



TESIS - TE142599

DESAIN DAN IMPLEMENTASI ANALISIS KUALITAS DAYA BERBASIS FAST S-TRANSFORM

**DIMAS OKKY ANGGRIAWAN
2213201018**

**DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng.**

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015**



TESIS - TE142599

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF POWER QUALITY ANALYSIS BASED ON FAST S-TRANSFORM

DIMAS OKKY ANGGRIAWAN
2213201018

ADVISOR
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng.

MAGISTER PROGRAM
POWER SYSTEM ENGINEERING
ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)

Di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Dimas Okky Anggriawan

NRP. 2213201018

Tanggal Ujian : 9 Januari 2015

Periode Wisuda : Maret 2015

Disetujui Oleh :

1. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng. (Pembimbing 1)
NIP. 19580916198601001

2. Dr. Eng. Ardono Priyadi, ST., M.Eng. (Pembimbing 2)
NIP. 197309271998031004

3. Prof. Dr. Ir. Imam Robandi, MT (Penguji)
NIP. 196308171990031001

4. Prof. Ir. Mochamad Ashari, M.Eng., Ph.D (Penguji)
NIP. 196510121990031003

5. Heri Suryatmojo, ST., MT., Ph.D (Penguji)
NIP. 198006032006041003

6. Dr. Ir. Soedibjo, M.MT (Penguji)
NIP. 195512071980031004

7. Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D (Penguji)
NIP. 197311192000031001

Direktur Program Pascasarjana

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT
NIP. 196404051990021001

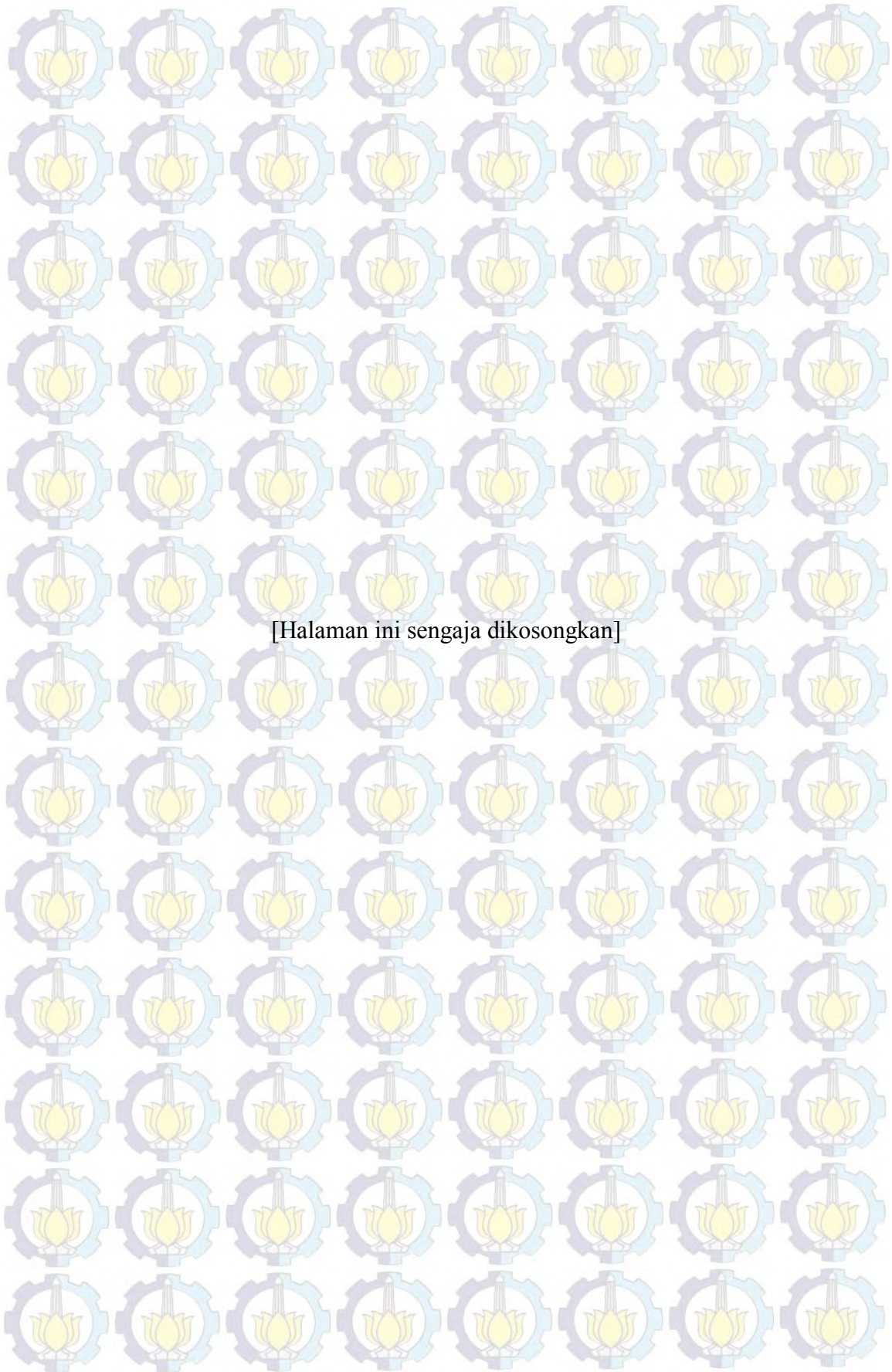
DESAIN DAN IMPLEMENTASI ANALISIS KUALITAS DAYA BERBASIS FAST S-TRANSFORM

Nama Mahasiswa : Dimas Okky Anggriawan
NRP : 2213201018
Pembimbing : 1. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M. Eng
2. Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M. Eng

ABSTRAK

Salah satu isu penting dalam analisis kualitas daya adalah untuk mendeteksi gangguan kualitas daya secara efisien dan akurat sehingga dapat menyediakan pelayanan suplai kualitas daya yang lebih baik kepada pelanggan. Keberadaan alat ukur saat ini menggunakan *fast fourier transform* (FFT) dalam menganalisis harmonik tetapi FFT tidak sesuai digunakan untuk mendeteksi sinyal yang non stasioner. Oleh karena itu, pada penelitian ini mengusulkan metode *Fast S-Transform* (FST) untuk menganalisis kualitas daya terutama harmonik karena FST memiliki komputasi yang lebih cepat. FST digunakan untuk mengubah sinyal arus dan tegangan dari daerah waktu ke daerah frekuensi untuk memperoleh komponen harmonik. Pada penelitian ini, diimplementasikan secara *hardware* menggunakan mikrokontroler STM32F407. Eksperimen dibandingkan dengan metode *discrete fourier transform* (DFT), *Stockwell transform* (ST), alat ukur standar FLUKE 43B dan Osiloskop DL850. Hasil yang diperoleh dari pengujian THD_i pada beban non linier dan beban motor induksi memiliki kesalahan relatif sebesar 0,374284 % dan 0,548021 % sedangkan hasil yang diperoleh dari pengujian THD_v pada beban non linier dan beban motor induksi memiliki kesalahan relatif sebesar 3,052288 % dan 5,073938 % dibandingkan dengan FLUKE 43B. Metode FST memiliki waktu komputasi masing-masing 0,0855 detik, 0,731 detik dan 3,7001 detik lebih cepat dengan jumlah data sebesar 2000 data, 5000 data dan 10000 data dibandingkan dengan ST.

Kata kunci: mikrokontroler; harmonik; kualitas daya; *S-Transform*; *Fast S-Transform*;



[Halaman ini sengaja dikosongkan]



DESIGN AND IMPLEMENTATION OF POWER QUALITY ANALYSIS BASED ON FAST S-TRANSFORM

Student Name : Dimas Okky Anggriawan

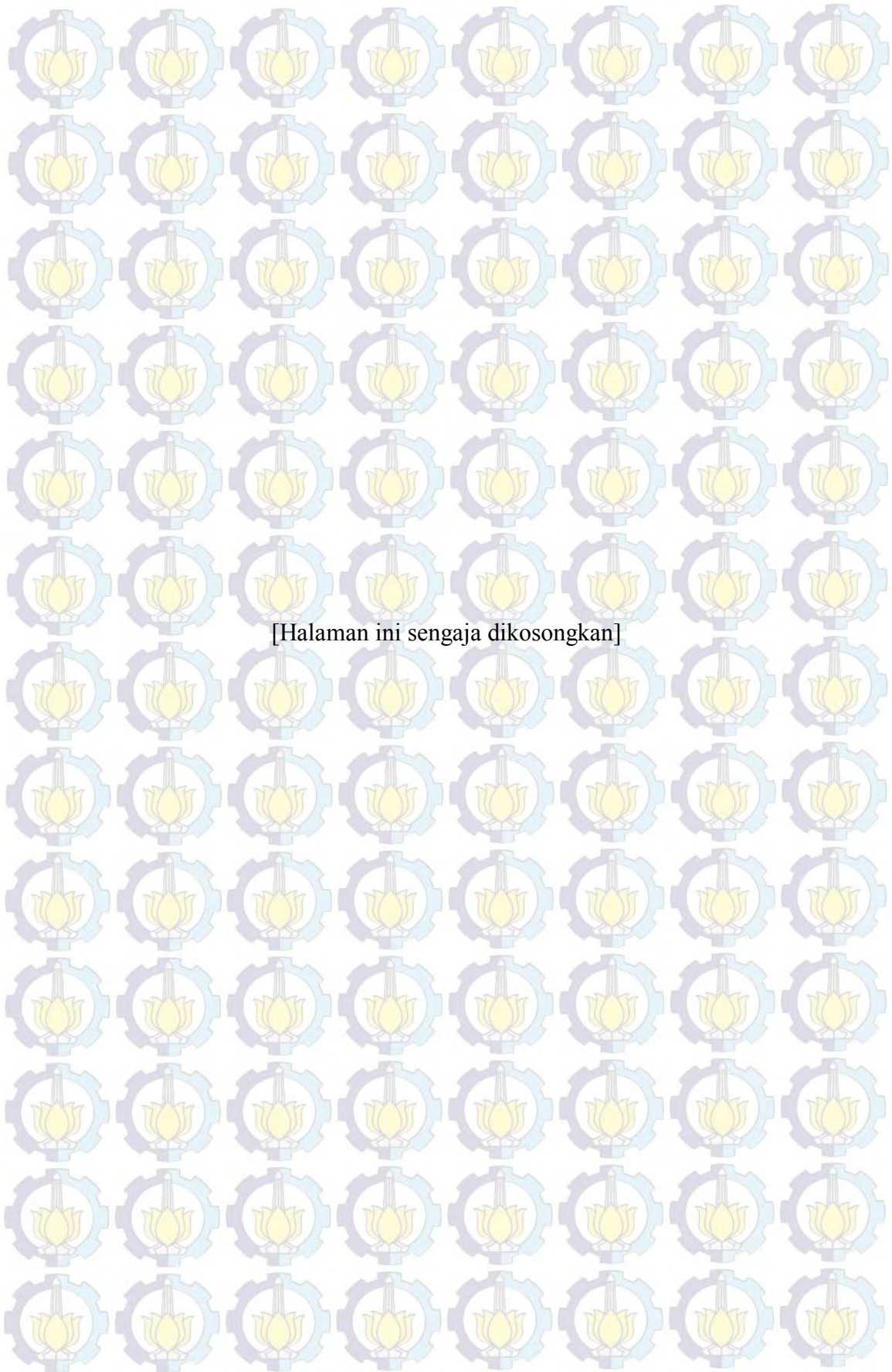
NRP : 2213201018

Advisor : 1. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M. Eng
2. Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M. Eng

ABSTRACT

One of the important issues in the analysis of power quality is to detect power quality disturbance efficiently and accurately so can provide service of power supply better quality to customers. In general, the presence of measurement tools currently using fast fourier transform (FFT) to analyze harmonics but FFT is not suitable for the detection of non-stationary signals and often occurs of leak signal. Therefore, this paper proposes a method of Fast S-Transform (FST) to analyze the power quality especially harmonics because FST has good accuracy and faster computing. FST is used to change the current and voltage signals from the voltage domain to the frequency domain to obtain the harmonic components. In this paper, implemented in hardware using microcontroller STM32F407. Experiment is compared with the method of discrete fourier transform (DFT), standard measuring tools is FLUKE 43B and oscilloscope DL850. The results obtained from testing of THD_i on the non-linear load and the induction motor load has a relative error is 0.374284 % and 0.547021%, while the results obtained from testing of THD_v on the non-linear load and the induction motor load has a relative error is 3,052288 % and 5,073938 % compared with FLUKE 43B. FST method has the computing time respectively is 0.0855 seconds, 0.731 seconds and 3.7001 seconds faster with the amount of 2000, 5000 and 10000 data is compared with Stockwell transform.

Keywords: microcontroller; harmonic; power quality; S-Transform; Fast S-Transform;



[Halaman ini sengaja dikosongkan]



KATA PENGANTAR

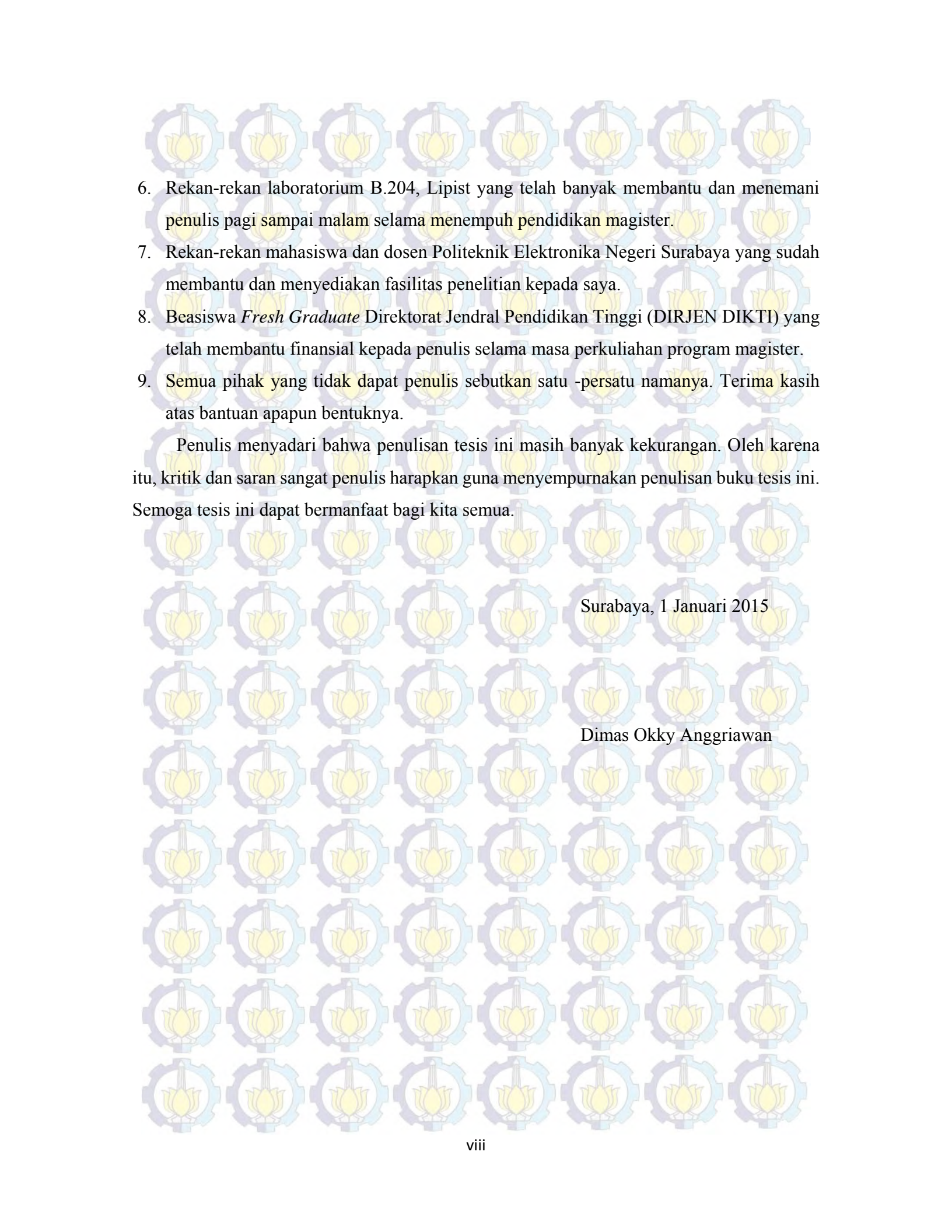
Alhamdulillahirabbil alamin, segala puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini yang berjudul:

“Desain dan Implementasi Analisis Kualitas Daya Berbasis Fast S-Transform”

Tesis ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada bidang keahlian Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan ucapan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada:

1. Ayahanda Sugiarto, Ibunda Endang Ariyani, kedua adik saya Ririsia Febri Zahrotul Khasanah dan Arina Maghfira atas segala dukungan, kasih sayang dan doanya kepada penulis selama menempuh pendidikan magister di Institut Teknologi Sepuluh Nopember
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng dan Bapak Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng, selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan arahan, bimbingan, ilmu, wawasan, ide dan waktu yang telah diluangkan kepada penulis untuk berdiskusi.
3. Seluruh dosen program pascasarjana teknik elektro, bidang keahlian teknik sistem tenaga listrik yang telah memberikan banyak ilmu dan wawasan selama masa perkuliahan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
4. Bapak Ir. Anang Tjahjono, M.T yang telah banyak memberikan wawasan, motivasi, ilmu, bimbingan dan waktu yang telah banyak diluangkan kepada penulis untuk berdiskusi.
5. Rekan-rekan dan keluarga mahasiswa pascasarjana teknik elektro, bidang keahlian sistem tenaga listrik angkatan 2013 yang telah bersama-sama menempuh pendidikan magister di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- 
6. Rekan-rekan laboratorium B.204, Lipist yang telah banyak membantu dan menemani penulis pagi sampai malam selama menempuh pendidikan magister.
 7. Rekan-rekan mahasiswa dan dosen Politeknik Elektronika Negeri Surabaya yang sudah membantu dan menyediakan fasilitas penelitian kepada saya.
 8. Beasiswa *Fresh Graduate* Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi (DIRJEN DIKTI) yang telah membantu finansial kepada penulis selama masa perkuliahan program magister.
 9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu -persatu namanya. Terima kasih atas bantuan apapun bentuknya.

Penulis menyadari bahwa penulisan tesis ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat penulis harapkan guna menyempurnakan penulisan buku tesis ini. Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, 1 Januari 2015

Dimas Okky Anggriawan



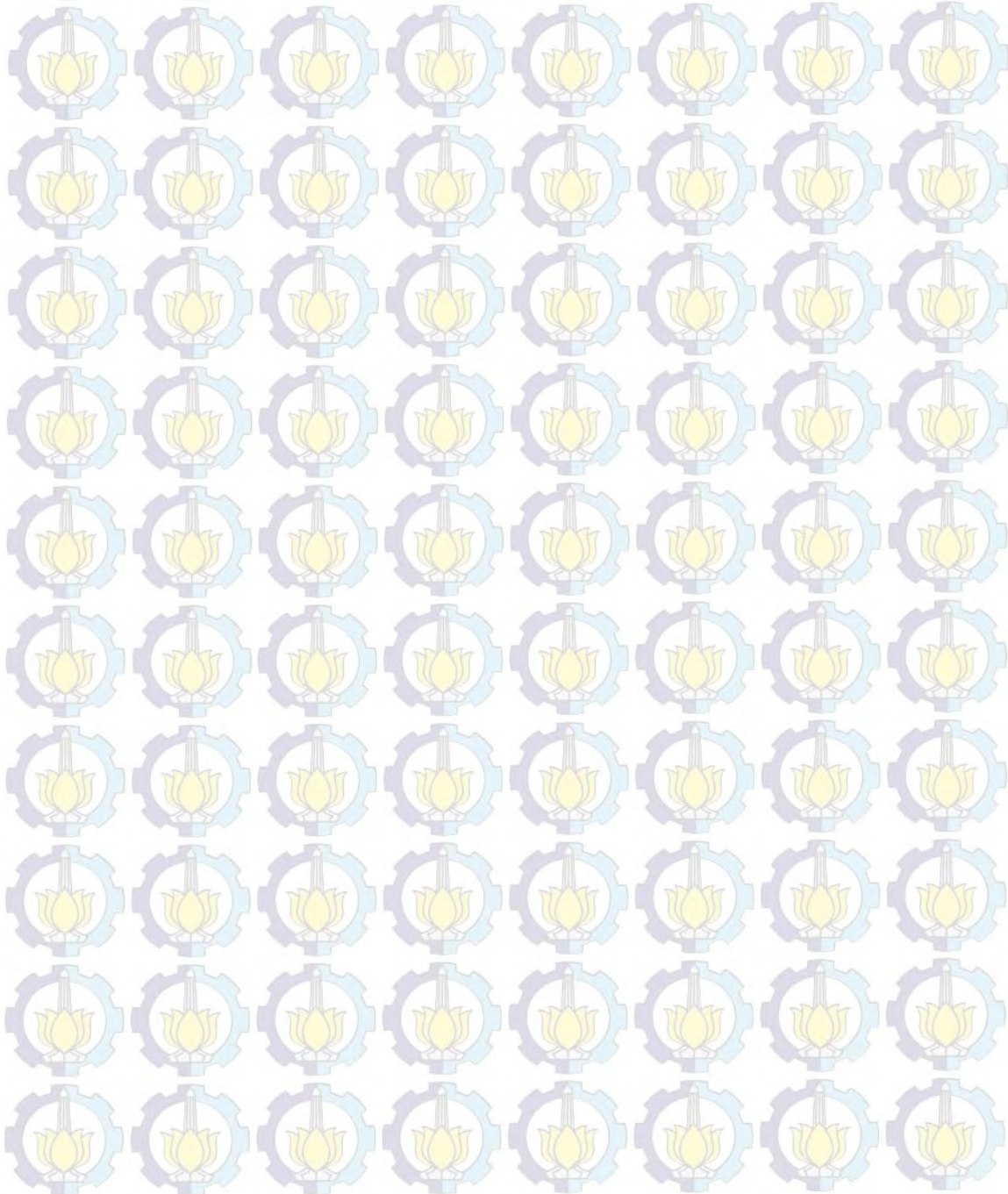
DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Kontribusi Penelitian.....	3
BAB 2 ANALISIS KUALITAS DAYA.....	5
2.1 Kualitas Daya.....	5
2.1.1 Gangguan Kualitas Daya.....	5
2.1.2 <i>Transient</i>	7
2.1.2.1 <i>Impulsive Transient</i>	7
2.1.2.2 <i>Oscillatory Transient</i>	8
2.1.3 <i>Short Duration rms Variations</i>	9
2.1.3.1 <i>Momentary dan Temporary Interruptions</i>	9
2.1.3.2 <i>Voltage Sag</i>	10
2.1.3.3 <i>Voltage Swell</i>	11
2.1.3.4 Harmonik.....	12
2.1.3.5 <i>Voltage Flicker</i>	15
2.1.3.6 <i>Notching</i>	15
2.2 Analisis Kualitas Daya.....	16

2.2.1 Transformasi Stockwell	17
2.2.2 <i>Fast S-Transform</i>	18
2.2.3 <i>Gaussian Window</i>	19
BAB 3 PEMODELAN GANGGUAN KUALITAS DAYA DAN DESAIN PROTOTYPE.....	21
3.1 Pemodelan Gangguan Kualitas Daya.....	22
3.1.1 Harmonik.....	22
3.1.2 <i>Voltage Sag</i>	22
3.1.3 <i>Voltage Swell</i>	22
3.1.4 <i>Interruption</i>	23
3.1.5 <i>Voltage Flicker</i>	23
3.1.6 <i>Notch dan Spike</i>	23
3.1.7 <i>Oscillatory Transient</i>	24
3.2 Perancangan <i>Prototype</i> Analisis Kualitas Daya.....	25
3.2.1 Pengujian Sensor Arus ACS712	26
3.2.2 Pengujian Sensor Tegangan AMC1100	29
3.2.3 Desain <i>Prototype</i> Analisis Kualitas Daya	32
3.2.4 Desain <i>Software</i> Analisis Kualitas Daya.....	33
3.3 Desain Metode <i>Fast S-Transform</i>	34
BAB 4 ANALISIS KUALITAS DAYA.....	37
4.1 Simulasi Analisis Gangguan Kualitas Daya.....	37
4.1.1 Harmonik.....	37
4.1.2 <i>Voltage Sag</i>	39
4.1.3 <i>Voltage Swell</i>	39
4.1.4 <i>Interruption</i>	42
4.1.5 <i>Voltage Flicker</i>	42
4.1.6 <i>Notch dan Spike</i>	45
4.1.7 <i>Oscillatory Transient</i>	45
4.2 Pengujian <i>Prototype</i> Analisis Kualitas Daya	49
4.2.1 Beban dan Rangkaian Pengujian.....	49

4.2.1.1	Beban Untuk Pengujian.....	49
4.2.1.2	Rangkaian Pengujian.....	50
4.3	Pengujian Tegangan r.m.s.....	51
4.3.1	Pengujian pada Beban Non Linier.....	51
4.3.2	Pengujian pada Beban Non Linier dan Motor Induksi.....	53
4.4	Pengujian Arus r.m.s.....	55
4.4.1	Pengujian pada Beban Non Linier.....	55
4.4.2	Pengujian pada Beban Non Linier dan Motor Induksi.....	57
4.5	Pengujian Frekuensi.....	59
4.5.1	Pengujian pada Beban Non Linier.....	59
4.5.2	Pengujian pada Beban Non Linier dan Motor Induksi.....	60
4.6	Pengujian Faktor Daya.....	62
4.6.1	Pengujian pada Beban Non Linier.....	62
4.6.2	Pengujian pada Beban Non Linier dan Motor Induksi.....	63
4.7	Pengujian Daya Aktif.....	64
4.7.1	Pengujian pada Beban Non Linier.....	64
4.7.2	Pengujian pada Beban Non Linier dan Motor Induksi.....	65
4.8	Pengujian Daya Reaktif.....	67
4.8.1	Pengujian pada Beban Non Linier.....	67
4.8.2	Pengujian pada Beban Non Linier dan Motor Induksi.....	68
4.9	Pengujian Daya Semu.....	69
4.9.1	Pengujian pada Beban Non Linier.....	69
4.9.2	Pengujian pada Beban Non Linier dan Motor Induksi.....	71
4.10	Pengujian THD _i	71
4.10.1	Pengujian pada Beban Non Linier.....	73
4.10.2	Pengujian pada Beban Non Linier dan Motor Induksi.....	73
4.11	Pengujian THD _v	74
4.11.1	Pengujian pada Beban Non Linier.....	75
4.11.2	Pengujian pada Beban Non Linier dan Motor Induksi.....	76
4.11.2	Pengujian waktu komputasi.....	78

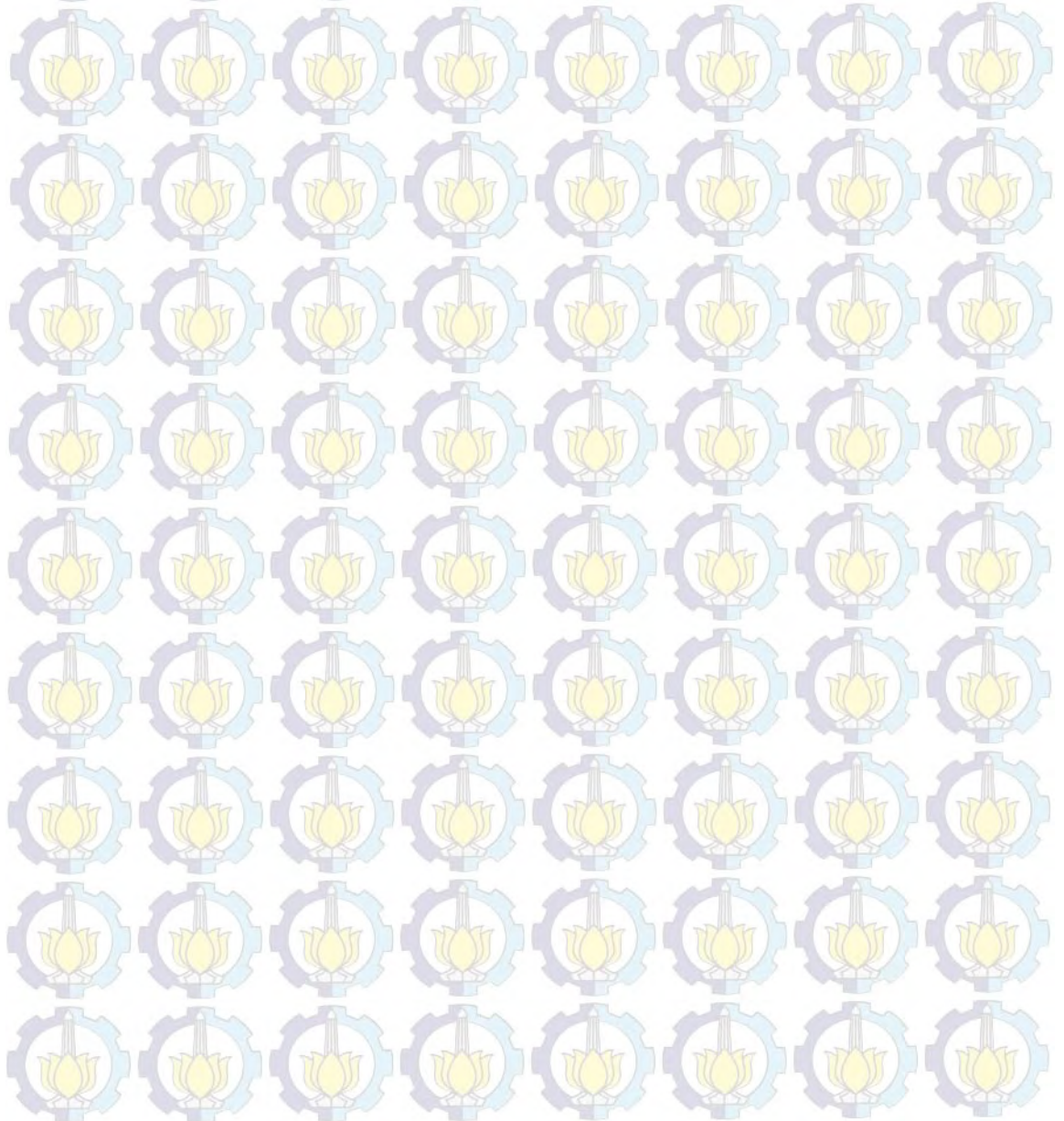
BAB V PENUTUP.....	81
5.1 Kesimpulan.....	81
5.2 Penelitian Selanjutnya.....	82
DAFTAR PUSTAKA.....	83
RIWAYAT HIDUP.....	87
INDEKS.....	89



