonisa yang timbul pada sistem tenaga listrik dapat dijelaskan sebagai berikut. Misalkan suatu sistem tenaga listrik seperti dalam Gambar 2.10 merupakan rangkaian pengganti Thevenin dari suatu jaringan sistem tenaga listrik ac. Eth adalah sumber tegangan yang hanya menghasilkan tegangan sinusoidal, Zth adalah beban linier dan ZL adalah elemen tak linier. Beban ZL akan menyerap arus yang mengandung komponen-komponen harmonisa.

Misalkan :

$$E_{th} = E_m \sin n(\omega t) \tag{2-9}$$

Arus yang diserap komponen tak linier adalah

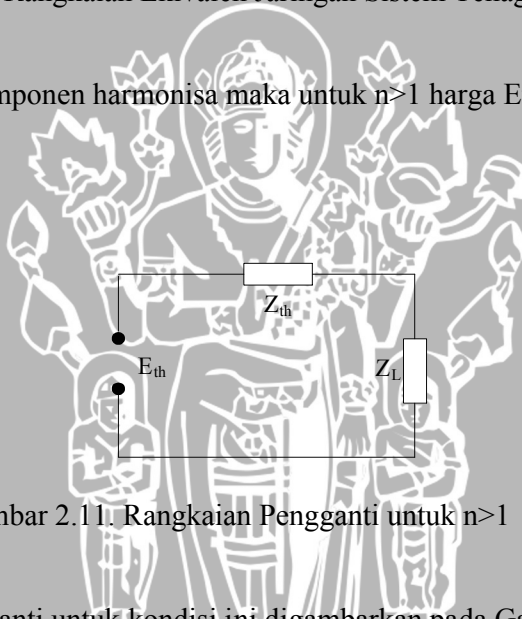
$$i(t) = \sum_{n=1}^{\infty} I_n \sin (\omega_n t + \phi_n) \tag{2-10}$$



Gambar 2.10. Rangkaian Ekuivalen Jaringan Sistem Tenaga Listrik

Karena E_{th} tidak ada komponen harmonisa maka untuk $n > 1$ harga $E_{th} = 0$ dan arus :

$$i(t) = \sum_{n=2}^{\infty} I_n \sin (\omega_n t + \phi_n) \tag{2-11}$$



Gambar 2.11. Rangkaian Pengganti untuk $n > 1$

Rangkaian pengganti untuk kondisi ini digambarkan pada Gambar 2.11. Terlihat bahwa $i(t)$ tetap ada meskipun $E_{th} = 0$. Karena nilai $i(t)$ tetap maka pada kondisi ini elemen Z_L dapat dipandang sebagai sumber arus. Dan generator dipandang sebagai sebuah impedansi Z_{Eth} .

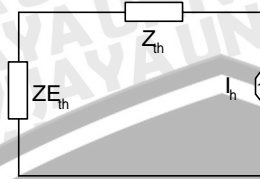
Misalkan,

$$\begin{aligned} i_n(t) &= -i(t) \\ &= - \sum_{n=2}^{\infty} I_n \sin (\omega_n t + \phi_n) \end{aligned} \tag{2-12}$$

jika $\theta_n = \phi_n + \pi$ maka :

$$i_n(t) = I_n \sin(\omega_n t - \theta_n) \quad (2-13)$$

Rangkaian pengganti dapat dilihat pada Gambar 2.12



Gambar 2.12 Elemen Tak Linier Sebagai Sumber Arus Harmonisa

Dalam sistem tiga fasa, harmonisa yang dihasilkan sama seperti sistem satu fasa. Harmonisa genap biasanya diabaikan karena resultan harmonisa ini dengan komponen fundamental menghasilkan bentuk gelombang yang simetris pada π . Dalam analisa harmonisa sistem tiga fasa, harmonisa ditinjau berdasarkan teori komponen simetris. Pada sistem tiga fasa seimbang, arus terdistorsi pada tiap fasanya akan mempunyai bentuk gelombang yang sama, dan dianggap bahwa arus pada tiap fasa merupakan fungsi ganjil, agar analisisnya sederhana.

$$i_R(t) = I_1 \sin \omega t + I_3 \sin 3\omega t + I_5 \sin 7\omega t + \dots \quad (2-14)$$

Sama seperti persamaan di atas, arus pada fasa S tertinggal sebesar 1/3 periode terhadap arus fasa R dan fasa T tertinggal 2/3 periode dari fasa R.

$$i_S(t) = i_R \left(t - \frac{T}{3} \right) \quad (2-15)$$

$$i_T(t) = i_R \left(t - 2\frac{T}{3} \right) \quad (2-16)$$

Dalam persamaan penjumlahan harmonisa :

$$i_R(t) = \sum_{n=1}^{\infty} I_n \sin(\omega_n t) \quad (2-17)$$

$$i_R(t) = \sum_{n=1}^{\infty} I_n \sin \left(\omega_n t - \frac{2\pi n}{3} \right) \quad (2-18)$$

dengan :

$$\frac{2\pi n}{3} = \begin{cases} \frac{2\pi}{3}, n = 1,4,7,10,13,K \\ -\frac{2\pi}{3}, n = 2,5,8,11,14,L \\ 0, n = 3,6,9,12,15,K \end{cases}$$

Apabila masing-masing komponen harmonisa ditransformasikan ke dalam komponen-komponen urutan nol, positif dan negatif :

$$I_n^{(0,1,2)} = A^{(-1)} I_n^{(a,b,c)} \quad (2-19)$$

dengan :

$$A^{(-1)} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$$

$I_n^{(a,b,c)}$ = komponen arus harmonisa ke-n pada fasa a,b,c

Sehingga dapat diperoleh orde harmonisa berdasarkan urutan yang terlihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Orde Harmonisa Berdasarkan Urutan

Harmonisa	Urutan
1,4,7,10,13, ... 3k-2	Positif
2,5,8,11,14, ... 3k-1	Negatif
3,6,9,12,15, ... 3k	Nol

(Sumber : Tribuana, Wanhar, *Pengaruh Harmonik pada Trafo Distribusi*. 1999. 24 Agustus 2005.

<http://www.elektroindonesia.com/elektro/ener25.html>)

Dengan demikian dalam analisa harmonisa, dapat diambil analogi dari teori komponen simetri, yaitu masing-masing komponen harmonisa ditransformasikan ke dalam komponen-komponen urutan nol, positif dan negatif dengan ketentuan seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2.1 di atas.

2.2.2 Sumber-Sumber Harmonisa

Dalam sistem tenaga listrik AC sumber-sumber harmonisa dapat berasal dari pemakaian beban-beban tak linier seperti :

- Konverter
- Tanur busur listrik

- Lampu Florence
- Dll.

Selain itu pada beban linier seperti transformator dan motor- motor induksi juga dapat membangkitkan harmonisa pada jaringan. Tetapi harmonisa yang dibangkitkan cukup kecil jika dibandingkan dengan menggunakan beban -beban tak linier.

2.2.3 Metode Fourier untuk Analisa Harmonisa

Menurut Metode Fourier, suatu fungsi periodik dapat diuraikan menjadi fungsi-fungsi sinusoidal dengan frekuensi, amplitudo dan sudut fasa tertentu asalkan memenuhi syarat-syarat :

- Merupakan fungsi periodic $f(\omega t) = f(\omega t + T)$ dengan $T =$ periode
- Merupakan fungsi kontinu atau fungsi tak kontinu dengan jumlah ketidakkontinyuan yang tertentu selama satu periode
- Selama selang periode, fungsi harus mempunyai harga rata-rata tertentu
- Dalam satu periode T , fungsi harus mempunyai harga maksimum atau minimum yang jumlahnya tertentu.

Apabila syarat-syarat diatas dipenuhi maka fungsi dapat diuraikan menjadi deret Fourier yang bentuknya sebagai berikut :

$$f(\omega t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) \quad (2-20)$$

Dengan :

$$a_0 = \frac{2}{T} \int_0^T f(\omega t) d(\omega t) \quad (2-21)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(\omega t) \cos(n\omega t) d(\omega t) \quad (2-22)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T f(\omega t) \sin(n\omega t) d(\omega t) \quad (2-23)$$

Penyederhanaan analisa Fourier dapat dilakukan dengan menggunakan sifat-sifat khusus sebagai berikut :

1. Jika luas siklus positif dan negatif dalam satu periode sama maka $a_0 = 0$.
2. Jika $f(\omega t) = -f(\omega t + \pi)$ atau fungsi mempunyai simetri setengah gelombang maka tidak akan muncul harmonisa orde genap.

- 3. Jika fungsi merupakan fungsi genap $f(\omega t) = f(-\omega t)$ maka $b_n = 0$
- 4. Jika fungsi merupakan fungsi ganjil $f(\omega t) = -f(\omega t + \pi)$ maka $a_n = 0$

Dengan menggunakan Metode Fourier pada bentuk gelombang arus yang diserap oleh komponen atau beban penyebab harmonisa maka dapat ditentukan komponen-komponen harmonisa yang dibangkitkannya. Dan selanjutnya dapat dihitung tingkat tegangan harmonisa pada jaringan.

2.2.4 Injeksi Pada Point Of Common Coupling

Untuk mendapatkan arus injeksi dari beban tak linier bisa dicari dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$I_h = I_s \cdot f_h \tag{2-24}$$

dimana :

- I_s = Arus Normal Konverter Statis
- f_h = Faktor Harmonisa Dalam PU dari I_s

Dalam analisa harmonisa selanjutnya diambil asumsi bahwa konverter yang digunakan adalah konverter 6 pulsa dan dioperasikan pada sudut $\alpha = 300$. Dengan asumsi ini akan diperoleh persentase magnitudo arus harmonisa terhadap arus fundamentalnya, seperti terlihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Arus Harmonisa Per Unit yang Diakibatkan Oleh Konverter 6 Pulsa

Harmonic	PU Value	Harmonic	PU Value
1	1,000		
5	0.192	29	0.014
7	0.132	31	0.012
11	0.073	35	0.011
13	0.057	36	0.010
17	0.035	41	0.009
19	0.027	43	0.008
23	0.020	47	0.008
25	0.016	48	0.007

(Sumber : IEEE – 519 (“The IEEE 519 standart provides guidelines for harmonic generating power system”))

2.2.5 Tegangan Harmonisa

Perhitungan tegangan harmonisa didasari oleh hasil perkalian antara matrik impedansi bus dengan arus harmonisa yang dihasilkan oleh sumber harmonisa. Setiap menghitung tegangan-tegangan harmonisa bus pada frekuensi harmonisa, matriks Zbus diubah untuk frekuensi-frekuensi yang bersangkutan, dan besarnya tegangan total, yaitu tegangan pada frekuensi fundamental dan tegangan pada frekuensi-frekuensi harmonisa yang berinterferensi dengan frekuensi fundamental pada setiap bus dipenuhi dengan hubungan sebagai berikut :

$$V_{rms} = \sqrt{V_{1(rms)}^2 + V_{5(rms)}^2 + V_{7(rms)}^2 + \dots} \quad (2-25)$$

Dimana,

V_{rms} = Nilai Tegangan rms.Harmonisa

$V_{1(rms)}^2$ = Nilai Tegangan rms Harmonisa Orde ke 1

$V_{5(rms)}^2$ = Nilai Tegangan rms Harmonisa Orde ke 5

$V_{7(rms)}^2$ = Nilai Tegangan rms Harmonisa Orde ke 7

2.2.6 Distorsi Harmonisa

Dalam harmonisa khususnya pada sistem tenaga listrik dipakai istilah Total Harmonic Distortion (THD) yang didefinisikan sebagai persentase total komponen harmonisa terhadap komponen fundamentalnya. Total Harmonic Distortion (THD) dituliskan sebagai :

$$THD = \frac{\left[\sum_{n=2}^k U_n \right]^{\frac{1}{2}}}{U_1} \times 100\% \quad (2-26)$$

dimana :

THD = Persentase Total Distorsi Harmonisa

U_n = Komponen Harmonisa

U_1 = Komponen Fundamental

k = Komponen Hmonisa Mksimum yang Damati

Perhitungan tersebut tidak sama untuk setiap negara tergantung standar yang dipakai. Dalam hal ini diberikan contoh standar dari IEEE Std. 519-1992. Ada dua kriteria yang digunakan dalam analisa distorsi harmonisa. Pertama adalah limitasi untuk distorsi arus, yang kedua adalah limitasi untuk distorsi tegangan.

Standar harmonisa arus dan tegangan : IEEE – 519 (“The IEEE 519 standart provides guidelines for harmonic generating power system”)

Tabel 2.3 Standar IEEE – 519

Harmonic Number	IEEE (I) Limit (%)	IEEE (V) Limit (%)
5	12	3
7	12	3
11	5.50	3
13	5.50	3
17	5	3
19	5	3
23	2	3
25	2	3
29	2	3
31	2	3
THD	20	5

Standar harmonisa arus dan tegangan : “Power Distribution Engineering”, (James J. Burke, p.284)

Tabel 2.4. Limit Distorsi Harmonisa Untuk Sistem Distribusi 120 V Sampai 69 kV

Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of IL						
ISC/IL	Individual Harmonic Order (Odd Harmonic)					
	H < 11	11 ≤ h ≤ 17	17 ≤ h ≤ 23	23 ≤ h ≤ 35	35 ≤ h	TDD
< 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 harmonic are limited to 25% of the odd harmonic above.						
Current distortion that result in a dc, e.g. half-wave converters, are not allowed.						
*All power generation equipment is limited to these values of current distortion regardless of the actual ISC/IL.						
Where :						
ISC = maximum short circuit at PCC						
IL = maximum demand load current (fundamental frequency component) at PCC						

(Sumber : Burke, James J. Power Distribution Engineering-Fundamental And Applications, New York: Marcel Dekker Inc., 1994, p.284)

Tabel 2.4 memuat standar limitasi untuk distorsi arus. Rasio ISC/IL adalah arus hubung singkat pada Point of Common Coupling terhadap arus beban nominal pada frekuensi fundamental. Dalam Tabel tersebut, tegangan yang dipakai adalah antara 120 V samapai 69 kV. Untuk tegangan 69 kV sampai dengan 161 kV dipakai standar limitasi untuk sistem subtransmisi.

Sedangkan standar limitasi distorsi tegangan pada PCC diperlihatkan pada Tabel 2.4.

Tabel 2.5. Limit Distorsi Tegangan

Bus Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion (%)	THD(%)
69 kV and below	3,0	5,0
69,001 kV through 161 kV	1,5	2,5
161,001 kV and above	1,0	1,5

Note : High voltage system can have up to 2,0 % THD where the cause is an HVDC

2.2.7 Pengaruh Harmonisa

Secara garis besar efek harmonisa pada sistem tergantung pada sumber harmonisa, letak sumber hamonisa dan karakteristik jaringan. Di bawah ini dijelaskan beberapa pengaruh harmonisa yang dominan pada sistem tenaga listrik.

2.2.7.1 Resonansi

Kehadiran kapasitor yang digunakan untuk memperbaiki faktor daya dapat menyebabkan timbulnya resonansi sistem lokal yang diikuti dengan naiknya arus yang sangat besar yang merugikan kapasitor itu sendiri. Dalam hal ini ada dua buah resonansi sistem, yaitu resonansi paralel dan resonansi seri.

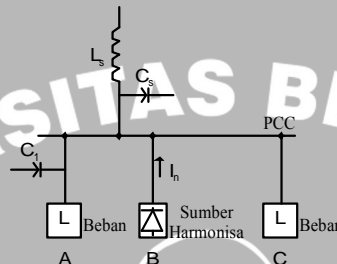
Resonansi paralel menghasilkan impedansi yang tinggi pada frekuensi resonansi. Umumnya sumber harmonisa dianggap sebagai sumber arus yang menaikkan tegangan harmonisa dan arus harmonisa yang tinggi pada setiap lengan impedansi paralel.

Resonansi paralel dapat terjadi pada beberapa cara, yang paling sederhana mungkin ketika sebuah kapasitor dihubungkan pada busbar yang sama dengan sumber harmonisa. Sebuah resonansi paralel dapat terjadi antara sumber dan kapasitor. Dengan asumsi bahwa sumber harmonisa bersifat induktif, frekuensi resonansi adalah :

$$f_p = f \sqrt{\frac{S_s}{S_c}} \tag{2-27}$$

dimana :

- f = Frekuensi Fundamental (Hz)
- f_p = Frekuensi Resonansi Pararel (Hz)
- S_s = Rating Hubung Singkat (Short Circuit) Sumber (Var)
- S_c = Rating Kapasitor (Var)



Gambar 2.13 Resonansi Pararel Pada Point of Common Coupling

Resonansi pararel dapat terjadi pada sistem seperti pada Gambar 2.13. Arus harmonisa dari konsumen B bertemu dengan impedansi harmonisa yang tinggi pada busbar. Hal ini mungkin karena resonansi antara induktansi sistem (L_s) dan kapasitansi sistem atau kapasitansi beban (C₁).

Untuk menentukan kondisi resonansi yang ada diperlukan pengukuran arus-arus harmonisa pada setiap beban konsumen dan suplai, bersama dengan tegangan harmonisa pada busbar. Secara umum, jika aliran arus yang masuk ke sistem tenaga dari busbar adalah kecil ketika tegangan harmonisa tinggi, menandakan terjadi resonansi pada sistem tenaga. Sedangkan jika ada arus harmonisa yang besar mengalir ke beban konsumen A dan meningkatkan tegangan harmonisa pada busbar, menandakan terjadi resonansi antara induktansi sistem dan kapasitor.

2.2.7.2 Pengaruh Pada Saluran Transmisi

Aliran arus harmonisa menghasilkan dua pengaruh utama. Pertama adalah menambah rugi transmisi yang disebabkan oleh meningkatnya nilai rms gelombang arus yaitu :

$$P_T = \sum_{n=2}^{\infty} I_n^2 R_n \tag{2-28}$$

dimana :

- I_n = Arus Harmonisa ke-n



R_n = Resistansi Sistem Pada Harmonisa ke-n.

Dampak kedua adalah aliran arus harmonisa menyebabkan drop tegangan diantara berbagai impedansi rangkaian. Ini berarti bahwa pada sistem yang kecil dengan impedansi besar dan tingkat gangguan rendah, akan menghasilkan gangguan tegangan yang lebih besar daripada sistem yang besar dengan tingkat gangguan yang tinggi dan impedansi rendah.

Pada transmisi dengan kabel, tegangan harmonisa meningkatkan tekanan dielektrik yang sebanding dengan puncak tegangannya. Hal ini akan memperpendek masa pakai kabel dan juga dapat meningkatkan gangguan sehingga meningkatkan biaya pemeliharaan.

2.2.7.3 Pengaruh Pada Transformator

Timbulnya arus harmonisa meningkatkan rugi-rugi histerisis dan arus Eddy serta tekanan isolasi. Aliran arus harmonisa meningkatkan rugi-rugi tembaga dan efek ini lebih nyata pada transformator konverter, karena transformator tersebut tidak terpengaruh adanya filter yang biasanya dihubungkan pada sisi sistem ac. Terlepas dari rating yang dikehendaki, transformator konverter sering menimbulkan titik panas yang tidak dikendaki pada tangki.

Pengaruh yang penting khususnya pada transformator daya adalah adanya arus sirkulasi triplen urutan nol pada belitan delta. Sirkulasi arus yang berlebihan dapat melampaui batas kemampuan belitan kecuali hal ini diperhatikan saat perencanaan. Yang perlu dipertimbangkan juga, untuk transformator yang mensupply beban tidak seimbang. Jika arus beban mengandung komponen DC akan mengakibatkan kejenuhan pada rangkaian magnetik transformator terutama meningkatkan level seluruh komponen harmonisa dari arus penguatan ac.

2.3 Minimalisasi Harmonisa Arus Sistem Dengan Metode Pergeseran Fasa

Pada metode ini minimisasi harmonisa arus sistem dilakukan dengan mensuperposisikan komponen-komponen arus harmonisa arus yang signifikan dari dua cabang beban sistem sehingga saling meniadakan. Super-posisi komponen arus harmonisa pada sistem dapat dilakukan dengan menggeser sudut fasa tegangan suplai beban dengan menggunakan sebuah auto-transformator (autotrafo). Dalam hal ini, autotrafo bertindak sebagai minimisator harmonisa arus sistem. Beberapa konfigurasi autotrafo penggeser fasa dibentuk dan dibandingkan besar masing-masing rating kVA yang dibutuhkannya.

Gambar 2.14 memperlihatkan sistem distribusi tenaga listrik yang mensuplai beban-beban nonlinier yang menyebabkan arus sistem terdistorsi dan mengandung harmonisa arus. Persamaan arus sistem yang mengandung harmonisa dapat dinyatakan sebagai berikut:

Arus sistem $i_s(t)$ sama dengan arus beban total $IB(t)$, yaitu:

$$i_s(t) = \sqrt{2}I_{s1} \sin(\omega t) + \sum_{h=(6h\pm 1)}^{\infty} \sqrt{2}I_{sh} \sin(h\omega t) \quad (2.29)$$

Dimana,

$i_s(t)$ = nilai sesaat dari arus sistem

i_{s1} = nilai rms dari komponen arus fundamental

i_{sh} = nilai rms dari arus harmonisa orde h

h = orde harmonisa

n = bilangan integer (1,2, 3, ...)

$\omega = 2\pi f$, dimana f adalah frekuensi sistem atau frekuensi fundamental



Sumber tegangan

Rel Jala-jala

Beban nonlinier

Gambar 2.14. Sistem yang Mensuplai Beban Nonlinier

Komponen arus harmonisa dari arus sistem ini mempunyai sifat yang sama dengan komponen arus urutan pada sistem komponen simetris; komponen arus harmonisa orde $(h=6n+1)$ mempunyai sifat yang sama dengan komponen urutan positif dan dinamakan komponen arus harmonisa urutan positif, sedangkan komponen arus

harmonisa orde ($h=6n-1$) mempunyai sifat yang sama dengan komponen arus urutan negatif dan dinamakan komponen arus harmonisa urutan negatif.

Umumnya magnitud arus harmonisa yang terdapat pada sistem akan berbanding terbalik terhadap ordenya, dan dinyatakan sebagai :

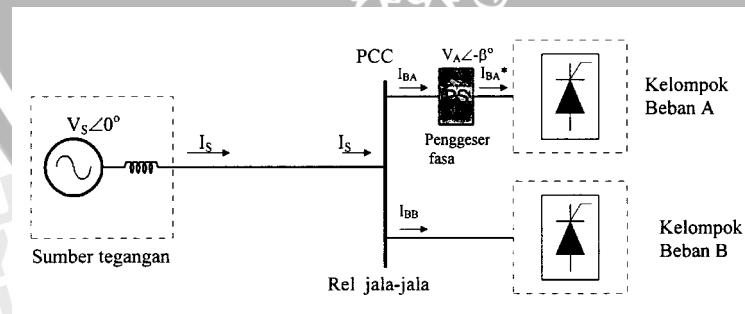
$$I_{sh} = \frac{I_{s1}}{h} \quad (2.30)$$

Persentase kandungan arus harmonisa yang terdapat pada suatu sistem atau tingkat distorsi arus sistem dinyatakan dalam THD (total harmonic distortion) yang didefinisikan sebagai:

$$THD_{\text{ arus }} = \sqrt{\sum_{h \neq 1}^{\infty} \left(\frac{I_{sh}}{I_{s1}} \right)^2} \times 100\% \quad (2.31)$$

Dengan menggunakan persamaan (2.30) dan (2.31) dapat dihitung besarnya THD arus sistem pada persamaan (2.29), yaitu 32,4%. Persentase THD arus ini melebihi batas ketentuan yang direkomendasikan dalam standarisasi harmonisa IEEE-159 tahun 1992 yang menetapkan besar THD arus maksimum di jala-jala sistem atau di PCC (point of common coupling) sebesar 20% [5].

Untuk meminimisasi harmonisa arus sistem (THD) agar dapat memenuhi standarisasi dengan metode yang diusulkan ini, dilakukan mekanisme sebagai berikut. Beban sistem dibagi menjadi dua kelompok cabang beban, misalkan kelompok cabang beban A dan B. Kemudian, sudut fasa tegangan suplai untuk salah satu cabang beban digeser sebesar ($-b$) terhadap tegangan sumber dengan menggunakan sebuah penggeser fasa PS (phase shifter), sementara cabang beban lainnya disuplai langsung dari sumber tegangan seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.



Gambar 2.15 Sistem Mensuplai Dua Cabang Beban

(Sumber : <http://www.lp.itb.ac.id/product/vol31no3/syafrudin/syafrudin.htm>)

Kelompok beban nonlinier pada cabang B yang langsung disuplai dari sumber tegangan sistem mempunyai persamaan arus di rel jala-jala sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 i_{BB}(t) &= \sqrt{2}I_{BBa} \sin(\omega t) + \sum_{h=(6n\pm 1)}^{\infty} \sqrt{2}I_{BBh} \sin(h\omega t) \\
 &= \sqrt{2}I_{BB1} \sin(\omega t) + \sqrt{2}I_{BB5} \sin(5\omega t) + \sqrt{2}I_{BB7} \sin(7\omega t) + \sqrt{2}I_{BB11} \sin(11\omega t) \\
 &+ \sqrt{2}I_{BB13} \sin(13\omega t) + \sqrt{2}I_{BB17} \sin(17\omega t) + \sqrt{2}I_{BB19} \sin(19\omega t)
 \end{aligned} \tag{2.32}$$

Kelompok beban A yang mendapat tegangan suplai dengan pergeseran sudut fasa sebesar $-b$ o terhadap sudut fasa tegangan sumber VSD $0o$ mempunyai persamaan arus di sisi beban adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 i_{BA}(t) &= \sqrt{2}I_{BA1} \sin(\omega t - \beta^\circ) + \sum_{h=(6n\pm 1)}^{\infty} \sqrt{2}I_{BAh} \sin(h\omega t - \beta^\circ) \\
 &= \sqrt{2}I_{BA1} \sin(\omega t - \beta^\circ) + \sqrt{2}I_{BA5} \sin(5\omega t - \beta^\circ) + \sqrt{2}I_{BA7} \sin(7\omega t - \beta^\circ) \\
 &+ \sqrt{2}I_{BA11} \sin(11\omega t - \beta^\circ) + \sqrt{2}I_{BA13} \sin(13\omega t - \beta^\circ) + \sqrt{2}I_{BA17} \sin(17\omega t - \beta^\circ) \\
 &+ \sqrt{2}I_{BA19} \sin(19\omega t - \beta^\circ)
 \end{aligned} \tag{2.33}$$

Besar sudut fasa tegangan cabang beban A di sisi jala-jala sistem (input penggeser fasa) sama dengan sudut fasa tegangan sumber, yaitu VSD $0o$, atau sama dengan sudut fasa tegangan di beban A, yaitu VAD $-b$ o yang digeser sebesar $(+b$ o). Adanya pergeseran sudut fasa ini juga menyebabkan terjadinya pergeseran sudut fasa pada komponen arus beban A di jala-jala sistem. Sudut fasa komponen arus fundamental IBA1 akan tergeser sebesar $(+b$ o) dan komponen arus harmonisa urutan positif (arus harmonisa orde $h = 6n + 1$, yaitu orde 7, 13, 19, ... dst) akan tergeser sebesar $(b \cdot h)o$, sedangkan sudut fasa komponen arus harmonisa urutan negatif (arus harmonisa orde $h = 6n - 1$, yaitu orde 5, 11, 17, ... dst) tergeser sebesar $-(b \cdot h)o$. Dengan demikian, dari persamaan (2.34) dapat ditentukan persamaan arus cabang beban A di sisi jala-jala sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 i_{BA}(t) &= \sqrt{2}I_{BA1} \sin(\omega t - \beta^\circ + \beta^\circ) + \sqrt{2}I_{BA5} \sin(5\omega t - \beta^\circ - 5\beta^\circ) + \sqrt{2}I_{BA7} \sin(7\omega t - \beta^\circ + 7\beta^\circ) \\
 &+ \sqrt{2}I_{BA11} \sin(11\omega t - \beta^\circ - 11\beta^\circ) + \sqrt{2}I_{BA13} \sin(13\omega t - \beta^\circ + 13\beta^\circ) \\
 &+ \sqrt{2}I_{BA17} \sin(17\omega t - \beta^\circ - 17\beta^\circ) + \sqrt{2}I_{BA19} \sin(19\omega t - \beta^\circ + 19\beta^\circ) \\
 &= \sqrt{2}I_{BA1} \sin(\omega t) + \sqrt{2}I_{BA5} \sin(5\omega t - 6\beta^\circ) + \sqrt{2}I_{BA7} \sin(7\omega t + 6\beta^\circ)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& +\sqrt{2}I_{BA11} \sin(11\omega t - 12\beta^\circ) + \sqrt{2}I_{BA13} \sin(13\omega t + 12\beta^\circ) + \sqrt{2}I_{BA17} \sin(17\omega t - 18\beta^\circ) \\
& +\sqrt{2}I_{BA19} \sin(19\omega t + 18\beta^\circ) \quad (2.34)
\end{aligned}$$

Besar arus sistem IS pada jala-jala (PCC) atau pada sumber tegangan adalah penjumlahan arus cabang beban A dan cabang beban B. Dari persamaan (2.32) dan (2.34) dapat ditentukan besar arus sistem IS sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
i_s(t) &= i_{BA}(t) + i_{BB}(t) \\
&= \sqrt{2} \left[\{I_{BA1} + I_{BB1}\} \sin(\omega t) + I_{BA5} \sin(5\omega t - 6\beta^\circ) + I_{BB5} \sin(5\omega) \right. \\
&+ I_{BA7} \sin(7\omega t + 6\beta^\circ) + I_{BB7} \sin(7\omega t) \\
&+ I_{BA11} \sin(11\omega t - 12\beta^\circ) + I_{BB11} \sin(11\omega t - 12\beta) \\
&+ I_{BA13} \sin(13\omega t + 12\beta^\circ) + I_{BB13} \sin(13\omega t) \\
&+ I_{BA17} \sin(17\omega t - 18\beta^\circ) + I_{BB17} \sin(17\omega t) \\
&+ I_{BA19} \sin(19\omega t + 18\beta^\circ) + I_{BB19} \sin(19\omega t) \dots \left. \right] \quad (2.35)
\end{aligned}$$

Apabila diasumsikan bahwa magnitud arus besar cabang A dan B adalah sama besar, yakni :

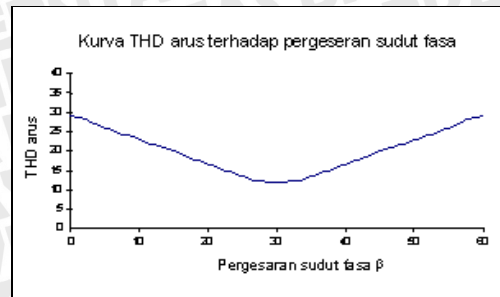
$$I_{AB1} = I_{BB1} = I_{B1} = \frac{1}{2} I_s, \text{ dan}$$

$$I_{ABh} = I_{BBh} = I_{Bh} = \frac{1}{2} I_{sh}$$

maka persamaan (2.35) arus sistem IS dapat ditulis menjadi:

$$\begin{aligned}
i_s(t) &= \sqrt{2} \left[I_{s1} \sin(\omega t) + \frac{1}{2} \{I_{s5} \sin(5\omega t - 6\beta^\circ) + I_{s5} \sin(5\omega) + I_{s7} \sin(7\omega t + 6\beta^\circ) \right. \\
&+ I_{s7} \sin(7\omega t) + I_{s11} \sin(11\omega t - 12\beta^\circ) + I_{s11} \sin(11\omega t) \\
&+ I_{s13} \sin(13\omega t + 12\beta^\circ) + I_{s13} \sin(13\omega t) + I_{s17} \sin(17\omega t - 18\beta^\circ) \\
&+ I_{s17} \sin(17\omega t) + I_{s19} \sin(19\omega t + 18\beta^\circ) + I_{s19} \sin(19\omega t) \dots \left. \right] \quad (2.36)
\end{aligned}$$

Dengan melakukan perubahan besar sudut pergeseran fasa b pada persamaan (2.36), akan didapatkan grafik nilai THD arus sistem terhadap sudut pergeseran fasa b yang diperlihatkan dari hasil simulasi pada gambar 3 berikut ini.