DAFTAR TABEL

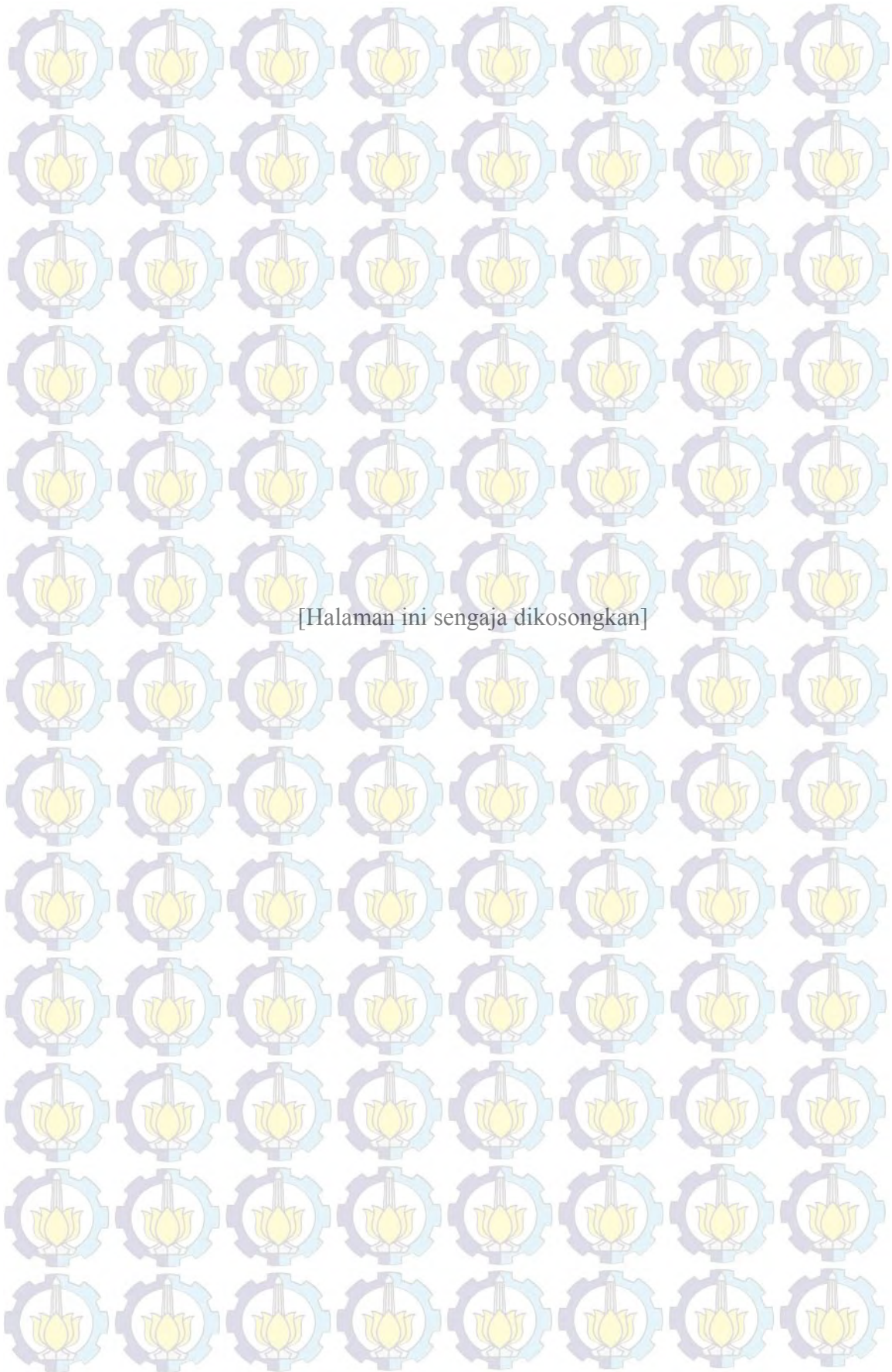
Tabel 2.1 Kategori dan karakteristik fenomena elektromagnetik sistem tenaga	6
Tabel 2.2 Batas distorsi arus (dalam % I_L) untuk sistem distribusi (level tegangan 120-69,000 V) IEEE std. 519-1992.....	14
Tabel 2.3 Batas distorsi arus (dalam % I_L) untuk sistem sub transmisi (level tegangan 69,001-161,000 V) IEEE std. 519-1992	14
Tabel 2.4 Batas distorsi arus (dalam % I_L) untuk sistem transmisi (level tegangan >161,000 V) IEEE std. 519-1992.....	14
Tabel 3.1 Pemodelan gangguan kualitas daya	25
Tabel 3.2 Spesifikasi ACS712	26
Tabel 3.3 Arus Masukan ke ACS712.....	27
Tabel 3.4 Arus Keluaran ke ACS712.....	28
Tabel 3.5 Spesifikasi AMC1100	29
Tabel 3.6 Tegangan masukan ke AMC1100.....	30
Tabel 3.7 Tegangan Keluaran AMC1100	31
Tabel 4.1 Spesifikasi alat ukur standar	49
Tabel 4.2 Spesifikasi beban yang digunakan dalam pengujian <i>prototype</i>	50
Tabel 4.3 Hasil pengukuran tegangan r.m.s pada beban non linier	52
Tabel 4.4 Hasil pengukuran tegangan r.m.s pada beban non linier dan motor induksi	54
Tabel 4.5 Hasil pengukuran arus r.m.s pada beban non linier	56
Tabel 4.6 Hasil pengukuran arus r.m.s pada beban non linier dan motor Induksi.....	58
Tabel 4.7 Hasil pengukuran frekuensi pada beban non linier	59
Tabel 4.8 Hasil pengukuran frekuensi pada beban non linier dan motor induksi.....	61
Tabel 4.9 Hasil pengukuran faktor daya pada beban non linier.....	62
Tabel 4.10 Hasil pengukuran faktor daya pada beban non linier dan motor induksi.....	63
Tabel 4.11 Hasil pengukuran daya aktif pada beban non linier	65
Tabel 4.12 Hasil pengukuran daya aktif pada beban non linier dan motor induksi.....	66

Tabel 4.13 Hasil pengukuran daya reaktif pada beban non linier.....	67
Tabel 4.14 Hasil pengukuran daya reaktif pada beban non linier dan motor induksi.....	68
Tabel 4.15 Hasil pengukuran daya semu pada beban non linier.....	69
Tabel 4.16 Hasil pengukuran daya semu pada beban non linier dan motor induksi.....	71
Tabel 4.17 Hasil pengukuran THD _i pada beban non linier.....	72
Tabel 4.18 Hasil pengukuran THD _i pada beban non linier dan motor induksi.....	74
Tabel 4.19 Hasil pengukuran THD _v pada beban non linier.....	76
Tabel 4.20 Hasil pengukuran THD _v pada beban non linier dan motor induksi.....	77
Tabel 4.21 Hasil waktu komputasi antara FST dengan ST.....	78



DAFTAR GAMBAR

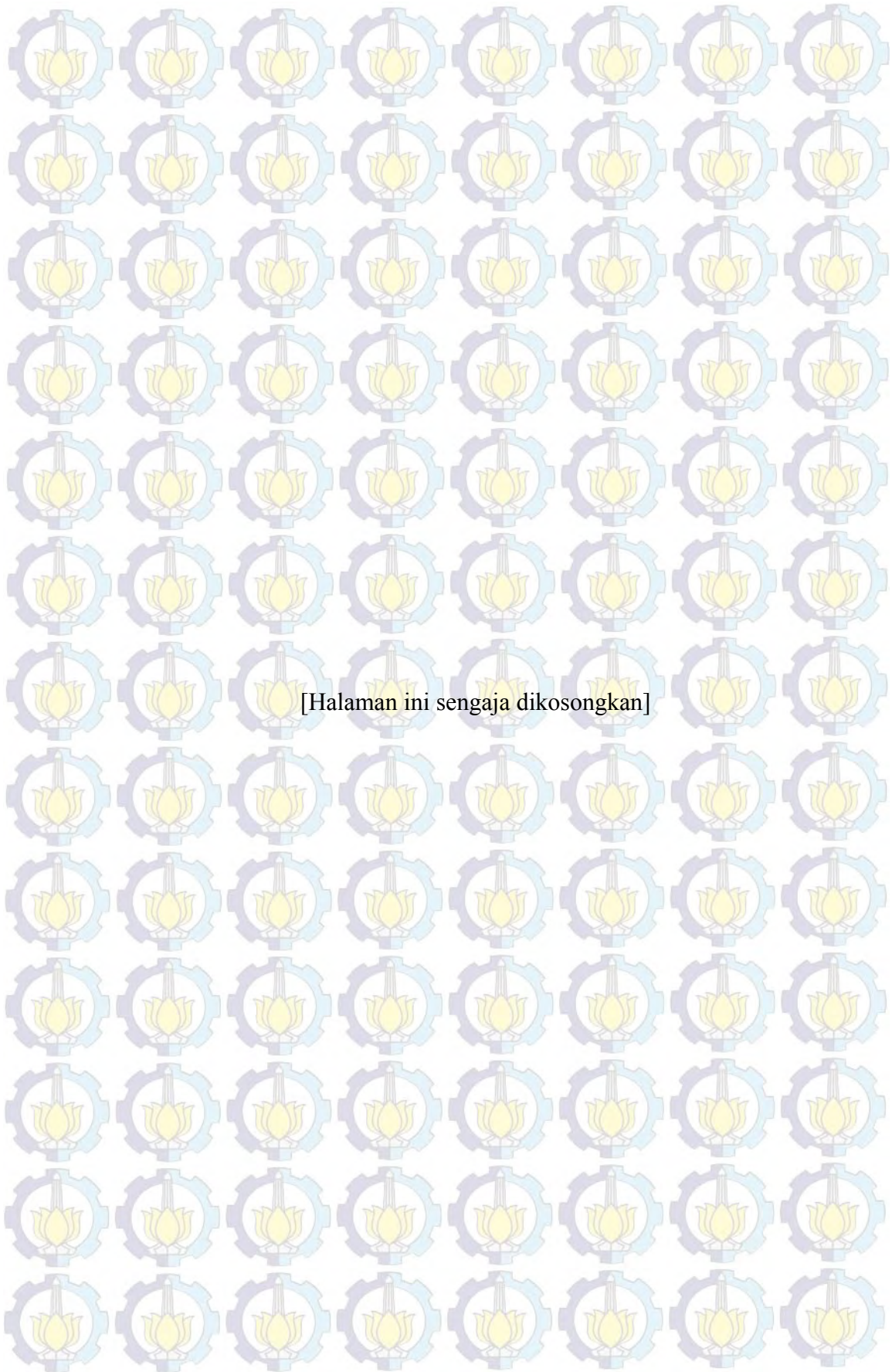
Gambar 2.1 Kategori dan karakteristik fenomena elektromagnetik sistem tenaga....	7
Gambar 2.2 <i>Oscillatory transient</i> pada tegangan.....	9
Gambar 2.3 <i>Interruptions</i> pada tegangan.....	10
Gambar 2.4 <i>Voltage sag</i> pada tegangan.....	11
Gambar 2.5 <i>Voltage swell</i> pada tegangan	12
Gambar 2.6 harmonik pada tegangan.....	14
Gambar 2.7 <i>Voltage flicker</i> pada tegangan	15
Gambar 2.8 <i>Notching</i> pada tegangan	16
Gambar 3.1 rangkaian sistem <i>prototype</i> untuk analisis kualitas daya	26
Gambar 3.2 Sinyal arus pada masukan ACS, keluaran ACS dan keluaran <i>zero crossing detector</i>	27
Gambar 3.3 Karakteristik masukan dan keluaran ACS712	28
Gambar 3.4 Sinyal tegangan pada masukan, keluaran AMC1100 dan <i>zero crossing detector</i>	32
Gambar 3.5 Karakteristik masukan dan keluaran AMC1100	32
Gambar 3.6 desain <i>prototype</i> analisis kualitas daya	33
Gambar 4.1 Analisis harmonik menggunakan <i>fast S-transform</i>	38
Gambar 4.2 Analisis <i>voltage sag</i> menggunakan <i>fast S-transform</i>	40
Gambar 4.3 Analisis <i>voltage swell</i> menggunakan <i>fast S-transform</i>	41
Gambar 4.4 Analisis <i>interruption</i> menggunakan <i>fast S-transform</i>	43
Gambar 4.5 Analisis <i>voltage flicker</i> menggunakan <i>fast S-transform</i>	44
Gambar 4.6 Analisis <i>notch</i> menggunakan <i>fast S-transform</i>	46
Gambar 4.7 Analisis <i>spike</i> menggunakan <i>fast S-transform</i>	47
Gambar 4.8 Analisis <i>oscillatory transient</i> menggunakan <i>fast S-transform</i>	48
Gambar 4.9 Diagram skematik pengujian.....	50
Gambar 4.10 Rangkaian pengujian <i>prototype</i>	51



[Halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR SIMBOL DAN SINGKATAN

ADC	=	<i>Analog to Digital Converter</i>
DFT	=	<i>Discrete Fourier Transform</i>
DVR	=	<i>Dynamic Voltage Restorer</i>
FFT	=	<i>Fast Fourier Transform</i>
FST	=	<i>Fast Stockwell Transform</i>
FSWT	=	<i>Frequency Slice Wavelet Transform</i>
GT	=	<i>Gabor Transform</i>
HT	=	<i>Hilbert Transform</i>
I_{rms}	=	Arus true rms
P	=	Daya Aktif
P_{lt}	=	<i>Long Time Flicker Severity</i>
P_{ut}	=	<i>Instantaneous Flicker Severity</i>
P_{st}	=	<i>Short Term Flicker Severity</i>
Q	=	Daya Reaktif
RMS	=	<i>Root Mean Square</i>
S	=	Daya Semu
ST	=	<i>Stockwell Transform</i>
STFT	=	<i>Short Time Fourier Transform</i>
THD	=	<i>Total Harmonic Distortion</i>
WT	=	<i>Wavelet Transform</i>
ψ	=	<i>Mother Wavelet</i>
$S \left[kT, \frac{n}{NT} \right]$	=	Amplitudo <i>Stockwell Transform</i>
V_{rms}	=	Tegangan true rms
$\omega(n)$	=	<i>Gaussian Window</i>
ZCD	=	<i>Zero Crossing Detector</i>
DF	=	<i>Distortion Power Factor</i>



[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kualitas daya menjadi isu penting untuk perusahaan penyedia listrik dan pelanggan. Penurunan kualitas daya pada sistem tenaga secara normal disebabkan oleh gangguan seperti *voltage sag*, *voltage swell*, *momentary interruption*, *harmonic distortion*, *flicker*, *notch*, *spike* dan *oscillatory transient*. Gangguan ini menyebabkan permasalahan seperti *malfunctions*, ketidakstabilan, penurunan umur peralatan dan kerusakan pada peralatan listrik. Permasalahan gangguan kualitas daya akibat dari meningkatnya penggunaan pada peralatan *switching*, beban non-linier, sistem tenaga yang tidak seimbang, kontrol pencahayaan, *rectifier* dan *inverter* di industri dan motor induksi [1-4].

Oleh karena itu, untuk memperbaiki kualitas daya, deteksi kualitas daya diperlukan untuk mengetahui sumber gangguan kualitas daya dan menemukan cara untuk mengurangi gangguan kualitas daya. Untuk mendeteksi gangguan kualitas daya, metode *fast fourier transform* (FFT) paling sering digunakan. FFT sukses digunakan untuk sinyal stasioner dimana frekuensi pada sinyal tidak berubah terhadap waktu tetapi FFT tidak sesuai digunakan untuk mendeteksi sinyal yang non stasioner seperti *oscillatory transient* atau *spike*. Untuk menghadapi gangguan yang tidak stasioner memerlukan *short time fourier transform* (STFT) [6]. Keterbatasan STFT adalah tidak mampu melacak sinyal dinamis dengan benar karena keterbatasan lebar *window* yang tetap sehingga mempengaruhi resolusi frekuensi dan waktu. Dengan demikian, STFT tidak sukses dalam menganalisis sinyal *oscillatory transient* yang terdiri dari komponen frekuensi tinggi dan rendah. Dalam rangka mengurangi keterbatasan ini, *wavelet transform* (WT) diaplikasikan. WT dapat mengekstrak informasi penting dari sinyal gangguan dan menentukan jenis gangguan yang menyebabkan permasalahan kualitas daya terjadi. Energi dari sinyal terdistorsi akan dipartisi pada tingkat resolusi yang berbeda dengan cara yang berbeda tergantung pada permasalahan kualitas daya. Dengan demikian, WT mempunyai resolusi frekuensi dan waktu yang baik [7-11]. Meskipun demikian, kemampuan WT sering terdegradasi secara signifikan dalam praktek secara nyata dibawah lingkungan

yang *noise*. Pada sisi yang lain, *S-transform* (ST) mempunyai kemampuan untuk mendeteksi dengan benar di bawah kondisi lingkungan yang *noise*. ST mempunyai toleransi yang tinggi pada *noise* dan menjamin akurasi yang memuaskan [12-14]. *Fast S-transform* (FST) diusulkan sebagai metode mendeteksi kualitas daya untuk mempercepat komputasi dari ST [15-16].

Pada penelitian ini, memfokuskan pada desain dan implementasi analisis kualitas daya menggunakan metode FST. Implementasi analisis kualitas daya terdiri dari STM32F407 sebagai perangkat untuk melakukan proses komputasi, ACS712 sebagai perangkat sensor arus, AMC1100 sebagai perangkat sensor tegangan, LCD-32PTU sebagai perangkat untuk menampilkan hasil.

1.2 Perumusan Masalah

Dari latar belakang yang sudah dipaparkan, permasalahan yang dibahas dalam usulan penelitian ini adalah

- a. Bagaimana cara membuat analisis kualitas daya menggunakan metode *fast S-transform* dengan simulasi.
- b. Bagaimana cara membuat pengambilan data arus dan tegangan menggunakan mikrokontroler STM32F407.
- c. Bagaimana cara membuat program analisis kualitas daya mikrokontroler STM32F407.

1.3 Batasan Masalah

Permasalahan yang dibatasi pada penelitian ini adalah

- a. Desain dan implementasi analisis kualitas daya menggunakan perangkat elektronika digital yang terdiri dari ACS712 sebagai sensor arus, AMC1100 sebagai sensor, STM32F407 sebagai perangkat utama untuk perhitungan, LCD-32PTU sebagai perangkat *display* hasil.
- b. Metode yang digunakan untuk analisis kualitas daya adalah *fast S-transform*.
- c. Parameter yang dianalisis oleh *prototype* adalah tegangan r.m.s, arus r.m.s, frekuensi, faktor daya, daya aktif, daya reaktif, daya semu, THD_i, THD_v.

- d. Alat ukur standar yang dibandingkan adalah FLUKE 43B dan osiloskop DL850.
- e. Metode yang dibandingkan adalah metode DFT dan metode ST.

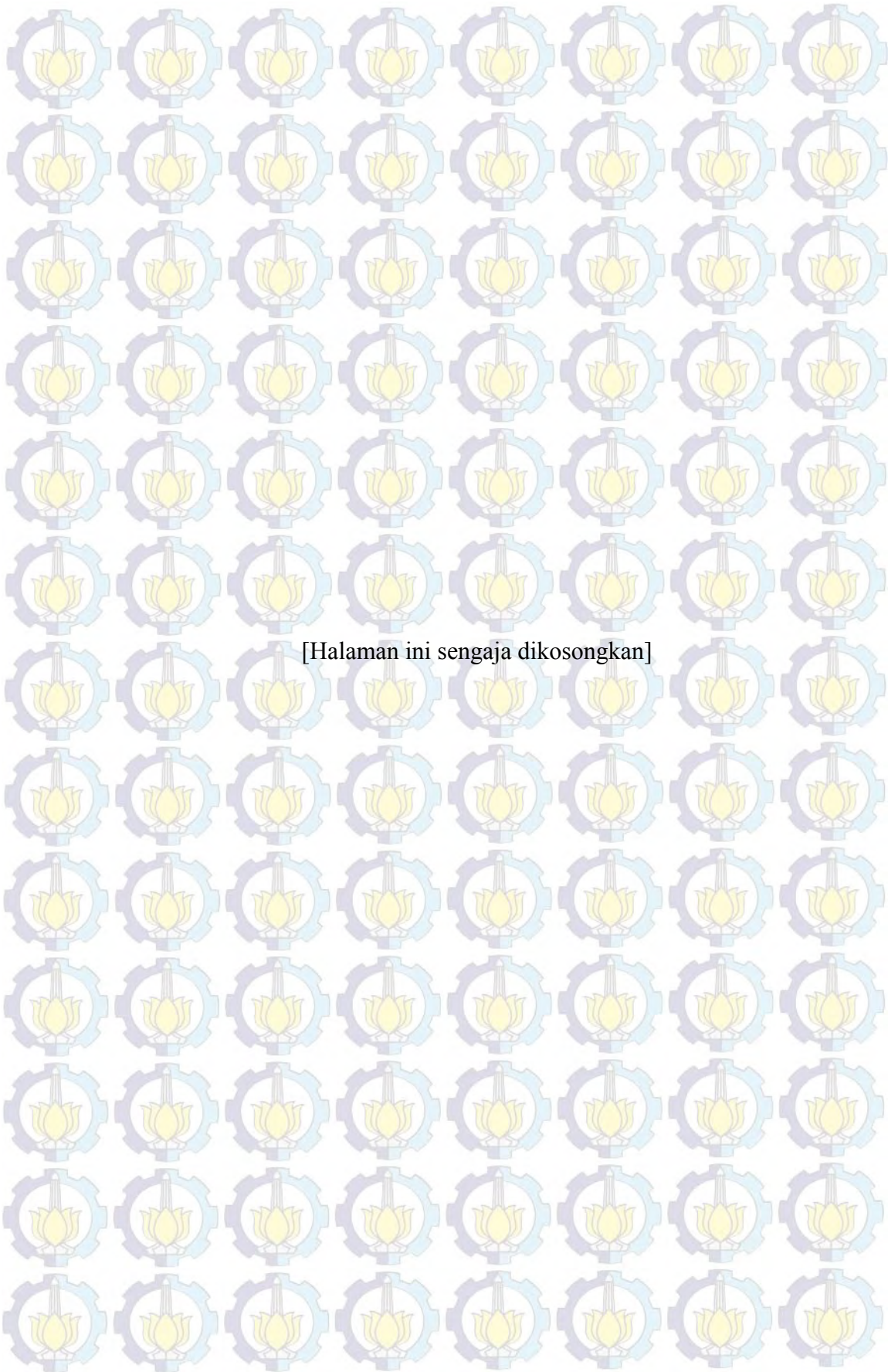
1.4 Tujuan Penelitian

Dalam usulan penelitian ini mempunyai tujuan yaitu membuat *prototype* analisis kualitas daya menggunakan metode FST

1.5 Kontribusi Penelitian

Kontribusi penelitian yang diharapkan dalam penelitian ini adalah

1. Kami melakukan penelitian analisis kualitas daya terutama harmonik menggunakan FST dengan mengacu pada penelitian sebelumnya pada jurnal *IEEE transaction instrumentation and measurement vol. 63, no. 1, Jan. 2014*, yang membahas pendeteksian *voltage flicker* dengan metode *fast S-transform*.
2. Pada umumnya, *power quality analyzer* menggunakan FFT dalam analisis kualitas daya tetapi pada penelitian ini mengimplementasikan analisis kualitas daya menggunakan metode *fast S-transform* yang memiliki keunggulan analisis *windowing*, resolusi frekuensi yang baik, menganalisis sinyal yang baik dalam kondisi lingkungan yang *noise*, mencegah terjadinya kebocoran sinyal dan komputasi yang lebih cepat.
3. Dampak dari hasil penelitian yang dikerjakan adalah meningkatkan akurasi dan efisiensi pengukuran serta membuat produk yang memiliki harga yang bersaing dan terjangkau.



BAB II ANALISIS KUALITAS DAYA

2.1 Kualitas Daya

Kualitas daya adalah setiap permasalahan di sistem tenaga yang berbentuk penyimpangan arus, tegangan dan frekuensi yang menghasilkan kerusakan atau kegagalan operasi pada peralatan pelanggan. Sekarang ini, Perusahaan penyedia listrik dan pelanggan listrik meningkatkan perhatian tentang kualitas daya listrik.

Terdapat empat alasan utama dalam meningkatkan perhatian pada kualitas daya [17]:

1. Beban dengan kontrol berbasis mikroprocessor dan peralatan elektronika daya lebih sensitif untuk variasi kualitas daya daripada peralatan yang digunakan untuk masa lalu.
2. Meningkatnya perhatian pada penekanan efisiensi sistem tenaga secara keseluruhan telah menghasilkan pertumbuhan dalam penggunaan peralatan yang mempunyai efisiensi tinggi seperti lampu LED dan *variable speed drives* (VSD). Penggunaan peralatan tersebut dapat mengakibatkan peningkatan harmonik pada sistem tenaga listrik.
3. Pelanggan memiliki peningkatan kesadaran terhadap masalah kualitas daya. Pelanggan menjadi lebih mengetahui informasi tentang harmonik, *sag*, *oscillatory transient* dan menantang perusahaan penyedia listrik untuk memperbaiki kualitas daya yang dikirim.
4. Setiap komponen pada sistem tenaga listrik yang sekarang saling berhubungan dalam suatu jaringan. Proses yang terintegrasi tersebut memberikan konsekuensi bahwa setiap komponen dapat mengakibatkan kegagalan pada komponen lainnya.

2.1.1 Gangguan Kualitas Daya

Dalam IEEE std. 159:2009 [18] menyediakan secara detail deskripsi untuk masing – masing kategori variasi kualitas daya pada tabel 2.1. Kategori dan deskripsi kualitas daya penting untuk mengklasifikasi hasil pengukuran dan menggambarkan fenomena elektromagnetik yang dapat menyebabkan permasalahan kualitas daya.

Tabel 2.1 Kategori dan karakteristik fenomena elektromagnetik sistem tenaga [18]

no	kategori	konten yang khas	Durasi waktu	Besaran tegangan
A	Transient			
	<i>impulsive transient</i>			
1	<i>nanosecond</i>	muncul 5 nano detik	< 50 nano detik	
2	<i>microsecond</i>	muncul 5 mikro detik	50 nano detik–1 mikro detik	
3	<i>millisecond</i>	muncul 0,1 mikro detik	>1 mikro detik	
	Oscillatory transient			
1	<i>low frequency</i>	<5 kHz	0,3–50 mikro detik	0–4 pu
2	<i>medium frequency</i>	5–500 kHz	20 mikro detik	0–8 pu
3	<i>high frequency</i>	0,5–5 MHz	5 mikro detik	0–4 pu
B	Short duration (r.m.s) variations			
1	<i>instantaneous</i>			
	<i>sag</i>		0,5–30 cycles	0,1–0,9 pu
	<i>swell</i>		0,5–30 cycles	1,1–1,8 pu
2	<i>Momentary</i>			
	<i>Interruption</i>		0,5 cycles–3 detik	< 0,1 detik
	<i>sag</i>		30 cycles–3 detik	0,1–0,9 pu
	<i>Swell</i>		30 cycle –3 detik	1,1–1,4 pu
3	<i>Temporary</i>			
	<i>Interruption</i>		>3 detik–1 menit	< 0,1 s
	<i>Sag</i>		>3 detik–1 menit	0,1–0,9 pu
	<i>Swell</i>		>3 detik–1 menit	1,1–1,2 pu
C	Long duration (r.m.s) variations			
1	<i>interruption</i>		>1 menit	
2	<i>undervoltages</i>		>1 menit	
3	<i>overvoltages</i>		>1 menit	
4	<i>current overload</i>		>1 menit	
D	Imbalance			
1	<i>voltage</i>		<i>Steady state</i>	0,5–2 %
2	<i>current overload</i>		<i>Steady state</i>	1,0-30%
E	Waveform distortion			
1	<i>DC offset</i>		<i>Steady state</i>	0-0,1%
2	<i>Harmonics</i>	0-9kHz	<i>Steady state</i>	0-20%
3	<i>Interharmonics</i>	0-9kHz	<i>Steady state</i>	0-2%
4	<i>Notching</i>		<i>Steady state</i>	
5	<i>Noise</i>	<i>broadband</i>	<i>Steady state</i>	0–1 %
6	<i>Voltage fluctuations</i>	<25 Hz	<i>Intermittent</i>	0,1–7%
7	<i>Power frequency variations</i>		<10 detik	± 0,1 Hz

Salah satu alasan utama untuk mengembangkan berbagai kategori fenomena elektromagnetik adalah terdapat berbagai cara untuk memecahkan masalah kualitas daya tergantung pada variasi tertentu yang menjadi perhatian. Ada juga kebutuhan yang berbeda menggunakan pengukuran untuk karakteristik fenomena. Hal ini penting untuk dapat mengklasifikasikan peristiwa dan fenomena elektromagnetik untuk tujuan analisis.

2.1.2 *Transient*

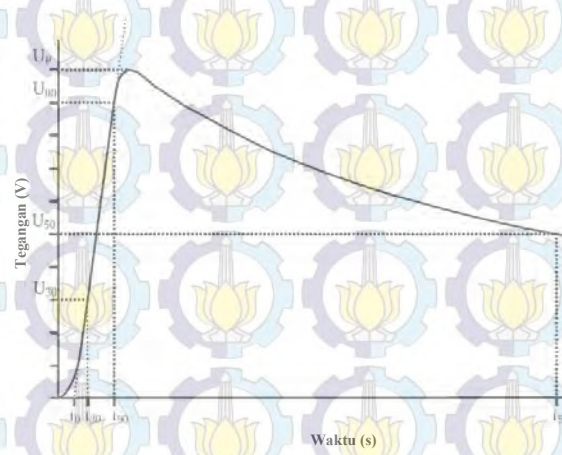
Istilah transien yang digunakan dalam analisis variasi sistem tenaga untuk menunjukkan suatu peristiwa yang tidak diinginkan dalam waktu yang sesaat.

Secara garis besar, transien dapat diklasifikasikan dalam dua kategori yaitu *impulsive transient* dan *oscillatory transient*. Kategori ini merefleksikan bentuk gelombang dari transien arus dan transien tegangan.

2.1.2.1 *Impulsive Transient*

Impulsive transient adalah tegangan yang mempunyai amplitudo tinggi, durasi waktu pendek dan lonjakan tegangan ditumpangkan pada tegangan normal.

Impulsive transient merupakan hasil dari perubahan pelepasan energi dengan cepat yang tersimpan didalam induktansi dan kapasitansi atau *switching* dalam rangkaian listrik dan muatan didalam awan atau petir. Tegangan puncak yang khas selama *Impulsive transient* adalah 2 kali tegangan *root mean square* (r.m.s) suplai sampai ratusan *volt*. Pada sisi yang lain, durasi transien dapat 200 mikro detik sampai dengan 1 *cycle* [19].

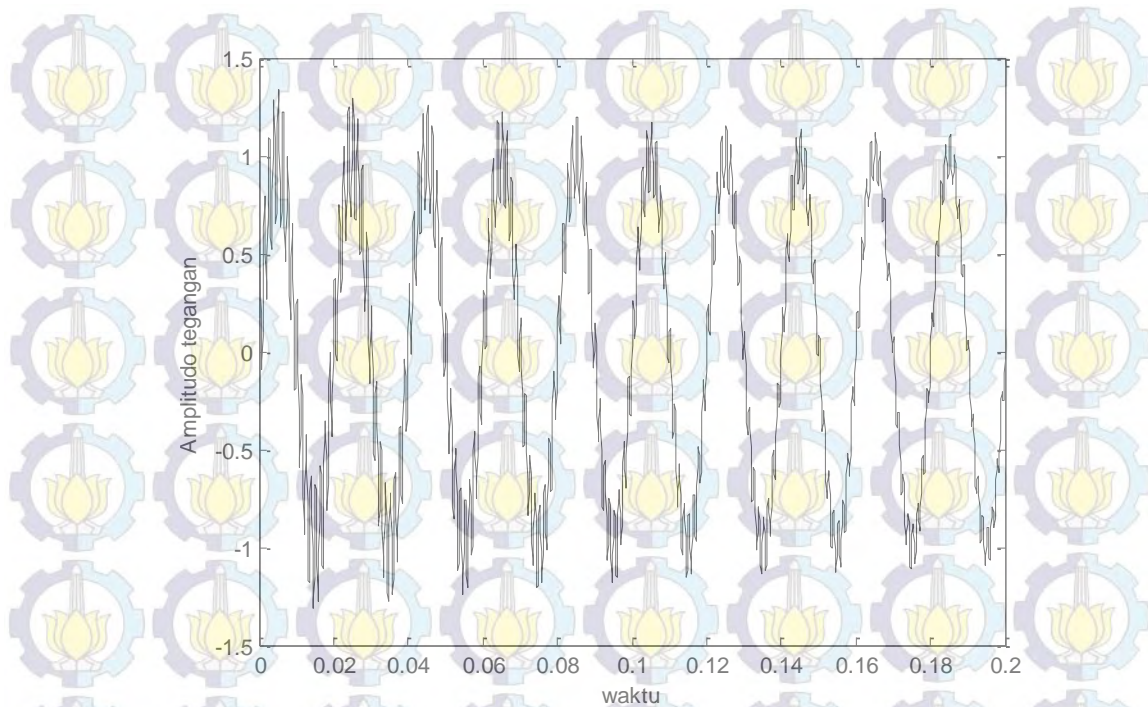


Gambar 2.1 Arus sambaran petir yang dapat menghasilkan *Impulsive transient* [18]

2.1.2.2 Oscillatory Transient

Oscillatory transient adalah perubahan frekuensi secara tiba – tiba dalam kondisi *steady state* pada tegangan, arus atau keduanya, yang termasuk kedua nilai polaritas positif dan tegangan. *Oscillatory transient* terdiri dari tegangan atau arus yang nilai sesaat berubah polaritasnya dengan cepat. *Oscillatory transient* digambarkan dengan besaran, durasi waktu dan konten spektralnya (terutama frekuensi). Seperti *impulsive transient*, *oscillatory transient* dapat diukur dengan atau tanpa menyertakan komponen frekuensi dasar. Ketika karakteristik transien, itu penting untuk mengindikasikan besaran dengan dan tanpa komponen dasar.

Oscillatory transient dengan komponen frekuensi utama lebih besar daripada 500 kHz dan durasi diukur dalam mikro detik adalah *oscillatory transient* frekuensi tinggi. *Oscillatory transient* ini sebagian besar karena beberapa tipe kejadian *switching*. Peralatan elektronika daya dapat menghasilkan *oscillatory transient* tegangan sebagai hasil dari *switching* rangkaian RLC. *Oscillatory transient* dengan komponen frekuensi utama antara 5 kHz dan 500 kHz dengan durasi diukur dalam puluhan mikro detik adalah *oscillatory transient* frekuensi menengah. *Energization* kapasitor menghasilkan *oscillatory transient* arus dalam puluhan kHz. Fenomena ini terjadi ketika kapasitor *bank* menyalurkan energi dalam jarak dekat dengan kapasitor *bank* yang sedang dalam perbaikan. *Oscillatory transient* dengan komponen frekuensi utama kurang dari 5 kHz dan durasi dari 0,3 mili detik sampai 50 mili detik adalah *oscillatory transient* frekuensi rendah. Fenomena kategori ini sering ditemui pada sub transmisi dan sistem distribusi yang disebabkan oleh berbagai peristiwa terutama *energization* kapasitor *bank*. Bentuk gelombang tegangan yang dihasilkan sangat akrab bagi insinyur sistem tenaga dan mudah diklasifikasikan. *Energization* kapasitor *bank* menghasilkan *oscillatory transient* yang berosilasi dengan frekuensi utama antara 300 Hz dan 900 Hz. *Oscillatory transient* mempunyai besaran puncak yang bisa mendekati 2 pu tetapi biasanya 1,3 pu sampai 1,5 pu dengan durasi waktu antara 0,5 gelombang sampai 3 gelombang dari frekuensi dasar, tergantung pada sistem redaman [18]. Gambar *oscillatory transient* dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 *Oscillatory transient* pada tegangan

2.1.3 *Short Duration r.m.s Variations*

Kategori ini meliputi kategori IEC pada *voltage sag* dan *voltage swell*. Masing-masing tipe variasi dapat didesain sebagai *instantaneous*, *momentary*, atau *temporary* tergantung pada durasinya seperti yang didefinisikan dalam tabel 1.2. Variasi tegangan dengan durasi pendek sebagian besar disebabkan oleh kondisi gangguan, *energization* pada beban besar yang membutuhkan arus *starting* besar atau koneksi longgar pada kabel listrik. Tergantung pada lokasi gangguan dan kondisi sistem, gangguan dapat menyebabkan *voltage swell*, *voltage sag*, atau *interruptions* [18].