Gambar 2.16. Kurva THD Arus Sistem terhadap Pergeseran Sudut Fasa Tegangan

(Sumber : <http://www.lp.itb.ac.id/product/vol31no3/syafrudin/syafrudin.htm>)

Hasil simulasi pada gambar 3 memperlihatkan bahwa THD arus sistem IS akan mencapai nilai minimum, yaitu THD = 11,09% pada sudut pergeseran fasa sebesar $b = 300$.

Dengan mensubstitusikan nilai $b = 300$ ke dalam persamaan (2.37) akan didapatkan persamaan arus sistem sebagai berikut :

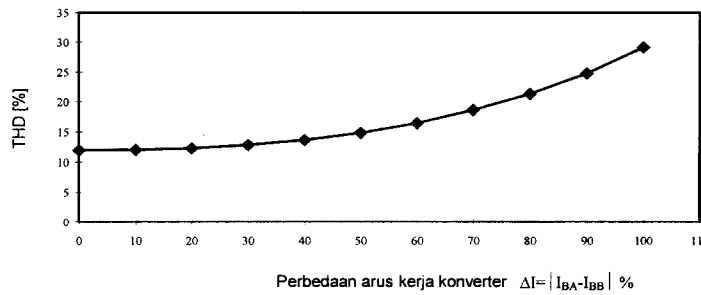
$$i_s(t) = \sqrt{2} [I_{s1} \sin(\omega t) + I_{s11} \sin(11\omega t) + I_{s13} \sin(13\omega t) \dots] \quad (2.38)$$

Di sini terlihat bahwa arus sistem IS tidak mengandung komponen arus harmonisa orde 5, 7, 17, 19 ... dan seterusnya, karena komponen-komponen ini, dari kedua cabang beban A dan B, saling meniadakan (sudut fasanya berlawanan), sehingga kondisi ini membuat THD arus sistem menjadi minimum. Dengan kata lain, arus harmonisa pada sistem dapat diminimisasi dengan melakukan penggeseran sudut fasa tegangan beban sebesar 30° .

Hasil minimisasi harmonisa arus atau THD arus sistem juga sangat dipengaruhi oleh kondisi besar perbedaan arus kerja masing-masing cabang beban. Gambar 2.17 memperlihatkan THD arus sistem yang dipengaruhi oleh besarnya perbedaan antara arus cabang beban A dan B.

Kondisi terburuk didapat pada nilai THD arus sistem sebesar 32,4%, yaitu perbedaan arus cabang beban A dan B adalah 100%; artinya, sistem hanya mensuplai satu cabang beban. Kondisi ini sama dengan kondisi tanpa dilakukan minimisasi harmonisa arus (tanpa penggeseran sudut fasa). Kondisi terbaik dengan THD sistem sebesar 11,09% didapatkan pada perbedaan arus kerja cabang beban A dan B sebesar 0%, yakni magnitud arus cabang besar A dan B sama besar. Kondisi ini adalah kondisi harmonisa arus sistem paling minim.

Kurva THD arus terhadap perubahan arus



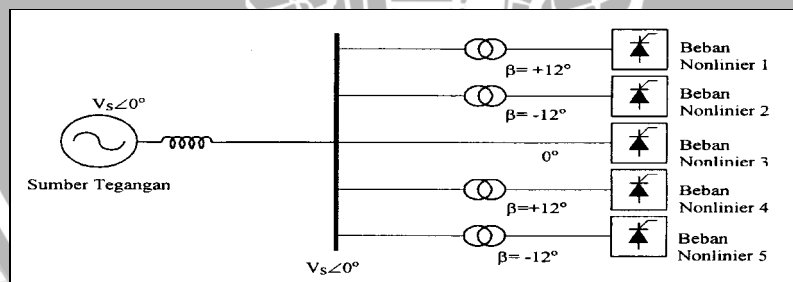
Gambar 2.17. Pengaruh Perbedaan Arus Kerja Cabang Beban A dan B (D I) terhadap THD Arus di Sumber Tegangan.

(Sumber : <http://www.lp.itb.ac.id/product/vol31no3/syafrudin/syafrudin.htm>)

Derek A. Paice memberikan suatu formulasi praktis yang dapat digunakan untuk menentukan nilai sudut pergeseran fasa (β) yang dibutuhkan dapat dalam meminimisasi harmonisa arus dari sejumlah cabang beban-nonlinier adalah sebagai berikut [3] :

$$\text{Besarsudut pergeseran fasa} = \frac{60^\circ}{\text{Jumlah cabang beban nonlinier}} \quad (2.38)$$

Misalkan suatu sistem distribusi tenaga listrik mempunyai lima cabang beban nonlinier seperti pada gambar 5, maka besar sudut pergeseran fasa yang diperlukan adalah $b = 60/5 = 12$.



Gambar 2.18. Minimisasi Harmonisa Arus Sistem yang Mensuplai Lima Cabang Beban Nonlinier dengan Besar Sudut Pergeseran Fasa Masing-Masing Cabang Beban adalah

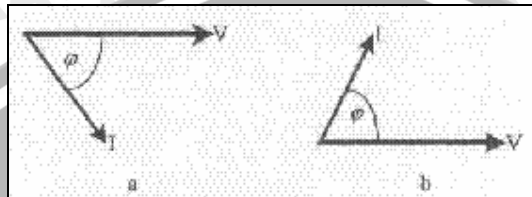
12o

(Sumber : <http://www.lp.itb.ac.id/product/vol31no3/syafrudin/syafrudin.htm>)

Umumnya untuk menggeser sudut fasa tegangan dapat digunakan penggeser fasa berupa sebuah transformator (trafo) atau autotransformator (autotrafo).

2.4 Faktor Daya (Power Factor)

Faktor daya adalah hasil perbandingan antara daya aktif (kW) dan daya yang terbangkitkan (kVA), selain itu faktor daya didefinisikan sebagai hasil cosinus dari beda sudut antara arus dan tegangan.



Gambar 2.19 Diagram Fasor

a). Kondisi Lagging, b). Kondisi Leading

$$kW = kVA \cdot \cos \phi \quad (2.39)$$

dimana :

kW = daya aktif (Active Power)

kVA = Daya Nyata (Apparent Power)

Faktor daya yang diijinkan oleh PLN, khususnya bagi komputer dan peralatan sensitive lainnya adalah > 0.85 lagging.

Pada suatu sistem tenaga listrik faktor daya merupakan bagian yang harus dipertahankan dan ditingkatkan dengan tujuan supaya biaya operasional pembangkitan listrik dapat ditekan sekecil-kecilnya, meningkatkan kapasitas daya listrik.

Harmonisa merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi faktor daya, semakin tinggi distorsi harmonisa semakin jelek pula tingkat faktor daya (faktor daya terdistorsi).

Untuk meningkatkan faktor daya, perlu pemasangan capasitor bank, dimana capasitor bank juga dapat menekan tingkat harmonisa, yang ditimbulkan oleh berbagai peralatan nonlinier.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam melaksanakan analisa gejala harmonisa dari pemakaian perangkat komputer terhadap kualitas energi listrik di SCS (Student Computer Service) ini, Metodologi yang digunakan yaitu :

1. Studi literature
2. Gambaran Pengujian Sistem
3. Pengukuran Sistem
4. Analisa Hasil Pengujian
5. Menarik Kesimpulan

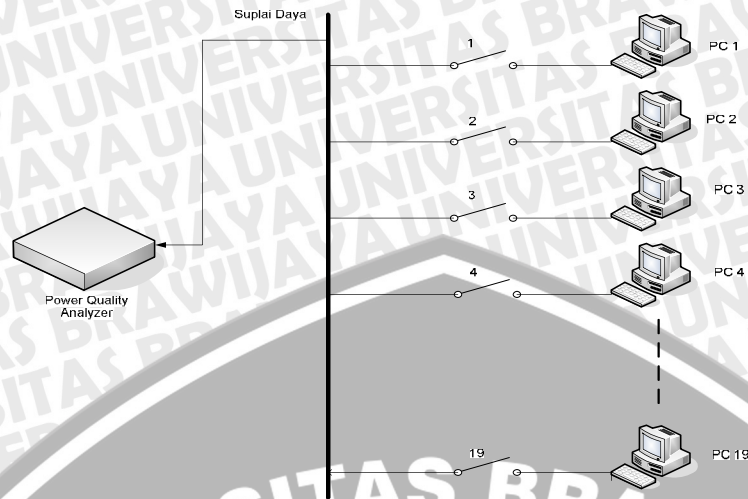
3.1 Studi literatur

Studi literature digunakan untuk mempelajari dan memahami lebih dalam mengenai konsep dari materi-materi yang terkait dengan penelitian ini, melalui telaah pustaka berupa jurnal-jurnal hasil penelitian dan buku referensi yang terkait dengan penelitian ini.

3.2 Gambaran Pengujian Sistem

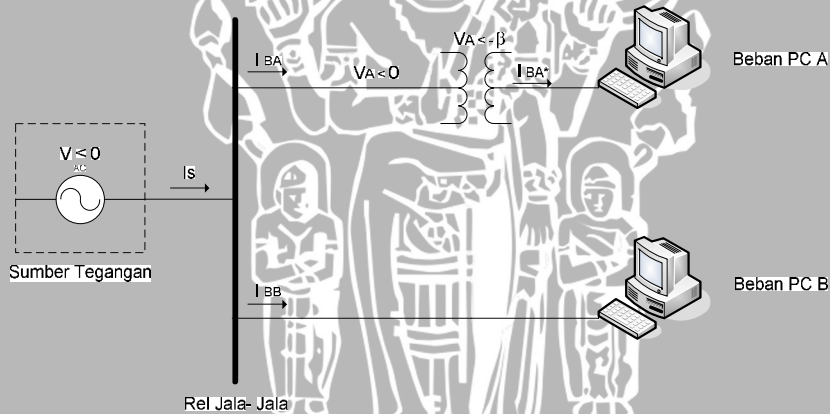
Tahap-tahap dalam pengujian sistem adalah

1. Mengumpulkan data beban unit komputer yang digunakan berupa spesifikasi dari komputer tersebut.
2. Mengumpulkan data alat-alat yang dipergunakan dalam pengukuran sistem berupa data spesifikasi dari Power Quality Analizer.
3. Menentukan gambaran dari sistem perangkat komputer yang diujikan dapat dilihat pada gambar 3.1 di bawah ini :



Gambar 3.1 Gambaran Pengujian Sistem

- Perancangan sistem yang menggunakan mekanisme metode sistem pergeseran fasa yang digunakan dalam mengeliminasi arus harmonisa. Gambaran sistem ini dapat dilihat dari gambar 3.2 di bawah ini :



Gambar 3.2 Gambaran mekanisme metode pergeseran fasa

3.3 Pengukuran Sistem

Hasil perancangan sistem diuji di Ruang Student Computer Service (SCS) Gedung Puskom. Pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan alat Power Quality Analyzer. Dalam pengukuran beban komputer ini, diambil data – data arus keluaran beban secara bertahap, mulai dari beban 1 unit komputer, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 21 sampai dengan 23 unit komputer.

Dari pengukuran ini diambil data-data berupa arus rms keluaran sistem, arus rms harmonisa orde-n, serta nilai arus Total Harmonic Distorsion (THD). Kemudian dengan menggunakan bantuan software Matlab 7.0.4, diperoleh karakteristik dari arus harmonisa terhadap setiap penambahan beban komputer.

Adapun metode pengukuran arus harmonisa dengan Power Quality Analyzer dapat ditunjukkan seperti gambar 3.3 di bawah ini :



Gambar 3.3 Pengukuran arus harmonisa dengan Power Quality Analyzer

3.4 Analisa Hasil Pengujian

Analisa hasil dilakukan berdasarkan pengukuran sistem yang telah dilakukan . Analisa tersebut dilakukan untuk mengetahui hal-hal sebagai berikut :

1. Besarnya nilai persentase arus Total Harmonic Distortion (THD) yang dihasilkan dari setiap penambahan beban komputer serta memberikan gambaran karakteristik arus THD tersebut terhadap penambahan beban komputer dengan menggunakan software Matlab 7.0.4.
2. Besarnya nilai persentase THD dapat diperoleh dengan menggunakan rumus di bawah ini :

$$ITHD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{rms,n}^2}}{I_1} \quad (3.1)$$

Standar IEEE

dimana

$I_{rms,n}$ = Besar arus rms komponen harmonisa n

I_1 = Besar arus rms komponen fundamental

atau,

$$ITHD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{rms,n}^2}}{I_{rms}} \quad (3.2)$$

Standar IEC

dengan

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_{rms,n}^2} \quad (3.3)$$

dimana

$I_{rms,n}$ = Besar arus rms komponen harmonisa n

I_{rms} = Besar total arus rms komponen harmonisa n dan arus rms fundamental

3. Pengaruh besar arus THD yang dihasilkan terhadap kwalistas tenaga listrik di SCS berdasarkan standard internasional yang berlaku (IEEE dan IEC).

4. Pengaruh dari metode pergeseran fasa dalam mengeliminasi arus THD yang ditimbulkan oleh penambahan beban unit komputer.

3.5 Kesimpulan dari Hasil Pengujian dan Saran

Selanjutnya data hasil pengujian disimpulkan dengan mengacu pada hasil pengujian dan analisa data sesuai dengan tujuan penelitian. Kesimpulan ini disajikan dalam BAB 5 sebagai penutup dan juga disertakan saran-saran terkait dengan penelitian ini.



BAB IV

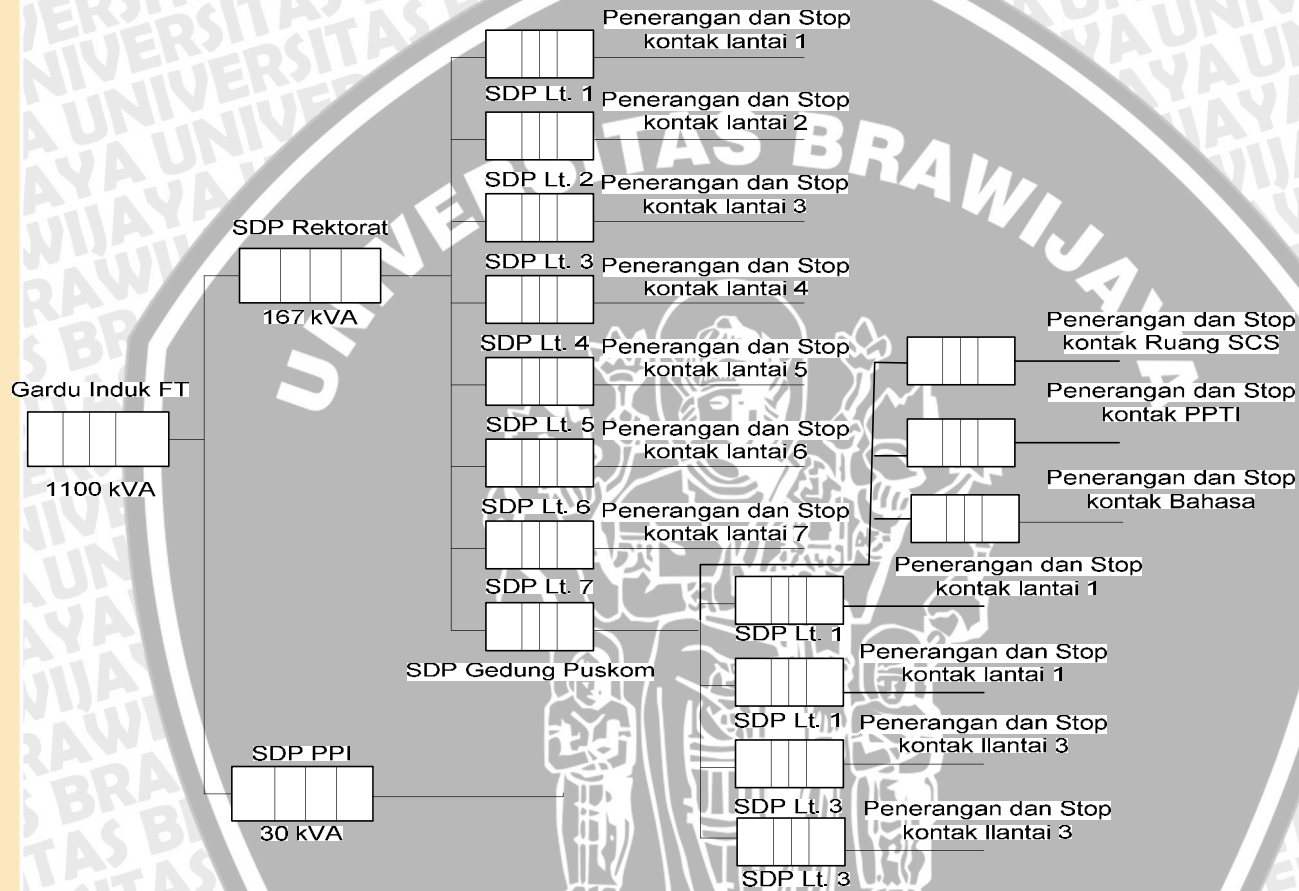
ANALISIS DATA PENGOPERASIAN PERANGKAT KOMPUTER

4.1 Sekilas Tentang SCS

Student Computer Service (SCS) merupakan salah satu unit yang ada di Universitas Brawijaya yang bergerak di bidang pelayanan mahasiswa. Bentuk pelayanan yang diberikan berupa layanan akses internet. Secara tidak langsung, penggunaan layanan internet ini memakai beberapa perangkat unit komputer sebagai fasilitas utama. Dan perlu diketahui juga bahwa komputer ini merupakan perangkat semikonduktor yang dapat memicu terjadinya harmonisa listrik.

SCS yang terletak di gedung PUSKOM disuplai daya langsung dari PLN sebagai penyuplai daya primer dan juga genset sebagai penyuplai daya sekunder. Gedung ini disuplai langsung dari gardu induk FT yang memiliki kapasitas 1100 KVA, 20 KV – 380 V / 220 V. Dari gardu ini kemudian didistribusikan ke panel gedung- gedung yang ada di Universitas Brawijaya, termasuk SCS yang berada di gedung PUSKOM. Seperti diketahui bahwa di gedung PUSKOM ini, SCS bukanlah satu- satunya ruangan penghasil beban. Ruangan- ruangan yang ada di gedung ini tentunya juga memiliki beban-beban yang mengandung bahan semikonduktor penghasil harmonisa. Berhubung panel yang menjadi suplai daya ke SCS tidak memiliki perangkat filter, sehingga bisa disimpulkan daya yang disuplai ke ruangan SCS bukanlah daya ideal murni. Dalam artian, sudah terpengaruh oleh harmonisa yang di timbulkan dari perangkat beban yang ada di ruangan lain. Namun disini kita menganggap suplai daya di SCS adalah ideal.

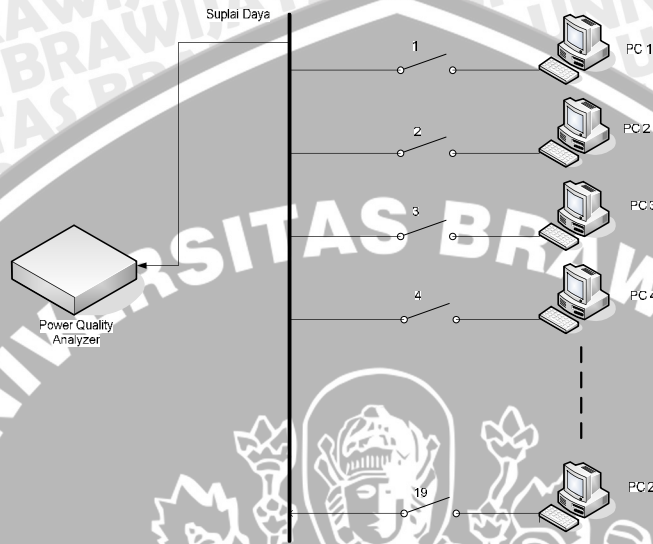
Adapun ilustrasi distribusi daya listrik yang ada di gedung ini, dapat dilihat pada gambar 4.1 di bawah ini :



Gambar 4.1. Single Line Diagram Panel Listrik

4.2 Gambaran Pengujian Sistem

Dalam hal ini, yang dijadikan beban adalah 23 unit komputer yang perhitungan harmonisanya berdasarkan dari penambahan beban secara berkala. Adapapun gambaran sistemnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 4.2. Sistem Pengujian Beban 23 unit komputer

4.3 Data Peralatan Sistem



Gambar 4.3. Alat Ukur Power Quality Analyzer Fluke 41B

Data dari alat ukur dan objek penelitian :

1. Alat Ukur Power Quality Analyzer

- Data Spesifikasi :
 - Size / Weight : 234 x 200 x 64 mm / 1 Kg
 - Minimum Input Level : 5Vrms or 1 Arms
 - Input Range (V-measurement) : 5.0 to 600 Vrms / 5.0 to 933 Vpeak
 - Input Range (A- measurement) : 1.0 to 1000 Arms / 1.0 to 2000 Apeak
 - Input Range (W-measurement) : 0 W (VA) ro 2000 kW (KVA)peak
 - Accoracy : 0.5 %
- Safety :
 - Voltage or current probe input 600 V maximum
 - Surge protection 6 kV per IEC 1010 – 1

2 Data dari Personal Computer (PC)

Adapun objek yang dijadikan penelitian adalah 23 unit Personal Computer (PC) dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Pentium ® 4 CPU 2.80 GHZ
- ATX Power Supply 220 – 230 Volt
- Monitor 14 inch (100 – 240V, 50/60 Hz, 50/60 Hz, 0.8-1.5 A)

3 Spesifikasi Power Supply Komputer

Tabel 4.1 Spesifikasi Power Supply Komputer

Legend Power Supply							
AC Input	Voltage		Current		Frequenzy		
	230 V		4 A		50 – 60 Hz		
DC Output	Orange	Red	Yellow	White	Purple	Grey	Blue
	+ 3.3 V	+ 5 V	+ 12 V	- 5 V	+ 5 V	P / S	-12 V
	14 A	20 A	10 A	0.5 A	15 A	OK	0.5 A

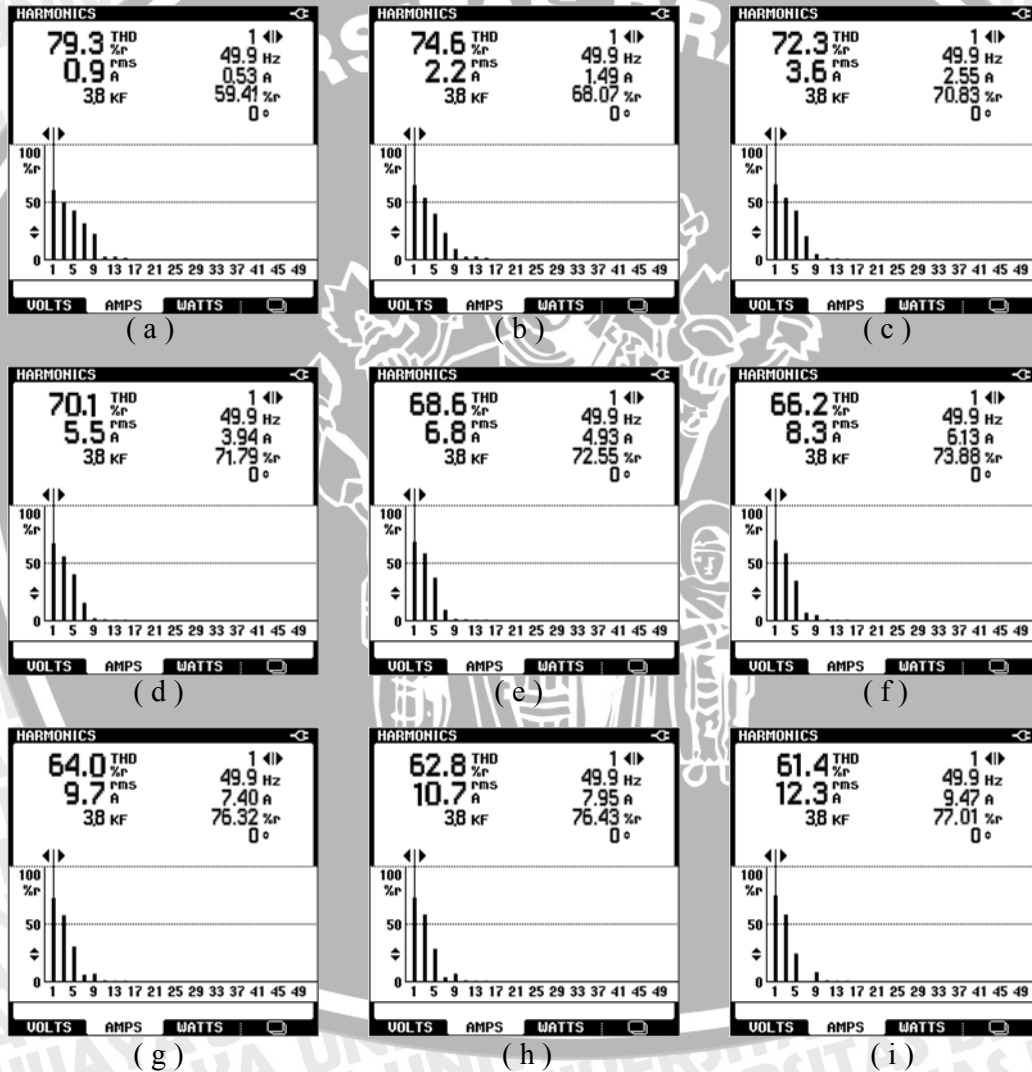
4.4 Metode Pengukuran Harmonisa Sistem

Untuk mengetahui besarnya harmonisa yang timbul, maka dilakukan pengambilan data pada Sub Distribution Panel (SDP) yang ada di ruang SCS. Pengukuran dilakukan secara bertahap. Dari sini yang akan diukur adalah arus harmonisa yang timbul pada harmonisa ke 3, 5, 7, 9 serta arys THD (Total Harmonic Distorsion).



4.5 Hasil Pengukuran Harmonusa Sistem

Setelah melakukan pengukuran system secara bertahap dari beban 1 PC sampai ke beban 23 PC, dimana masing – masing beban terhubung pada sumber tegangan dan arus AC maka diperoleh hasil berupa arus harmonisa yang ditimbnlkan yang terekam pada alat Power Quality Analyzer. Pada gambar di bawah ini diberikan data hasil pengukuran berupa Arus THD (Total Harmonic Distorsion) dan arus harmonisa pada harmonisa ke 3, 5, 7, dan 9.



Gambar 4.4. Data hasil pengukuran

Keterangan Gambar :

- Gambar 4.3 (a) = Pengukuran dengan 1 unit PC
- Gambar 4.3 (b) = Pengukuran dengan 4 unit PC
- Gambar 4.3 (c) = Pengukuran dengan 7 unit PC
- Gambar 4.3 (d) = Pengukuran dengan 10 unit PC
- Gambar 4.3 (e) = Pengukuran dengan 13 unit PC
- Gambar 4.3 (f) = Pengukuran dengan 16 unit PC
- Gambar 4.3 (g) = Pengukuran dengan 19 unit PC
- Gambar 4.3 (h) = Pengukuran dengan 21 unit PC
- Gambar 4.3 (i) = Pengukuran dengan 23 unit PC

Adapun data hasil pengukuran disajikan dalam tabel seperti dibawah ini :

Tabel 4.2. Data Hasil Pengukuran

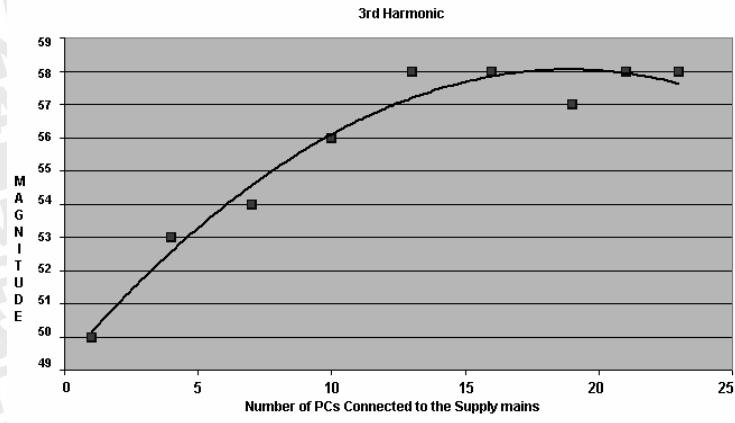
Jumlah PC	Arus Harmonisa ke 3 (%)	Arus Harmonisa ke 5 (%)	Arus Harmonisa ke 7 (%)	Arus Harmonisa ke 9 (%)	Arus THD (%)	Arus RMS (A)
1	50	45	37	24	79.3	0.9
4	53	42	25	13	74.6	2.2
7	54	40	21	5	72.3	3.6
10	56	38	16	3	70.1	5.5
13	58	35	12	2	68.6	6.8
16	58	33	8	5	66.2	8.3
19	57	29	6	7	64	9.7
21	58	27	4	7	62.8	10.4
23	58	25	0	9	61.4	12.3

4.6 Analisa Persamaan Matematis Hasil Pengukuran Sistem

4.6.1 Harmonisa ke 3

Dari table 4.1 terlihat bahwa besarnya nilai dari harmonisa ke-3 terlihat meningkat pada level tertentu, akan tetapi terlihat konstan seiring dengan penambahan jumlah unit komputer.