2.1.3.1 *Momentary dan Temporary Interruptions*

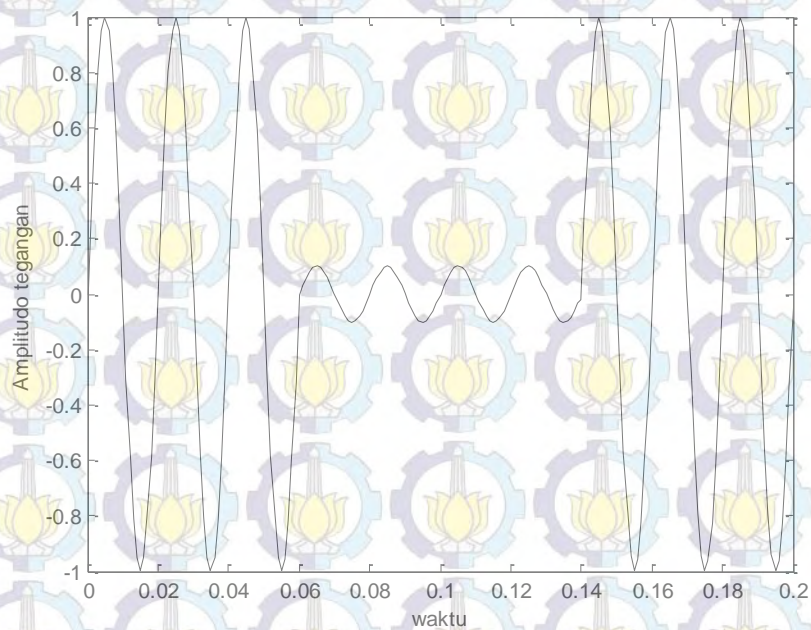
Gangguan terjadi ketika tegangan suplai atau arus beban berkurang sampai kurang dari 0,1 pu (nilai sesungguhnya dibagi nilai basis) selama jangka waktu tidak melebihi satu menit. *Interruptions* dapat dihasilkan dari gangguan sistem tenaga, kerusakan peralatan dan *malfunctions* kontrol. *Interruptions* diukur dengan durasinya karena besar tegangan selalu kurang dari 10% dari tegangan nominalnya. Durasi *Interruptions* karena gangguan pada sistem ditentukan oleh

perangkat proteksi dan kejadian tertentu yang menyebabkan gangguan. Durasi *Interruptions* karena *malfunctions* peralatan atau koneksi longgar dapat tidak teratur.

Beberapa *Interruptions* mungkin didahului oleh *voltage sag* ketika *Interruptions* karena gangguan terjadi pada sumber. *Voltage sag* terjadi diantara waktu gangguan mulai sampai perangkat proteksi beroperasi. Pada gangguan di *feeder*, beban akan mengalami *voltage sag*, segera diikuti oleh *Interruptions*.

Durasi *Interruptions* tergantung pada kemampuan *reclosing* dari perangkat proteksi.

Reclosing pada umumnya dengan segera akan membatasi *Interruptions* disebabkan oleh gangguan non-permanen kurang dari 30 gelombang [18]. Gambar yang menunjukkan *interruptions* pada gambar 2.3.



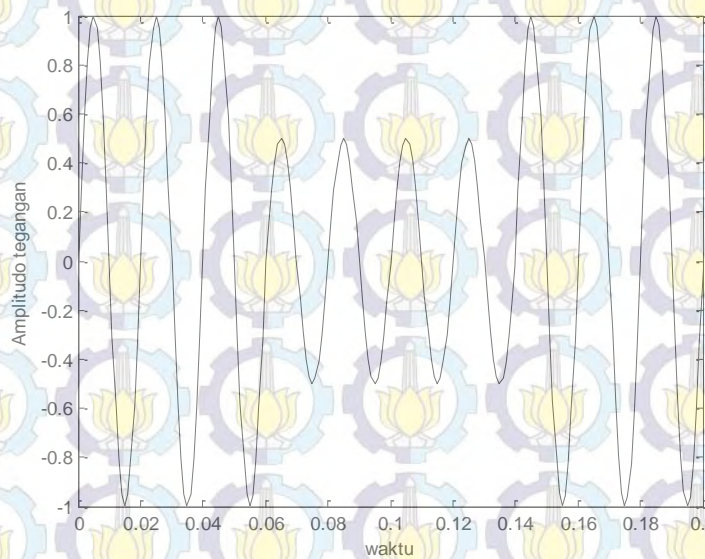
Gambar 2.3 *Interruptions* pada tegangan

2.1.3.2 *Voltage Sag*

Kualitas daya menjadi fokus penelitian dalam beberapa tahun terakhir. *Voltage sag*, khususnya, dapat menyebabkan *downtime* mahal. *Voltage sag* didefinisikan sebagai penurunan tegangan r.m.s dengan durasi 0,5 gelombang sampai 1 menit. Durasi *voltage sag* adalah waktu yang diukur dari saat tegangan turun ke bawah 0,1 pu dari tegangan nominal sampai ketika tegangan naik diatas

0,9 pu dari tegangan nominal atau mempunyai *range* dari 10 sampai 90 % dari tegangan nominal. Meskipun *voltage sag* mempunyai durasi yang sangat pendek, *voltage sag* dapat menyebabkan beberapa masalah untuk berbagai pelanggan seperti frekuensi yang terjadi dari *voltage sag* lebih besar dari gangguan kualitas daya yang lain.

Voltage sag dapat disebabkan oleh operasi *switching* yang terkait dengan pemutusan sementara suplai, aliran arus *inrush* yang terkait dengan *starting* beban motor atau aliran arus gangguan. Kejadian ini mungkin berasal dari sistem di pelanggan atau dari jaringan suplai. Berbagai solusi diusulkan untuk mencegah *voltage sag* sebagai contoh *dynamic voltage restorer* (DVR) dengan prinsip dasar adalah menyuntikkan tegangan secara seri dengan tegangan suplai ketika gangguan terdeteksi [20-23]. Gambar 2.4 menunjukkan gambar *voltage sag* pada tegangan.

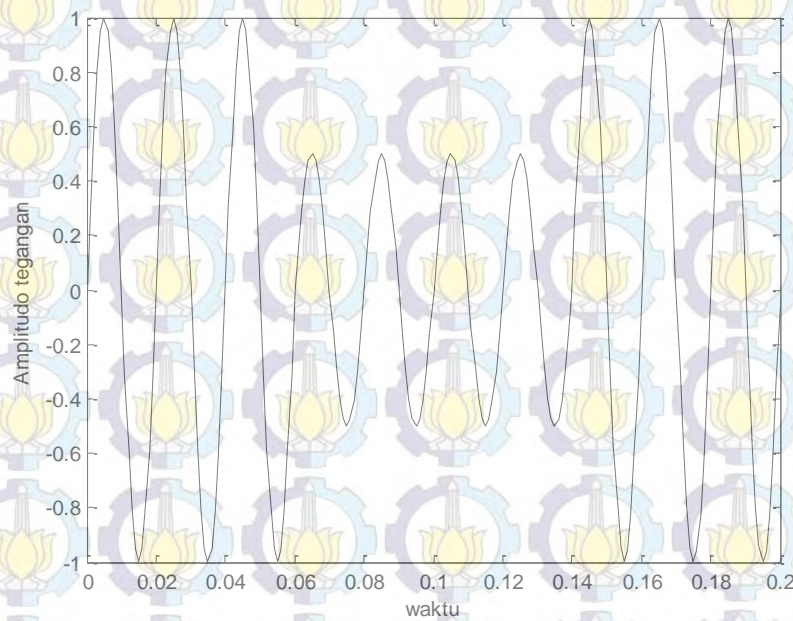


Gambar 2.4 *Voltage sag* pada tegangan

2.1.3.3 *Voltage Swell*

Voltage swell adalah peningkatan tegangan dari 1,1 pu sampai 1,9 pu dengan jangka waktu dari 0,5 gelombang sampai 1 menit. Besaran khas *voltage swell* adalah antara 1,1 pu sampai dengan 1,2 pu. Besaran *voltage swell* juga digambarkan dengan tegangan sisa dan karena tegangan sisa akan selalu lebih besar dari 1,0 pu.

Seperti *voltage sag*, *voltage swell* berhubungan dengan kondisi gangguan di sistem, tetapi *voltage swell* kurang umum dibandingkan *voltage sag*. *Voltage swell* dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik. Gangguan di sistem kelistrikan menyebabkan *voltage swell* terjadi, menghasilkan kenaikan tegangan sementara pada fasa yang tidak terkena gangguan. *Voltage swell* juga disebabkan oleh pemadaman beban besar, *load shedding* dan *switching* pada kapasitor bank yang besar [18, 20]. Gambar 2.5 menunjukkan gambar *voltage swell* pada tegangan.



Gambar 2.5 *Voltage swell* pada tegangan

2.1.3.4 Harmonik

Harmonik adalah gangguan yang terjadi pada sistem tenaga listrik akibat distorsi gelombang arus dan tegangan. Harmonik adalah pembentukan gelombang – gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Frekuensi yang timbul pada bentuk gelombang asli disebut frekuensi dasar. Sedangkan, bilangan bulat pengali frekuensi dasar disebut harmonik.

Harmonik disebabkan oleh beban-beban non linier yang terpasang di sistem tenaga listrik. Peralatan elektronik yang termasuk beban non linier merupakan kontribusi utama dari harmonik dalam sistem tenaga. Peralatan ini biasanya

dimodelkan sebagai sumber arus yang menginjeksikan harmonik arus ke dalam sistem tenaga. Beberapa contoh dari beban non linier adalah VSD, komputer, televisi dan lampu hemat energi.

Nilai distorsi harmonik dapat dikategorikan oleh spektrum harmonik yang lengkap dengan besaran dan sudut fasa dari masing-masing komponen harmonik secara individu. Indikator yang umum digunakan adalah *total harmonic distortion* (THD). Pada persamaan 3.1 dan persamaan 3.2 menunjukkan indikator dari harmonik arus dan harmonik tegangan.

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N I_n^2}}{I_1} \times 100\% \quad (2.1)$$

keterangan:

V_n adalah besaran harmonik tegangan orde n

N adalah besaran harmonik tegangan tertinggi

V_1 adalah tegangan fasa r.m.s pada frekuensi dasar

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N V_n^2}}{V_1} \times 100\% \quad (2.2)$$

keterangan:

I_n adalah besaran harmonik arus orde n

N adalah besaran harmonik arus tertinggi

I_1 adalah arus fasa r.m.s pada frekuensi dasar

Berdasarkan pada standar IEEE std. 519-1992 menyediakan pedoman untuk level harmonik arus dan harmonik tegangan pada sistem distribusi dan sistem transmisi [24].

Tabel 2.2 Batas distorsi arus (dalam % I_L) untuk sistem distribusi (level tegangan 120-69.000 V) IEEE std. 519-1992

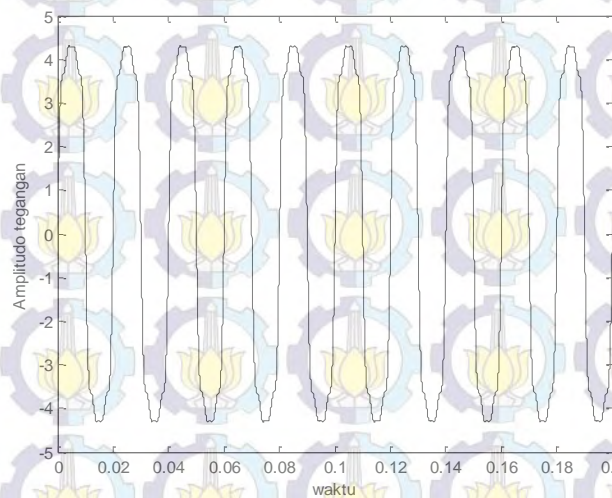
I_L	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \geq h$	TDD
<20	4	2	1,5	0,6	0,3	5
20-50	7	3,5	2,5	1,0	0,5	8
50-100	10	4,5	4,0	1,5	0,7	12
100-1000	12	5,5	5,0	2,0	1,0	15
>1000	15	7,0	6,0	2,5	1,4	20

Tabel 2.3 Batas distorsi arus (dalam % I_L) untuk sistem sub transmisi (level tegangan 69.001-161.000 V) IEEE std. 519-1992

I_L	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \geq h$	TDD
<20	2,0	2	0,75	0,30	0,15	2,5
20-50	3,5	3,5	1,25	0,50	0,25	4,0
50-100	5,0	4,5	2	0,75	0,35	6,0
100-1000	6,0	5,5	2,5	1,00	0,50	7,5
>1000	7,5	7	3	1,25	0,70	10

Tabel 2.4 Batas distorsi arus (dalam % I_L) untuk sistem transmisi (level tegangan >161.000 V) IEEE std. 519-1992

I_L	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \geq h$	TDD
<50	2,0	1,0	0,75	0,30	0,15	2,50
≥ 50	3,0	1,5	1,15	0,5	0,22	3,75

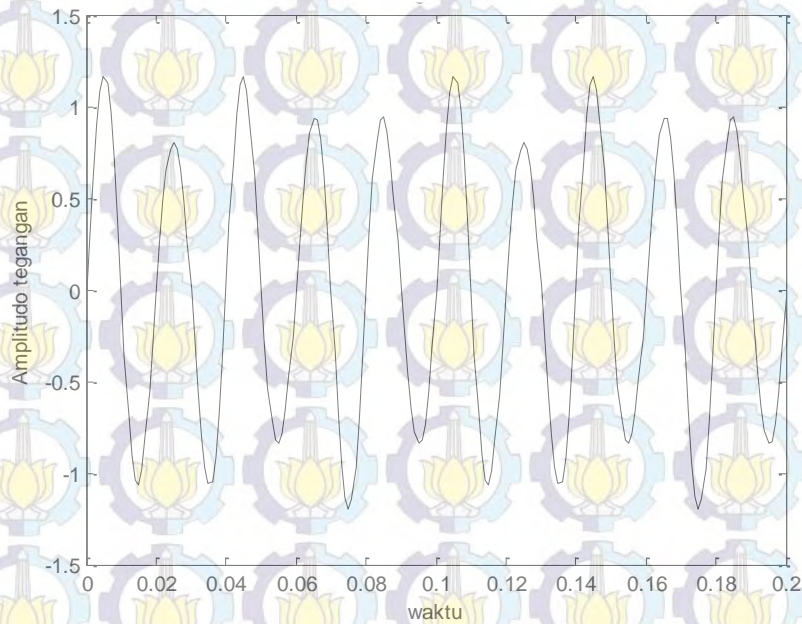


Gambar 2.6 harmonik pada tegangan

2.1.3.5 Voltage Flicker

Voltage flicker adalah salah satu gangguan kualitas daya yang utama. Analisis *voltage flicker* adalah isu yang penting karena keberadaan *voltage flicker* mempengaruhi keamanan dan efisiensi dari sistem tenaga listrik. Keberadaan *voltage flicker* sering disebabkan oleh beban fluktuasi yang berselang seperti tanur listrik, tungku gulungan baja dan las listrik. Fluktuasi ini menyebabkan pencahayaan ruangan di daerah-daerah yang dilayani oleh sistem tenaga menunjukkan perubahan tingkat cahaya yang sering digambarkan sebagai *flicker*.

Voltage flicker ditandai dengan variasi amplitudo tegangan dalam kisaran $\pm 10\%$ dari tegangan nominal dan dengan modulasi frekuensi dari 0,5 sampai 30 Hz, yang mana akan menyebabkan masalah yang serius untuk komponen sistem tenaga yang kritis seperti motor, generator dan transformator. Indikator untuk mengukur tingkat *voltage flicker* meliputi *instantaneous flicker severity* (P_{ut}), *short term flicker severity* (P_{st}), *long time flicker severity* (P_{lt}) [15, 25].

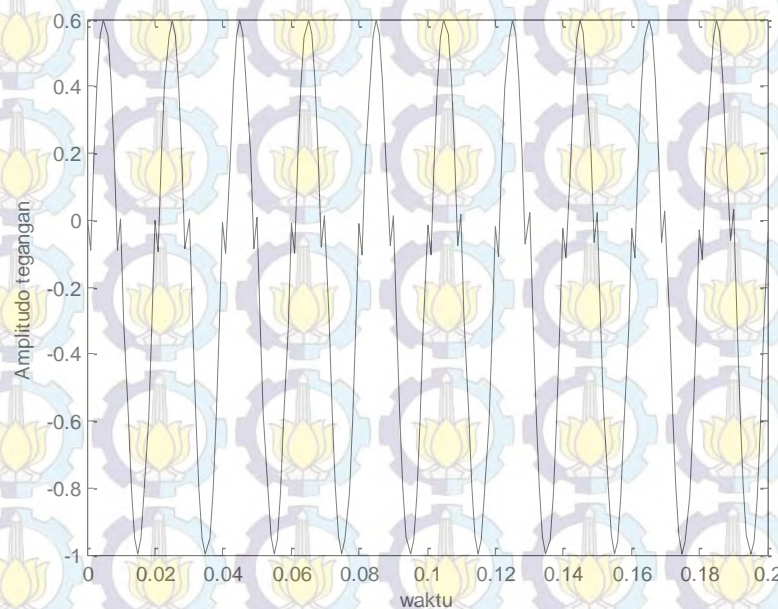


Gambar 2.7 *Voltage flicker* pada tegangan

2.1.3.6 Notching

Notching adalah gangguan tegangan periodik yang disebabkan oleh operasi normal perangkat elektronika daya ketika arus dikomutasi dari satu fasa ke fasa

yang lain. *Notching* tegangan merepresentasikan kasus spesial yang periodik yang memiliki kandungan frekuensi yang cukup tinggi. Dengan demikian, *notching* memiliki atribut yang dapat dipertimbangkan seperti *transient* dan *harmonic distortion*. Karena *notching* terjadi secara terus menerus, *notching* dapat dikategorikan melalui spektrum harmonik dari tegangan yang terkena dampak. Bagaimanapun, komponen frekuensi terkait dengan *notching* dapat menjadi sangat tinggi dan mungkin tidak mudah dikategorikan dengan pengukuran yang digunakan untuk analisis harmonik. Konverter tiga fasa yang menghasilkan *output* DC secara terus menerus adalah penyebab paling penting dari *notching* tegangan.



Gambar 2.8 *Notching* pada tegangan

2.2 Analisis Kualitas Daya

Dalam menganalisis sinyal dengan frekuensi tinggi seperti gangguan pada kualitas daya, sinyal harus diubah dari daerah waktu ke daerah frekuensi. Metode untuk mengubah sinyal dari daerah waktu ke daerah frekuensi disebut metode transformasi. Untuk analisis kualitas daya, banyak metode transformasi yang dapat digunakan untuk menganalisis gangguan kualitas daya seperti *discrete fourier transform* (DFT), *fast fourier transform* (FFT), *hilbert transform* (HT), *gabor transform* (GT), *wavelet transform* (WT), *frequency slice wavelet*

transform (FSWT), *stockwell transform* (ST). Pada penelitian ini, untuk menganalisis kualitas daya menggunakan metode *fast s-transform* (FST) karena mampu mengurangi waktu komputasi untuk mengubah sinyal dalam daerah waktu ke daerah frekuensi.

2.2.1 Transformasi Stockwell

ST merupakan salah satu metode transformasi yang memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan metode lainnya seperti mempunyai kemampuan untuk mendeteksi dengan benar di bawah kondisi lingkungan yang *noise*. ST mempunyai toleransi yang tinggi pada *noise* dan menjamin akurasi yang memuaskan [12 – 14]. Dalam menurunkan persamaan ST dapat diperoleh dari *continuous wavelet transform* (CWT). Persamaan dari CWT dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$W(\tau, d) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) \frac{1}{\sqrt{d}} \psi\left(\frac{t-\tau}{d}\right) dt \quad (2.3)$$

Fungsi $h(t)$ dari ST didefinisikan sebagai CWT dengan *mother wavelet* yang spesifik dikalikan oleh faktor koreksi dan mengganti parameter dilasi (pelebaran) d dengan *inverse* frekuensi f :

$$S(\tau, f) = \sqrt{\frac{f}{2\pi}} e^{-i2\pi f\tau} W(\tau, f) \quad (2.4)$$

Mother wavelet pada kasus ini didefinisikan sebagai berikut:

$$\psi\left(\frac{t-\tau}{d}\right) = e^{-\frac{(t-\tau)^2 f^2}{2}} e^{-i2\pi f(t-\tau)} \quad (2.5)$$

Scale parameter d adalah *inverse* dari frekuensi f . WT tidak memenuhi kondisi nol berarti untuk WT tidak diterima. Oleh karena itu, CWT dapat ditulis secara eksplisit dengan ST yang didefinisikan sebagai berikut:

$$S(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\tau-t)^2}{2}} e^{-j2\pi ft} dt \quad (2.6)$$

ST juga dapat ditulis sebagai operasi dari spektrum *fourier* $H(f)$ dari $h(t)$:

$$S(\tau, f) = \int_{-\infty}^{\infty} H(\alpha+f) e^{-\frac{2\pi^2\alpha^2}{f^2}} e^{j2\pi\alpha\tau} d\alpha, \quad f \neq 0 \quad (2.7)$$

Gangguan sinyal sistem tenaga $h(t)$ dapat diekspresikan dalam bentuk diskrit seperti $h(kT)$, $k=0,1,\dots,N-1$. T adalah interval waktu *sampling* dan N adalah total jumlah *sampling*. ST dari rangkaian waktu diskrit $h(kT)$ adalah diberikan dengan ($\tau \rightarrow kT$ dan $f \rightarrow n/NT$)

$$S \left[kT, \frac{n}{NT} \right] = \sum_{m=0}^{N-1} H \left[\frac{m+n}{NT} \right] e^{-\frac{2\pi^2 m^2}{n^2}} e^{j\frac{2\pi mk}{N}}, \quad n \neq 0 \quad (2.8)$$

Keterangan $k, m = 0,1,\dots,N-1$, dan $n = 1,\dots,N-1$. Untuk $n = 0$

$$S \left[kT, 0 \right] = \frac{1}{N} \sum_{m=0}^{N-1} h \left(\frac{m}{NT} \right) \quad (2.9)$$

ST mengklasifikasikan spektrum fase serta spektrum amplitudo. Dalam penelitian ini, matrik amplitudo $ST(kT, f) = |S[kT, n/NT]|$ adalah digunakan untuk menganalisis gangguan kualitas daya, yang mana baris adalah frekuensi dan kolom adalah nilai waktu. Masing-masing menampilkan amplitudo ST dengan semua frekuensi pada waktu yang sama dan masing-masing kolom menampilkan amplitudo ST dengan waktu yang bervariasi dari 0 sampai $N-1$ dalam frekuensi yang sama, keterangan $n=0,1,\dots,N/2 - 1$. Dengan mendapatkan keuntungan dari efisiensi dari FFT dan teorema konvolusi, ST dapat dikomputasikan lebih cepat [14].

2.2.2 Fast S-Transform

Komputasi daerah waktu untuk perhitungan ST dari urutan titik N adalah $O(N^3)$.

Waktu komputasi dapat diturunkan menjadi $O(N^2 \log N)$ dengan menggunakan FFT. Bagaimanapun, seperti permintaan komputasi tinggi sehingga tidak diizinkan dalam berbagai aplikasi, terutama pada *embedded system*. waktu komputasi untuk keseluruhan titik N dari ST dapat ditulis sebagai berikut :

$$T_{ST} = 2 \times N \times \text{cycles}_{FFT} / f_{MF} \quad (2.10)$$

Keterangan f_{MF} adalah maksimum frekuensi *clock* pada *processor*. Cycles_{FFT} adalah jumlah dari gelombang yang diperlukan untuk menyelesaikan FFT dalam mikroprocessor. Algoritma ini secara efektif akan mengurangi kompleksitas komputasi dan meningkatkan efisiensi dan kepraktisan ST [14, 26].

2.2.3 Gaussian Window

Dalam analisis sinyal, durasi sinyal yang akan diobservasi perlu dibatasi. Proses ini dikenal dengan istilah *windowing* yang berguna dalam proses analisis utamanya untuk sinyal-sinyal yang tidak stasioner [2].

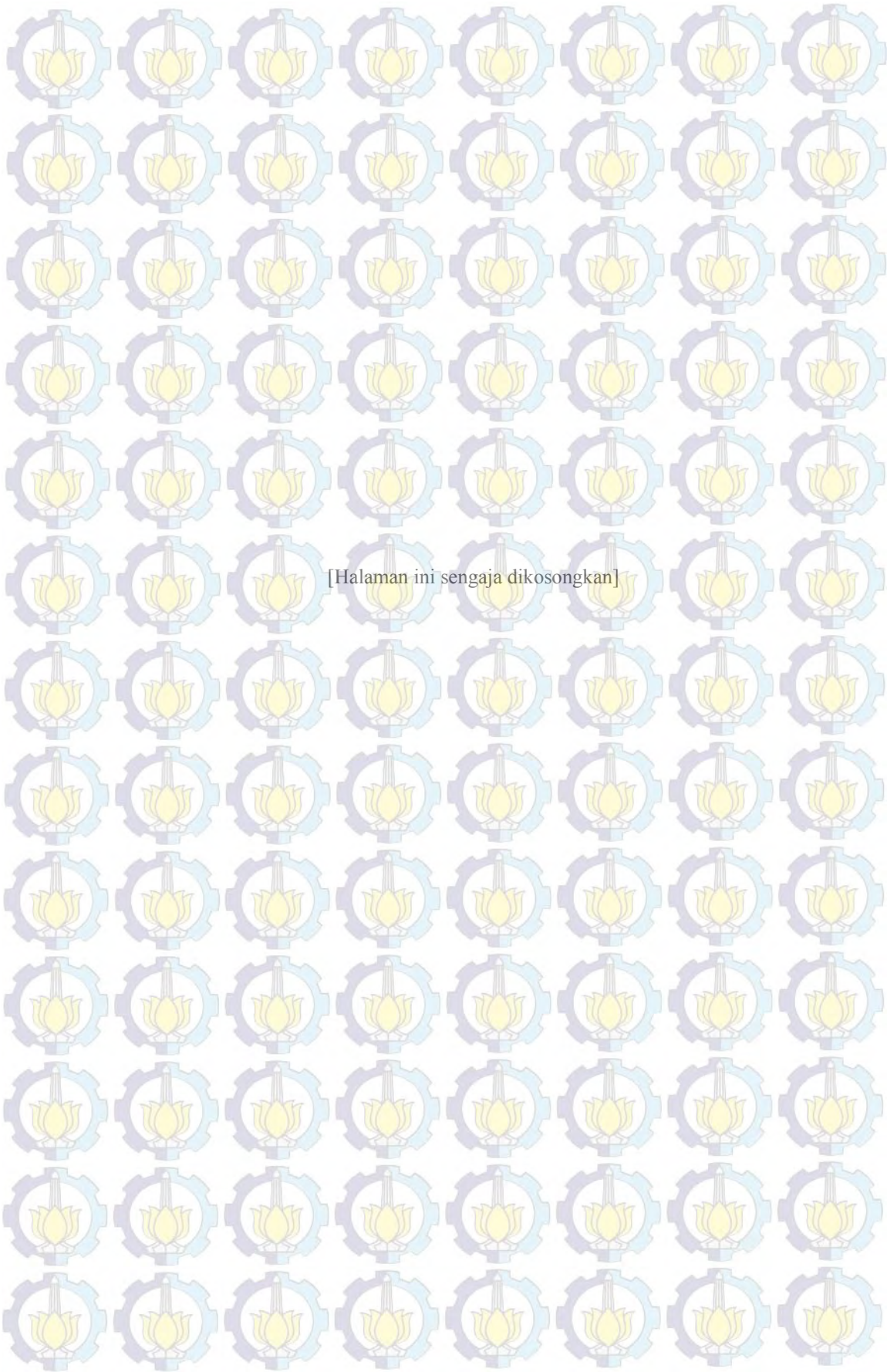
Tujuan dari *windowing* adalah mengurangi kebocoran spektral atau *aliasing* yang merupakan efek dari timbulnya sinyal baru yang memiliki frekuensi yang berbeda dari aslinya. Efek tersebut dapat terjadi karena rendahnya jumlah *sampling rate*.

Terdapat berbagai jenis *window* yang digunakan untuk pengolahan sinyal yaitu *Bartlett window*, *blackman window*, *bohman window*, *chebyshev*, *Gaussian window*, *hamming window*, *hanning window*, *Kaiser window*, *rectangular window*, *taylor window*, *triangular window*, *tukey window*.

Pada penelitian ini, *window* yang digunakan adalah *window Gaussian*. Persamaan *window Gaussian* dapat ditunjukkan sebagai berikut:

$$w(n) = e^{-\frac{1}{2} \left(\alpha \frac{n}{N/2} \right)^2} \quad (2.11)$$

Dimana α adalah standar deviasi dari *Gaussian*. Pada gambar 8 menunjukkan bentuk dari *window Gaussian*.



[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB III

PEMODELAN GANGGUAN KUALITAS DAYA DAN DESAIN PROTOTYPE

Desain dan implementasi analisis kualitas daya memerlukan beberapa tahapan yang meliputi simulasi analisis kualitas daya menggunakan MATLAB dan perancangan *prototype* analisis kualitas daya.

Pada tahapan simulasi, analisis kualitas daya dibuat dengan memodelkan sinyal gangguan kualitas daya. Pemodelan gangguan kualitas daya meliputi harmonik, *voltage sag*, *voltage swell*, *Interruption*, *voltage flicker*, *oscillatory transient*, *notch* dan *spike*. Gangguan kualitas daya disimulasikan dalam MATLAB. Selanjutnya, sinyal gangguan kualitas daya dianalisis menggunakan metode *Fast S-transform*. Simulasi analisis kualitas mempunyai tujuan untuk mengetahui kemampuan akurasi dan efisiensi metode *Fast S-transform* dalam mendeteksi dan menganalisis gangguan kualitas daya.

Pada tahapan perancangan analisis kualitas daya dilakukan dengan membuat desain *prototype* analisis kualitas daya. Desain *prototype* menyesuaikan spesifikasi pada masing-masing komponen. Komponen yang digunakan untuk implementasi analisis kualitas daya meliputi ACS712 sebagai sensor arus, AMC1100 sebagai sensor tegangan, STM32F407 sebagai perangkat pemroses data dan LCD-32PTU sebagai perangkat untuk menampilkan hasil.

Untuk mengetahui linearitas kemampuan komponen sensor arus dan sensor tegangan dalam mendeteksi gangguan kualitas daya dilakukan dengan pengujian. Hal ini penting karena sinyal gangguan yang dideteksi mempunyai frekuensi tinggi. Selanjutnya, melakukan perancangan *prototype* dengan menggunakan rangkaian elektronika.

3.1 Pemodelan Gangguan Kualitas Daya

Pemodelan gangguan kualitas daya meliputi harmonik, *voltage sag*, *voltage swell*, *Interruption*, *voltage flicker*, *oscillatory transient*, *notch* dan *spike*. Gangguan kualitas daya disimulasikan dalam MATLAB. Selanjutnya, sinyal gangguan kualitas daya dianalisis menggunakan metode *Fast S-transform*.

3.1.1 Harmonik

Harmonik merupakan salah satu dari gangguan kualitas daya yang bersifat periodik. Harmonik adalah pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi berbeda yang merupakan perkalian bilangan bulat dengan frekuensi dasarnya. Dalam memodelkan harmonik hanya memodelkan gelombang arus saja, frekuensi *sampling* untuk membuat gelombang arus adalah 0,001 detik dengan waktu 0,02 detik. Frekuensi dasar menyesuaikan di sistem tenaga listrik yaitu 50 Hz. Persamaan 3.1 menunjukkan persamaan untuk memodelkan harmonik.

$$i(t) = \alpha_1 \sin(\omega t) + \alpha_3 \sin(3\omega t) + \alpha_5 \sin(5\omega t) + \alpha_7 \sin(7\omega t) \quad (3.1)$$

Keterangan ω adalah $2\pi f$ dan α adalah amplitudo arus dari masing – masing frekuensi fundamental dan kelipatannya.

3.1.2 Voltage Sag

Voltage sag merupakan gangguan kualitas daya dengan penurunan tegangan rms dalam durasi 0,5 gelombang sampai 1 menit dan dalam *range* 10 sampai 90% dari tegangan nominal. Dalam memodelkan *voltage sag*, frekuensi *sampling* untuk membuat gelombang adalah 0,001 detik dengan durasi waktu 0,2 detik. Frekuensi menyesuaikan di sistem tenaga listrik yaitu 50 Hz. Persamaan 3.2 menunjukkan persamaan untuk memodelkan *voltage sag*.

$$V(t) = \left(1 - \alpha(u(t - t_1) - u(t - t_2))\right) \sin \omega t \quad (3.2)$$

Keterangan ω adalah $2\pi f$ dan α adalah amplitudo tegangan saat terjadi *voltage sag*. $t_2 - t_1$ adalah waktu saat terjadi *voltage sag*.