Dengan menggunakan metode Curve Fitting, hubungan antara jumlah komputer dengan besarnya %age harmonisa ke-3 pada tabel 4.1 dapat diberikan di bawah ini :



Gambar 4. 5 Grafik Persentase Arus Harmonisa ke -3 Terhadap Penambahan Beban Komputer

Dari metode Curve Fitting, kita dapat memperoleh nilai persamaan dari grafik diatas, yakni :

$$y = -0.0248x^2 + 0.935x + 49.228$$

sehingga, persamaan untuk nilai arus harmonisa ke 3 :

$$I_3 = -0.0248N_{PC}^2 + 0.935N_{PC} + 49.228$$

dimana,

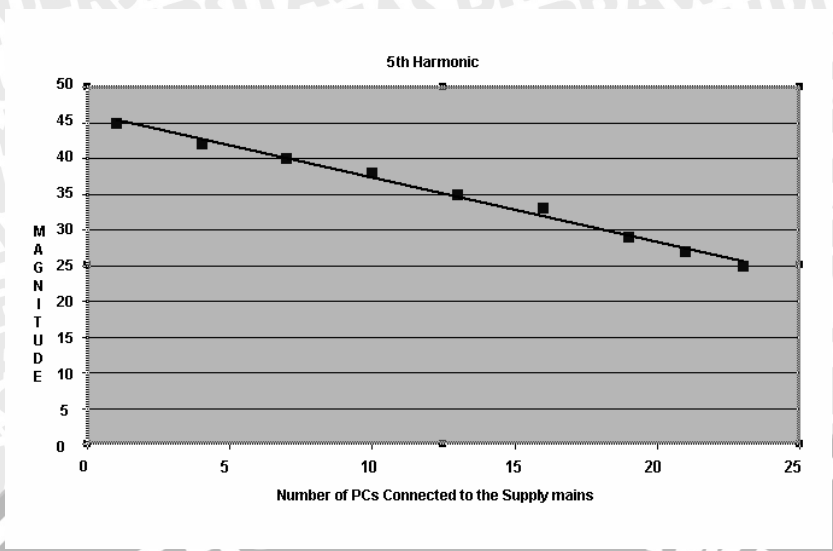
I3 = %age arus harmonisa ke 3

Npc = Jumlah Unit Komputer

Dari grafik dan persamaan matematis terlihat bahwa hubungan antara penambahan komputer dengan besar arus harmonisa ke-3 adalah membentuk persamaan eksponensial.

4.6.2 Harmonisa ke 5

Dari tabel 4.1 terlihat bahwa besarnya nilai %age harmonisa ke 5 terhadap penambahan jumlah komputer mengalami penurunan secara linier. Hal ini juga dapat terlihat dari grafik di bawah ini :



Gambar 4. 6 Grafik Persentase Arus Harmonisa ke -5 Terhadap Penambahan Beban Komputer

Dengan metode Curve Fitting maka diperoleh persamaan matematis :

$$y = -0.8961x + 46.239$$

Sehingga persamaan besaran nilai arus harmonisa ke 5 adalah sebagai berikut :

$$I_5 = -0.896N_{PC} + 46.239$$

dimana,

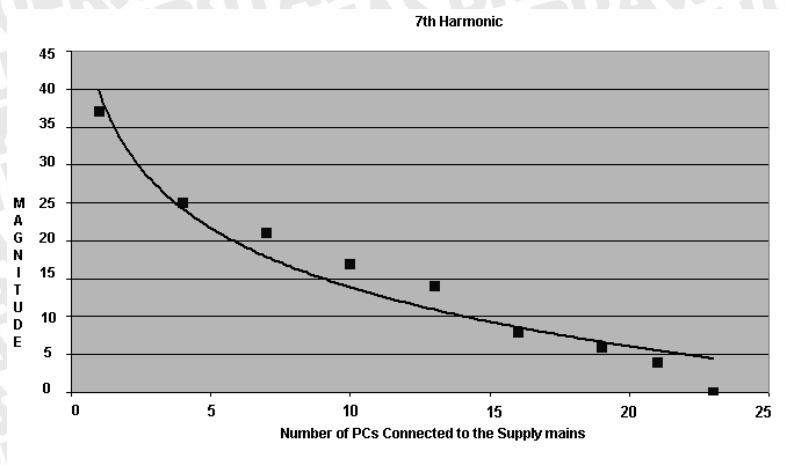
I_5 = Besaran %age dari arus harmonisa ke 5

N_{PC} = Jumlah Unit Komputer

Dari grafik dan persamaan matematis terlihat bahwa hubungan antara penambahan komputer dengan besar arus harmonisa ke 5 membentuk sebuah persamaan linier.

4.6.3 Harmonisa ke 7

Dari tabel 4.1 terlihat terjadi penurunan besar %age arus harmonisa ke 7. Bahkan terlihat pada jumlah beban 23 unit komputer, nilai arus harmonisa ke 7 menunjukkan angka nol. Dari grafik dapat terlihat seperti di bawah ini :



Gambar 4. 7 Grafik Persentase Arus Harmonisa ke -7 Terhadap Penambahan Beban Komputer

Dengan metode Curve Fitting maka diperoleh persamaan matematis :

$$y = -11.278 \ln(x) + 39.85$$

Sehingga persamaan besaran nilai arus harmonisa ke 7 adalah sebagai berikut :

$$I_7 = -11.278 \ln(N_{PC}) + 39.85$$

dimana,

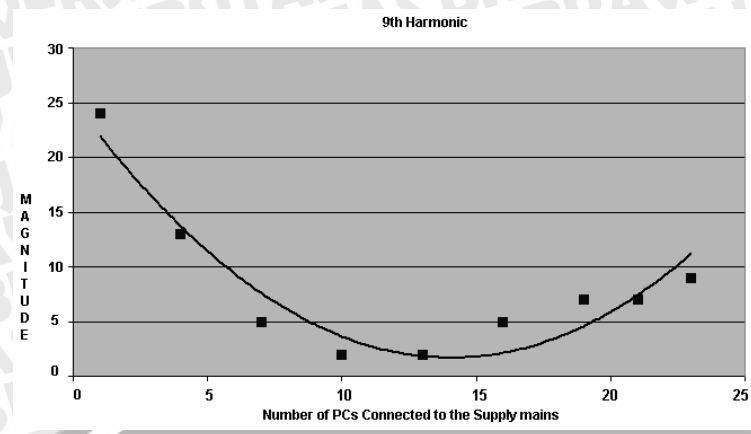
I_7 = Besaran %age dari arus harmonisa ke 7

N_{PC} = Jumlah Unit Komputer

Dari grafik dan persamaan matematis terlihat bahwa hubungan antara penambahan komputer dengan besar arus harmonisa ke 7 membentuk sebuah persamaan natural logaritma.

4.6.4 Harmonisa ke 9

Dari tabel 4.1 terlihat bahwa nilai dari harmonisa 9 mengikuti garis yang membentuk polynomial pangkat 2. Dari grafik dapat terlihat di bawah ini :



Gambar 4. 8 Grafik Persentase Arus Harmonisa ke -9 Terhadap Penambahan Beban Komputer

Secara matematis dengan menggunakan metode curve fitting didapatkan hubungan antara besarnya nilai %age dari arus harmonisa terhadap penambahan jumlah komputer adalah sebagai berikut :

$$y = 0.1188x^2 - 3.3403x + 25.159$$

sehingga

$$I_9 = 0.1188N_{PC}^2 - 3.3403N_{PC} + 25.159$$

Dari grafik dan persamaan matematis terlihat bahwa hubungan antara penambahan komputer dengan besar arus harmonisa ke 9 membentuk sebuah kurva parabolik.

4.7 Analisis Perhitungan Arus Total Harmonics Distortion (THD)

Besarnya persentase dari Total Harmonics Distortion (%THD) dapat dihasilkan dalam 2(dua) cara yang berbeda, yakni dalam persentase dari komponen fundamentalnya (definisi THD menurut IEEE) atau dalam persentase dari komponen rms (digunakan oleh Standard Canadian Association dan IEC).

Persamaan ITHD menurut standar IEEE :

$$ITHD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{rms,n}^2}}{I_1}$$

Dimana

$$I_{rms,n} = \text{Besar arus rms komponen harmonisa } n$$

I_1 = Besar arus rms komponen fundamental

Persamaan ITHD menurut standar IEC :

$$ITHD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{rms,n}^2}}{I_{rms}}$$

dengan

$$I_{rms} = \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty} I_{rms,n}^2}$$

dimana

$I_{rms,n}$ = Besar arus rms komponen harmonisa n

I_{rms} = Besar total arus rms komponen harmonisa n dan arus rms fundamental

Melihat bahwa komponen harmonisa ke 3, 5, 7, dan 9 merupakan nilai yang cukup signifikan maka nilai ITHD dapat dipresentasikan sebagai berikut :

$$ITHD = \frac{\sqrt{I_{rms,3}^2 + I_{rms,5}^2 + I_{rms,7}^2 + I_{rms,9}^2}}{I_{rms}}$$

$$\%ITHD = ITHD \times 100 \%$$

A. Perhitungan arus THD pada 1 unit komputer

$$I_{rms} = 0.9 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 3} = 50 \% \times 0.9 = 0.45 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 5} = 45 \% \times 0.9 = 0.405 \text{ A.}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 7} = 37 \% \times 0.9 = 0.333 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 9} = 24 \% \times 0.9 = 0.216 \text{ A}$$

$$ITHD = \frac{\sqrt{(0.45)^2 + (0.405)^2 + (0.333)^2 + (0.216)^2}}{0.9} = 0.8043$$

$$\%ITHD = 0.8043 \times 100 \% = 80.43 \%$$

B. Perhitungan arus THD pada 4 unit komputer

$$I_{rms} = 2.2 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 3} = 53 \% \times 2.2 = 1.166 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 5} = 42 \% \times 2.2 = 0.924 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 7} = 25 \% \times 2.2 = 0.55 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 9} = 13 \% \times 2.2 = 0.286 \text{ A}$$

$$ITHD = \frac{\sqrt{(1.166)^2 + (0.924)^2 + (0.55)^2 + (0.286)^2}}{2.2} = 0.7326$$

$$\%ITHD = 0.8043 \times 100 \% = 73.26 \%$$

C. Perhitungan arus THD pada 7 unit komputer

$$I_{rms} = 3.6 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 3} = 54 \% \times 3.6 = 1.944 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 5} = 40 \% \times 3.6 = 1.44 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 7} = 21 \% \times 3.6 = 0.756 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 9} = 5 \% \times 3.6 = 0.18 \text{ A}$$

$$ITHD = \frac{\sqrt{(1.944)^2 + (1.44)^2 + (0.756)^2 + (0.18)^2}}{3.6} = 0.7058$$

$$\%ITHD = 0.8043 \times 100 \% = 70.58 \%$$

D. Perhitungan arus THD pada 10 unit komputer

$$I_{rms} = 5.5 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 3} = 56 \% \times 5.5 = 3.08 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 5} = 38 \% \times 5.5 = 2.09 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 7} = 16 \% \times 5.5 = 0.88 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 9} = 3 \% \times 5.5 = 0.165 \text{ A}$$

$$ITHD = \frac{\sqrt{(3.08)^2 + (2.09)^2 + (0.88)^2 + (0.165)^2}}{5.5} = 0.6906$$

$$\%ITHD = 0.8043 \times 100 \% = 69.06 \%$$

E. Perhitungan arus THD pada 13 unit komputer

$$I_{rms} = 6.8 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 3} = 58 \% \times 6.8 = 3.944 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 5} = 35 \% \times 6.8 = 2.38 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 7} = 12 \% \times 6.8 = 0.816 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 9} = 2 \% \times 6.8 = 0.136 \text{ A}$$

$$ITHD = \frac{\sqrt{(3.944)^2 + (2.38)^2 + (0.816)^2 + (0.136)^2}}{6.8} = 0.6883$$

$$\%ITHD = 0.6883 \times 100 \% = 68.83 \%$$

F. Perhitungan arus THD pada 16 unit komputer

$$I_{rms} = 8.3 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 3} = 58 \% \times 8.3 = 4.814 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 5} = 33 \% \times 8.3 = 2.739 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 7} = 8 \% \times 8.3 = 0.664 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 9} = 5 \% \times 8.3 = 0.415 \text{ A}$$

$$ITHD = \frac{\sqrt{(4.814)^2 + (2.739)^2 + (0.664)^2 + (0.415)^2}}{8.3} = 0.6739$$

$$\%ITHD = 0.6739 \times 100 \% = 67.39 \%$$

G. Perhitungan arus THD pada 19 unit komputer

$$I_{rms} = 9.7 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 3} = 57 \% \times 9.7 = 5.529 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 5} = 29 \% \times 9.7 = 2.813 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 7} = 6 \% \times 9.7 = 0.582 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 9} = 7 \% \times 9.7 = 0.679 \text{ A}$$

$$ITHD = \frac{\sqrt{(5.529)^2 + (2.813)^2 + (0.582)^2 + (0.679)^2}}{9.7} = 0.6461$$

$$\%ITHD = 0.6461 \times 100 \% = 64.61 \%$$

H. Perhitungan arus THD pada 21 unit komputer

$$I_{rms} = 10.4 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 3} = 58 \% \times 10.4 = 0.45 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 5} = 27 \% \times 10.4 = 0.405 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 7} = 4 \% \times 10.4 = 0.333 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 9} = 7 \% \times 10.4 = 0.216 \text{ A}$$

$$ITHD = \frac{\sqrt{(0.45)^2 + (0.405)^2 + (0.333)^2 + (0.216)^2}}{0.9} = 0.6448$$

$$\%ITHD = 0.8043 \times 100 \% = 64.48 \%$$

I. Perhitungan arus THD pada 23 unit komputer

$$I_{rms} = 12.3 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 3} = 58 \% \times 12.3 = 7.134 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 5} = 25 \% \times 12.3 = 3.075 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 7} = 0 \% \times 12.3 = 0 \text{ A}$$

$$\text{Nilai rms arus harmonisa ke 9} = 9 \% \times 12.3 = 1.107 \text{ A}$$

$$ITHD = \frac{\sqrt{(7.134)^2 + (3.075)^2 + (0)^2 + (1.107)^2}}{12.3} = 0.6380$$

$$\%ITHD = 0.8043 \times 100 \% = 63.80 \%$$

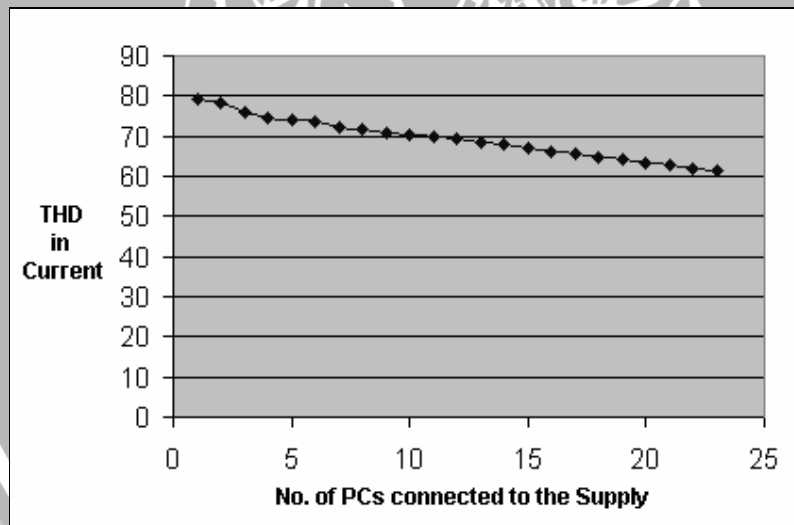
Dari perhitungan terlihat terjadi perbedaan antara hasil pengujian dengan hasil perhitungan data. Hal ini terjadi karena pada proses perhitungan, kita memakai perhitungan hanya pada orde 3, 5, 7 dan 9 sehingga mengabaikan komponen harmonisa lainnya.