3.1.3 Voltage Swell

Voltage swell merupakan gangguan kualitas daya dengan peningkatan tegangan diatas 110% sampai 190% dengan jangka waktu dari 0,5 gelombang sampai 1 menit dari tegangan nominal. Dalam memodelkan *voltage swell*, frekuensi *sampling* untuk membuat gelombang adalah 0,001 detik dengan durasi waktu 0,2 detik. Frekuensi menyesuaikan di sistem tenaga listrik yaitu 50 Hz. Persamaan 3.3 menunjukkan persamaan untuk memodelkan *voltage swell*.

$$V(t) = \left(1 + \alpha(u(t - t_1) - u(t - t_2))\right) \sin \omega t \quad (3.3)$$

Keterangan ω adalah $2\pi f$ dan α adalah amplitudo tegangan saat terjadi *voltage swell*. $t_2 - t_1$ adalah waktu saat terjadi *voltage swell*.

3.1.4 Interruption

Interruption merupakan gangguan kualitas daya yang terjadi karena penurunan tegangan kurang 10% dari tegangan nominal dalam durasi 0,5 gelombang sampai 1 menit. Dalam memodelkan *interruption*, frekuensi sampling untuk membuat gelombang adalah 0,001 detik dengan durasi waktu 0,2 detik. Frekuensi menyesuaikan di sistem tenaga listrik yaitu 50 Hz. Persamaan 3.4 menunjukkan persamaan untuk memodelkan *interruption*.

$$V(t) = \left(1 - \alpha(u(t - t_1) - u(t - t_2))\right) \sin \omega t \quad (3.4)$$

Keterangan ω adalah $2\pi f$ dan α adalah amplitudo tegangan saat terjadi *interruption*. $t_2 - t_1$ adalah waktu saat terjadi *interruption*.

3.1.5 Voltage flicker

Voltage flicker merupakan gangguan kualitas daya dengan fluktuasi yang berselang dari tegangan dengan variasi amplitudo dalam kisaran $\pm 10\%$ dari tegangan nominal dan dengan modulasi frekuensi dari 0,5 sampai 30 Hz. Dalam memodelkan *interruption*, frekuensi sampling untuk membuat gelombang adalah 0,001 detik dengan durasi waktu 0,2 detik. Persamaan 3.5 menunjukkan persamaan untuk memodelkan *voltage flicker*.

$$V(t) = \left(1 + \alpha_f \sin(\beta \omega t)\right) \sin \omega t \quad (3.5)$$

Keterangan ω adalah $2\pi f$ dan α_f adalah amplitudo tegangan *voltage flicker*. β adalah modulasi frekuensi dari *voltage flicker*. $t_2 - t_1$ adalah waktu saat terjadi *voltage flicker*.

3.1.6 Notch dan Spike

Notching dan *spike* merupakan gangguan kualitas daya yang bersifat periodik. *Notching* memiliki kandungan frekuensi yang cukup tinggi. Dalam memodelkan

notching dan *spike*, frekuensi sampling untuk membuat gelombang adalah 0,001 detik dengan durasi waktu 0,2 detik. Persamaan untuk memodelkan *notching* dan *spike* masing – masing dapat dilihat pada persamaan 3.6 dan 3.7.

$$V(t) = \sin(\omega t) - \text{sign}(\sin(\omega t)) \times \left[\sum_{n=0}^9 Kx \{ u(t - (t_1 + 0,02n)) - u(t - (t_2 - 0,02n)) \} \right] \quad (3.6)$$

$$V(t) = \sin(\omega t) + \text{sign}(\sin(\omega t)) \times \left[\sum_{n=0}^9 Kx \{ u(t - (t_1 + 0,02n)) - u(t - (t_2 - 0,02n)) \} \right] \quad (3.7)$$

Keterangan ω adalah $2\pi f$, K adalah amplitudo *notch* dan *spike*. $t_2 - t_1$ adalah waktu saat terjadi *notch*.

3.1.7 Oscillatory Transient

Oscillatory transient merupakan gangguan kualitas daya dengan perubahan frekuensi secara tiba – tiba dalam kondisi *steady state* pada tegangan, arus atau keduanya. Pemodelan *oscillatory transient*, frekuensi *sampling* dalam gelombang adalah 0,0001 dengan durasi waktu 0,02 detik. Persamaan untuk memodelkan dapat dilihat pada persamaan 3.8.

$$V(t) = \sin \omega t + \alpha e^{-\frac{(t-t_1)}{\tau}} \sin \omega_n (t - t_1) \{ u(t_2) - u(t_1) \} \quad (3.8)$$

Keterangan ω adalah $2\pi f$, $80 \text{ mili detik} \leq \tau \leq 40 \text{ mili detik}$ dan $80 \text{ mili detik} \leq \omega_n \leq 40 \text{ mili detik}$.

3.2 Perancangan *Prototype* Analisis Kualitas Daya

Desain dan implementasi *prototype* meliputi beberapa komponen seperti ACS712 sebagai sensor arus, AMC1100 sebagai sensor tegangan, mikrokontroler STM32F407 sebagai pemroses utama, LCD-32PTU sebagai perangkat untuk menampilkan *display*. *Prototype* dibuat sebagai perangkat untuk akuisisi data yaitu arus dan tegangan, memproses data nilai arus dan tegangan dan menampilkan hasil perhitungan.

Tabel 3.1 Pemodelan gangguan kualitas daya

Kualitas Daya	Persamaan Kualitas Daya	Parameter
Sinus murni	$V(t) = A \sin(\omega t)$	$A=1(\text{pu}), \omega = 2\pi f$
Voltage sag	$V(t) = (1 - \alpha(u(t-t_1) - u(t-t_2))) \sin \omega t$	$0,1 \leq \alpha \leq 0,9, T \leq t_2 - t_1 \leq 9T$
Voltage swell	$V(t) = (1 + \alpha(u(t-t_1) - u(t-t_2))) \sin \omega t$	$0,1 \leq \alpha \leq 0,8, T \leq t_2 - t_1 \leq 9T$
Interruption	$V(t) = (1 - \alpha(u(t-t_1) - u(t-t_2))) \sin \omega t$	$0,9 \leq \alpha \leq 1,0, T \leq t_2 - t_1 \leq 9T$
flicker	$V(t) = (1 + \alpha_f \sin(\beta \omega t)) \sin \omega t$	$0,1 \leq \alpha_f \leq 0,2, 5 \leq \beta \leq 20 \text{ Hz}$
Oscillatory Transient	$V(t) = \sin \omega t + \alpha e^{-\frac{(t-t_1)}{\tau}} \sin \omega_n (t-t_1) \{u(t_2) - u(t_1)\}$	$0,1 \leq \alpha \leq 0,8, T \leq t_2 - t_1 \leq 9T, 8\text{ms} \leq \tau \leq 40\text{ms}, 300 \leq f_n \leq 900\text{Hz}$
Notch	$V(t) = \sin(\omega t) - \text{sign}(\sin(\omega t)) x \left[\sum_{n=0}^9 Kx \{u(t - (t_1 + 0,02n)) - u(t - (t_2 - 0,02n))\} \right]$	$0,1 \leq K \leq 0,4, 0 \leq t_1, t_2 \leq 0,5T, 0,01T \leq t_2 - t_1 \leq 0,05T$
Spike	$V(t) = \sin(\omega t) + \text{sign}(\sin(\omega t)) x \left[\sum_{n=0}^9 Kx \{u(t - (t_1 + 0,02n)) - u(t - (t_2 - 0,02n))\} \right]$	$0,1 \leq K \leq 0,4, 0 \leq t_1, t_2 \leq 0,5T, 0,01T \leq t_2 - t_1 \leq 0,05T$
Harmonics	$i(t) = \alpha_1 \sin(\omega t) + \alpha_3 \sin(3\omega t) + \alpha_5 \sin(5\omega t) + \alpha_7 \sin(7\omega t)$	$0,05 \leq \alpha_3, \alpha_2, \alpha_1 \leq 0,15, \sum \alpha_i^2 = 1$

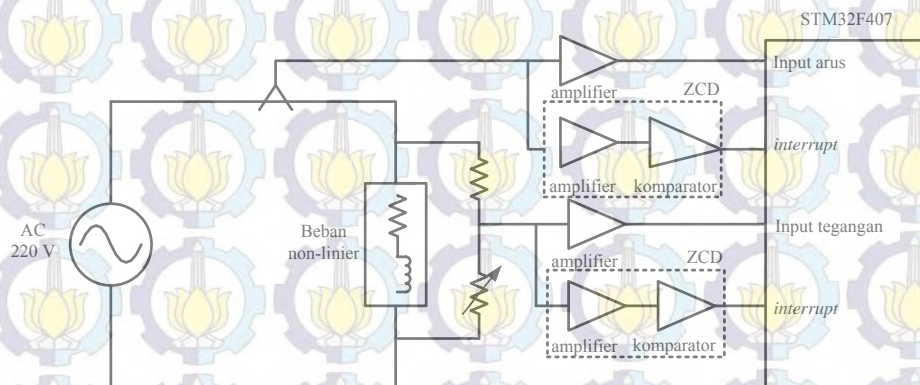
Pembuatan desain *prototype* analisis kualitas daya ini mempertimbangkan kemampuan dari setiap komponen dalam mendeteksi sinyal dengan frekuensi tinggi dengan akurasi yang baik karena dalam setiap perhitungan sinyal melibatkan setiap sampel. ACS712 digunakan sebagai sensor arus karena memiliki akurasi 1,5 % dan *bandwidth* 80 kHz. Sedangkan AMC1100 digunakan sebagai sensor tegangan karena memiliki akurasi 0,5 % dan *bandwidth* 80 kHz.

Selain itu, desain *prototype* analisis kualitas daya menggunakan rangkaian *zero crossing detector* untuk mendeteksi titik nol pada setiap sinyal sehingga *zero crossing detector* ini berfungsi untuk memberikan masukan pada *interrupt* untuk memulai perhitungan. Selain itu, *zero crossing detector* ini berfungsi untuk mendapatkan nilai sudut antara sinyal tegangan dan sinyal arus.

STM32F407 merupakan *device* yang digunakan sebagai pengolah sinyal. STM32F407 dipilih karena memiliki spesifikasi komponen yang *high speed*. STM32F407 dapat beroperasi dengan frekuensi sampai 168 MHz. STM32F407

juga memiliki memori yang cukup besar sehingga sesuai untuk menyimpan *listing program* dari pemroses sinyal. Selain itu, STM32F407 dilengkapi dengan tiga ADC dengan 12 bit untuk mengubah masukan *analog* menjadi *digital* sebelum diproses oleh *processor*.

LCD-32PTU merupakan *device* yang digunakan sebagai *display* hasil perhitungan STM32F407. LCD-32PTU dipilih karena memiliki keunggulan yaitu mempunyai layar *touchscreen*. Rangkaian sistem *prototype* dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 rangkaian sistem *prototype* untuk analisis kualitas daya

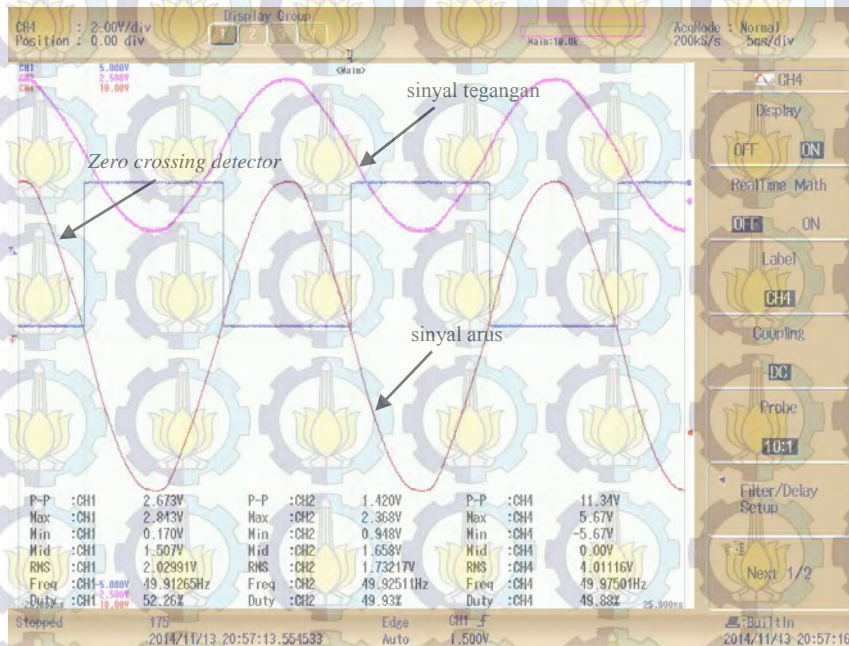
3.2.1 Pengujian Sensor Arus ACS712

Pengujian pada sensor arus bertujuan untuk mengetahui linearitas dari spesifikasi sensor arus. ACS712 merupakan komponen yang digunakan sebagai sensor arus. Spesifikasi ACS712 dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Spesifikasi ACS712

No	karakteristik	nilai
1	Resistansi keluaran	4,7 k Ω
2	Resistansi primer	1,2 m Ω
3	Waktu sampling	3,5 μ s
4	<i>Bandwidth</i>	80 kHz
5	Tegangan isolasi	2,1 kV
6	sensitivitas	185 mV/A
7	Tegangan suplai	5 V
8	Arus nominal	5 A
9	Akurasi	1,5%

Pengujian dilakukan dengan cara memberikan masukan arus yang berbeda-beda. Hasil yang didapatkan antara I_{rms} masukan dan I_{rms} keluaran ACS712 dibuatkan gambar yang menunjukkan linearitas dari sensor arus ACS712 seperti pada gambar 3.2. Tabel 3.3 dan tabel 3.4 masing-masing menunjukkan data arus masukan ke ACS712 dan data arus keluaran dari ACS712. Gambar 3.3 menunjukkan karakteristik masukan dan keluaran pada ACS712.



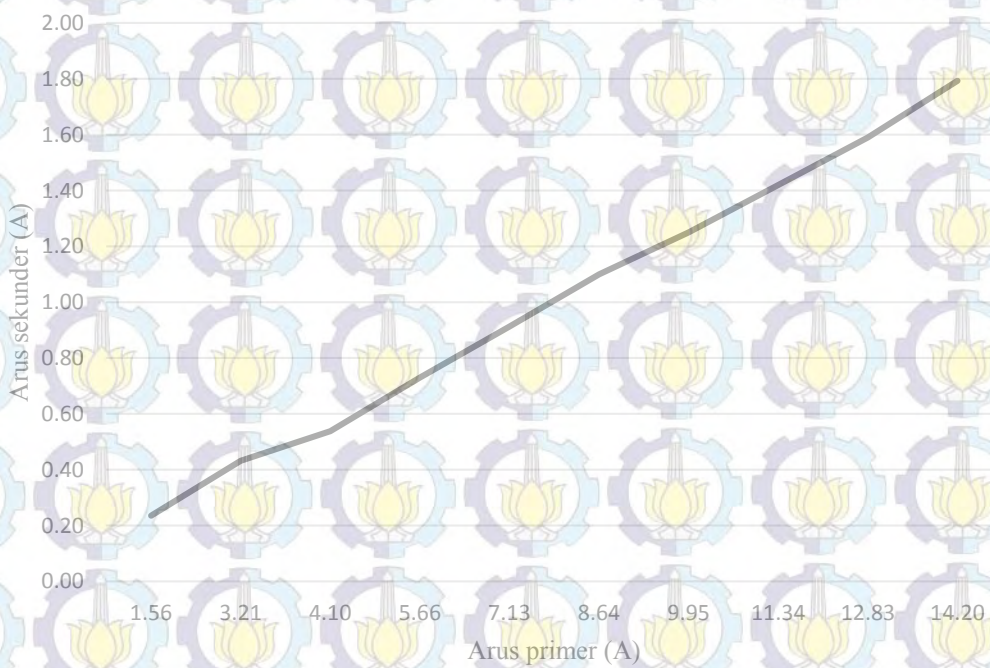
Gambar 3.2 Sinyal arus pada masukan ACS, keluaran ACS dan keluaran zero crossing detector

Tabel 3.3 Arus masukan ke ACS712

No.	Arus masukan ke ACS712						
	I min (-A)	I tengah (A)	I max (A)	Ip-p (A)	I rms (A)	Frekuensi (Hz)	Duty Cycle (%)
1	0,773	0,007	0,787	1,56	0,538	50,03753	49,81
2	1,598	0005	1,608	3,207	1,13612	49,96253	49,94
3	2,043	0,004	2,052	4,095	1,4554	49,96253	49,94
4	2,825	0,003	2,832	5,657	2,01187	50	49,98
5	3,565	0,002	3,568	7,133	2,5365	49,9875	49,96
6	4,31	0,01	4,33	8,64	3,05987	49,975	49,93
7	4,97	0	4,97	9,95	3,515	50,0125	49,96
8	5,67	0	5,67	11,34	4,01116	49,975	49,88
9	6,4	0,02	6,43	12,83	4,51313	49,95	49,88
10	7,1	0	7,1	14,2	5,00593	49,93758	49,94

Tabel 3.4 Arus keluaran dari ACS712

No.	Arus keluaran dari ACS712						
	I min (-A)	I tengah (A)	I max (A)	I _{p-p} (A)	I rms (A)	Frekuensi (Hz)	Duty Cycle (%)
1	1,552	1,669	1,787	0,235	1,67304	50,163	50,34
2	1,452	1,668	1,883	0,432	1,676998	49,91265	50,24
3	1,4	1,669	1,938	0,538	1,67915	50,05005	50,2
4	1,298	1,663	2,028	0,73	1,68675	49,93758	50,34
5	1,203	1,66	2,117	0,913	1,69402	50,11275	49,86
6	1,112	1,662	2,212	1,1	1,70544	50,1002	50,08
7	1,037	1,662	2,287	1,25	1,71851	50,06258	49,79
8	0,948	1,658	2,368	1,42	1,73217	49,9251	49,93
9	0,867	1,662	2,457	1,59	1,74949	49,96253	49,94
10	0,745	1,642	2,538	1,793	1,77135	49,9875	49,89



Gambar 3.3 Karakteristik masukan dan keluaran pada ACS712

Pada gambar 3.3 menunjukkan semakin besar nilai arus masukan dari ACS712 maka diikuti dengan nilai arus keluaran ACS712 yang semakin besar. Hal ini

menunjukkan bahwa sensor arus ACS712 memiliki linearitas yang baik sehingga dapat digunakan sebagai sensor arus dalam pembuatan *prototype*.

3.2.2 Pengujian Sensor Tegangan AMC1100

Pengujian pada sensor tegangan bertujuan untuk mengetahui linearitas dari spesifikasi sensor tegangan. AMC1100 digunakan sebagai sensor tegangan dalam pembuatan *prototype*. Spesifikasi AMC1100 dapat dilihat pada tabel 3.5.

Pengujian dilakukan dengan memberikan masukan nilai tegangan yang berbeda-beda. Hasil antara tegangan masukan ke AMC1100 dan tegangan keluaran AMC1100 dibuatkan gambar untuk mengetahui tingkat linearitas dari AMC1100 seperti pada gambar 3.4. Tabel 3.6 dan tabel 3.7 masing-masing menunjukkan data arus masukan ke AMC1100 dan data arus keluaran dari AMC1100. Gambar 3.5 menunjukkan karakteristik masukan dan keluaran pada AMC1100.

Tabel 3.5 Spesifikasi AMC1100

No	karakteristik	nilai
1	Waktu sampling	3,6 μ detik
2	<i>Bandwidth</i>	60 kHz
3	Tegangan isolasi	4,2 kV
4	sensitivitas	185 mV/A
5	Tegangan suplai	3,3 V
6	Tegangan nominal	1,2 kV
7	Akurasi	0,5 %

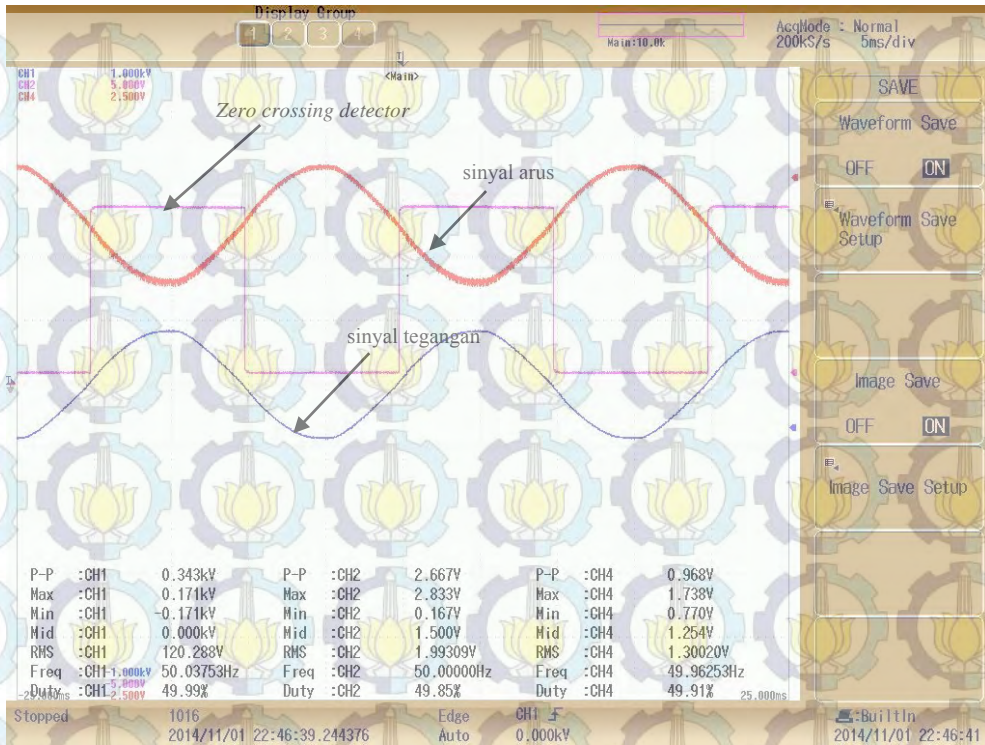
Pada gambar 3.5 menunjukkan semakin besar nilai tegangan masukan dari AMC1100 maka diikuti dengan nilai tegangan keluaran AMC1100 yang semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa sensor tegangan AMC1100 memiliki linearitas yang baik sehingga dapat digunakan sebagai sensor tegangan dalam pembuatan *prototype*.

Tabel 3.6 Tegangan masukan ke AMC1100

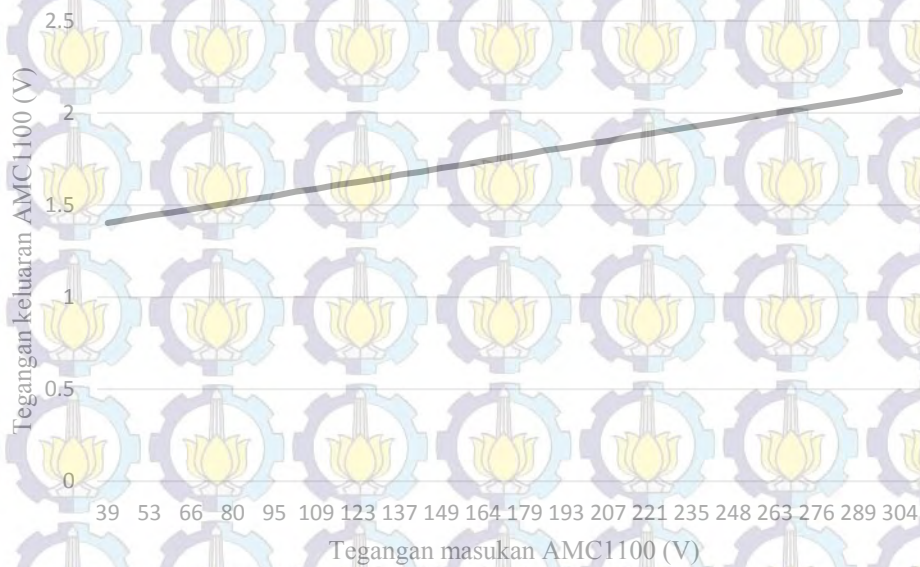
No.	Tegangan masukan AMC1100						
	I min (-A)	I tengah (A)	I max (A)	I _{p-p} (A)	I rms (A)	Frekuensi (Hz)	Duty Cycle (%)
1	38	0	39	77	25,433	49,81	50,56
2	45	0	46	91	30,5408	49,7636	50,21
3	53	0	53	106	35,628	49,86288	50,06
4	59	0	59	119	40,4692	49,9002	49,93
5	67	0	66	133	45,652	50,08	49,94
6	73	0	74	147	50,8733	49,88775	50,11
7	80	0	80	160	55,5422	49,975	50,12
8	87	0	89	176	60,6165	50,05005	50,13
9	95	0	95	190	65,8091	50	50,23
10	101	0	101	201	70,067	50,05005	50,28
11	109	0	109	218	76,0753	49,9875	50,04
12	116	0	117	233	80,8644	50	50,05
13	123	0	123	245	86,0021	50	50
14	129	0	129	257	90,1753	49,975	50,05
15	136	0	137	273	95,4261	49,96253	49,96
16	143	0	143	287	100,834	50,03753	49,96
17	151	0	149	300	105,23	50,025	49,92
18	158	0	158	316	110,645	50,1002	50,08
19	164	0	164	328	115,213	49,9875	50,06
20	171	0	171	343	120,288	50,03752	49,99
21	179	0	179	357	125,288	49,96253	50,04
22	186	0	186	372	130,677	49,96253	50,09
23	193	0	193	387	135,877	49,91265	49,96
24	199	0	199	399	140,228	49,9251	50,02
25	207	0	207	413	145,506	49,93758	49,94
26	214	0	214	428	150,515	49,9251	50,02
27	221	0	221	443	155,576	49,9875	49,99
28	229	0	227	456	160,327	49,96253	49,94
29	235	0	235	469	165,845	49,95005	50,07
30	243	0	242	485	171,025	50	50,1
31	248	0	248	496	175,267	49,9875	49,99
32	257	0	255	512	180,622	49,96253	49,94
33	264	0	263	527	185,531	49,95005	49,95
34	270	0	270	540	190,793	49,95005	50,05
35	277	0	276	553	195,068	49,96253	49,99
36	283	0	285	568	200,754	50,05005	50,05
37	291	0	289	580	205,214	50,03753	50,01
38	298	0	297	595	210,309	50,025	50,05

Tabel 3.7 Tegangan keluaran AMC1100

No.	Tegangan keluaran AMC1100						
	Vmin (V)	Vmid (V)	Vmax (V)	Vp-p (V)	Vrms (V)	Frekuensi (Hz)	Duty Cycle (%)
1	1,138	1,262	1,385	0,274	1,26196	50,12	49,65
2	1,117	1,26	1,403	0,287	1,2629	49,77	47,86
3	1,095	1,258	1,422	0,327	1,2641	50,06258	50,04
4	1,077	1,26	1,443	0,367	1,2651	50,36515	49,16
5	1,058	1,258	1,458	0,4	1,26627	49,91265	48,96
6	1,042	1,259	1,477	0,435	1,26772	49,76362	49,37
7	1,023	1,259	1,495	0,472	1,26891	50,0375	49,81
8	1,005	1,259	1,513	0,508	1,2708	49,9002	49,55
9	0,983	1,258	1,533	0,55	1,27272	49,9251	49,55
10	0,965	1,258	1,55	0,585	1,27402	50,08765	50,11
11	0,943	1,258	1,573	0,63	1,27642	50,0751	49,65
12	0,925	1,257	1,588	0,663	1,27851	50,2386	49,69
13	0,903	1,257	1,61	0,707	1,28072	50,03753	50,14
14	0,892	1,258	1,625	0,733	1,28309	50,05005	49,97
15	0,867	1,255	1,643	0,777	1,28539	49,6894	49,81
16	0,848	1,257	1,665	0,817	1,2882	50,1253	50,08
17	0,833	1,257	1,68	0,847	1,29127	50,1882	49,81
18	0,812	1,257	1,702	0,89	1,29415	50,1253	49,87
19	0,795	1,256	1,717	0,922	1,29697	50,05005	49,87
20	0,77	1,254	1,738	0,968	1,3002	49,96253	49,91
21	0,752	1,254	1,757	1,005	1,30359	49,93758	49,91
22	0,733	1,254	1,775	1,042	1,30716	50,05005	50,1
23	0,715	1,256	1,797	1,082	1,31101	50,08765	50,14
24	0,7	1,256	1,812	1,112	1,31471	50,03753	49,91
25	0,678	1,256	1,833	1,155	1,31883	49,95005	49,75
26	0,66	1,254	1,848	1,188	1,32294	49,68944	49,91
27	0,642	1,256	1,87	1,228	1,32712	50,05005	49,87
28	0,618	1,253	1,888	1,27	1,33114	49,9875	49,79
29	0,6	1,253	1,907	1,307	1,33628	49,95005	49,75
30	0,582	1,253	1,925	1,343	1,34086	50,11275	50,11
31	0,563	1,253	1,943	1,38	1,34504	49,96253	49,91
32	0,538	1,249	1,96	1,422	1,35003	49,9875	50,34
33	0,523	1,252	1,982	1,458	1,35438	50,03753	50,01
34	0,5	1,25	2	1,5	1,35991	49,93758	50,01
35	0,487	1,252	2,018	1,532	1,3642	50,025	50,08
36	0,465	1,251	2,037	1,572	1,37015	50,03753	50,24
37	0,447	1,251	2,055	1,608	1,37476	50	50,17
38	0,427	1,25	2,073	1,647	1,38012	50,025	50,4
39	0,408	1,252	2,095	1,687	1,38572	50,05005	50,08
40	0,387	1,252	2,117	1,73	1,39208	50,13788	50,24



Gambar 3.4 Sinyal tegangan pada masukan, keluaran AMC1100 dan zero crossing detector



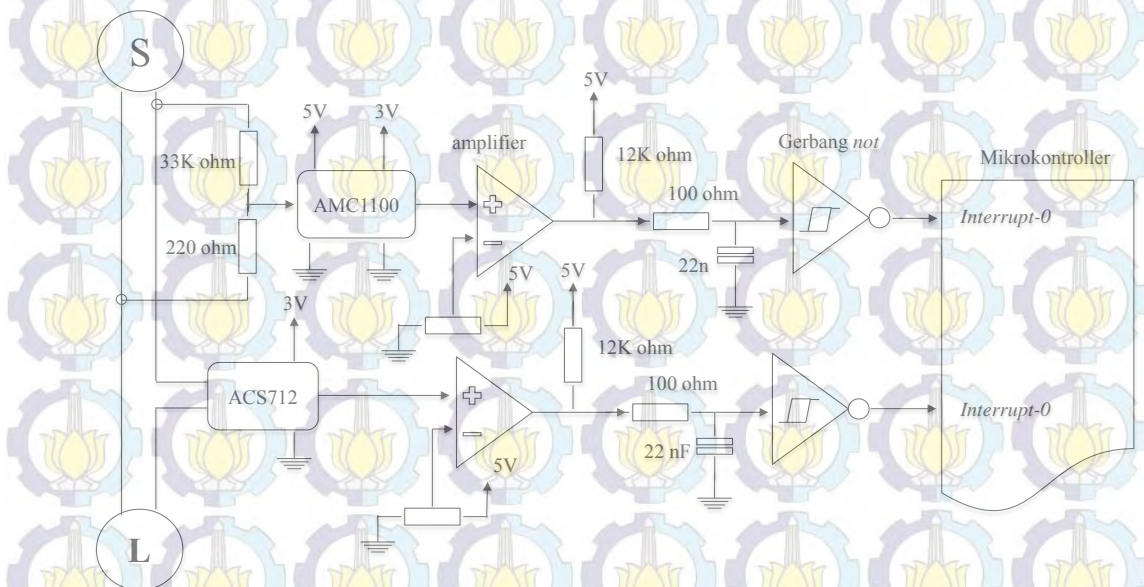
Gambar 3.5 Karakteristik masukan dan keluaran AMC1100

3.2.3 Desain *Prototype* Analisis Kualitas Daya

Dalam desain *prototype* ini, untuk memberikan masukan arus dan tegangan ke sensor arus maka jala yang terdapat pada *terminal stop* kontak dipotong sebagai

penghubung sensor arus dengan jala. Hal ini perlu karena sensor arus harus dipasang seri dengan jala sedangkan sensor tegangan dipasang paralel dengan jala.

Pada masukan sensor tegangan, tegangan 220 V diturunkan sesuai dengan spesifikasi masukan sensor tegangan sesuai *datasheet* AMC1100 [34] yaitu ± 125 mili volt. Keluaran sensor arus dan sensor tegangan menjadi masukan di STM32F407 untuk proses *analog to digital converter* (ADC) dan proses perhitungan untuk mendapatkan nilai yang diinginkan. Selain itu, keluaran dari sensor arus dan sensor tegangan menjadi masukan pada LM393 untuk proses *interrupt* pada STM32F407. Rangkaian pada LM393 merupakan rangkaian ZCD untuk mendeteksi titik nol pada keluaran arus dan tegangan yang menjadi referensi proses *interrupt*. Hasil dari STM32F407 dengan parameter-parameter seperti arus r.m.s, tegangan r.m.s, frekuensi, faktor daya, daya aktif, daya reaktif, daya semu, THD_i, THD_v ditampilkan oleh LCD-32PTU



Gambar 3.6 desain *prototype* analisis kualitas daya

3.2.4 Desain *Software* Analisis Kualitas Daya

Dengan rangkaian *prototype* tersebut maka *prototype* mampu mendapatkan nilai dari berbagai parameter kualitas daya seperti tegangan r.m.s, arus r.m.s, frekuensi, sudut daya, daya aktif, daya reaktif, daya nyata, THD_i dan THD_v. Persamaan untuk mendapatkan nilai dapat dilihat pada persamaan 3.9 sampai 3.15. Persamaan tersebut diprogram dalam *software keil uvision* dan diunduh ke dalam STM32F407.

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} [V_n]^2} \quad (3.9)$$

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} [I_n]^2} \quad (3.10)$$

$$DF = \frac{1}{\sqrt{1+THD^2}} \quad (3.11)$$

$$P = V_{rms} \cdot I_{rms} \cdot \cos \varphi \cdot DF \quad (3.12)$$

$$Q = V_{rms} \cdot I_{rms} \cdot \sin \varphi \cdot DF \quad (3.13)$$

$$S = P + jQ \quad (3.14)$$

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N I_n^2}}{I_1} \times 100\% \quad (3.15)$$

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N V_n^2}}{V_1} \times 100\% \quad (3.16)$$

Keterangan:

V_{rms} adalah tegangan *true* r.m.s

I_{rms} adalah arus *true* r.m.s

P adalah daya aktif

Q adalah daya reaktif

S adalah daya semu

THD_i adalah besaran yang merepresentasikan besaran harmonik arus

THD_v adalah besaran yang merepresentasikan besaran harmonik tegangan

N adalah jumlah sampel

n adalah 1, 2, 3, ..., N

3.3. Desain Metode Fast S-Transform

Dalam analisis gangguan kualitas daya dengan frekuensi tinggi memerlukan metode untuk mengubah sinyal dari daerah waktu ke daerah frekuensi. Metode

yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *fast S-transform* yang merupakan pengembangan dari metode *S-transform*. Keunggulan dari metode yang diusulkan dalam penelitian ini adalah metode ini mempunyai waktu komputasi yang lebih cepat. Persamaan *S-transform* didefinisikan pada persamaan 3.16:

$$S \left[kT, \frac{n}{NT} \right] = \sum_{m=0}^{N-1} H \left[\frac{m+n}{NT} \right] e^{\frac{2\pi^2 m^2}{n^2}} e^{\frac{j2\pi mk}{N}}, n \neq 0 \quad (3.16)$$

Keterangan $k, m = 0, 1, \dots, N-1$, dan $n = 1, \dots, N-1$.

Persamaan 3.16 merupakan pengembangan dari *discrete fourier transform*. Metode yang dikembangkan dalam penelitian ini berasal dari turunan *fast fourier transform* sehingga metode yang didapatkan mempunyai waktu komputasi yang lebih cepat. Persamaan untuk mendapatkan metode *fast S-transform* dapat dilihat pada persamaan 3.17

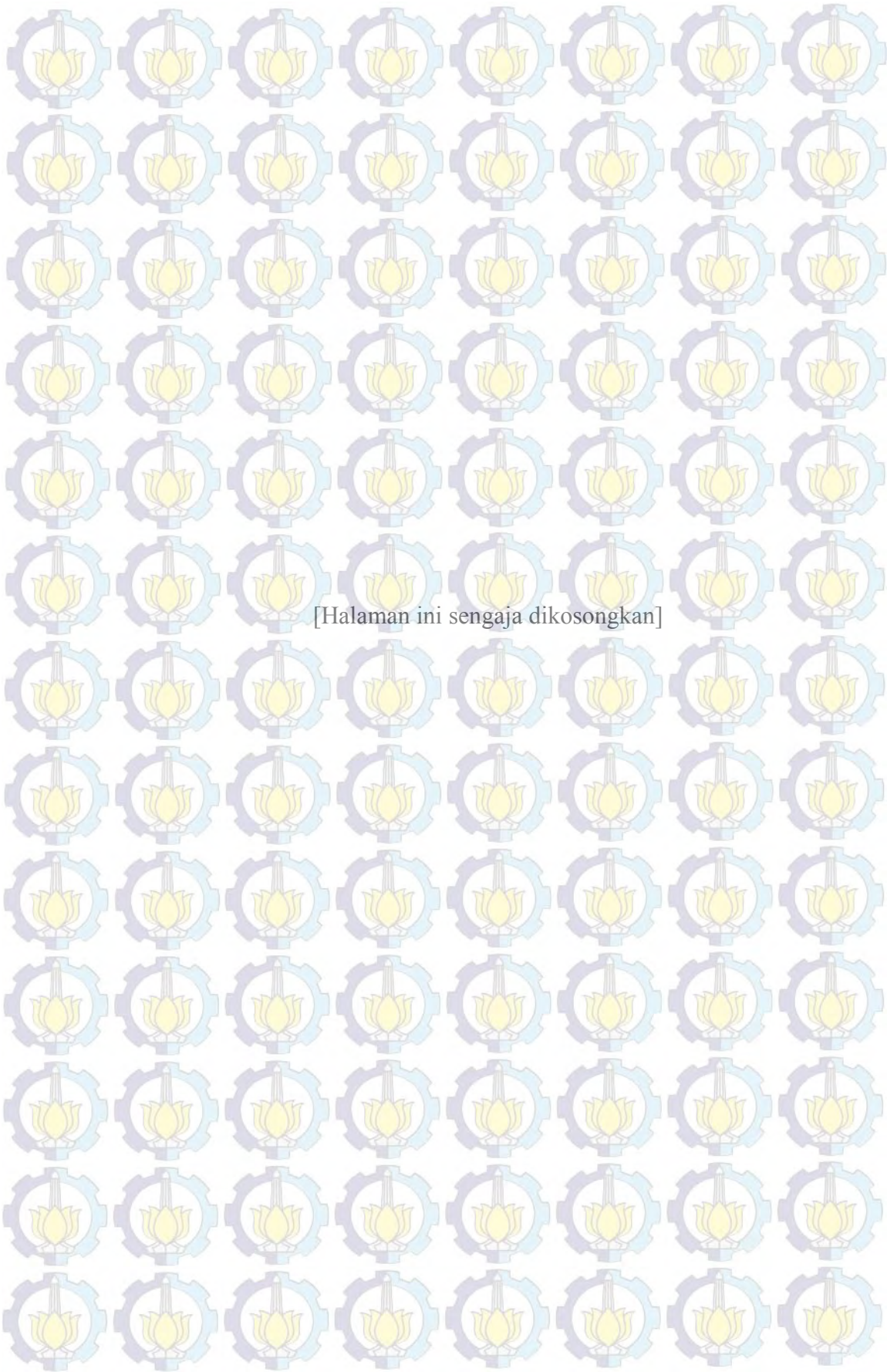
$$S \left[kT, \frac{n}{NT} \right] = \sum_{m=0}^{N-1} H \left[\frac{m+n}{NT} \right] \cdot G(m, n) \cdot \left(\cos \frac{2\pi mn}{N} - j \sin \frac{2\pi mn}{N} \right) \quad (3.17)$$

Karena sifat dari sinyal sinus adalah periodik maka dapat diketahui bahwa fungsi sinus untuk setengah periode adalah kebalikan dari nilai setengah periode sebelumnya sehingga perhitungan metode *S-transform* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.18 dan 3.19

$$S \left[kT, \frac{n}{NT} \right] = \sum_{m=0}^{\frac{N}{2}-1} H \left[\frac{m+n}{NT} \right] \cdot G(m, n) \cdot \left(\cos \frac{2\pi mn}{N} - j \sin \frac{2\pi mn}{N} \right) \quad (3.18)$$

$$S \left[kT, \frac{n}{NT} \right] = \sum_{\frac{N}{2}-1}^N \operatorname{Re} \left(S \left[kT, \frac{n}{NT} \right] \right) - j \operatorname{Im} \left(S \left[kT, \frac{n}{NT} \right] \right) \quad (3.19)$$

Persamaan 3.18 dan 3.19 merupakan metode *fast S-transform*. Dengan menggunakan metode *fast S-transform* waktu komputasi dapat diturunkan menjadi $O(N^2 \log N)$.



BAB IV ANALISIS KUALITAS DAYA

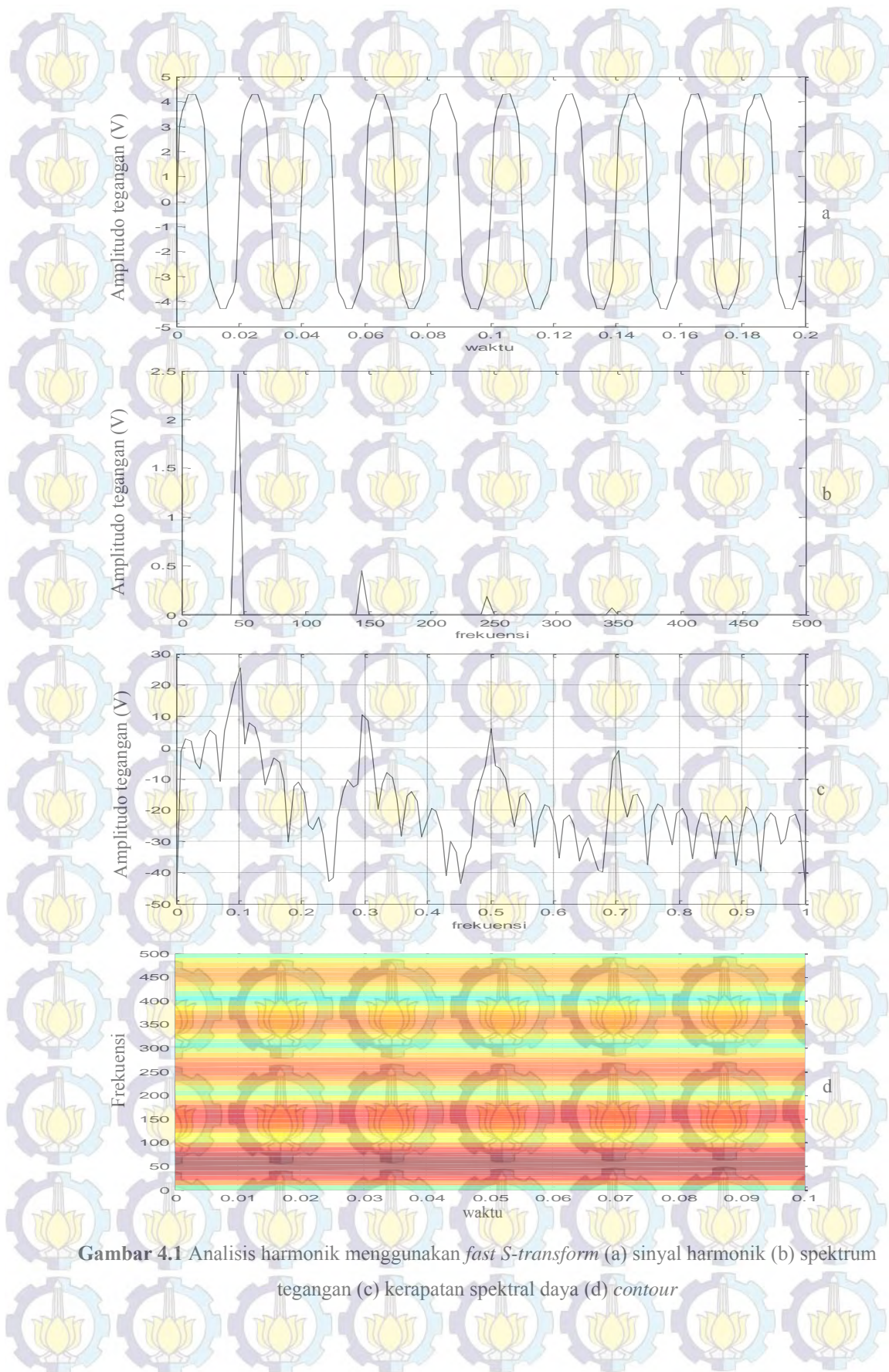
Tujuan analisis kualitas daya dalam penelitian adalah untuk mengetahui akurasi dan kecepatan komputasi dari *prototype* yang dibuat dalam menganalisis kualitas daya di jaringan distribusi pada tegangan 380 / 220 V. Gangguan kualitas daya yang disimulasikan meliputi harmonik, *voltage sag*, *voltage swell*, *voltage flicker*, *oscillatory transient*, *notch* dan *spike*. Sedangkan dalam implementasi meliputi tegangan r.m.s, arus r.m.s, faktor daya, frekuensi, daya aktif, daya reaktif, daya semu, THD_i, THD_v dan waktu komputasi.

4.1 Simulasi Analisis Gangguan Kualitas Daya

Simulasi gangguan kualitas daya yang disimulasikan meliputi harmonik, *voltage sag*, *voltage swell*, *voltage flicker*, *oscillatory transient*, *notch* dan *spike*. Gangguan kualitas daya disimulasikan dalam MATLAB. Selanjutnya, sinyal gangguan kualitas daya dianalisis menggunakan metode *Fast S-transform*.

4.1.1 Harmonik

Persamaan untuk memodelkan harmonik dapat dilihat pada persamaan 3.1. Frekuensi sampling yang digunakan untuk menganalisis harmonik adalah 1000 Hz dengan jumlah data adalah 200 data. Pada simulasi, untuk mengetahui kemampuan *fast S-transform* dalam menganalisis sinyal harmonik maka terdapat 3 jenis tindakan menampilkan dengan menggunakan *plot* spektrum tegangan, *power spectral density* dan *spectrogram*. Dari gambar 4.1, dapat diketahui bahwa *fast S-transform* mempunyai kemampuan akurasi yang baik dalam menganalisis sinyal harmonik. Hal ini dibuktikan dengan gambar spektrum arus, kerapatan spektral daya dan *spectrogram* dari *Fast S-transform* dalam menampilkan amplitudo arus yang lebih besar pada frekuensi *fundamental* dibandingkan dengan frekuensi lainnya. Selain itu, *Fast S-transform* dapat menampilkan amplitudo tegangan yang lebih besar pada harmonik ke 3, ke 5, ke 7, ke 9 sesuai dengan pemodelan harmonik yang sudah dibuat.



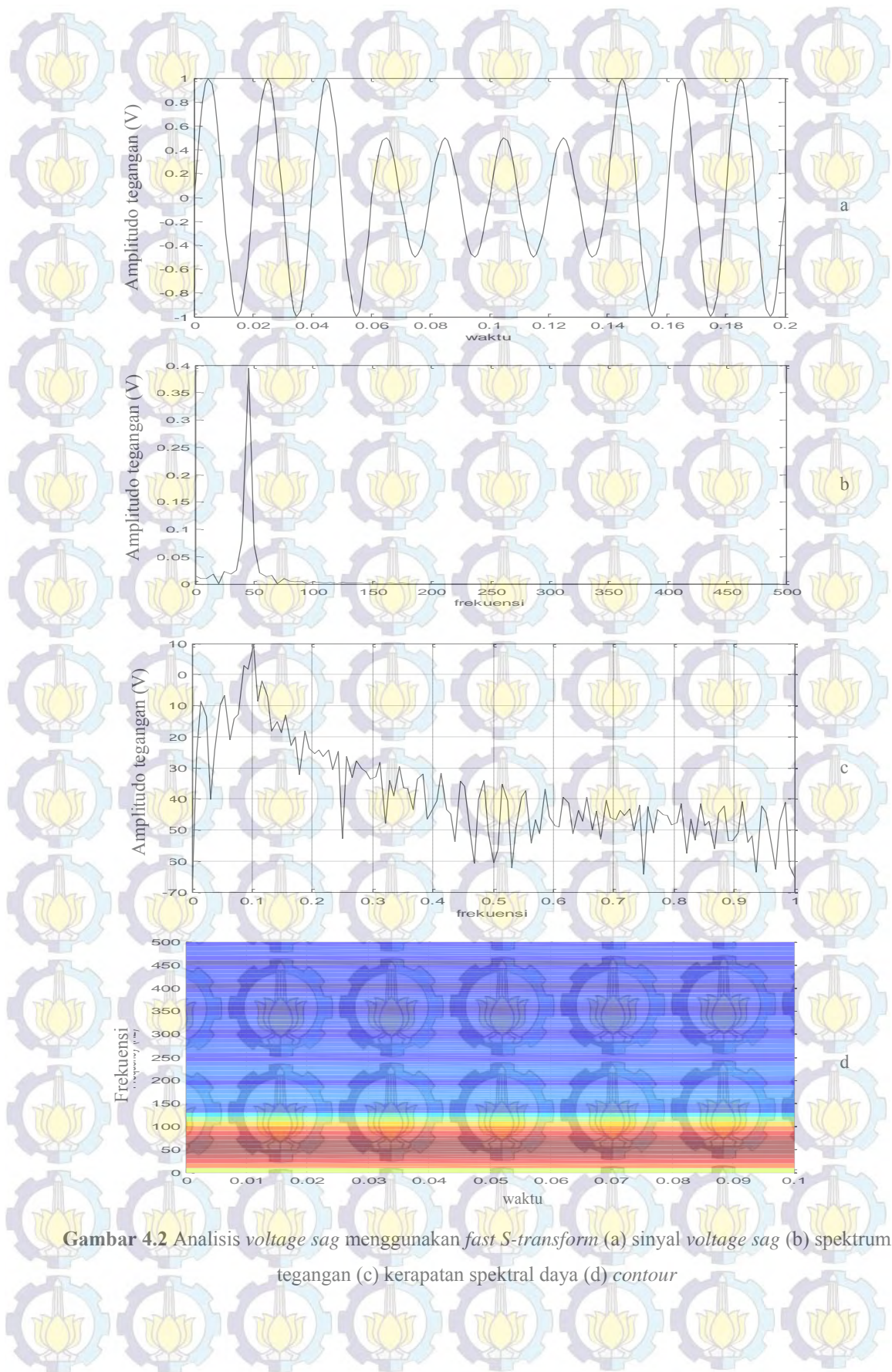
Gambar 4.1 Analisis harmonik menggunakan *fast S-transform* (a) sinyal harmonik (b) spektrum tegangan (c) kerapatan spektral daya (d) *contour*

4.1.2 Voltage Sag

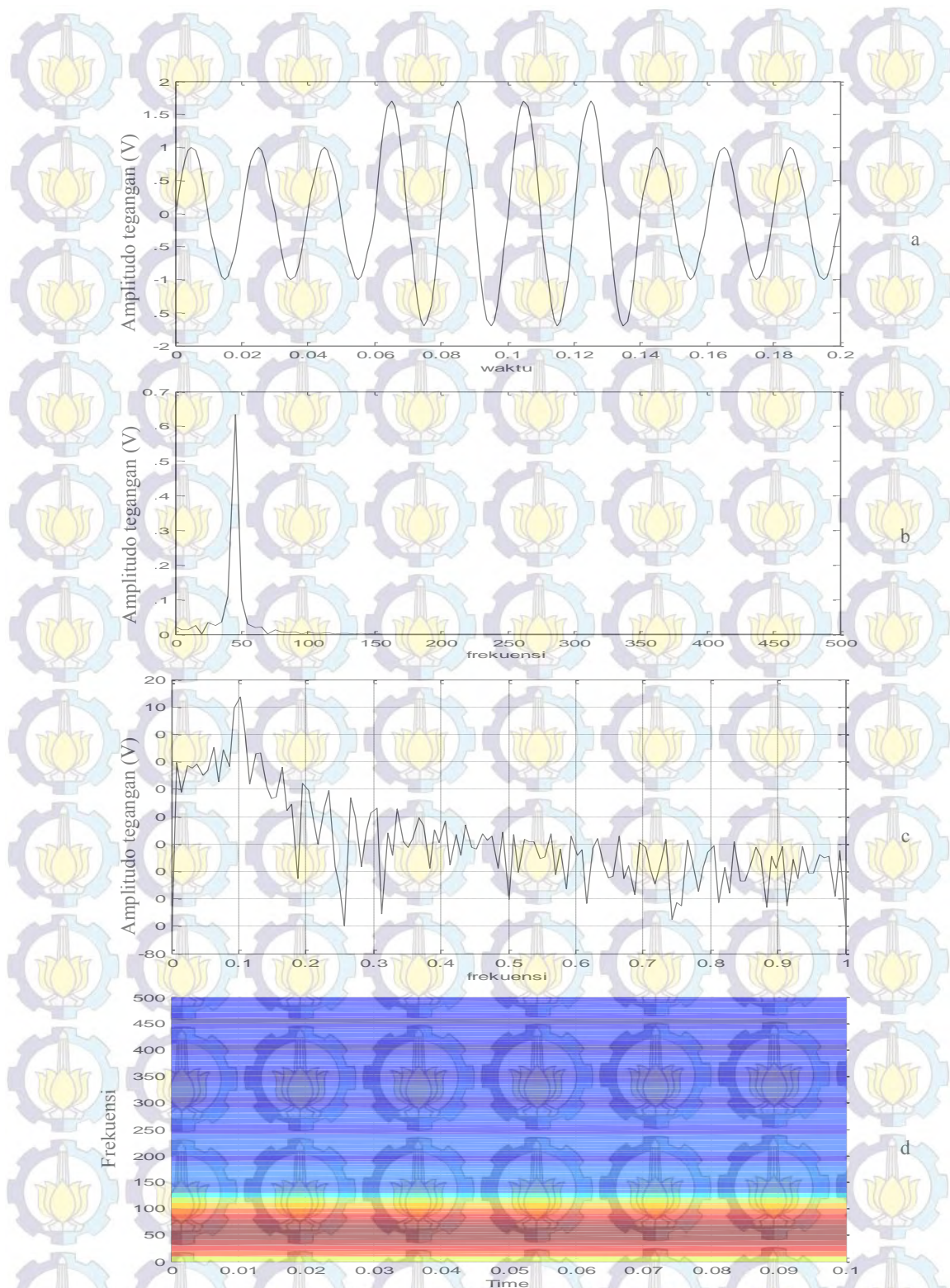
Persamaan untuk memodelkan *voltage sag* dapat dilihat pada persamaan 3.2. Pada pemodelan *voltage sag*, tegangan mengalami penurunan tegangan saat detik ke 0,06 detik sampai 0,14 detik sebesar 0,5 pu. Dalam menganalisis *voltage sag* menggunakan frekuensi sampling 1000 Hz dan dengan jumlah data adalah 200 data. Pada simulasi pemodelan dan analisis *voltage sag* ini, frekuensi yang muncul setelah mengalami proses komputasi dari *fast S-transform* adalah 50 Hz walaupun pada saat detik ke 0,06 detik sampai 0,14 detik mengalami penurunan tegangan secara tiba-tiba. Hal itu menunjukkan bahwa *fast S-transform* mempunyai akurasi yang baik dalam analisis *voltage sag*. Pada gambar 4.2, menampilkan gambar spektrum tegangan, kerapatan spektral daya dan *spectrogram* dari *Fast S-transform*. Gambar itu tidak menunjukkan perubahan amplitudo yang besar pada frekuensi diatas 50 Hz tetapi menunjukkan amplitudo tegangan pada frekuensi 50 Hz yang lebih besar dari amplitudo tegangan pada frekuensi lain.

4.1.3 Voltage Swell

Persamaan untuk memodelkan *voltage swell* dapat dilihat pada persamaan 3.3. Pada pemodelan *voltage swell* mengalami kenaikan tegangan saat detik ke 0,06 detik sampai 0,14 detik sebesar 1,6 pu. Dalam menganalisis *voltage swell* menggunakan frekuensi sampling 1000 Hz dan dengan jumlah data adalah 200 data. Pada simulasi pemodelan dan analisis *voltage swell* ini, frekuensi yang muncul setelah mengalami proses komputasi dari *fast S-transform* adalah 50 Hz walaupun pada saat detik ke 0,06 detik sampai 0,14 detik mengalami kenaikan tegangan secara tiba-tiba sebesar 1,6 pu. Hal itu menunjukkan bahwa *fast S-transform* mempunyai akurasi yang baik dalam analisis *voltage swell*. Pada gambar 4.3, menampilkan gambar spektrum tegangan, kerapatan spektral daya dan *spectrogram* dari *Fast S-transform*. Gambar itu tidak menunjukkan perubahan amplitudo pada detik ke 0,06 detik sampai 0,14 detik tetapi menunjukkan amplitudo tegangan pada frekuensi 50 Hz lebih besar dari amplitudo tegangan pada frekuensi lain.



Gambar 4.2 Analisis *voltage sag* menggunakan *fast S-transform* (a) sinyal *voltage sag* (b) spektrum tegangan (c) kerapatan spektral daya (d) *contour*



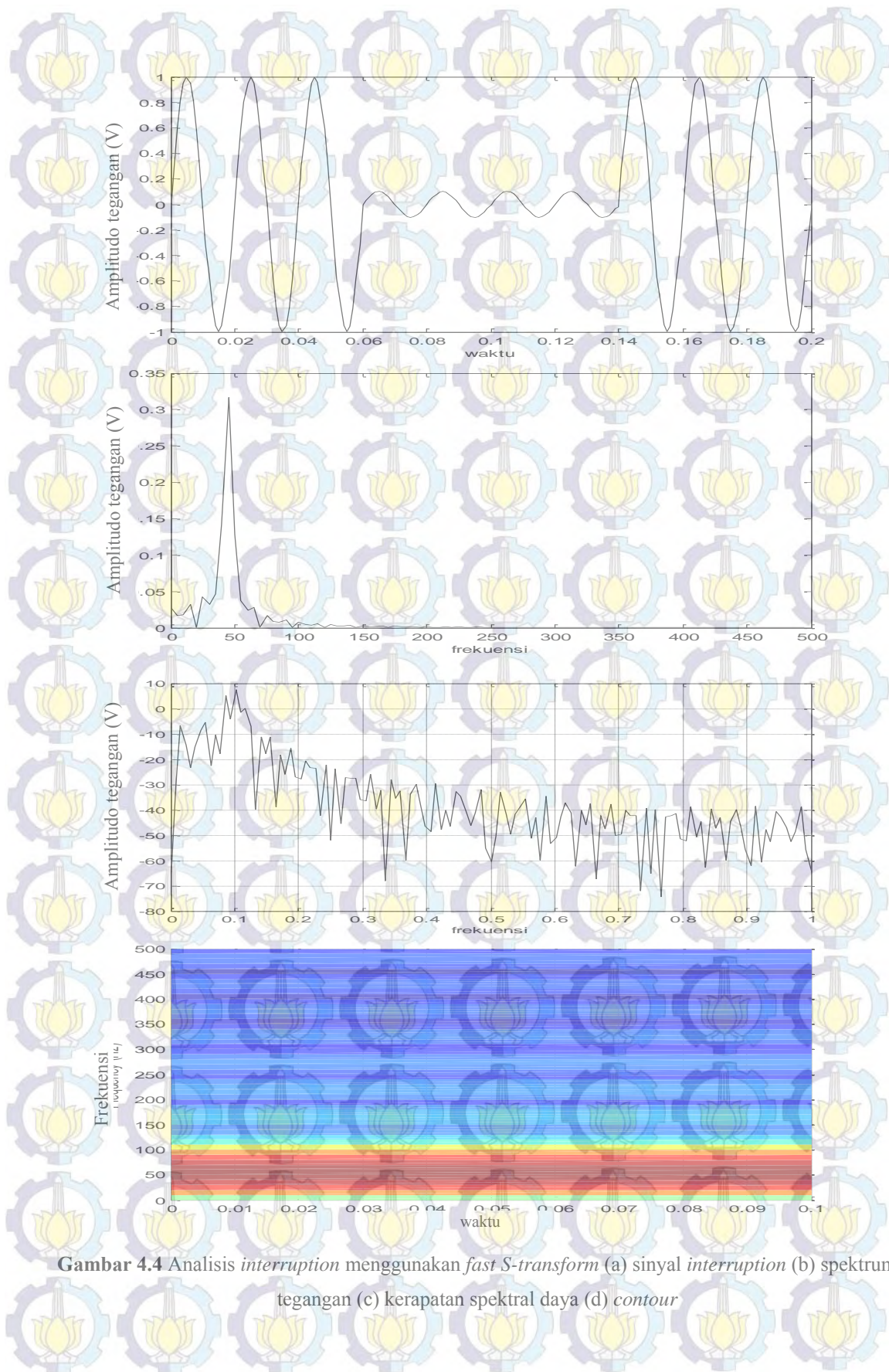
Gambar 4.3 Analisis *voltage swell* menggunakan *fast S-transform* (a) sinyal *voltage swell* (b) spektrum tegangan (c) kerapatan spektral daya (d) *contour*

4.1.4 *Interruption*

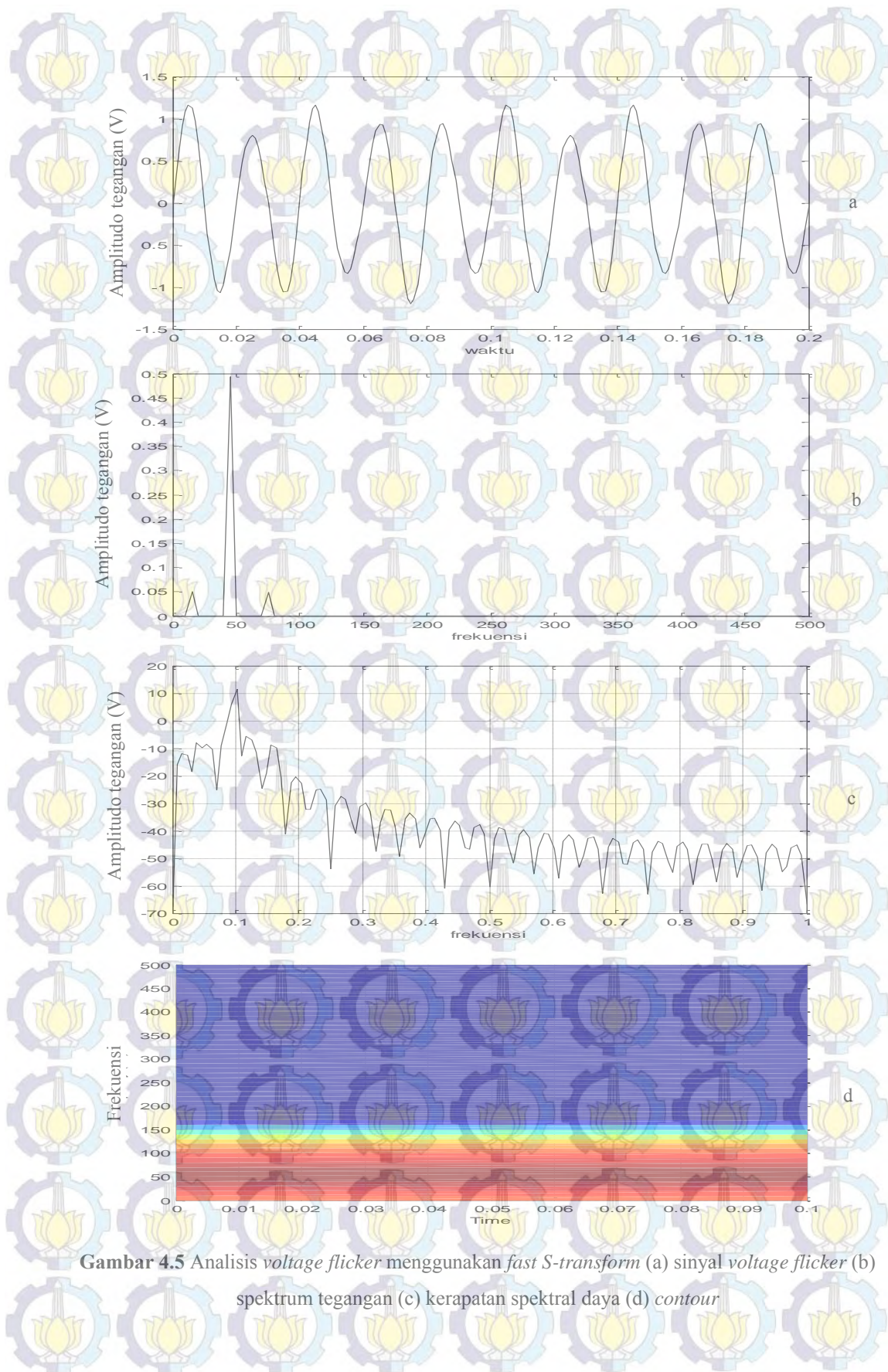
Persamaan untuk memodelkan *interruption* dapat dilihat pada persamaan 3.4. Pada pemodelan *interruption* mengalami penurunan tegangan saat detik ke 0,06 detik sampai 0,14 detik dengan tegangan sebesar kurang 10% dari tegangan nominal. Dalam menganalisis *interruption* menggunakan frekuensi sampling 1000 Hz dan dengan jumlah data adalah 200 data. Pada simulasi pemodelan dan analisis *interruption* ini, frekuensi yang muncul setelah mengalami proses komputasi dari *fast S-transform* adalah 50 Hz walaupun pada saat detik ke 0,06 detik sampai 0,14 detik mengalami penurunan tegangan secara tiba – tiba. Hal itu menunjukkan bahwa *fast S-transform* mempunyai akurasi yang baik dalam analisis *interruption*. Pada gambar 4.4, menampilkan grafik spektrum tegangan, kerapatan spektral daya dan *spectrogram* dari *Fast S-transform*. Gambar itu tidak menunjukkan perubahan amplitudo pada detik ke 0,06 detik sampai 0,14 detik tetapi menunjukkan amplitudo tegangan pada frekuensi 50 Hz lebih besar dari amplitudo tegangan pada frekuensi lain.