Tabel dibawah ini memperlihatkan persentase kesalahan antara hasil pengujian dan hasil perhitungan :

Tabel 4.3. Persentase Kesalahan Hasil Pengukuran dan Hasil Perhitungan

Jumlah Beban PC	Persentase I THD (%)		Persentase Kesalahan (%)
	Hasil Perhitungan	Hasil Pengujian	
1	80.43	79.3	1.40
4	73.26	74.6	1.83
7	70.58	72.3	2.44
10	69.06	70.1	1.51
13	68.83	68.6	0.33
16	67.39	66.2	1.77
19	64.61	64	0.94
21	64.48	62.8	2.61
23	63.8	61.4	3.76

Dari hasil perhitungan, diperoleh grafik hubungan antara besar % I THD terhadap penambahan jumlah beban komputer yang ditampilkan di bawah ini :



Gambar 4.9 Grafik Hubungan Persentase I THD Terhadap Penambahan Beban

Dari grafik diatas, dapat diperoleh sebuah persamaan matematis dengan metode curve fitting sebagai berikut :

$$I_{THD} = 80.11 - 0.81N_{pc}$$

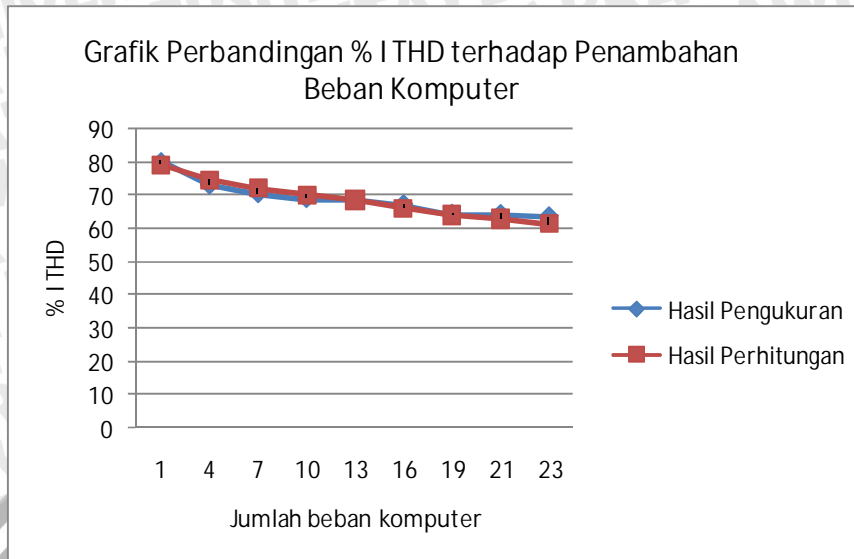
sehingga dari persamaan diatas , dapat diketahui besar nilai persentase arus THD walaupun tidak spesifik. Tabel dibawah memberikan hasil dari persamaan matematis diatas.

Tabel 4.4 Nilai % ITHD Terhadap Penambahan Jumlah PC

No.	Jumlah PC	% ITHD
1	1	79.3
2	2	78.49
3	3	77.68
4	4	76.87
5	5	76.06
6	6	75.25
7	7	74.44
8	8	73.63
9	9	72.82
10	10	72.01
11	11	71.2
12	12	70.39
13	13	69.58
14	14	68.77
15	15	67.96
16	16	67.15
17	17	66.34
18	18	65.53
19	19	64.72
20	20	63.91
21	21	63.1
22	22	62.29
23	23	61.48

Dibawah ini diberikan grafik perbandingan antara hasil pengukuran dengan hasil perhitungan dari % I THD terhadap penambahan beban komputer ::





Gambar 4.10. Grafik perbandingan % I THD Hasil Pengukuran Dengan Hasil Perhitungan

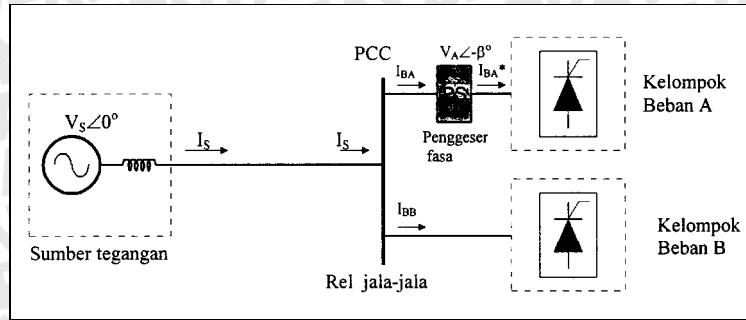
Terlihat bahwa dari hasil perhitungan maupun dari hasil pengukuran, besar nilai persentase THD jauh melebihi batas ketentuan yang direkomendasikan dalam standardisasi harmonisa IEEE-159 tahun 1992 yang menetapkan besar THD arus maksimum di jala-jala sistem atau di PCC (*point of common coupling*) sebesar 20%..

Untuk meminimisasi besar dari persentase arus THD diatas, maka diperlukan suatu metode yang digunakan untuk mengatasi hal tersebut. Di bawah ini digunakan metode pergeseran fasa untuk meminimisasi besarnya nilai persentase THD arus.

4.8 Minimisasi Harmonisa Arus Sistem

Dari hasil perhitungan maupun hasil pengukuran terlihat jelas nilai THD yang cukup tinggi. Dibawah ini akan digunakan proses analisa minimisasi harmonisa arus sistem dengan menggunakan metode pergeseran fasa.

Sesuai dengan teori metode pergeseran fasa yang diberikan diatas, kita akan membagi beban dalam dua kelompok beban.

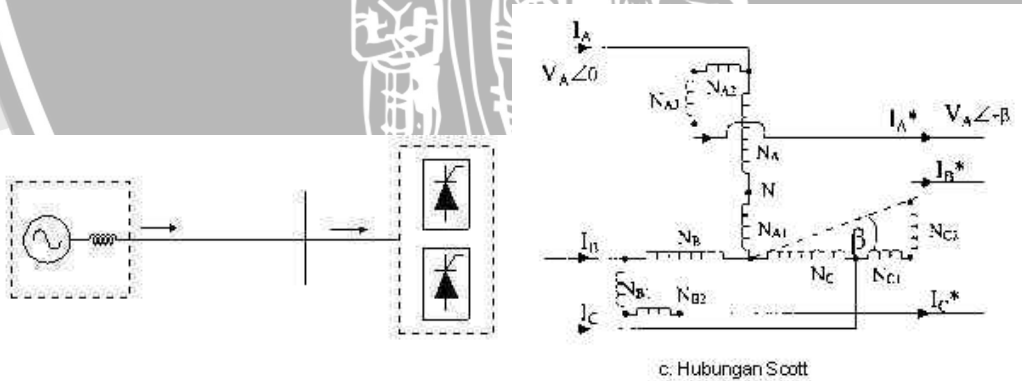


Gambar 4.11 Mekanisme Metode Pergeseran Fasa pada Beban Non Linier

4.9 Autotrafo Penggeser Fasa

Penggeseran sudut fasa tegangan sebelumnya dilakukan dengan menggunakan trafo konvensional dua belitan (primer-sekunder), namun rating kVA yang diperlukan oleh trafo penggeser fasa jenis ini relatif sangat besar, yaitu mencapai 1 pu. Oleh karena itu, perlu dicarikan suatu desain penggeser fasa yang memerlukan rating kVA rendah, karena menyangkut masalah biaya dan dimensi ruang yang dibutuhkan. Pada tulisan ini telah didesain tiga konfigurasi autotrafo sebagai penggeser fasa (APF) yang mempunyai rating kVA yang rendah, yakni konfigurasi hubungan scott, bintang, dan poligon seperti yang diperlihatkan pada gambar 6.

Penentuan rating kVA didasarkan pada penjumlahan hasil kali antara arus dan tegangan pada masing-masing belitan trafo tersebut, yang diformulasikan sebagai berikut :



Gambar 4.12 Konfigurasi Autotrafo Penggeser Fasa

$$\text{Rating VA autotrafo} = \sum V_{\text{rms}} \cdot I_{\text{rms}} \quad (11)$$

Dimana

V_{rms} : nilai rms tegangan pada belitan trafo

I_{rms} : nilai rms arus pada belitan trafo

Dari rangkaian masing-masing konfigurasi autotrafo seperti pada gambar 4.12 dan dengan menggunakan formulasi persamaan, dapat ditentukan rating kVA autotrafo tersebut fungsi dari sudut pergeseran fasa (β), yaitu sebagai berikut :

1. Autotrafo Poligon :

$$kVA = \left[\sin\left(\frac{\beta}{2}\right) + 2\sin\left(\frac{\beta}{2}\right)\sin\left(60^\circ - \frac{\beta}{2}\right) \right] V_L I_L$$

2. Autotrafo Bintang :

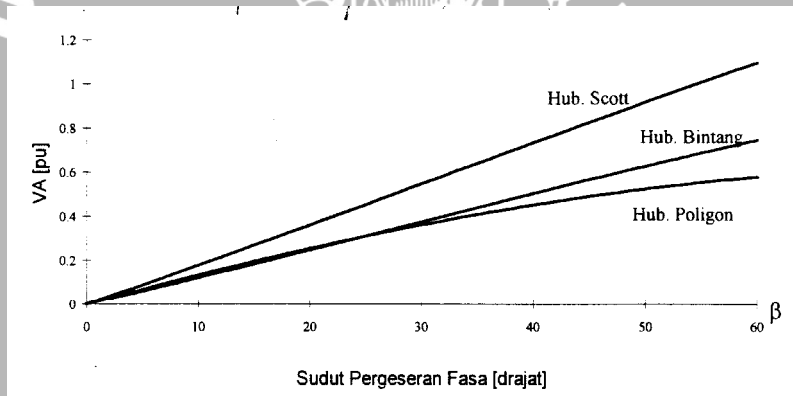
$$VA = \left\{ \frac{1}{\sqrt{3}} \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) + 2\sin\left(120^\circ - \frac{\beta}{2}\right)\sin\left(\frac{\beta}{2}\right) \right\} V_L I_L$$

3. Autotrafo Scott atau T :

$$VA = \left[1,682 \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) + \frac{1}{2\sqrt{2}} \{ (\cos\beta + 1) \operatorname{tg}\left(\frac{\beta}{2}\right) + (1 - \cos\beta) \} + \frac{1}{4} \sin\beta (3,154 - \cos\beta) \right] V_L I_L$$

Kurva perbandingan rating kVA fungsi dari sudut pergeseran fasa β untuk masing-masing konfigurasi APF diperlihatkan pada gambar 4. 13.

Kurva rating VA autotrafo penggeser fasa

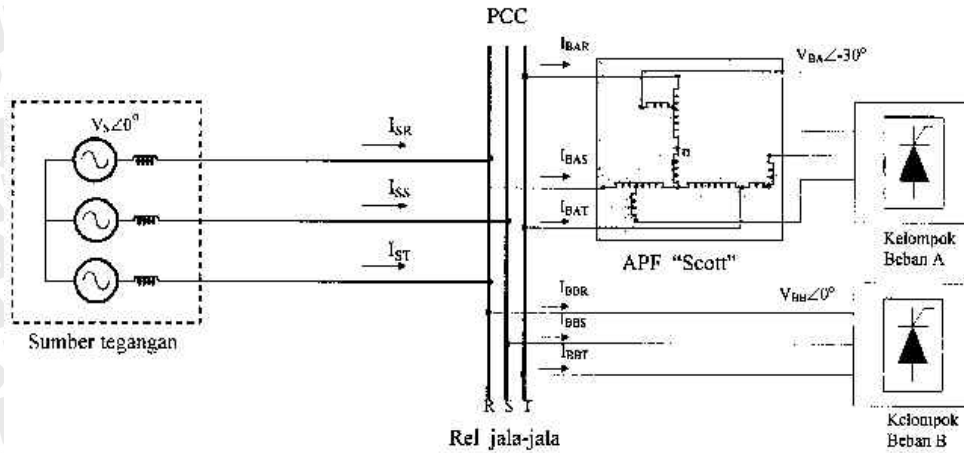


Gambar 4.13 Kurva Rating VA Autotrafo Terhadap Besar Sudut Penggeser Fasa

Dari kurva pada gambar 7 untuk pergeseran fasa $\beta = 30^\circ$, konfigurasi poligon mempunyai rating kVA yang lebih rendah dari konfigurasi lainnya, yakni sebesar 0,36 pu. Hasil rating kVA selengkapnya untuk $\beta = 30^\circ$ diberikan dalam tabel I berikut ini.

Tabel 4.5 Rating VA Autotransformator Penggeser Fasa

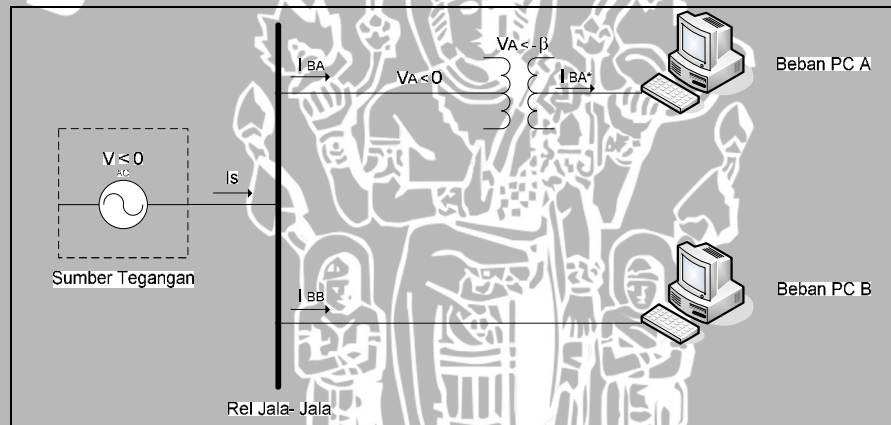
No.	Konfigurasi	Sudut Pergeseran Fasa β	Rating VA (pu)
1	Hubungan Poligon	30°	0,361
2	Hubungan Bintang	30°	0,379
3	Hubungan Scott	30°	0,546



Gambar 4.14 Model Rangkaian Eksperimen

Minimalisasi Harmonisa Arus Sistem pada Beban 2 Unit Komputer

Beban tiap komputer yang diberikan memiliki karakteristik beban yang sama.