4.1.5 *Voltage flicker*

Persamaan untuk memodelkan *voltage flicker* dapat dilihat pada persamaan 3.5. *Voltage flicker* mengalami fluaktuasi tegangan dengan variasi amplitudo dalam kisaran $\pm 10\%$ dari tegangan nominal dan dengan modulasi frekuensi dari 0,5 sampai 30 Hz. Dalam menganalisis *voltage flicker* menggunakan frekuensi sampling 1000 Hz dan dengan jumlah data adalah 200 data. Pada simulasi pemodelan dan analisis *voltage flicker* ini, frekuensi yang muncul setelah mengalami proses komputasi dari *fast S-transform* adalah 50 Hz dan frekuensi disekitar 50 Hz dengan *range* antara 0,5 sampai 30 Hz yang dibuktikan pada gambar 4.5 dengan tampilan gambar spektrum tegangan, kerapatan spektral daya dan *spectrogram*. Hal itu menunjukkan bahwa *fast S-transform* mempunyai akurasi yang baik dalam analisis *voltage flicker*.



Gambar 4.4 Analisis *interruption* menggunakan *fast S-transform* (a) sinyal *interruption* (b) spektrum tegangan (c) kerapatan spektral daya (d) *contour*



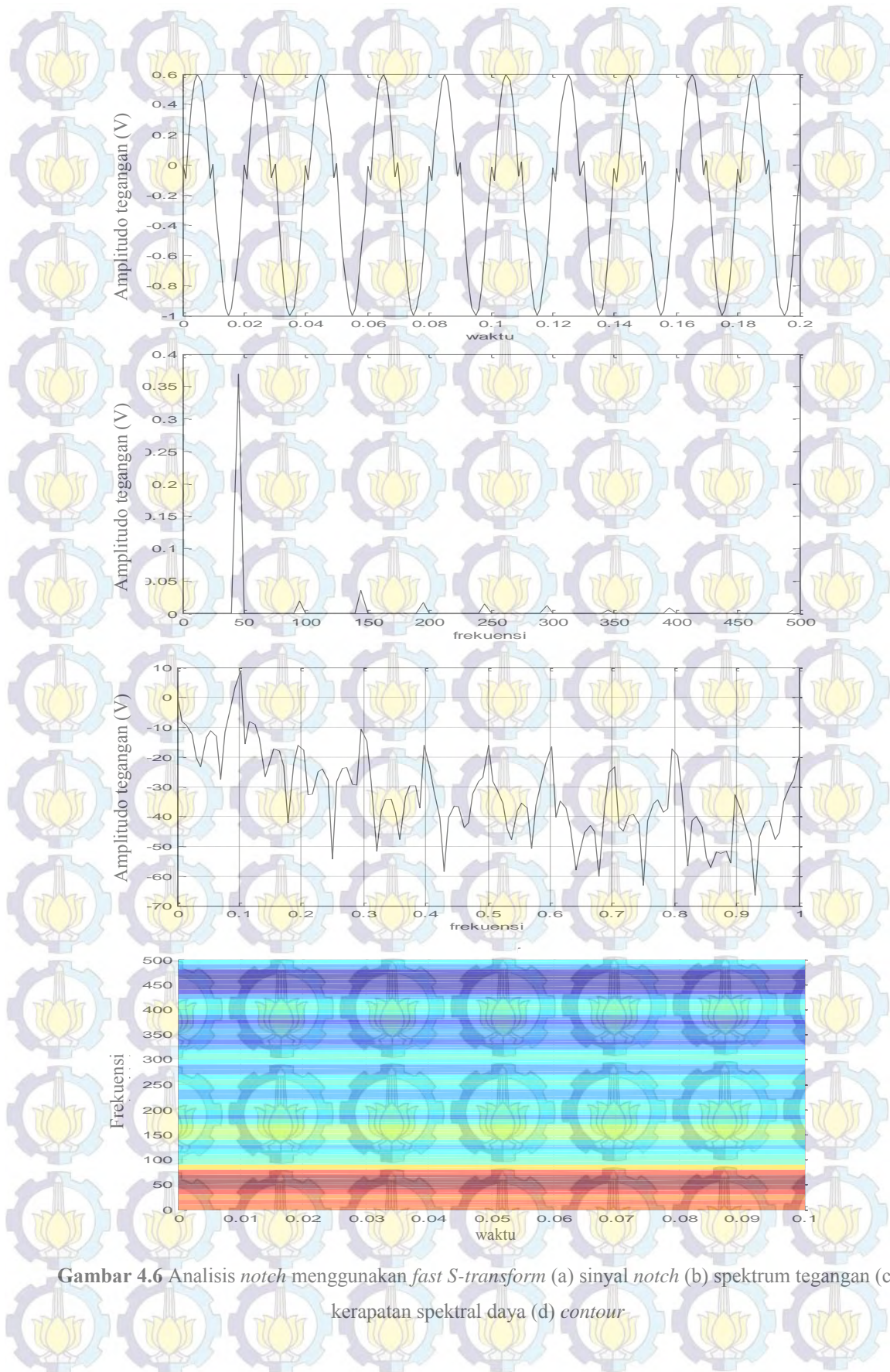
Gambar 4.5 Analisis *voltage flicker* menggunakan *fast S-transform* (a) sinyal *voltage flicker* (b) spektrum tegangan (c) kerapatan spektral daya (d) *contour*

4.1.6 Notch dan Spike

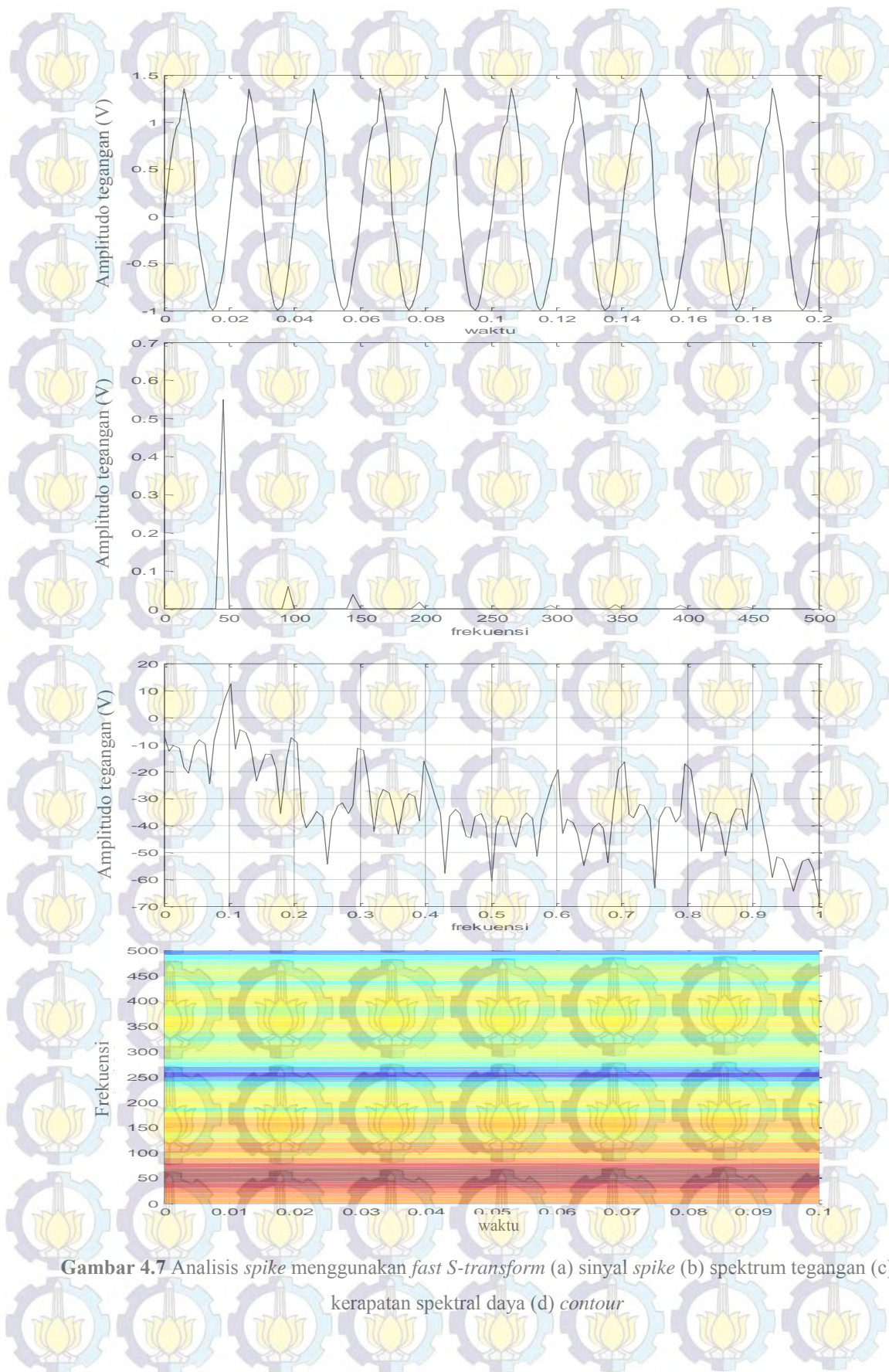
Persamaan untuk memodelkan *notch* dan *spike* dapat dilihat pada persamaan 3.6 dan 3.7. Pada pemodelan *notch* dan *spike* mengalami gangguan kualitas daya yang bersifat periodik dan memiliki kandungan frekuensi yang tinggi. Dalam menganalisis *notch* dan *spike* menggunakan frekuensi sampling 1000 Hz dan dengan jumlah data adalah 200 data. Pada simulasi pemodelan dan analisis *notch* dan *spike* ini, frekuensi yang muncul setelah mengalami proses komputasi dari *fast S-transform* adalah 50 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 250 Hz, 300 Hz, 350 Hz, 400 Hz mempunyai amplitudo yang lebih tinggi dari amplitudo yang lain. Hal itu menunjukkan bahwa *fast S-transform* mempunyai akurasi yang baik dalam analisis *notch* dan *spike*. Pada gambar 4.6 dan 4.7 menampilkan gambar spektrum tegangan, kerapatan spektral daya dan *spectrogram* dari *Fast S-transform*. Gambar itu menunjukkan amplitudo tegangan pada frekuensi 50 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 250 Hz, 300 Hz, 350 Hz, 400 Hz lebih besar dari amplitudo tegangan pada frekuensi lain.

4.1.7 Oscillatory Transient

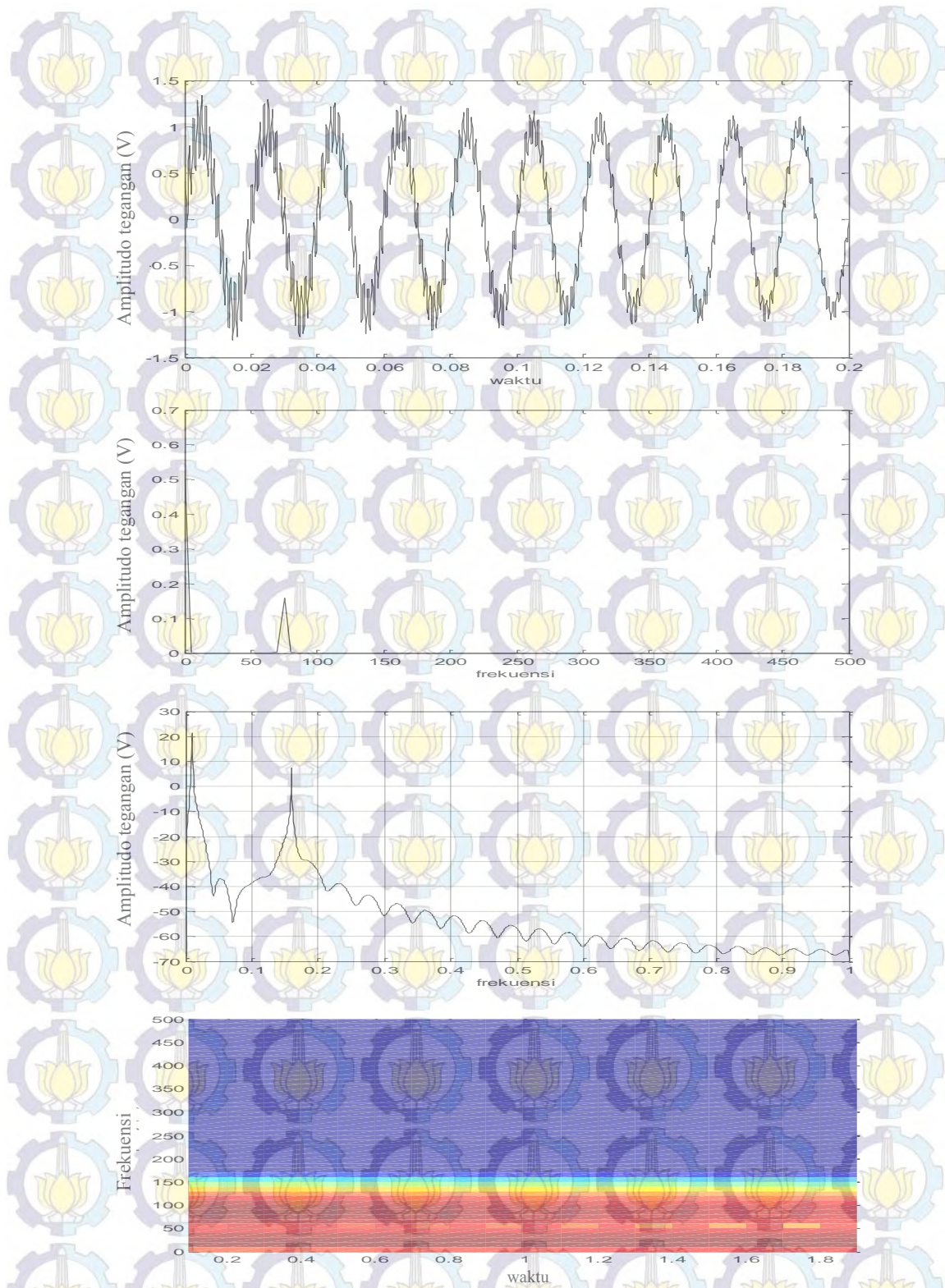
Persamaan untuk memodelkan *oscillatory transient* dapat dilihat pada persamaan 3.8. *Oscillatory transient* merupakan gangguan kualitas daya dengan perubahan frekuensi secara tiba – tiba dalam kondisi *steady state*. Pemodelan *oscillatory transient*, frekuensi sampling dalam gelombang adalah 0,0001 dengan durasi waktu 0,02 detik. Pada simulasi pemodelan dan analisis *oscillatory transient* ini, frekuensi yang muncul setelah mengalami proses komputasi dari *fast S-transform* adalah 80 Hz mempunyai amplitudo yang lebih tinggi dari amplitudo yang lain. Hal itu menunjukkan bahwa *fast S-transform* mempunyai akurasi yang baik dalam analisis *oscillatory transient*. Pada gambar 4.8 menampilkan gambar spektrum tegangan, kerapatan spektral daya dan *spectrogram* dari *Fast S-transform*. Gambar itu menunjukkan amplitudo tegangan pada frekuensi 80 Hz lebih besar dari amplitudo tegangan pada frekuensi lain.



Gambar 4.6 Analisis notch menggunakan fast S-transform (a) sinyal notch (b) spektrum tegangan (c) kerapatan spektral daya (d) contour



Gambar 4.7 Analisis spike menggunakan fast S-transform (a) sinyal spike (b) spektrum tegangan (c) kerapatan spektral daya (d) contour



Gambar 4.8 Analisis *oscillatory transient* menggunakan *fast S-transform* (a) sinyal *oscillatory transient* (b) spektrum tegangan (c) kerapatan spektral daya (d) *contour*

4.2 Pengujian *Prototype* Analisis Kualitas Daya

Pengujian yang dilakukan mempunyai tujuan untuk mengetahui kualitas *prototype* analisis kualitas daya. Pengujian dilakukan pada beban non-linier dan beban motor induksi. Parameter yang diuji dalam penelitian ini adalah tegangan r.m.s, arus r.m.s, frekuensi, faktor daya, daya aktif, daya reaktif, daya semu, THD_i, THD_v dan waktu operasi. Pengujian dibandingkan dengan alat ukur standar yang mempunyai spesifikasi seperti pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 spesifikasi alat ukur standar

Alat ukur standar	parameter	akurasi	
Osiloskop DL850 <i>scopeorder</i>	Arus r.m.s	±0,3 %	
Osiloskop DL850 <i>scopeorder</i>	Tegangan r.m.s	±0,3 %	
Osiloskop DL850 <i>scopeorder</i>	frekuensi	±0,1 %	
FLUKE 43B	Arus r.m.s	±1%	
FLUKE 43B	Tegangan r.m.s	±1%	
FLUKE 43B	frekuensi	±0,5%	
FLUKE 43B	Faktor daya	±0,04%	
FLUKE 43B	THD	Fundamental	±3 %
		Orde 2 sampai 31	±5 %
		Orde 31 sampai 50	±15 %
FLUKE 43B	Daya aktif	±2 %	
FLUKE 43B	Daya reaktif	±2 %	
FLUKE 43B	Daya semu	±2 %	

4.2.1 Beban dan Rangkaian Pengujian

Pengujian dilakukan pada beban non-linier dan beban motor induksi. Penggunaan beban ini karena beban non linier merupakan sumber harmonik sehingga dengan beban non linier ini dapat diketahui kualitas *prototype* dalam mendeteksi kualitas daya ketika sinyal terdistorsi. Pengujian dibandingkan dengan alat ukur standar yang mempunyai spesifikasi seperti pada tabel 4.1.

4.2.1.1 Beban untuk Pengujian

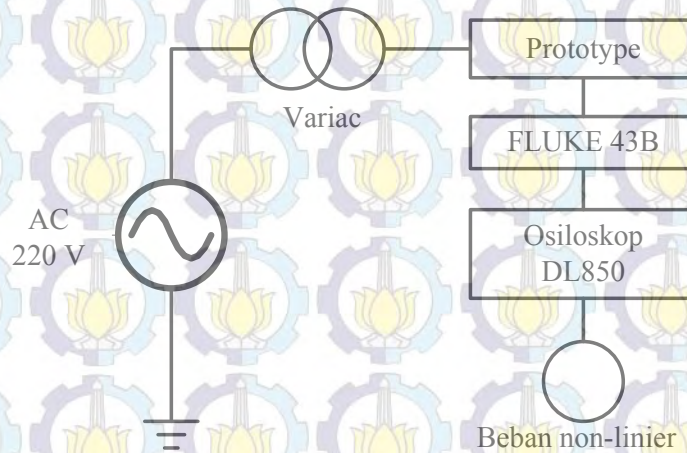
Beban yang digunakan dalam pengujian ini adalah beban non linier. Penggunaan beban ini karena beban non linier merupakan sumber harmonik sehingga dengan beban non linier ini dapat diketahui kualitas *prototype* dalam mendeteksi kualitas daya ketika sinyal terdistorsi.

Tabel 4.2 spesifikasi beban yang digunakan dalam pengujian *prototype*

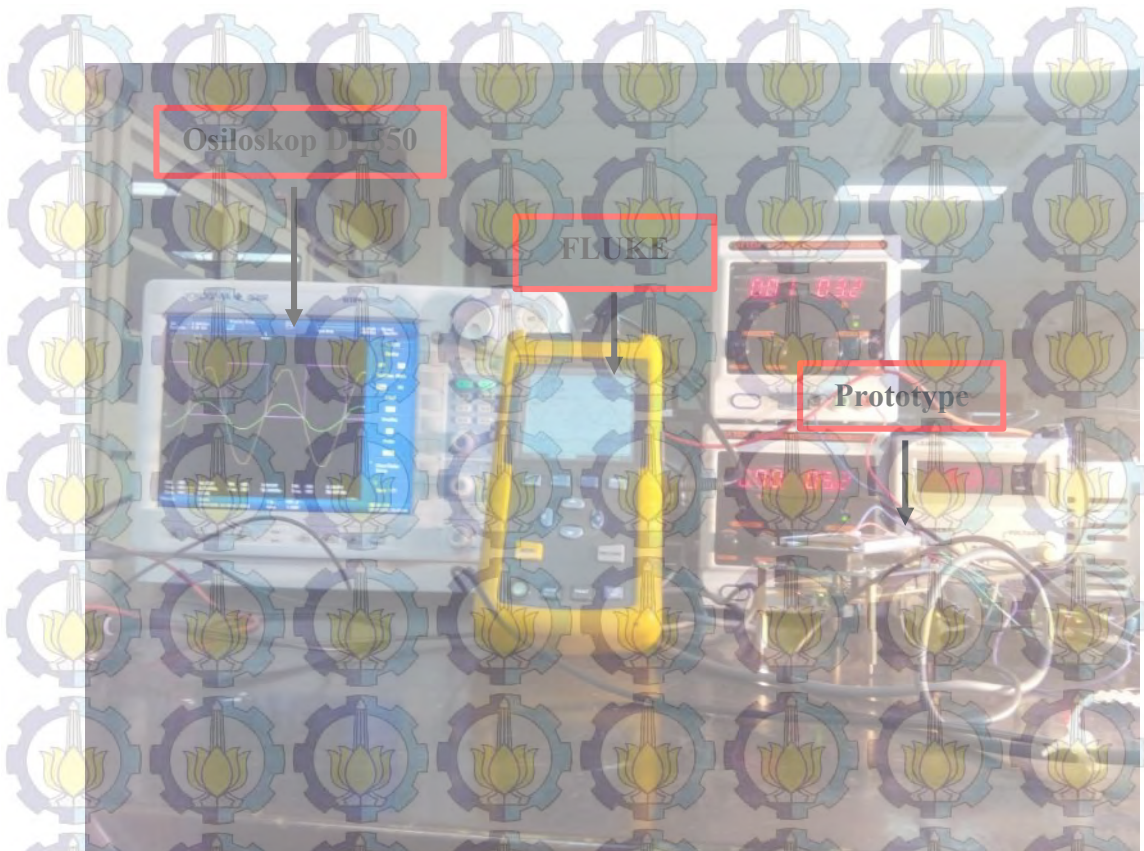
Beban non-linier	
komponen	6 Lampu pijar + 2 LHE
Beban non-linier + motor induksi	
komponen	6 lampu pijar + 2 LHE + motor induksi

4.2.1.2 Rangkaian Pengujian

Dalam pengujian, beban non-linier dan motor pompa dihubungkan ke *variable transformer* (variac) sebelum dihubungkan ke sumber 220 V. Skematik rangkaian pengujian dapat dilihat pada gambar 4.9 sebagai berikut



Gambar 4.9 diagram skematik pengujian



Gambar 4.10 rangkaian pengujian *prototype*

4.3 Pengujian Tegangan r.m.s

Beban yang digunakan dalam pengujian ini adalah beban non linier. Penggunaan beban ini karena beban non linier merupakan sumber harmonik sehingga dengan beban non linier ini dapat diketahui kualitas *prototype* dalam mendeteksi kualitas daya ketika sinyal terdistorsi.

4.3.1 Pengujian pada Beban non-linier

Dalam pengujian tegangan r.m.s ini, beban non linier yang digunakan adalah 2 lampu hemat energi (LHE) dengan merk Philips dan 6 lampu pijar. Pengukuran yang dilakukan oleh *prototype* dibandingkan dengan osiloskop DL850 dan FLUKE 43B.

Berdasarkan data spesifikasi alat ukur standar pada tabel 4.1 maka *prototype* dan FLUKE 43B mengacu pada alat ukur osiloskop DL850 dalam melihat akurasi karena osiloskop DL850 memiliki akurasi yang paling kecil sebesar $\pm 0,3\%$. Hasil yang

diperoleh pada pengukuran antara *prototype* dan osiloskop DL850 dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil pengukuran tegangan r.m.s pada beban non linier

Beban non-linier	Tegangan r.m.s (V)			Kesalahan Relatif <i>Prototype</i>	Kesalahan Relatif FLUKE 43B	Kesalahan Relatif <i>Prototype</i> (%)	Kesalahan Relatif FLUKE 43B (%)
	<i>Prototype</i>	FLUKE 43B	Osiloskop DL850				
2 LHE + 6 lampu pijar	206,04	203,8	205,48	0,00273	0,00817598	0,273	0,8175978
2 LHE + 6 lampu pijar	207,74	203,8	205,74	0,00972	0,00942938	0,972	0,9429377
2 LHE + 6 lampu pijar	207,25	203,1	205,25	0,00974	0,01047503	0,974	1,047503
2 LHE + 6 lampu pijar	207,7	203,3	205,60	0,01021	0,01118677	1,021	1,118677
2 LHE + 6 lampu pijar	207,3	203,6	205,77	0,00744	0,01054575	0,744	1,0545755
2 LHE + 6 lampu pijar	207,06	203,2	205,28	0,00867	0,0101325	0,867	1,0132502
2 LHE + 6 lampu pijar	207,60	203	205,3	0,0112	0,01120312	1,12	1,1203117
2 LHE + 6 lampu pijar	206,92	203,5	205,74	0,00574	0,01088753	0,574	1,0887528
2 LHE + 6 lampu pijar	207,02	203,3	205,48	0,00750	0,01060931	0,75	1,0609305
2 LHE + 6 lampu pijar	207,16	203,1	205,3	0,00906	0,01071603	0,906	1,0716025
				0,002094	0,01033614	0,8201	1,0336139

Pada tabel 4.3, diketahui bahwa kesalahan relatif pengukuran oleh *prototype* terhadap osiloskop DL850 adalah 0,8201 %. Kesalahan relatif pada *prototype* lebih kecil daripada kesalahan relatif pada FLUKE 43B yang mempunyai kesalahan relatif sebesar 1,0336 %. Kesalahan relatif pada *prototype* masih didalam akurasi pada sensor tegangan AMC1100 di *datasheet* [34] yaitu 1%. Hal ini berarti, kesalahan *prototype* sebesar 0,8201 % merupakan kesalahan pembacaan tegangan r.m.s oleh sensor tegangan. Kesalahan terbesar pada pengukuran *prototype* terhadap osiloskop DL850 adalah 1,12 % Sedangkan kesalahan terkecil pada pengukuran *prototype* terhadap osiloskop sebesar 0,273 %.

Nilai tegangan r.m.s yang tercantum pada *prototype* terlihat berubah – ubah dari 206,04 V sampai 207,74 V karena *zero crossing detector* yang mendeteksi titik nol pada sinyal yang memberikan *interrupt* pada STM32F407 untuk mulai mengeksekusi *program* sering terlambat dalam mendeteksi titik nol sehingga sampel data yang diambil mengalami kesalahan. Hal ini terjadi karena sinyal hasil komparator pada rangkaian *zero crossing detector* terdistorsi. Selain itu, kesalahan pembacaan titik nol terjadi karena beban non-linier yang digunakan sebagai beban pengujian merupakan sumber harmonik sehingga sinyal menjadi terdistorsi.

Prototype diatur mengambil data dengan frekuensi sampling sebesar 5000 Hz atau 100 data per *cycle*. Pada osiloskop DL850 memiliki ADC 16 bit dan frekuensi sampling sebesar 200 kHz atau 4000 data per *cycle*. Perbedaan spesifikasi *prototype* dengan osiloskop DL850 dalam pengambilan data per sampel dan resolusi yang dimiliki mengakibatkan terjadinya kesalahan pengukuran tegangan r.m.s antara *prototype* dengan osiloskop DL850.

4.3.2. Pengujian Pada Beban non-linier dan Motor Induksi

Dalam pengujian tegangan r.m.s ini, beban non linier dan motor induksi yang digunakan adalah 2 lampu hemat energi (LHE) dengan merk Philips, 6 lampu pijar dan 1 motor induksi dengan daya 125 Watt pada rating tegangan 220 V. Pengukuran yang dilakukan oleh *prototype* akan dibandingkan dengan osiloskop DL850 dan FLUKE 43B.

Berdasarkan data spesifikasi alat ukur standar pada tabel 4.1 maka *prototype* dan FLUKE 43B mengacu pada alat ukur osiloskop DL850 dalam melihat akurasi karena osiloskop DL850 memiliki akurasi yang paling kecil sebesar $\pm 0,3$ %. Hasil yang diperoleh pada pengukuran antara *prototype* dan osiloskop DL850 dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil pengukuran tegangan r.m.s pada beban non linier dan motor induksi

Beban	Tegangan r.m.s (V)			Kesalahan Relatif <i>Prototype</i>	Kesalahan Relatif FLUKE 43B	Kesalahan Relatif <i>Prototype</i> (%)	Kesalahan Relatif FLUKE 43B (%)
	<i>Prototype</i>	FLUKE 43B	Osiloskop DL850				
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	203,55	203,3	205,62	0,01006711	0,01128295	1,00671141	1,12829491
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	203,1	203,6	205,18	0,01013744	0,00770056	1,01374403	0,77005556
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	203,6	203,5	205,74	0,01040148	0,01088753	1,04014776	1,08875279
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	204,21	203,1	205,76	0,00753305	0,01292768	0,75330482	1,29276827
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	203,58	203,3	205,21	0,00794308	0,00930754	0,79430827	0,93075386
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	204,4	203	205,74	0,00651307	0,01331778	0,65130748	1,33177797
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	203,45	203,1	205,4	0,00949367	0,01119766	0,94936709	1,11976631
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	203,24	203	205,39	0,01046789	0,0116364	1,04678904	1,1636399
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	203,1	203	205,21	0,01028215	0,01076946	1,028215	1,07694557
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	203,51	203,1	205,42	0,00929802	0,01129393	0,92980236	1,12939344
				0,0092137	0,01103215	0,92136972	1,10321486

Pada tabel 4.4, diketahui bahwa kesalahan relatif pengukuran oleh *prototype* terhadap osiloskop DL850 adalah 0,92136972 %. Kesalahan relatif pada *prototype* lebih kecil daripada kesalahan relatif pada FLUKE 43B yang mempunyai kesalahan relatif sebesar 1,10321486 %. Kesalahan relatif pada *prototype* masih didalam akurasi pada sensor tegangan AMC1100 di *datasheet* [34] yaitu 1%. Hal ini berarti, kesalahan *prototype* sebesar 0,92136972 % merupakan kesalahan pembacaan tegangan r.m.s oleh sensor tegangan. Kesalahan terbesar pada pengukuran *prototype* terhadap osiloskop DL850 adalah 1,04678904 % sedangkan kesalahan terkecil pada pengukuran *prototype* terhadap osiloskop sebesar 0,65130748 %.

Nilai tegangan r.m.s yang tercantum pada *prototype* terlihat berubah – ubah dari 203,1 V sampai 204,4 V karena *zero crossing detector* yang mendeteksi titik nol pada sinyal yang memberikan *interrupt* pada STM32F407 untuk mulai mengeksekusi *program* sering terlambat dalam mendeteksi titik nol sehingga sampel data yang diambil mengalami kesalahan. Hal ini terjadi karena sinyal hasil komparator pada rangkaian *zero crossing detector* terdistorsi. Selain itu, kesalahan pembacaan titik nol terjadi karena beban non-linier yang digunakan sebagai beban pengujian merupakan sumber harmonik sehingga sinyal menjadi terdistorsi.

Prototype diatur mengambil data dengan frekuensi sampling sebesar 5000 Hz atau 100 data per *cycle*. Pada osiloskop DL850 memiliki ADC 16 bit dan frekuensi sampling sebesar 200 kHz atau 4000 data per *cycle*. Perbedaan spesifikasi *prototype* dengan osiloskop DL850 dalam pengambilan data per sampel dan resolusi yang dimiliki mengakibatkan terjadinya kesalahan pengukuran tegangan r.m.s antara *prototype* dengan osiloskop DL850.

4.4 Pengujian Arus r.m.s

Beban yang digunakan dalam pengujian ini adalah beban non linier. Penggunaan beban ini karena beban non linier merupakan sumber harmonik sehingga dengan beban non linier ini dapat diketahui kualitas *prototype* dalam mendeteksi kualitas daya ketika sinyal terdistorsi.

4.4.1 Pengujian Pada Beban non-linier

Dalam pengujian arus r.m.s ini, beban non linier yang digunakan adalah 2 lampu hemat energi (LHE) dengan merk Philips dan 6 lampu pijar. Pengukuran yang dilakukan oleh *prototype* dibandingkan dengan osiloskop DL850 dan FLUKE 43B.

Berdasarkan data spesifikasi alat ukur standar pada tabel 4.1 maka *prototype* dan FLUKE 43B mengacu pada alat ukur osiloskop DL850 dalam melihat akurasi karena osiloskop DL850 memiliki akurasi pendeteksian arus r.m.s yang paling kecil sebesar $\pm 0,3$ %. Hasil yang diperoleh pada pengukuran antara *prototype* dan osiloskop DL850 dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil pengukuran arus r.m.s pada beban non linier

Beban non-linier	Arus r.m.s (A)			Kesalahan Relatif <i>Prototype</i>	Kesalahan Relatif FLUKE 43B	Kesalahan Relatif <i>Prototype</i> (%)	Kesalahan Relatif FLUKE 43B (%)
	<i>Prototype</i>	FLUKE 43B	Osiloskop DL850				
2 LHE + 6 lampu pijar	2,15	1,96	2,16	0,0046296	0,0925926	0,462963	9,2592593
2 LHE + 6 lampu pijar	2,14	1,95	2,16	0,0092593	0,0972222	0,9259259	9,7222222
2 LHE + 6 lampu pijar	2,16	1,94	2,16	0	0,1018519	0	10,185185
2 LHE + 6 lampu pijar	2,12	1,94	2,15	0,0139535	0,0976744	1,3953488	9,7674419
2 LHE + 6 lampu pijar	2,11	1,94	2,14	0,0140187	0,0934579	1,4018692	9,3457944
2 LHE + 6 lampu pijar	2,12	1,94	2,15	0,0139535	0,0976744	1,3953488	9,7674419
2 LHE + 6 lampu pijar	2,17	1,94	2,14	0,0140187	0,0934579	1,4018692	9,3457944
2 LHE + 6 lampu pijar	2,14	1,94	2,15	0,0046512	0,0976744	0,4651163	9,7674419
2 LHE + 6 lampu pijar	2,14	1,93	2,16	0,0092593	0,1064815	0,9259259	10,648148
2 LHE + 6 lampu pijar	2,13	1,95	2,15	0,0093023	0,0930233	0,9302326	9,3023256
				0,0093046	0,0971111	0,93046	9,7111055

Pada tabel 4.5, diketahui bahwa kesalahan relatif pengukuran oleh *prototype* terhadap osiloskop DL850 adalah 0,93046 %. Kesalahan relatif pada *prototype* lebih kecil daripada kesalahan relatif pada FLUKE 43B yang mempunyai kesalahan relatif sebesar 9,7111055 %. Kesalahan relatif tersebut masih didalam kesalahan akurasi pada sensor arus ACS712 di *datasheet* [35] yaitu 1,5%. Hal ini berarti, kesalahan relatif *prototype* sebesar 0,93046 % merupakan kesalahan pembacaan arus r.m.s oleh sensor arus ACS712. Kesalahan terbesar pada pengukuran *prototype* terhadap osiloskop DL850 adalah 0 %. Sedangkan kesalahan terkecil pada pengukuran *prototype* terhadap osiloskop sebesar 1,4018692 %.

Nilai arus r.m.s yang tercantum pada *prototype* terlihat berubah – ubah dari 2,11 A sampai 2,17 A sedangkan nilai arus r.m.s yang tercantum pada osiloskop DL850 hanya berubah – ubah dikisaran 2,14 A sampai 2,16 A karena *zero crossing detector* yang mendeteksi titik nol pada sinyal yang memberikan *interrupt* pada STM32F407 untuk mulai mengeksekusi *program* sering terlambat dalam mendeteksi titik nol sehingga sampel data yang diambil mengalami kesalahan yang seharusnya per *cycle* adalah 100

data menjadi 99 atau 98 data. Hal ini terjadi karena sinyal hasil komparator pada rangkaian *zero crossing detector* terdistorsi. Selain itu, kesalahan pembacaan titik nol terjadi karena beban non-linier yang digunakan sebagai beban pengujian merupakan sumber harmonik sehingga sinyal menjadi terdistorsi.

Prototype diatur mengambil data dengan frekuensi sampling sebesar 5000 Hz atau 100 data per *cycle*. Pada osiloskop DL850 memiliki ADC 16 bit dan frekuensi sampling sebesar 200 kHz atau 4000 data per *cycle*. Perbedaan spesifikasi *prototype* dengan osiloskop DL850 dalam pengambilan data per sampel dan resolusi yang dimiliki mengakibatkan terjadinya kesalahan pengukuran arus r.m.s antara *prototype* dengan osiloskop DL850.

4.4.2 Pengujian Pada Beban non-linier dan Motor Induksi

Beban non linier dan motor induksi yang digunakan adalah 2 lampu hemat energi (LHE) dengan merk Philips, 6 lampu pijar dan motor induksi. Pengukuran yang dilakukan oleh *prototype* dibandingkan dengan osiloskop DL850 dan FLUKE 43B.

Berdasarkan data spesifikasi alat ukur standar pada tabel 4.1 maka *prototype* dan FLUKE 43B mengacu pada alat ukur osiloskop DL850 dalam melihat akurasi karena osiloskop DL850 memiliki akurasi pendeteksian arus r.m.s yang paling kecil sebesar $\pm 0,3\%$. Hasil yang diperoleh pada pengukuran antara *prototype* dan osiloskop DL850 dapat dilihat pada tabel 4.6.

Pada tabel 4.6, dapat dilihat bahwa kesalahan relatif *prototype* dengan osiloskop DL850 adalah 5,846143 %, sedangkan kesalahan relatif FLUKE 43B dengan osiloskop DL850 adalah 9,463734 %. Hal ini berarti akurasi pendeteksian arus dari *prototype* lebih baik daripada FLUKE 43B. Kesalahan relatif *prototype* dalam pendeteksian arus melebihi akurasi dari osiloskop DL850 yang mempunyai akurasi sebesar $\pm 0,3\%$ dan melebihi akurasi sensor arus ACS712 sebesar 1,5 % karena ketika melakukan pengujian, tegangan yang disuplai ke motor induksi dibawah rating tegangan sehingga motor induksi tidak beroperasi dengan baik. Selain itu, ketika melakukan pengujian dengan motor induksi sering terjadi suara gesekan yang mungkin dapat menyebabkan

perubahan suplai arus. Motor induksi juga merupakan beban dinamis sehingga mengalami perubahan suplai arus.

Komponen *zero crossing detector* sering terlambat dalam mendeteksi titik nol karena sinyal yang masuk ke rangkaian *zero crossing detector* terdistorsi karena beban non-linier, hal ini mengakibatkan kesalahan pembacaan data yang seharusnya per *cycle* adalah 100 data menjadi 99 atau 98 data. Dari paparan yang sudah disebutkan, mungkin menjadi penyebab kesalahan relatif yang besar antara *prototype* dengan osiloskop DL850 dalam pengujian beban non linier dan beban motor.

Tabel 4.6 Hasil pengukuran arus r.m.s pada beban non linier dan motor Induksi

Beban	Arus r.m.s (A)			Kesalahan Relatif <i>Prototype</i>	Kesalahan Relatif FLUKE 43B	Kesalahan Relatif <i>Prototype</i> (%)	Kesalahan Relatif FLUKE 43B (%)
	<i>Prototype</i>	FLUKE 43B	Osiloskop DL850				
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	2,97	2,52	2,77	0,072202	0,090253	7,220217	9,025271
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	2,96	2,52	2,8	0,057143	0,1	5,714286	10
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	2,98	2,52	2,79	0,0681	0,096774	6,810036	9,677419
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	2,96	2,53	2,82	0,049645	0,102837	4,964539	10,28369
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	2,94	2,54	2,78	0,057554	0,086331	5,755396	8,633094
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	2,92	2,53	2,78	0,05036	0,089928	5,035971	8,992806
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	2,95	2,53	2,78	0,061151	0,089928	6,115108	8,992806
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	2,94	2,52	2,79	0,053763	0,096774	5,376344	9,677419
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	2,94	2,52	2,79	0,053763	0,096774	5,376344	9,677419
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	2,96	2,52	2,79	0,060932	0,096774	6,09319	9,677419
				0,058461	0,094637	5,846143	9,463734

4.5 Pengujian Frekuensi

Beban yang digunakan dalam pengujian ini adalah beban non linier. Penggunaan beban ini karena beban non linier merupakan sumber harmonik sehingga dengan beban non linier ini dapat diketahui kualitas *prototype* dalam mendeteksi kualitas daya ketika sinyal terdistorsi.

4.5.1 Pengujian pada Beban Non Linier

Dalam pengujian frekuensi ini, beban non linier yang digunakan adalah 2 lampu hemat energi (LHE) dengan merk Philips dan 6 lampu pijar. Pengukuran yang dilakukan oleh *prototype* dibandingkan dengan osiloskop DL850 karena osiloskop DL850 memiliki akurasi yang paling baik dalam mendeteksi frekuensi yaitu 0,1 % sesuai tabel 4.1, sedangkan FLUKE 43B memiliki akurasi dalam mendeteksi frekuensi yaitu 0,5 %. Hasil yang diperoleh pada pengukuran antara *prototype*, FLUKE 43B dan osiloskop DL850 dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil pengukuran frekuensi pada beban non linier

Beban non-linier	Frekuensi (Hz)			Kesalahan Relatif <i>Prototype</i>	Kesalahan Relatif FLUKE 43B	Kesalahan Relatif <i>Prototype</i> (%)	Kesalahan Relatif FLUKE 43B (%)
	<i>Prototype</i>	FLUKE 43B	Osiloskop DL850				
2 LHE + 6 lampu pijar	50,25	50,01	50,1	0,002994	0,0017964	0,2994012	0,1796407
2 LHE + 6 lampu pijar	50,28	50,02	50	0,0056	0,0004	0,56	0,04
2 LHE + 6 lampu pijar	50,18	50,01	50	0,0036	0,0002	0,36	0,02
2 LHE + 6 lampu pijar	50,18	50,07	50,03	0,0029982	0,0007995	0,2998201	0,079952
2 LHE + 6 lampu pijar	50,3	50,08	50,08	0,004393	0	0,4392971	0
2 LHE + 6 lampu pijar	50,23	50,13	50,08	0,0029952	0,0009984	0,2995208	0,0998403
2 LHE + 6 lampu pijar	50,23	50,07	50,08	0,0029952	0,0001997	0,2995208	0,0199681
2 LHE + 6 lampu pijar	50,3	50,1	50,08	0,004393	0,0003994	0,4392971	0,0399361
2 LHE + 6 lampu pijar	50,23	50,08	50,06	0,0033959	0,0003995	0,3395925	0,0399521
2 LHE + 6 lampu pijar	50,15	50,12	50,08	0,0013978	0,0007987	0,1397764	0,0798722
				0,0034762	0,0005992	0,3476226	0,0599161

Pada tabel 4.7, diketahui bahwa kesalahan relatif pengukuran frekuensi oleh *prototype* terhadap osiloskop DL850 adalah 0,3476226 % sedangkan kesalahan relatif pengukuran frekuensi FLUKE 43B terhadap osiloskop DL850 adalah 0,0599161 %. Kesalahan relatif pengukuran *prototype* tersebut melebihi akurasi pada osiloskop DL850 di *datasheet* [36] yaitu 0,1%. Hal ini berarti, kesalahan relatif *prototype* terjadi karena perbedaan spesifikasi komponen. Spesifikasi komponen mempengaruhi kinerja dari pengukuran frekuensi pada *prototype* karena apabila salah satu komponen *prototype* seperti rangkaian *zero crossing detector* terjadi kesalahan akibat nilai resistor variabel yang tidak presisi di rangkaian *zero crossing detector* atau komponen yang sedikit rusak sehingga *zero crossing detector* yang mendeteksi titik nol pada sinyal yang memberikan *interrupt* pada STM32F407 untuk mulai mengeksekusi *program* sering terlambat dalam mendeteksi titik nol sehingga sampel data yang diambil mengalami kesalahan. Selain itu, pada *prototype* dalam mendeteksi frekuensi diatur dengan frekuensi sampling sebesar 100.000 Hz, hal ini mungkin mempunyai frekuensi sampling yang lebih kecil daripada osiloskop DL850 dan FLUKE 43B.

4.5.2. Pengujian pada Beban Non Linier dan Motor Induksi

Dalam pengujian frekuensi ini, beban non linier dan motor induksi yang digunakan adalah 2 lampu hemat energi (LHE) dengan merk Philips, 6 lampu pijar dan motor induksi. Pengukuran yang dilakukan oleh *prototype* dibandingkan dengan osiloskop DL850 karena osiloskop DL850 memiliki akurasi yang paling baik dalam mendeteksi frekuensi yaitu 0,1 % sesuai tabel 4.1, sedangkan FLUKE 43B memiliki akurasi dalam mendeteksi frekuensi yaitu 0,5 %. Hasil yang diperoleh pada pengukuran antara *prototype*, FLUKE 43B dan osiloskop DL850 dapat dilihat pada tabel 4.8.

Pada tabel 4.8, diketahui bahwa kesalahan relatif pengukuran frekuensi oleh *prototype* terhadap osiloskop DL850 adalah 0,39566 % sedangkan kesalahan relatif pengukuran frekuensi FLUKE 43B terhadap osiloskop DL850 adalah 0,1838045 %. Kesalahan relatif pengukuran *prototype* tersebut melebihi akurasi pada osiloskop DL850 di *datasheet* [36] yaitu 0,1%. Hal ini berarti, kesalahan relatif *prototype* terjadi karena perbedaan spesifikasi komponen.

Spesifikasi komponen mempengaruhi kinerja dari pengukuran frekuensi pada *prototype* karena apabila salah satu komponen *prototype* seperti rangkaian *zero crossing detector* terjadi kesalahan akibat nilai resistor variabel yang tidak presisi di rangkaian *zero crossing detector* atau komponen yang sedikit rusak sehingga *zero crossing detector* yang mendeteksi titik nol pada sinyal yang memberikan *interrupt* pada STM32F407 untuk mulai mengeksekusi *program* sering terlambat dalam mendeteksi titik nol sehingga sampel data yang diambil mengalami kesalahan. Selain itu, pada *prototype* dalam mendeteksi frekuensi diatur dengan frekuensi sampling sebesar 100.000 Hz, hal ini mungkin mempunyai frekuensi sampling yang lebih kecil daripada osiloskop DL850 dan FLUKE 43B.

Tabel 4.8 Hasil pengukuran frekuensi pada beban non linier dan motor induksi

Beban	Frekuensi (Hz)			Kesalahan Relatif <i>Prototype</i>	Kesalahan Relatif FLUKE 43B	Kesalahan Relatif <i>Prototype</i> (%)	Kesalahan Relatif FLUKE 43B (%)
	<i>Prototype</i>	FLUKE 43B	Osiloskop DL850				
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	50,3	50,08	50,13	0,0033912	0,0009974	0,3391183	0,0997407
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	50,28	50,13	50,13	0,0029922	0	0,299222	0
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	50,33	50,21	50,18	0,0029892	0,0005978	0,2989239	0,0597848
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	50,35	50,13	50,11	0,0047895	0,0003991	0,4789463	0,0399122
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	50,25	50,03	50,05	0,003996	0,0003996	0,3996004	0,03996
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	50,3	50,08	50,17	0,0025912	0,0017939	0,259119	0,1793901
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	50,28	50,08	50,07	0,0041941	0,0001997	0,4194128	0,019972
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	50,35	50,21	50,21	0,0027883	0	0,2788289	0
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	50,3	50,13	50,2	0,001992	0,0013944	0,1992032	0,1394422
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	50,3	50,16	50,8	0,0098425	0,0125984	0,984252	1,2598425
				0,0039566	0,001838	0,3956627	0,1838045

4.6 Pengujian Faktor Daya

Beban yang digunakan dalam pengujian ini adalah beban non linier. Penggunaan beban ini karena beban non linier merupakan sumber harmonik sehingga dengan beban non linier ini dapat diketahui kualitas *prototype* dalam mendeteksi kualitas daya ketika sinyal terdistorsi.

4.6.1 Pengujian pada Beban Non Linier

Dalam pengujian faktor daya ini, beban non linier yang digunakan adalah 2 lampu hemat energi (LHE) dengan merk Philips dan 6 lampu pijar. Pengukuran yang dilakukan oleh *prototype* dibandingkan dengan FLUKE 43B. Berdasarkan data spesifikasi alat ukur standar pada tabel 4.1, FLUKE 43B memiliki akurasi pendeteksian faktor daya sebesar $\pm 0,04 \%$. Hasil yang diperoleh pada pengukuran antara *prototype* dan FLUKE 43B dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil pengukuran faktor daya pada beban non linier

Beban non-linier	Sudut beda fasa (°)	Faktor daya		Kesalahan Relatif <i>Prototype</i>	Kesalahan Relatif <i>Prototype</i> (%)
	<i>Prototype</i>	<i>prototype</i>	FLUKE 43B		
2 LHE + 6 lampu pijar	0	0,995	0,99	0,005051	0,505051
2 LHE + 6 lampu pijar	0	0,994	0,99	0,00404	0,40404
2 LHE + 6 lampu pijar	0	0,994	0,99	0,00404	0,40404
2 LHE + 6 lampu pijar	0	0,995	0,99	0,005051	0,505051
2 LHE + 6 lampu pijar	0	0,994	0,99	0,00404	0,40404
2 LHE + 6 lampu pijar	0	0,994	0,99	0,00404	0,40404
2 LHE + 6 lampu pijar	0	0,995	0,99	0,005051	0,505051
2 LHE + 6 lampu pijar	0	0,995	0,99	0,00404	0,40404
2 LHE + 6 lampu pijar	0	0,994	0,99	0,005051	0,505051
2 LHE + 6 lampu pijar	0	0,994	0,99	0,00404	0,40404
				0,004444	0,444444

Pada tabel 4.9, dapat diketahui bahwa kesalahan relatif pengukuran faktor daya pada *prototype* terhadap FLUKE 43B adalah 1,01 %. Kesalahan tersebut melebihi akurasi faktor daya pada FLUKE 43 seperti ditabel 4.1 yaitu 0,04 %. Kesalahan relatif tersebut jika lebih dicermati dapat diketahui bahwa pengujian dilakukan pada beban non linier menghasilkan sudut fasa 0 tetapi *prototype* dan FLUKE 43B menghasilkan faktor daya kurang dari 1 karena adanya distorsi sinyal sehingga faktor daya yang benar perhitungannya menggunakan *distortion power factor*.

4.6.2 Pengujian pada Beban Non Linier dan Motor Induksi

Dalam pengujian faktor daya ini, beban non linier yang digunakan adalah 2 lampu hemat energi (LHE) dengan merk Philips, 6 lampu pijar dan motor induksi. Pengukuran yang dilakukan oleh *prototype* dibandingkan dengan FLUKE 43B. Berdasarkan data spesifikasi alat ukur standar pada tabel 4.1, FLUKE 43B memiliki akurasi pendeteksian faktor daya sebesar $\pm 0,04$ %. Hasil yang diperoleh pada pengukuran antara *prototype* dan FLUKE 43B dapat dilihat pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil pengukuran faktor daya pada beban non linier dan motor induksi

Beban	Sudut beda fasa (°)	Faktor daya		Kesalahan Relatif <i>Prototype</i>	Kesalahan Relatif <i>Prototype</i> (%)
	<i>Prototype</i>	<i>prototype</i>	FLUKE 43B		
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	11,53	0,98	0,99	0,01	1,01
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	9,66	0,98	0,99	0,01	1,01
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	9,82	0,98	0,99	0,01	1,01
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	9,85	0,98	0,99	0,01	1,01
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	10,68	0,98	0,99	0,01	1,01
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	10,43	0,98	0,99	0,01	1,01
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	10,61	0,98	0,99	0,01	1,01
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	10,89	0,98	0,99	0,01	1,01
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	10,57	0,98	0,99	0,01	1,01
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	10,87	0,98	0,99	0,01	1,01
				0,01	1,01

Pada tabel 4.10, dapat diketahui bahwa kesalahan relatif pengukuran faktor daya pada *prototype* terhadap FLUKE 43B adalah 1,5 %. Kesalahan tersebut melebihi akurasi faktor daya pada FLUKE 43 seperti ditabel 4.1 yaitu 0,04 %.

4.7. Pengujian Daya Aktif

Beban yang digunakan dalam pengujian ini adalah beban non linier. Penggunaan beban ini karena beban non linier merupakan sumber harmonik sehingga dengan beban non linier ini dapat diketahui kualitas *prototype* dalam mendeteksi kualitas daya ketika sinyal terdistorsi.

4.7.1. Pengujian Pada Beban Non Linier

Dalam pengujian daya aktif ini, beban non linier yang digunakan adalah 2 lampu hemat energi (LHE) dengan merk Philips dan 6 lampu pijar. Pengukuran yang dilakukan oleh *prototype* dibandingkan dengan FLUKE 43B. Berdasarkan data spesifikasi alat ukur standar pada tabel 4.1, FLUKE 43B memiliki akurasi pendeteksian daya aktif sebesar $\pm 2\%$. Hasil yang diperoleh pada pengukuran antara *prototype* dan FLUKE 43B dapat dilihat pada tabel 4.11.

Pada tabel 4.11, kesalahan relatif pengukuran daya aktif dari *prototype* terhadap FLUKE 43B adalah 13,53692 %. Kesalahan relatif dari *prototype* berada diluar akurasi pengukuran FLUKE 43B sebesar $\pm 2\%$. Kesalahan relatif dari *prototype* tersebut jika lebih dicermati pada tabel 4.11 terlihat bahwa FLUKE 43B seperti pada *datasheet* [37] untuk daya lebih dari 250 Watt maka FLUKE 43B menggunakan besaran kW sehingga besaran satuan diabaikan. Hal ini berarti bahwa kesalahan *prototype* yang berada diluar kesalahan akurasi FLUKE 43B disebabkan oleh besaran satuan daya aktif yang diabaikan.

Kesalahan relatif pengukuran daya aktif dari *prototype* terhadap FLUKE 43B juga disebabkan karena pengujian dilakukan pada beban non linier menghasilkan sudut fasa 0 tetapi *prototype* dan FLUKE 43B menghasilkan faktor daya kurang dari 1 karena

adanya distorsi sinyal sehingga faktor daya yang benar perhitungannya menggunakan *distortion power factor*.

Tabel 4.11 Hasil pengukuran daya aktif pada beban non linier

Beban non-linier	Daya Aktif (Watt)		Kesalahan Relatif <i>Prototype</i>	Kesalahan Relatif <i>Prototype</i> (%)
	<i>prototype</i>	FLUKE 43B		
2 LHE + 6 lampu pijar	440,63	390	0,13	12,98
2 LHE + 6 lampu pijar	441,98	390	0,133	13,33
2 LHE + 6 lampu pijar	445,02	390	0,141	14,11
2 LHE + 6 lampu pijar	437,91	390	0,123	12,28
2 LHE + 6 lampu pijar	434,85	390	0,115	11,5
2 LHE + 6 lampu pijar	436,40	390	0,119	11,9
2 LHE + 6 lampu pijar	448,06	390	0,149	14,89
2 LHE + 6 lampu pijar	440,19	390	0,129	12,87
2 LHE + 6 lampu pijar	440,67	390	0,13	12,99
2 LHE + 6 lampu pijar	438,79	390	0,125	12,51
			0,129	12,94

4.7.2. Pengujian Pada Beban Non Linier dan Motor Induksi

Dalam pengujian daya aktif ini, beban non linier dan motor induksi yang digunakan adalah 2 lampu hemat energi (LHE) dengan merk Philips, 6 lampu pijar dan motor induksi. Pengukuran yang dilakukan oleh *prototype* dibandingkan dengan FLUKE 43B. Berdasarkan data spesifikasi alat ukur standar pada tabel 4.1, FLUKE 43B memiliki akurasi pendeteksian daya aktif sebesar $\pm 2\%$. Hasil yang diperoleh pada pengukuran antara *prototype* dan FLUKE 43B dapat dilihat pada tabel 4.12.

Pada tabel 4.12, kesalahan relatif pengukuran daya aktif dari *prototype* terhadap FLUKE 43B adalah 15,86353 %. Kesalahan relatif dari *prototype* melebihi akurasi

pengukuran FLUKE 43B sebesar $\pm 2\%$. Kesalahan relatif dari *prototype* tersebut jika lebih dicermati pada tabel 4.12 terlihat bahwa FLUKE 43B seperti pada *datasheet* [37] untuk daya aktif lebih dari 250 Watt maka FLUKE 43B menggunakan besaran kW sehingga besaran satuan diabaikan. Hal ini berarti bahwa kesalahan *prototype* yang berada diluar kesalahan akurasi FLUKE 43B disebabkan oleh besaran satuan daya aktif yang diabaikan.

Kesalahan relatif pengukuran daya aktif dari *prototype* terhadap FLUKE 43B juga disebabkan karena pengujian dilakukan pada beban non linier dan motor induksi terdapat distorsi sinyal sehingga faktor daya yang benar perhitungannya menggunakan *distortion power factor*.

Tabel 4.12 Hasil pengukuran daya aktif pada beban non linier dan motor induksi

Beban	Daya Aktif (Watt)		Kesalahan Relatif <i>Prototype</i>	Kesalahan Relatif <i>Prototype</i> (%)
	<i>prototype</i>	FLUKE 43B		
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	589,5	510	0,156	15,58
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	590,4	510	0,158	15,77
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	595,3	510	0,167	16,72
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	593,1	510	0,163	16,28
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	586,1	510	0,149	14,93
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	585,6	510	0,148	14,82
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	587,6	510	0,152	15,21
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	584,4	510	0,146	14,6
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	584,8	510	0,147	14,66
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	589,4	510	0,156	15,57
			0,154	15,41

4.8. Pengujian Daya Reaktif

Beban yang digunakan dalam pengujian ini adalah beban non linier. Penggunaan beban ini karena beban non linier merupakan sumber harmonik sehingga dengan beban non linier ini dapat diketahui kualitas *prototype* dalam mendeteksi kualitas daya ketika sinyal terdistorsi.

4.8.1 Pengujian Pada Beban Non Linier

Dalam pengujian daya reaktif ini, beban non linier yang digunakan adalah 2 lampu hemat energi (LHE) dengan merk Philips dan 6 lampu pijar. Pengukuran yang dilakukan oleh *prototype* dibandingkan dengan FLUKE 43B. Berdasarkan data spesifikasi alat ukur standar pada tabel 4.1, FLUKE 43B memiliki akurasi pendeteksian daya reaktif sebesar $\pm 2\%$. Hasil yang diperoleh pada pengukuran antara *prototype* dan FLUKE 43B dapat dilihat pada tabel 4.13.

Tabel 4.13 Hasil pengukuran daya reaktif pada beban non linier

Beban non-linier	Daya Reaktif (Var)		Kesalahan Relatif	Kesalahan Relatif
	<i>prototype</i>	FLUKE 43B	<i>Prototype</i>	<i>Prototype (%)</i>
2 LHE + 6 lampu pijar	45,62	60	0,24	23,97
2 LHE + 6 lampu pijar	47,84	60	0,203	20,27
2 LHE + 6 lampu pijar	48,59	60	0,19	19,02
2 LHE + 6 lampu pijar	46,02	60	0,233	23,3
2 LHE + 6 lampu pijar	47,18	60	0,214	21,37
2 LHE + 6 lampu pijar	47,44	60	0,209	20,93
2 LHE + 6 lampu pijar	46,72	60	0,221	22,13
2 LHE + 6 lampu pijar	48,10	60	0,198	19,83
2 LHE + 6 lampu pijar	45,62	60	0,24	23,97
2 LHE + 6 lampu pijar	46,53	60	0,225	22,45

Pada tabel 4.13, kesalahan relatif pengukuran daya reaktif dari *prototype* terhadap FLUKE 43B adalah 22,45 %. Kesalahan relatif dari *prototype* melebihi akurasi pengukuran FLUKE 43B sebesar ± 2 %.

4.8.2 Pengujian Pada Beban Non Linier dan Motor Induksi

Dalam pengujian daya reaktif ini, beban non linier yang digunakan adalah 2 lampu hemat energi (LHE) dengan merk Philips, 6 lampu pijar dan motor induksi. Pengukuran yang dilakukan oleh *prototype* dibandingkan dengan FLUKE 43B. Berdasarkan data spesifikasi alat ukur standar pada tabel 4.1, FLUKE 43B memiliki akurasi pendeteksian daya reaktif sebesar ± 2 %. Hasil yang diperoleh pada pengukuran antara *prototype* dan FLUKE 43B dapat dilihat pada tabel 4.14.

Tabel 4.14 Hasil pengukuran daya reaktif pada beban non linier dan motor induksi

Beban	Daya Reaktif (Var)		Kesalahan	Kesalahan
	<i>prototype</i>	FLUKE 43B	Relatif <i>Prototype</i>	Relatif <i>Prototype</i> (%)
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	53,15	50	0,063	6,3
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	52,45	50	0,049	4,9
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	53,14	50	0,063	6,28
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	52,83	50	0,057	5,66
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	51,17	50	0,023	2,34
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	52,08	50	0,042	4,16
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	53,33	50	0,067	6,66
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	52,26	50	0,045	4,52
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	50,59	50	0,012	1,18
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	50,1	50	0,002	0,2
			0,042	4,22

Pada tabel 4.14, kesalahan relatif pengukuran daya reaktif dari *prototype* terhadap FLUKE 43B adalah 4,22 %. Kesalahan relatif dari *prototype* melebihi akurasi pengukuran FLUKE 43B sebesar ± 2 %.

4.9. Pengujian Daya Semu

Beban yang digunakan dalam pengujian ini adalah beban non linier. Penggunaan beban ini karena beban non linier merupakan sumber harmonik sehingga dengan beban non linier ini dapat diketahui kualitas *prototype* dalam mendeteksi kualitas daya ketika sinyal terdistorsi.

4.9.1 Pengujian pada Beban Non Linier

Dalam pengujian daya semu ini, beban non linier yang digunakan adalah 2 lampu hemat energi (LHE) dengan merk Philips dan 6 lampu pijar. Pengukuran yang dilakukan oleh *prototype* dibandingkan dengan FLUKE 43B. Berdasarkan data spesifikasi alat ukur standar pada tabel 4.1, FLUKE 43B memiliki akurasi pendeteksian daya semu sebesar $\pm 2\%$. Hasil yang diperoleh pada pengukuran antara *prototype* dan FLUKE 43B dapat dilihat pada tabel 4.15.

Tabel 4.15 Hasil pengukuran daya semu pada beban non linier

Beban non-linier	Daya Semu (VA)		Kesalahan Relatif	Kesalahan Relatif
	<i>prototype</i>	FLUKE 43B	<i>Prototype</i>	<i>Prototype (%)</i>
2 LHE + 6 lampu pijar	442,68	400	0,1067	10,67
2 LHE + 6 lampu pijar	442,22	400	0,10555	10,555
2 LHE + 6 lampu pijar	447,71	400	0,119275	11,9275
2 LHE + 6 lampu pijar	441,09	400	0,102725	10,2725
2 LHE + 6 lampu pijar	439,5	400	0,09875	9,875
2 LHE + 6 lampu pijar	436,67	400	0,091675	9,1675
2 LHE + 6 lampu pijar	451,8	400	0,1295	12,95
2 LHE + 6 lampu pijar	442,36	400	0,1059	10,59
2 LHE + 6 lampu pijar	443,4	400	0,1085	10,85
2 LHE + 6 lampu pijar	440,39	400	0,100975	10,0975
			0,106955	10,6955

Pada tabel 4.15, Kesalahan relatif pengukuran daya semu dari *prototype* terhadap FLUKE 43B adalah 10,6955 %. Kesalahan relatif dari *prototype* melebihi akurasi pengukuran FLUKE 43B sebesar ± 2 %. Kesalahan relatif dari *prototype* tersebut jika lebih dicermati pada tabel 4.15 terlihat bahwa FLUKE 43B seperti pada *datasheet* [37] untuk daya lebih dari 250 VA maka FLUKE 43B menggunakan besaran kVA sehingga besaran satuan diabaikan. Hal ini berarti bahwa kesalahan *prototype* yang melebihi kesalahan akurasi FLUKE 43B disebabkan oleh besaran satuan daya semu yang diabaikan.

4.9.2 Pengujian pada Beban Non Linier dan Motor Induksi

Dalam pengujian daya semu ini, beban yang digunakan adalah 2 lampu hemat energi (LHE) dengan merk Philips, 6 lampu pijar dan motor induksi. Pengukuran yang dilakukan oleh *prototype* dibandingkan dengan FLUKE 43B. Berdasarkan data spesifikasi alat ukur standar pada tabel 4.1, FLUKE 43B memiliki akurasi pendeteksian daya semu sebesar ± 2 %.

Hasil yang diperoleh pada pengukuran antara *prototype* dan FLUKE 43B dapat dilihat pada tabel 4.16. Kesalahan relatif pengukuran daya semu dari *prototype* terhadap FLUKE 43B adalah 15,52462 %. Kesalahan relatif dari *prototype* melebihi akurasi pengukuran FLUKE 43B sebesar ± 2 %.

Kesalahan relatif dari *prototype* tersebut jika lebih dicermati pada tabel 4.16 terlihat bahwa FLUKE 43B seperti pada *datasheet* [37] untuk daya lebih dari 250 VA maka FLUKE 43B menggunakan besaran kVA sehingga besaran satuan diabaikan. Hal ini berarti bahwa kesalahan *prototype* yang melebihi kesalahan akurasi FLUKE 43B disebabkan oleh besaran satuan daya semu yang diabaikan.

Tabel 4.16 Hasil pengukuran daya semu pada beban non linier dan motor induksi

Beban	Daya Semu (VA)		Kesalahan Relatif	Kesalahan Relatif
	<i>prototype</i>	FLUKE 43B	<i>Prototype</i>	<i>Prototype (%)</i>
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	602,5	520	0,158654	15,86538
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	602,5	520	0,158654	15,86538
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	607	520	0,167308	16,73077
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	605,01	520	0,163481	16,34808
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	599,19	520	0,152288	15,22885
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	597,18	520	0,148423	14,84231
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	600,69	520	0,155173	15,51731
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	596,57	520	0,14725	14,725
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	596,52	520	0,147154	14,71538
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	600,12	520	0,154077	15,40769
			0,155246	15,52462

4.10. Pengujian THD_i

Beban yang digunakan dalam pengujian ini adalah beban non linier. Penggunaan beban ini karena beban non linier merupakan sumber harmonik sehingga dengan beban non linier ini dapat diketahui kualitas *prototype* dalam mendeteksi kualitas daya ketika sinyal terdistorsi.

4.10.1 Pengujian pada Beban Non Linier

Dalam pengujian THD_i ini, beban yang digunakan adalah 2 lampu hemat energi (LHE) dengan merk Philips dan 6 lampu pijar. Pengukuran yang dilakukan oleh *prototype* dibandingkan dengan FLUKE 43B. Berdasarkan data spesifikasi alat ukur standar pada tabel 4.1, FLUKE 43B memiliki akurasi pendeteksian THD_i sebesar ± 2

% untuk frekuensi fundamental, ± 5 % untuk harmonik ke 2 sampai harmonik ke 31 dan ± 15 % untuk harmonik ke 31 sampai harmonik ke 50. *Prototype* dibuat memiliki 2 hasil pengukuran THD_i yaitu menggunakan metode DFT dan metode FST. Hasil yang diperoleh pada pengukuran antara *prototype* dan FLUKE 43B dapat dilihat pada tabel 4.17.