Gambar 4.15 Mekanisme Metode Pergeseran Fasa pada Beban 2 PC

Kelompok beban PC pada cabang B yang langsung disuplai dari sumber tegangan sistem mempunyai persamaan arus di rel jala-jala sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 i_{BB}(t) &= \sqrt{2}I_{BBa} \sin(\omega t) + \sum_{h=(6n \pm 1)}^{\infty} \sqrt{2}I_{BBh} \sin(h\omega t) \\
 &= \sqrt{2}I_{BB1} \sin(\omega t) + \sqrt{2}I_{BB5} \sin(5\omega t) + \sqrt{2}I_{BB7} \sin(7\omega t) + \sqrt{2}I_{BB11} \sin(11\omega t) \\
 &\quad + \sqrt{2}I_{BB13} \sin(13\omega t) + \sqrt{2}I_{BB17} \sin(17\omega t) + \sqrt{2}I_{BB19} \sin(19\omega t)
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

Kelompok beban PC A yang mendapat tegangan suplai dengan pergeseran sudut fasa sebesar $-b$ o terhadap sudut fasa tegangan sumber VSD 0o mempunyai persamaan arus di sisi beban adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 i_{BA}(t) &= \sqrt{2}I_{BA1} \sin(\omega t - \beta^\circ) + \sum_{h=(6n\pm 1)}^{\infty} \sqrt{2}I_{BAh} \sin(h\omega t - \beta^\circ) \\
 &= \sqrt{2}I_{BA1} \sin(\omega t - \beta^\circ) + \sqrt{2}I_{BA5} \sin(5\omega t - \beta^\circ) + \sqrt{2}I_{BA7} \sin(7\omega t - \beta^\circ) \\
 &\quad + \sqrt{2}I_{BA11} \sin(11\omega t - \beta^\circ) + \sqrt{2}I_{BA13} \sin(13\omega t - \beta^\circ) + \sqrt{2}I_{BA17} \sin(17\omega t - \beta^\circ) \\
 &\quad + \sqrt{2}I_{BA19} \sin(19\omega t - \beta^\circ)
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

Besar sudut fasa tegangan cabang beban PC A di sisi jala-jala sistem (input penggeser fasa) sama dengan sudut fasa tegangan sumber, yaitu VSD 0o, atau sama dengan sudut fasa tegangan di beban PC A, yaitu VAD $-b$ o yang digeser sebesar $(+b$ o). Adanya pergeseran sudut fasa ini juga menyebabkan terjadinya pergeseran sudut fasa pada komponen arus beban PC A di jala-jala sistem. Sudut fasa komponen arus fundamental IBA1 akan tergeser sebesar $(+b$ o) dan komponen arus harmonisa urutan positif (arus harmonisa orde $h = 6n + 1$, yaitu orde 7, 13, 19, ... dst) akan tergeser sebesar $(b \cdot h)$ o, sedangkan sudut fasa komponen arus harmonisa urutan negatif (arus harmonisa orde $h = 6n - 1$, yaitu orde 5, 11, 17, ... dst) tergeser sebesar $-(b \cdot h)$ o. Dengan demikian, dari persamaan (4.2) dapat ditentukan persamaan arus cabang beban PC A di sisi jala-jala sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 i_{BA}(t) &= \sqrt{2}I_{BA1} \sin(\omega t - \beta^\circ + \beta^\circ) + \sqrt{2}I_{BA5} \sin(5\omega t - \beta^\circ - 5\beta^\circ) + \sqrt{2}I_{BA7} \sin(7\omega t - \beta^\circ + 7\beta^\circ) \\
 &\quad + \sqrt{2}I_{BA11} \sin(11\omega t - \beta^\circ - 11\beta^\circ) + \sqrt{2}I_{BA13} \sin(13\omega t - \beta^\circ + 13\beta^\circ) \\
 &\quad + \sqrt{2}I_{BA17} \sin(17\omega t - \beta^\circ - 17\beta^\circ) + \sqrt{2}I_{BA19} \sin(19\omega t - \beta^\circ + 19\beta^\circ) \\
 &= \sqrt{2}I_{BA1} \sin(\omega t) + \sqrt{2}I_{BA5} \sin(5\omega t - 6\beta^\circ) + \sqrt{2}I_{BA7} \sin(7\omega t + 6\beta^\circ) \\
 &\quad + \sqrt{2}I_{BA11} \sin(11\omega t - 12\beta^\circ) + \sqrt{2}I_{BA13} \sin(13\omega t + 12\beta^\circ) + \sqrt{2}I_{BA17} \sin(17\omega t - 18\beta^\circ) \\
 &\quad + \sqrt{2}I_{BA19} \sin(19\omega t + 18\beta^\circ)
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

Besar arus sistem IS pada jala-jala (PCC) atau pada sumber tegangan adalah penjumlahan arus cabang beban PC A dan cabang beban PC B. Dari persamaan (4.2) dan (4.3) dapat ditentukan besar arus sistem IS sebagai berikut:

$$i_s(t) = i_{BA}(t) + i_{BB}(t)$$

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{2} \left[\{I_{BA1} + I_{BB1}\} \sin(\omega t) + I_{BA5} \sin(5\omega t - 6\beta^\circ) + I_{BB5} \sin(5\omega) \right. \\
 &+ I_{BA7} \sin(7\omega t + 6\beta^\circ) + I_{BB7} \sin(7\omega t) \\
 &+ I_{BA11} \sin(11\omega t - 12\beta^\circ) + I_{BB11} \sin(11\omega t - 12\beta) \\
 &+ I_{BA13} \sin(13\omega t + 12\beta^\circ) + I_{BB13} \sin(13\omega t) \\
 &+ I_{BA17} \sin(17\omega t - 18\beta^\circ) + I_{BB17} \sin(17\omega t) \\
 &+ I_{BA19} \sin(19\omega t + 18\beta^\circ) + I_{BB19} \sin(19\omega t) \dots \dots \left. \right] \quad (4.4)
 \end{aligned}$$

Apabila diasumsikan bahwa magnitud arus besar cabang A dan B adalah sama besar, yakni :

$$I_{AB1} = I_{BB1} = I_{B1} = \frac{1}{2} I_s, \text{ dan}$$

$$I_{ABh} = I_{BBh} = I_{Bh} = \frac{1}{2} I_{sh}$$

maka persamaan (4.4) arus sistem IS dapat ditulis menjadi:

$$\begin{aligned}
 i_s(t) &= \sqrt{2} \left[I_{s1} \sin(\omega t) + \frac{1}{2} \{ I_{s5} \sin(5\omega t - 6\beta^\circ) + I_{s5} \sin(5\omega) + I_{s7} \sin(7\omega t + 6\beta^\circ) \right. \\
 &+ I_{s7} \sin(7\omega t) + I_{s11} \sin(11\omega t - 12\beta^\circ) + I_{s11} \sin(11\omega t) \\
 &+ I_{s13} \sin(13\omega t + 12\beta^\circ) + I_{s13} \sin(13\omega t) + I_{s17} \sin(17\omega t - 18\beta^\circ) \\
 &+ I_{s17} \sin(17\omega t) + I_{s19} \sin(19\omega t + 18\beta^\circ) + I_{s19} \sin(19\omega t) \left. \right\} \dots \dots \left. \right] \quad (4.5)
 \end{aligned}$$

Dengan mensubstitusikan nilai $b = 300$ ke dalam persamaan (4.5) akan didapatkan persamaan arus sistem sebagai berikut :

$$i_s(t) = \sqrt{2} [I_{s1} \sin(\omega t) + I_{s11} \sin(11\omega t) + I_{s13} \sin(13\omega t) \dots] \quad (4.6)$$

Sehingga persamaan arus sistem pada beban 2 komputer adalah

$$i_s(t) = \sqrt{2} [2x0.535 \sin(\omega t) + 2x0.45 \sin(3\omega t) + 2x0.216 \sin(9\omega t)]$$

dimana

$$I_{rms} = \sqrt{1.07^2 + 0.9^2 + 0.432^2}$$

$$I_{rms} = 1.463 \text{ A}$$

sehingga diperoleh

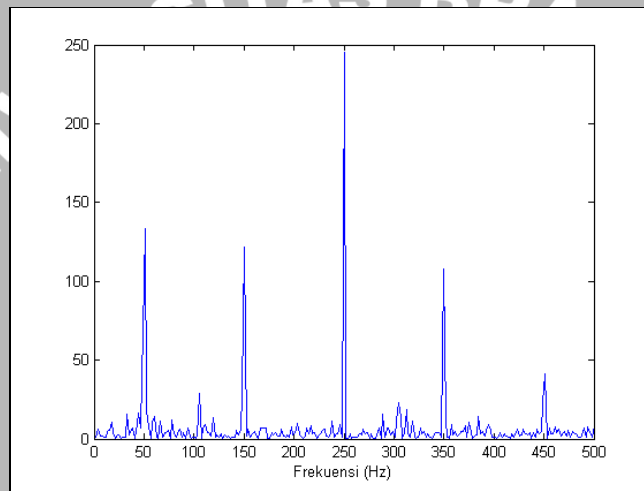
$$THD_{\text{arus}} = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_9^2}}{I_{rms}} \times 100 \%$$



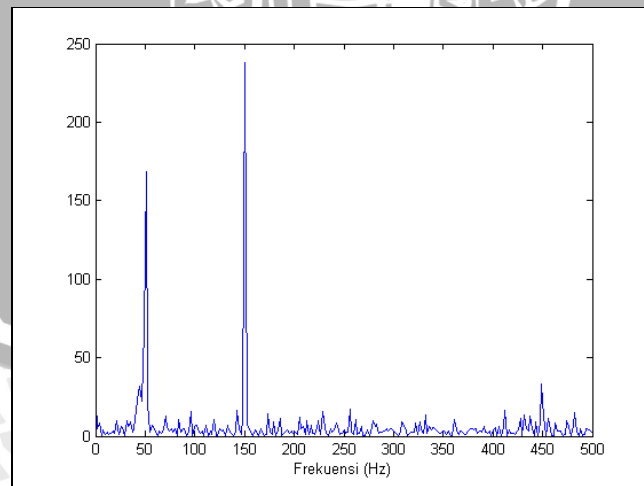
$$THD_{\text{ arus }} = \frac{\sqrt{0.9^2 + 0.432^2}}{1.463} \times 100 \%$$

$$THD_{\text{ arus }} = 68.24\%$$

Terlihat perbedaan dari hasil sebelum diberikan metode pergeseran fasa dan sesudah diberikan metode pergeseran fasa yaitu 78.49 % sebelum dan 68.24 % sesudahnya. Dengan menggunakan metode ini, dengan penambahan beban komputer nilai THD arusnya dapat diminimisasi sebesar mungkin. Hasil sebelum dan sesudah digunakan minimisasi juga ditunjukkan pada gambar 4.14 (a) dan 4.14 (b) di bawah ini.



(a) Sebelum Minimisasi



(b) Setelah Minimisasi

Gambar 4.16 Kurva Spektrum Arus Sistem

Dari gambar diatas, jelas ditunjukkan bahwa dengan menggunakan teknik pergeseran fasa dapat meminimisasi besarnya kandungan arus harmonisa. Dimana kandungan harmonisa orde ke 5 dan orde ke 7 dapat ditiadakan dengan metode ini. Sehingga besarnya kandungan arus harmonisa mengalami pengurangan.



BAB V PENUTUP

Dalam bab ini akan dijelaskan kesimpulan yang diambil dari keseluruhan pembahasan dan saran-saran yang digunakan untuk pengembangan laporan akhir ini.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis tentang pengaruh harmonisa dari pemakaian perangkat komputer di SCS-Unit TIK UB, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dengan menggunakan metode curve fitting, dapat ditentukan hubungan antara besar nilai persentase kandungan harmonisa terhadap setiap penambahan jumlah beban komputer. Dimana dalam hasil analisis ini diperoleh hubungan :
 - Harmonisa orde ke 3 : $I_3 = -0.0248N_{PC}^2 + 0.935N_{PC} + 49.228$
 - Harmonisa orde ke 5 : $I_5 = -0.896N_{PC} + 46.239$
 - Harmonisa orde ke 7 : $I_7 = -11.278\ln(N_{PC}) + 39.85$
 - Harmonisa orde ke 9 : $I_9 = 0.1188N_{PC}^2 - 3.3403N_{PC} + 25.159$
 - % ITHD : $I_{THD} = 80.11 - 0.81N_{pc}$
2. Kandungan persentase THD arus dari pemakaian beban komputer melebihi batas dari standar ketentuan IEEE – 519 (“The IEEE 519 standart provides guidelines for harmonic generating power system”), yakni 20 %.
3. Dengan menggunakan metode pergeseran fasa yang menggunakan trafo pergeseran fasa (autotrafo), besarnya kandungan harmonisa dapat di minimisasi sebesar 10.25 %. Dimana mampu mengeliminasi kandungan harmonisa arus orde ke 5 dan ke 7.

5.2 Saran

Adapun saran dari penulis dari hasil analisis ini yaitu :

1. Besarnya kandungan harmonisa dari pemakaian beban komputer di SCS-Unit TIK UB masih di pengaruhi oleh beban-beban non linier lainnya, sehingga perlu dibenahi di bagian suplai daya.
2. Demi pengamanan unit komputer, solusi yang tepat adalah dengan membenai bagian power supply unit komputer sehingga mampu menghasilkan output

tegangan yang stabil. Selain itu penggunaan filter harmonisa, auto trafo (dalam hal ini digunakan untuk meminimisasi kandungan harmonisa), serta voltage regulator sangat dibutuhkan untuk mengantisipasi ketidakstabilan power supply komputer.

3. Penggunaan metode pergeseran fasa masih memiliki kekurangan, karena selain hanya digunakan untuk meminimisasi kandungan harmonisa arus juga besarnya pergeseran besar sudut fasa tergantung pada jumlah cabang beban. Sehingga masih diperlukan suatu alat yang secara otomatis melakukan pergeseran fasa secara otomatis seiring dengan penambahan jumlah cabang beban komputer.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



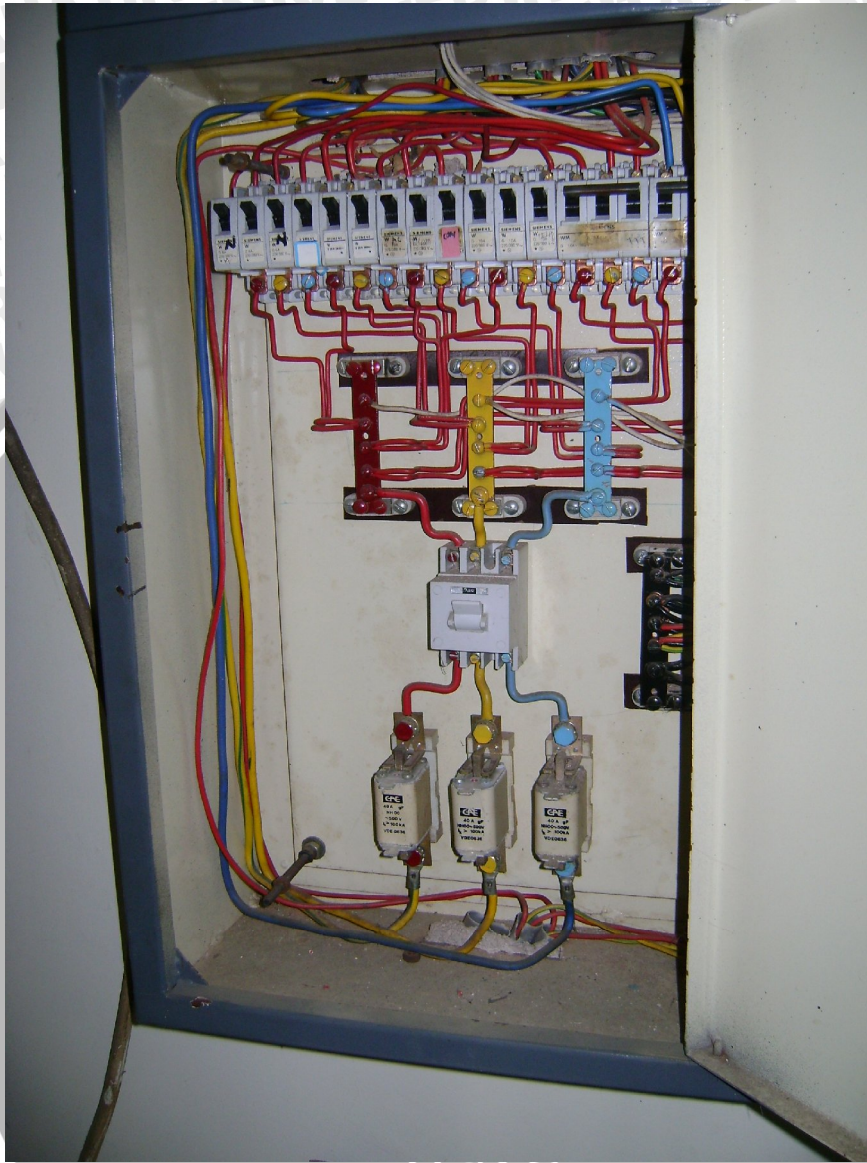
DAFTAR PUSTAKA

- Arrilaga, 1987, "*Power Sistem Harmonics*", Jhon Wiley & Sons Inc.
- Kazibwe, E. Wilson, Sendaula, H. Musoke, 1993, "*Electrical Power Quality Control Techniques*". New York : Van Nostrand Reinhold.
- Muhammad H. Rasyid, "Elektronika Daya", Power Electrcal : Circuit Devices, and Application , 2ndedition
- William D. Stevenson, 1982, "*Power System Electrical Analysis*", 4 edition, New York, 1982.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



LAMPIRAN 1



Panel Ruang SCS



Ruang Komputer SCS



Lampiran 2

Fluke 43B

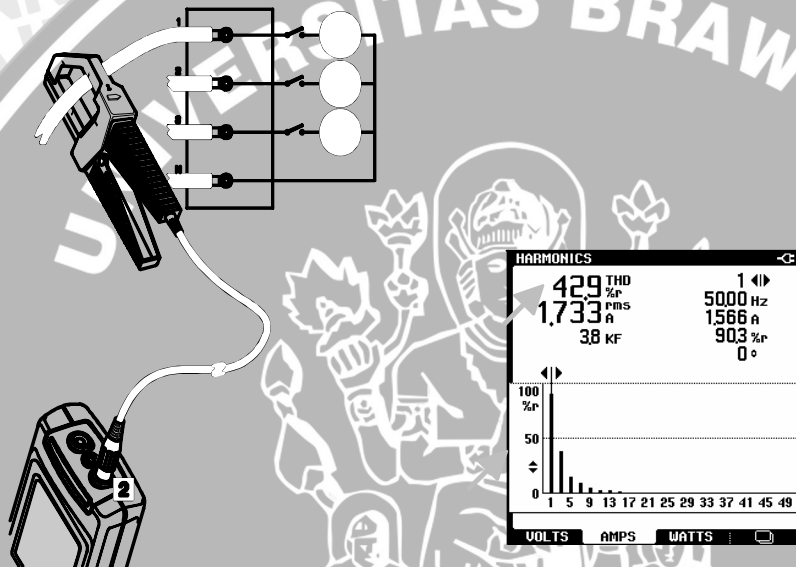
Applications Manual

Measuring Current Harmonics

Non-linear loads produce current harmonics which may cause voltage distortion.



4 Make connections as shown below:



- 1 Open the main menu.
- 2
- 3 Select AMPS.
- (5) Scale the harmonics spectrum screen to see more or less details.



Fluke 43R Power Quality Analyzer

Maintain power systems, troubleshoot power problems, diagnose equipment failures



The Fluke 43 Power Quality Analyzer performs the measurements you need to maintain power systems, troubleshoot power problems and diagnose equipment failures. All in a rugged handheld package.

- Combines the most useful capabilities of a power quality analyzer, multimeter and scope
- **New!** Calculates 3-phase power on balanced loads, from a single-phase measurement
- Measures power harmonics, and captures voltage sags, transients and inrush current
- Monitoring functions help track intermittent problems and power system performance
- Menus use familiar electrical terminology
- **New!** Toggle through the most commonly used power quality modes with a single keystroke
- Records two selectable parameters for up to 16 days
- **New!** 20 measurement memories to

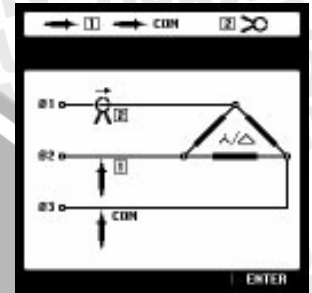
- save/recall screens and data with cursor readings
- **New!** FlukeView® Software can log harmonics and all other readings over time
- **New!** FlukeView Software provides a

- complete harmonics profile up to the 51st harmonic
- Measures resistance, diode voltage drop, continuity, and capacitance
- Users / applications manual and power quality video to help answer tough questions
- Complete package with voltage probes and

500A current clamp, FlukeView Software and

- optically isolated interface cable
- 3 year warranty on the Fluke 43B, 1 year on accessories
- **New!** On screen graphics show you how to set up 3-phase power measurement

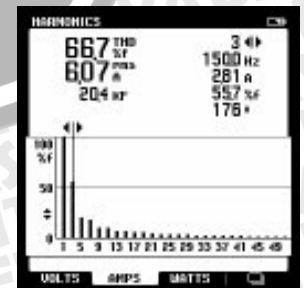
- Voltage and current waveforms
 - Use cursors to read time and date of sags and swells
 - Catch and save up to 40 transients
 - Correlate the cause of transients with time and date stamps
- Accuracies are stated as ± (percentage of reading + counts) without probes unless otherwise noted.



• Watts, power factor, displacement power factor (Cos ϕ), VA and VAR



• Voltage and current waveforms
• True-rms voltage and current



• Voltage, current, and power harmonics
• Up to 51st harmonic
• Total harmonic distortion (THD)



Listed



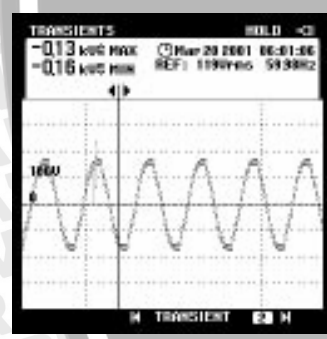


Specifications are valid for signals with a fundamental between 40 and 70 Hz.

Specifications



- Continuously measure volts and amps on a cycle-by-cycle basis for up to 24 hours



- Catch voltage transients and waveform distortion

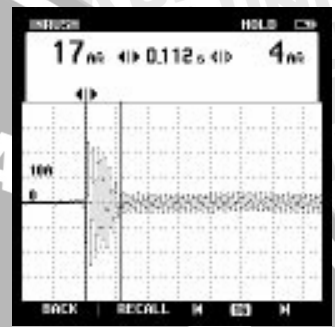
Input Characteristics		
Input impedance		
Voltage rating		
Volt / Amps / Hertz		
True-rms voltage (AC+DC)		
True-rms current (AC+DC)		
Frequency		
CF Crest Factor		
Power		
W, VA, VAR Reactive Power		250 W 250 kW, ±(2% + 6 counts)
25.0 kW, 250 kW, 2.50 MW,		±(2% + 6 counts)
Total Power 1-phase and 3-phase, 3		25 MW, 250 MW, ±(4% + 4 counts)
625 MW, 1.56 GW		±(4% + 4 counts)
Fundamental conductor balanced loads		Display: PE, Power
DPF Displacement Power Factor	0.25 to 0.90 0.90 to 1.00	
Hz Frequency fundamental		
Harmonics		
Volts, Amps, Watts		W ± (5% + 2 counts)
	2 to 31st Harmonic	W ± (10% + 10 counts)
	32 to 51st Harmonic	W ± (30% + 5 counts)
Frequency of fundamental		
Phase		Volt &
	Watts (between Volt Fund. & Amps Harmonic)	
K-Factor (Amps & Watts)		
THD		
Sags & Swells		
Recording times (selectable)		
Vrms actual, Vrms max, 500.0 V, 1250 V*		5,000 V, 50.00 V Readings ±(2% + 10 +10 counts)
Arms actual, Arms max,		
Recording times (selectable)		
Parameters		
V/A/Hz		
Power		
Harmonics		THD, Volts
(Fund & Harmonics), Amps/E/Hz, Watts/E/Hz, Power/Hz, kVA/Hz, kVA/Hz, kVA/Hz, kVA/Hz		Other: Divs
Temperature		
Scope		
	Phase, Duty cycle + or -, Peak max, Peak min, Peak min-max, Crest Factor	
Transients		
Minimum pulse width		
Useful bandwidth input 1		
Number of transients		
Voltage threshold settings		
Reference signal		
Vpeak min, Vpeak max at cursor		data a pure sinewave is calculated as reference for threshold setting.

*Rated 600V CAT III

- Capture measurement screens for professional-looking reports
- Log readings to your computer disk drive
- Works with Windows word processing, spreadsheet and analysis software
- Windows 95 / 98 / Me / 2000 / NT 4.0

Inrush Current	Ranges	
Current ranges (selectable)	1 A, 5 A, 10 A, 50 A, 100 A, 500 A, 1000	
Inrush times (selectable)	1 s, 5 s, 10 s, 50 s, 100 s, 5	
Cursor readings	A peak max at cursor 1 and cursor 2	± 5% of
Time between cursors**	4 to 235 pixels	± (0.2% +
Scope, dual channel scope with measurement reading		
Input impedance		
Input 1	1 MΩ/12 nF; with BB120: 20 nF	± 2 nF; with BB120
Input 2	1 MΩ/10 nF; with BB120: 18 nF	± 2 nF; with BB120
Vertical		
Voltage ranges	50 mV/div to 500V/div	± (1% +
Vertical sensitivity, resolution	5 mV/div to 500V/div, 8 bit (256)	
Bandwidth input 1 (voltage)	DC to 20 MHz at inputs, or with BB120 and VPS100-R probe (Opt); 1 MHz with TL24 Leads	
Bandwidth input 2 (current)	DC to 15 kHz	
	10 kHz with 80:500s Current Clamp	
Coupling	DC, AC (10	
Horizontal		
TimeBase modes	Normal,	
TimeBase ranges	60 s/div to 20 ns/div	± (0.4%+)
Sampling rate		
Record length	512 per channel (min / max samples)	
Trigger source selection	Input 1 or Input 2 or Automatic	
Trigger mode	Automatic Connect-and-View™, Free	
Connect-and-View™	Single Shot.	
	Advanced automatic triggering that recognizes signal patterns and automatically adjusts triggering, timebase and amplitude. Automatically displays stable pictures of complex and dynamic signals like motor drive and control signals.	
Pre-trigger	Up to 10	
Measurement readings, channel selectable	Volts & Amps (DC, AC, AC + DCrms, Peak max, Peak min, Peak min / max), per Frequency, Duty cycle + or -, Phase, Pulse Width + or -, Crest factor Ohms ,	
Diode, Continuity, Capacitance		
Ohms	500.0 Ω 5.000 kΩ, 50.00 kΩ, 500.0 kΩ, 5.000 MΩ, 30.00 MΩ	± (0.6% +5
Diode voltage	0 to 3,000 V	± (2%
Continuity, shorts > 1 ms	Beeper on at < 30kΩ	
Capacitance	50.00 nF, 500.0 nF, 5.000 μF, 50.00 μF, 500.0 μF	± (2%
Temperature***	-100.0 °C to 400.0 °C, -200.0 °F to 800.0 °F	± (0.5% +5
Max current, max open circuit volt, < 4 V (all functions above)		
Memory		
Number of screens		
Optical Isolated RS-232 Interface		
To printer	Supports HP LaserJet™, DeskJet, Epson FX/LQ and Postscript printers with optional PAC91 Printer Adapter Cable	
To PC	FlukeView™ Power Quality Analyzer software with PM9080 Interface Adapter included	
FlukeView™ Power Quality Software		
Hardware requirements	PC or 100% compatible with Windows™95, 98, Me, 2000, NT4.0.	

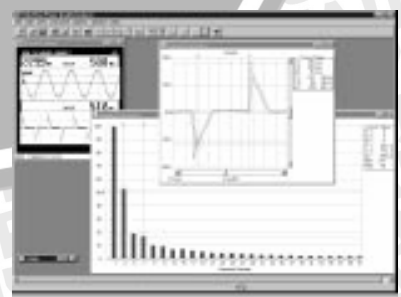
** 1 pixel = inrush time/250
 *** Requires optional temperature accessory



- Inrush current up to 500A with supplied current probe
- Use cursors to measure inrush current timing



- Connect-and-View™ scope for quick waveform display
- Voltage and current channels
- 20MHz bandwidth with optional 10:1 voltage probe. 15kHz on current channel with optional current clamp



- FlukeView™ Power Quality Analyzer software (included)



General Specifications

Ordering Information

Fluke 43B Power Quality Analyzer

Optional Accessories

C789 Soft Carrying Case

Power	
Line voltage adapter/battery charger included	
Installed battery	Rechargeable NiCd pack (4 to 6)
Operating time	
Charging time	4 hours (Fluke 43B OFF) 12 hours (Fluke 43B)
Refresh Cycle	8 to 14 hours (to keep NiCd battery capacity optimal)
Environmental	
Temperature	0°C to 50°C (32°F to 122°F)
Environmental	MIL-28800E, Type 3, Class III
Enclosure	IP51 (dust, drip water)
Mechanical Data	
Size (H x W x D)	232 x 115 x 50 mm (9.1 x 4.5 x 2)
Weight	1.1 kg (2.5 lbs.) incl. battery
Safety	
For measurements on 600 Vrms Category III installations, Pollution Degree 2 in accordance with EN61010-1 (1993) (IEC1010-1) ANSI/ISA S82.01-1994 CAN/CSA-C22.2 No. 1010.1-92 UL3111-1	
Surge protection	6 kV on input
Floating measurements	600 Vrms from any terminal to ground
Warranty	3 years parts and labor on Fluke 43B, 1 year on accessories

Included Accessories

- i1000s**
- C120** Hard Case
- i2000flex** Flexible 2000A AC Current Probe
- TL24** Test Leads
- AC20** Industrial Test Clips
- i3000s**
- AC85** Large Jaw Alligator Clips
- TP1** Flat-tipped Slim-Reach™ Test Probes (requires BB120, one included)
- TP4** 4 mm Round Slim-Reach™ Test Probes
- BB120** BNC Adapters
- 80i-500s** 500A AC Current Clamp
- 80TK** Thermocouple Module
- 80T-IR** Non Contact Infrared Temperature Probe
- BP120** Interface Adapter
- 80T-150U** Universal Temperature Probe
- PAC91** Parallel Printer Adapter Pack (installed)
- PM 8907** Line Voltage Adapter/Battery
- PM9087** Isolated Automotive Lighter

80i-110s 100A AC/DC Current Probe

1000A AC Current Clamp

Clamp-On AC Current Clamp **VPS100-R** Red 10:1 Voltage Probe

Two Shielded Banana-to-

Thermocouple Module
Non Contact Infrared



Charger	
Plug Charging Adapter	
SW43W FlukeView Power Quality	
TL20	63" Test Lead Set
Analyzer Software for	
TL21	Extension Lead Set
Windows	
TL22	63" Right Angle Silicone Test
FlukeView Power Quality Analyzer	
Lead Set	
Users Manual	Electrical Test Lead Set
TL23F	
TL23R	Electrical Test Lead Set
Users Manual / Application Guide	
TL24	63" Right Angle/Straight
Power Quality CD-ROM	
Silicone Test Leads	
TL26A	60" 5-Way Test Lead Set
TL28A	63" Alligator Clip Test Lead
Set	
TL71	Premium DMM Test Lead
Assembly	
TL74	4 mm Diameter Test Leads
TL75	48" Hardpoint Test Lead Set
i200s	AC Current Clamp



Lampiran 4

1. List Program Sebelum Minimisasi

```

>>x=1.4142*(2*0.535*sin(2*pi*50*t)+2*0.45*sin(2*pi*150*t)+2*0.405*sin(2*pi*250
*t)+2*0.333*sin(2*pi*350*t)+2*0.216*sin(2*pi*450*t));
>> y=x+2*randn(size(t));
>> plot(1000*t(1:50),y(1:50))
>> Y=fft(y,512);
>> Pyy=Y.*conj(Y)/512;
>> f=1000*(0:256)/512;
>> title('Frekuensi besaran dari y')
>> xlabel('frekuensi (Hz)')
>> plot(f,Pyy(1:257))
>> xlabel('Frekuensi (Hz)')

```

2. List Program Setelah Minimisasi

```

>>x=1.4142*(2*0.535*sin(2*pi*50*t)+2*0.45*sin(2*pi*150*t)+2*0.216*sin(2*pi*450
*t));
>> y=x+2*randn(size(t));
>> plot(1000*t(1:50),y(1:50))
>> Y=fft(y,512);
>> Pyy=Y.*conj(Y)/512;
>> f=1000*(0:256)/512;
>> title('Frekuensi besaran dari y')
>> xlabel('frekuensi (Hz)')
>> plot(f,Pyy(1:257))

```