Tabel 4.17 Hasil pengukuran THD_i pada beban non linier

Beban non-linier	THD _i (%)			Kesalahan Relatif FST	Kesalahan Relatif DFT	Kesalahan Relatif FST (%)	Kesalahan Relatif DFT (%)
	FST	DFT	FLUKE 43B				
2 LHE + 6 lampu pijar	10,353	10,779	10,3	0,005146	0,046505	0,514563	4,650485
2 LHE + 6 lampu pijar	10,825	10,988	10,8	0,002315	0,017407	0,231481	1,740741
2 LHE + 6 lampu pijar	10,919	11,112	10,9	0,001743	0,01945	0,174312	1,944954
2 LHE + 6 lampu pijar	10,508	10,867	10,5	0,000762	0,034952	0,07619	3,495238
2 LHE + 6 lampu pijar	10,85	10,974	10,8	0,00463	0,016111	0,462963	1,611111
2 LHE + 6 lampu pijar	10,872	11,172	10,9	0,002569	0,024954	0,256881	2,495413
2 LHE + 6 lampu pijar	10,427	10,893	10,4	0,002596	0,047404	0,259615	4,740385
2 LHE + 6 lampu pijar	10,926	11,104	10,9	0,002385	0,018716	0,238532	1,87156
2 LHE + 6 lampu pijar	10,353	10,976	10,2	0,015	0,076078	1,5	7,607843
2 LHE + 6 lampu pijar	10,603	10,99	10,6	0,000283	0,036792	0,028302	3,679245
				0,003743	0,033837	0,374284	3,383698

Pada tabel 4.17, hasil pengukuran THD_i oleh *prototype* menggunakan metode FST dibandingkan terhadap FLUKE 43B memiliki kesalahan relatif sebesar 0,374284 % sedangkan menggunakan metode DFT memiliki kesalahan relatif sebesar 3,374284 %. *Prototype* menggunakan metode FST memiliki kesalahan relatif yang sangat kecil dibandingkan dengan FLUKE 43B sedangkan metode DFT memiliki kesalahan relatif yang cukup besar.

Pada tabel 4.17, dapat diketahui bahwa metode FST memiliki nilai pengukuran THD_i yang lebih kecil daripada metode DFT karena metode FST mempunyai kemampuan dengan benar dalam pengukuran dibawah kondisi lingkungan yang *noise*.

FST mempunyai toleransi yang tinggi pada *noise* dan menjamin akurasi yang memuaskan [12-14]. Selain itu, FST memiliki *window Gaussian* yang mencegah kebocoran sinyal akibat *noise* sehingga akurasi yang didapatkan metode FST lebih baik dalam pengukuran THD_i daripada metode DFT.

Pada *prototype* dalam mendeteksi THD_i dengan frekuensi sampling 5000 Hz untuk proses FST sehingga mampu mendeteksi harmonik ke 50. Sedangkan FLUKE 43B mempunyai spesifikasi mampu mendeteksi sampai harmonik ke 50 sehingga *prototype* memiliki spesifikasi yang sesuai dengan FLUKE 43B dalam mendeteksi harmonik arus.

4.10.2 Pengujian pada Beban Non Linier dan Motor Induksi

Dalam pengujian THD_i ini, beban yang digunakan adalah 2 lampu hemat energi (LHE) dengan merk Philips, 6 lampu pijar dan motor induksi. Pengukuran yang dilakukan oleh *prototype* dibandingkan dengan FLUKE 43B. Berdasarkan data spesifikasi alat ukur standar pada tabel 4.1, FLUKE 43B memiliki akurasi pendeteksian THD_i sebesar $\pm 2\%$ untuk frekuensi fundamental, $\pm 5\%$ untuk harmonik ke 2 sampai harmonik ke 31 dan $\pm 15\%$ untuk harmonik ke 31 sampai harmonik ke 50. *Prototype* dibuat memiliki 2 hasil pengukuran THD_i yaitu menggunakan metode DFT dan metode FST. Hasil yang diperoleh pada pengukuran antara *prototype* dan FLUKE 43B dapat dilihat pada tabel 4.18.

Pada tabel 4.18, hasil pengukuran THD_i oleh *prototype* menggunakan metode FST dibandingkan terhadap FLUKE 43B memiliki kesalahan relatif sebesar 0,548021 % sedangkan menggunakan metode DFT memiliki kesalahan relatif sebesar 3,704522 %. *Prototype* menggunakan metode FST memiliki kesalahan relatif yang sangat kecil dibandingkan dengan FLUKE 43B sedangkan metode DFT memiliki kesalahan relatif yang cukup besar. Pada tabel 4.18, dapat diketahui bahwa metode FST memiliki nilai pengukuran THD_i yang lebih kecil daripada metode DFT karena metode FST mempunyai kemampuan dengan benar dalam pengukuran dibawah kondisi lingkungan yang *noise*. FST mempunyai toleransi yang tinggi pada *noise* dan menjamin akurasi yang memuaskan [12-14]. Selain itu, FST memiliki *window Gaussian* yang mencegah

kebocoran sinyal akibat *noise* sehingga akurasi yang didapatkan metode FST lebih baik dalam pengukuran THD_i daripada metode DFT.

Pada *prototype* dalam mendeteksi THD_i dengan frekuensi sampling 5000 Hz untuk proses FST sehingga mampu mendeteksi harmonik ke 50. Sedangkan FLUKE 43B mempunyai spesifikasi mampu mendeteksi sampai harmonik ke 50 sehingga *prototype* memiliki spesifikasi yang sesuai dengan FLUKE 43B dalam mendeteksi harmonik arus.

Tabel 4.18 Hasil pengukuran THD_i pada beban non linier dan motor induksi

Beban non-linier	THD _i (%)			Kesalahan Relatif FST	Kesalahan Relatif DFT	Kesalahan Relatif FST (%)	Kesalahan Relatif DFT (%)
	FST	DFT	FLUKE 43B				
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	9,017	9,256	9	0,001889	0,028444	0,188889	2,844444
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	8,884	9,073	8,8	0,009545	0,031023	0,954545	3,102273
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	8,927	9,188	8,9	0,003034	0,03236	0,303371	3,235955
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	8,909	9,184	8,9	0,001011	0,03191	0,101124	3,191011
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	8,731	9,183	8,7	0,003563	0,055517	0,356322	5,551724
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	8,893	9,117	8,8	0,010568	0,036023	1,056818	3,602273
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	9,076	9,238	9,1	0,002637	0,015165	0,263736	1,516484
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	8,942	9,165	8,9	0,004719	0,029775	0,47191	2,977528
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	8,651	8,988	8,6	0,00593	0,045116	0,593023	4,511628
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	8,5	8,947	8,4	0,011905	0,065119	1,190476	6,511905
				0,00548	0,037045	0,548021	3,704522

4.11. Pengujian THD_v

Beban yang digunakan dalam pengujian ini adalah beban non linier. Penggunaan beban ini karena beban non linier merupakan sumber harmonik sehingga dengan beban

non linier ini dapat diketahui kualitas *prototype* dalam mendeteksi kualitas daya ketika sinyal terdistorsi.

4.11.1 Pengujian pada Beban Non Linier

Dalam pengujian THD_v ini, beban yang digunakan adalah 2 lampu hemat energi (LHE) dengan merk Philips dan 6 lampu pijar. Pengukuran yang dilakukan oleh *prototype* dibandingkan dengan FLUKE 43B. Berdasarkan data spesifikasi alat ukur standar pada tabel 4.1, FLUKE 43B memiliki akurasi pendeteksian THD_v sebesar $\pm 2\%$ untuk frekuensi fundamental, $\pm 5\%$ untuk harmonik ke 2 sampai harmonik ke 31 dan $\pm 15\%$ untuk harmonik ke 31 sampai harmonik ke 50. *Prototype* dibuat memiliki 2 hasil pengukuran THD_v yaitu menggunakan metode DFT dan metode FST. Hasil yang diperoleh pada pengukuran antara *prototype* dan FLUKE 43B dapat dilihat pada tabel 4.19.

Pada tabel 4.19, hasil pengukuran THD_v oleh *prototype* menggunakan metode FST dibandingkan terhadap FLUKE 43B memiliki kesalahan relatif sebesar 3,052288 % sedangkan menggunakan metode DFT memiliki kesalahan relatif sebesar 16,81332 %. *Prototype* menggunakan metode FST memiliki kesalahan relatif yang kecil dibandingkan dengan FLUKE 43B sedangkan metode DFT memiliki kesalahan relatif yang sangat besar. Nilai pengukuran THD_v mempunyai kesalahan relatif yang lebih besar daripada nilai pengukuran THD_i karena beban non linier yang digunakan sebagai pengujian menghasilkan nilai THD_v yang kecil sehingga mengakibatkan kesalahan relatif pada *prototype* menjadi semakin besar. Pada tabel 4.19, dapat diketahui bahwa metode FST memiliki nilai pengukuran THD_v yang lebih kecil daripada metode DFT karena metode FST mempunyai kemampuan dengan benar dalam pengukuran dibawah kondisi lingkungan yang *noise*. FST mempunyai toleransi yang tinggi pada *noise* dan menjamin akurasi yang memuaskan [12-14]. Selain itu, FST memiliki *window Gaussian* yang mencegah kebocoran sinyal akibat *noise* sehingga akurasi yang didapatkan metode FST lebih baik dalam pengukuran THD_v daripada metode DFT.

Pada *prototype* dalam mendeteksi THD_v dengan frekuensi sampling 5000 Hz untuk proses FST sehingga mampu mendeteksi harmonik ke 50. Sedangkan FLUKE 43B

mempunyai spesifikasi mampu mendeteksi sampai harmonik ke 50 sehingga *prototype* memiliki spesifikasi yang sesuai dengan FLUKE 43B dalam mendeteksi harmonik tegangan.

Tabel 4.19 Hasil pengukuran THD_v pada beban non linier

Beban	THD _v (%)			Kesalahan Relatif FST	Kesalahan Relatif DFT	Kesalahan Relatif FST (%)	Kesalahan Relatif DFT (%)
	FST	DFT	FLUKE 43B				
2 LHE + 6 lampu pijar	1,75	1,98	1,7	0,029412	0,164706	2,941176	16,47059
2 LHE + 6 lampu pijar	1,76	1,96	1,7	0,035294	0,152941	3,529412	15,29412
2 LHE + 6 lampu pijar	1,76	1,96	1,7	0,035294	0,152941	3,529412	15,29412
2 LHE + 6 lampu pijar	1,68	1,91	1,6	0,05	0,19375	5	19,375
2 LHE + 6 lampu pijar	1,82	2,06	1,8	0,011111	0,144444	1,111111	14,44444
2 LHE + 6 lampu pijar	1,77	2,03	1,7	0,041176	0,194118	4,117647	19,41176
2 LHE + 6 lampu pijar	1,83	2,07	1,8	0,016667	0,15	1,666667	15
2 LHE + 6 lampu pijar	1,79	2,06	1,7	0,052941	0,211765	5,294118	21,17647
2 LHE + 6 lampu pijar	1,83	2,08	1,8	0,016667	0,155556	1,666667	15,55556
2 LHE + 6 lampu pijar	1,83	2,09	1,8	0,016667	0,161111	1,666667	16,11111
				0,030523	0,168133	3,052288	16,81332

4.11.2 Pengujian pada Beban Non Linier dan Motor Induksi

Dalam pengujian THD_i ini, beban yang digunakan adalah 2 lampu hemat energi (LHE) dengan merk Philips, 6 lampu pijar dan motor induksi. Pengukuran yang dilakukan oleh *prototype* dibandingkan dengan FLUKE 43B. Berdasarkan data spesifikasi alat ukur standar pada tabel 4.1, FLUKE 43B memiliki akurasi pendeteksian THD_i sebesar $\pm 2\%$ untuk frekuensi fundamental, $\pm 5\%$ untuk harmonik ke 2 sampai harmonik ke 31 dan $\pm 15\%$ untuk harmonik ke 31 sampai harmonik ke 50. *Prototype* dibuat memiliki 2 hasil pengukuran THD_v yaitu menggunakan metode DFT dan

metode FST. Hasil yang diperoleh pada pengukuran antara *prototype* dan FLUKE 43B dapat dilihat pada tabel 4.20.

Tabel 4.20 Hasil pengukuran THD_v pada beban non linier dan motor induksi

Beban non-linier	THD _v (%)			Kesalahan Relatif FST	Kesalahan Relatif DFT	Kesalahan Relatif FST (%)	Kesalahan Relatif DFT (%)
	FST	DFT	FLUKE 43B				
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	1,69	1,88	1,6	0,05625	0,175	5,625	17,5
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	1,67	1,8	1,6	0,04375	0,125	4,375	12,5
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	1,72	1,85	1,6	0,075	0,15625	7,5	15,625
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	1,71	1,99	1,7	0,005882	0,170588	0,588235	17,05882
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	1,72	1,94	1,7	0,011765	0,141176	1,176471	14,11765
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	1,71	1,97	1,6	0,06875	0,23125	6,875	23,125
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	1,75	2,03	1,6	0,09375	0,26875	9,375	26,875
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	1,79	2,02	1,7	0,052941	0,188235	5,294118	18,82353
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	1,75	2,03	1,6	0,09375	0,26875	9,375	26,875
2 LHE + 6 lampu pijar + motor induksi	1,81	2	1,8	0,005556	0,111111	0,555556	11,11111
				0,050739	1,836111	5,073938	18,36111

Pada tabel 4.20, hasil pengukuran THD_v oleh *prototype* menggunakan metode FST dibandingkan terhadap FLUKE 43B memiliki kesalahan relatif sebesar 5,073938 % sedangkan menggunakan metode DFT memiliki kesalahan relatif sebesar 18,36111 %.

Prototype menggunakan metode FST memiliki kesalahan relatif yang kecil

dibandingkan dengan FLUKE 43B sedangkan metode DFT memiliki kesalahan relatif yang sangat besar. Nilai pengukuran THD_v mempunyai kesalahan relatif yang lebih besar daripada nilai pengukuran THD_i karena beban non linier yang digunakan sebagai pengujian menghasilkan nilai THD_v yang kecil sehingga mengakibatkan kesalahan relatif pada *prototype* menjadi semakin besar. Pada tabel 4.20, dapat diketahui bahwa metode FST memiliki nilai pengukuran THD_v yang lebih kecil daripada metode DFT karena metode FST mempunyai kemampuan dengan benar dalam pengukuran dibawah kondisi lingkungan yang *noise*. FST mempunyai toleransi yang tinggi pada *noise* dan menjamin akurasi yang memuaskan [12-14]. Selain itu, FST memiliki *window Gaussian* yang mencegah kebocoran sinyal akibat *noise* sehingga akurasi yang didapatkan metode FST lebih baik dalam pengukuran THD_v daripada metode DFT.

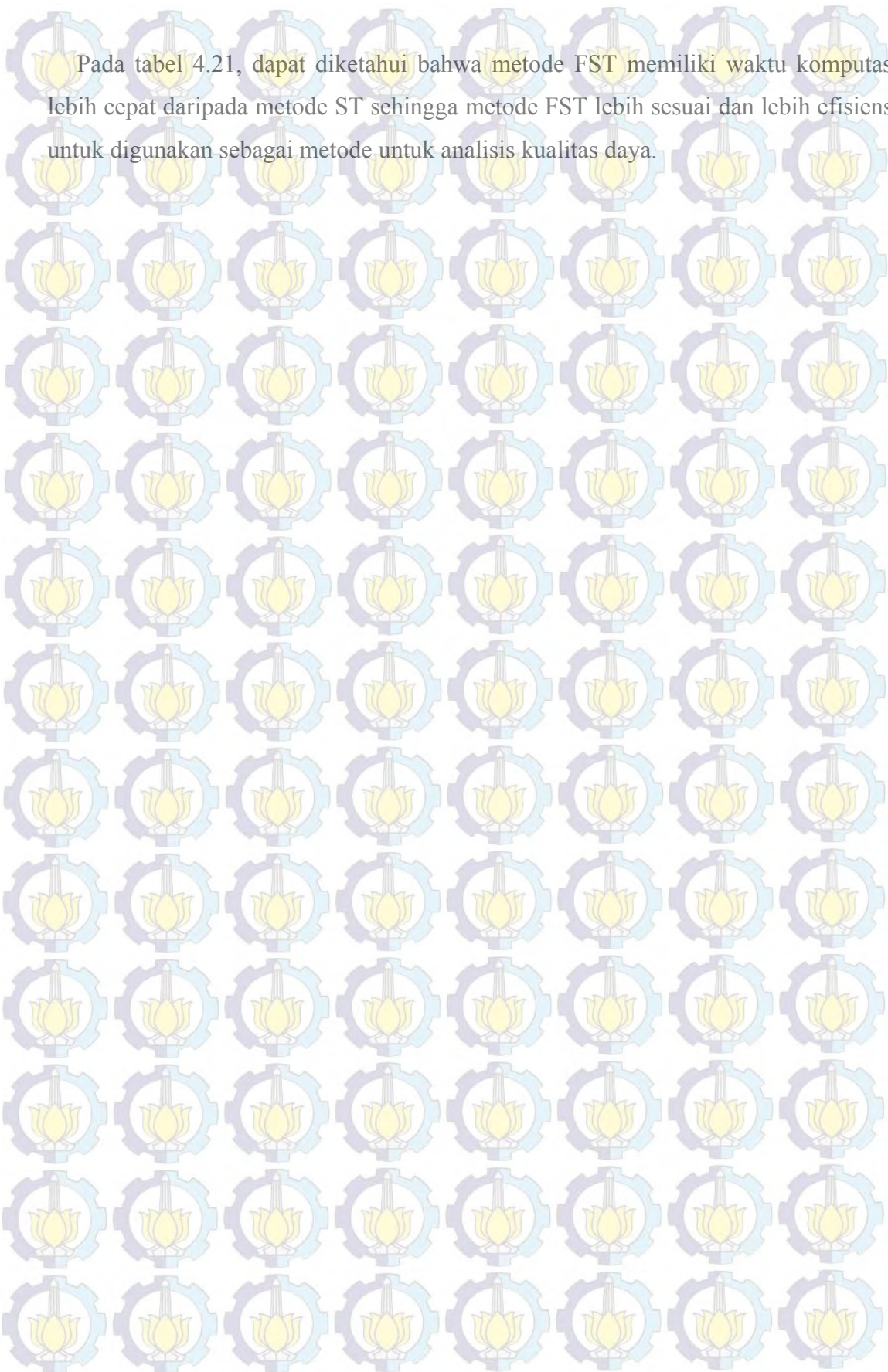
Pada *prototype* dalam mendeteksi THD_v dengan frekuensi sampling 5000 Hz untuk proses FST sehingga mampu mendeteksi harmonik ke 50. Sedangkan FLUKE 43B mempunyai spesifikasi mampu mendeteksi sampai harmonik ke 50 sehingga *prototype* memiliki spesifikasi yang sesuai dengan FLUKE 43B dalam mendeteksi harmonik tegangan.

4.12. Pengujian Waktu Komputasi

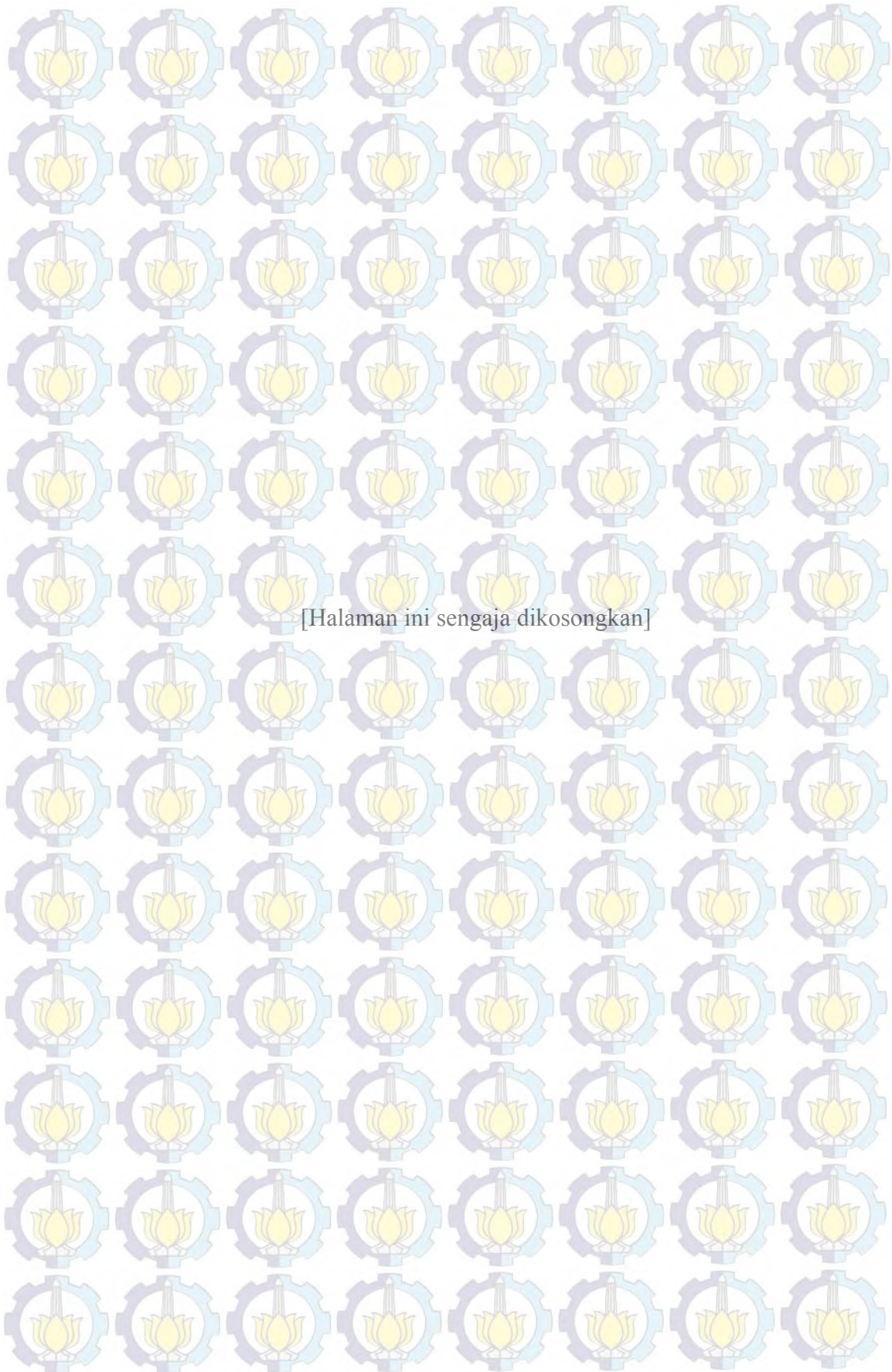
Dalam pengujian waktu komputasi ini, jumlah data dibedakan menjadi 3 yaitu 2000 data, 5000 data dan 10000 data. Hal ini dilakukan untuk mengecek efisiensi dari program FST dibandingkan dengan program ST. Hasil yang diperoleh pada pengujian waktu komputasi ini dapat dilihat pada tabel 4.21

Tabel 4.21 Hasil waktu komputasi antara FST dengan ST

Jumlah data	waktu (s)		Selisih waktu (s)
	ST	FST	
2000	0,3456	0,2601	0,0855
5000	3,0233	2,2923	0,7310
10000	12,0865	8,3864	3,7001



Pada tabel 4.21, dapat diketahui bahwa metode FST memiliki waktu komputasi lebih cepat daripada metode ST sehingga metode FST lebih sesuai dan lebih efisiensi untuk digunakan sebagai metode untuk analisis kualitas daya.



[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dalam penelitian ini, metode FST untuk melakukan analisis kualitas daya secara signifikan mengurangi waktu komputasi dibandingkan dengan ST. Pengujian pada *prototype* dilakukan dengan beban non linier dan motor induksi dibandingkan oleh osiloskop DL850 dan FLUKE 43B serta metode DFT dan metode ST.

1. Kesalahan relatif pengukuran tegangan r.m.s dengan osiloskop DL850 pada beban non linier sebesar 0,8201 % sedangkan pada beban non linier dan motor induksi sebesar 0,92136972 %.
2. Kesalahan relatif pengukuran arus r.m.s dengan osiloskop DL850 pada beban non linier sebesar 0,93046 % sedangkan pada beban non linier dan motor induksi sebesar 5,846143 %.
3. Kesalahan relatif pengukuran THD_i dengan FLUKE 43B pada beban non linier sebesar 0,374284 % sedangkan pada beban non linier dan motor induksi sebesar 3,052288 %.
4. Kesalahan relatif pengukuran THD_v dengan FLUKE 43B pada beban non linier sebesar 0,548021 % sedangkan pada beban non linier dan motor induksi sebesar 5,073938 %.
5. Metode FST memiliki waktu komputasi masing – masing 0,0855 detik, 0,731 detik dan 3,7001 detik lebih cepat dengan jumlah data sebesar 2000 data, 5000 data dan 10000 data dibandingkan dengan *Stockwell transform*.
6. Kesalahan relatif pengukuran frekuensi dengan osiloskop DL850 pada beban non linier sebesar 0,3476226 % sedangkan pada beban non linier dan motor induksi sebesar 0,39566 %.
7. Kesalahan relatif pengukuran faktor daya dengan FLUKE 43B pada beban non linier sebesar 0,444444 % sedangkan pada beban non linier dan motor induksi sebesar 1,01 %.

8. Kesalahan relatif pengukuran daya aktif dengan FLUKE 43B pada beban non linier sebesar 12,94 % sedangkan pada beban non linier dan motor induksi sebesar 15,41%.
9. Kesalahan relatif pengukuran daya reaktif dengan FLUKE 43B pada beban non linier sebesar 22,45 % sedangkan pada beban non linier dan motor induksi sebesar 4,22 %.
10. Kesalahan relatif pengukuran daya semu dengan FLUKE 43B pada beban non linier sebesar 10,737 % sedangkan pada beban non linier dan motor induksi sebesar 13,367 %.

5.2 Penelitian Selanjutnya

Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengatasi kekurangan pada *prototype* yang sudah dibuat seperti dalam pengukuran frekuensi, faktor daya, daya aktif, daya reaktif, daya semu. Selain itu, Penelitian selanjutnya juga diharapkan mampu melakukan pengukuran secara *real time* pada berbagai elemen kualitas daya seperti *voltage flicker*, *voltage sag*, *voltage swell*, *inrush current*, *oscillatory transient*, *notch* dan *spike*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dash, P.K., Panigrahi, B.K., Panda, G., "Power Quality Analysis Using S-Transform", IEEE Trans. Power Del., Vol. 18, No. 2, Apr. 2003
- [2] Mishra, S., Bhende, C.N., Panigrahi, B.K., "Detection and Classification of Power Quality Disturbances Using S-Transform and Probabilistic Neural Network", IEEE Trans. Power Del., Vol. 23, No.1, Jan. 2008
- [3] Santoso, S., Hofmann, P., "Power Quality Assessment Via Wavelet Transform Analysis", IEEE Trans. Power Del., Vol. 11, No.2, Apr. 1996
- [4] Santoso, S., Powers, E.J., Grady, W.M., "Power Quality Disturbance Data Compression Using Wavelet Transform Methods", IEEE Trans. Power Del., Vol. 12, No. 3, Jul. 1997
- [5] Lieberman, D.G., Tronsoco, R.J.R., Rios, R.A.O., Perez, A.G. Yepez, E.C., "Techniques and Methodologies for Power Quality Analysis and Disturbances Classification in Power Systems: a Review", IET Gener. Transm. Distrib., Vol.5, Iss.4, pp. 519-529, 2011
- [6] Rodriguez, M.V., Tronsoco, R.J.R., Perez, A.G., Lieberman, D.G., Rios, R.A.O., "Reconfigurable Instrument for Neural Network Based Power Quality Monitoring in 3 phase Power Systems", IET Gener. Transm. Distrib., Vol.7, Iss.12, pp. 1298-1207, 2013
- [7] Masoum, M.A.S., Jamali, S., Ghafarzadeh, N., "Detection and Classification of Power Quality Disturbances Using Discrete Wavelet Transform and Wavelet Networks", IET Sci. Meas. Technol., 2010, Vol. 4, Iss. 4, pp. 193–205
- [8] Poisson, O., Rioual, P., Meunier, M., "Detection and Measurement of Power Quality Disturbances Using Wavelet Transform", IEEE Trans. Power Del, Vol. 15, No.3, Jul. 2013
- [9] Santoso, S., Powers, E.J., Grady, W.M., Parsons, A.C., "Power Quality Disturbances Waveform Recognition Using Wavelet Based Neural Classifier-Part 1: Theoretical Foundation", IEEE Trans. Power Del. Vol. 15, No. 1, Jan. 2000
- [10] Lin, C.H., Wang, C.H., "Adaptive Wavelet Networks for Power-Quality Detection and Discrimination in a Power System", IEEE Trans. Power Del. Vol. 21, No.3, Jul. 2006
- [11] Biswal, B., Mishra, S., "Power Signal Disturbance Identification and Classification Using a Modified Frequency Slice Wavelet Transform", IET Gener. Transm. Distrib, Vol. 8, Iss. 2, pp. 353–362, 2014
- [12] Reddy, M.J.B., Sagar, K., Mohanda, D.K., "A Multifunctional Real-time Power Quality Monitoring System using Stockwell Transform", IET Sci. Meas. Technol., 2014, Vol. 8, Iss. 4, pp. 155–169
- [13] He, S., Li, K., Zhang, M., "A Real-Time Power Quality Disturbances Classification Using Hybrid Method Based on S-Transform and Dynamics"
- [14] Zhao, F., Yang, R., "Power-Quality Disturbance Recognition Using S-Transform", IEEE. Trans. Power Del., Vol. 22, No. 2, Apr. 2007
- [15] Yao, W., Tang, Q., Teng, Z., Gao, Y., Wen, He., "Fast S-Transform for Time Varying Voltage Flicker Analysis", IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. 63, No. 1, Jan. 2014

- [16] Biswal, M., Dash, P.K., “Estimation of Time Varying Power Quality Indices with an Adaptive Window Based Fast Generalised S-Transform”, IET Sci. Meas. Technol., Vol. 6, Iss. 4, pp. 189–197, 2012
- [17] Dugan, R.C., Mcgranaghan, M.F., Santoso, S., Beaty, H.W., “Electrical Power Systems Quality”, McGraw Hill
- [18] IEEE std. 1159-2009., “IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality”
- [19] Baki, S.R.S., Abdullah, M.Z., Abidin, A.F., “Combination Wavelets and Artificial Intelligent For Classification and Detection Transient Overvoltage”, Student Conference on Research and Development Proceedings, Shah Alam, Malaysia, 2002
- [20] Naidoo, R., Pillay, P., “A new Method of Voltage Sag and Swell Detection” IEEE Trans. Power Del., Vol. 22, No. 2, Apr. 2007
- [21] Thakur, P., Singh, A.K., Bansal, R.C., “Novel Way for Classification and Type Detection of Voltage Sag”, IET Gener. Transm. Distrib., Vol. 7, Iss. 4, pp. 398–404, 2013
- [22] IEEE std. 1250 – 1995, “IEEE Guide for Service to Equipment Sensitive to Momentary Voltage Disturbances”
- [23] IEEE P1668TM/D3Q, “IEEE Draft Trial Use Recommended Practice for Voltage Sag and Short Interruption Ride-Through Testing for End Use Electrical Equipment Rated Less than 1,000 Volts”
- [24] IEEE Std. 519-1992, “IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems”
- [25] Eghtedarpour, N., Farjah, E., Khayatian, A., “Effective Voltage Flicker Calculation Based on Multiresolution S-Transform”, IEEE Trans. Power Del. Vol. 27, No. 2, Apr. 2012
- [26] Biswal, M., Dash, P.K., “Estimation of Time Varying Power Quality Indices with an Adaptive Window Based Fast Generalized S-transform”, IET Sci. Meas. Technol., 2012, Vol. 6, Iss. 4, pp. 189–197
- [27] Kumar, R., Singh, B., Shahani, D.T., Chandra, A., Al-haddad, K., “Recognition of Power Quality Disturbances Using S-Transform Based ANN Classifier and Rule Based Decision Tree”, IEEE Trans. Industrial App., 2014
- [28] Norman, C.F.Tse, John, Y.C.C., Lau, W.H., Poon, J.T.Y., Lai, L.L., “Real-Time Power Quality Monitoring With Hybrid Sinusoidal and Lifting Wavelet Compression Algorithm”, IEEE Trans. Power Del., Vol. 27, No. 4, Oct. 2012
- [29] Nath, S., Sinha, P., Goswami, S.K., “A wavelet Based Novel Method for the Detection of Harmonic Sources in Power Systems”, Electrical Power and Energy Systems, 2012, 40, 54 – 61
- [30] Norman, C.F.T., John, Y.C.C., Lau, W.H., Lai, L.L., “Hybrid Wavelet and Hilbert Transform with Frequency-Shifting Decomposition for Power Quality Analysis”, IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. 61, No. 12, Dec. 2012
- [31] Cho, S.H., Jang, G., Kwon, S.H., “Time Frequency Analysis of Power Quality Disturbances via the Gabor-Wigner Transform”, IEEE Trans. Power Del., Vol. 25, No. 1, Jan. 2010
- [32] Radil, T., Ramos, P.M., Janeiro, F.M., Serra, A.C., “PQ Monitoring System for Real Time Detection and Classification of Disturbances in a Single Phase Power System”, IEEE Trans. Instrum. Meas.,

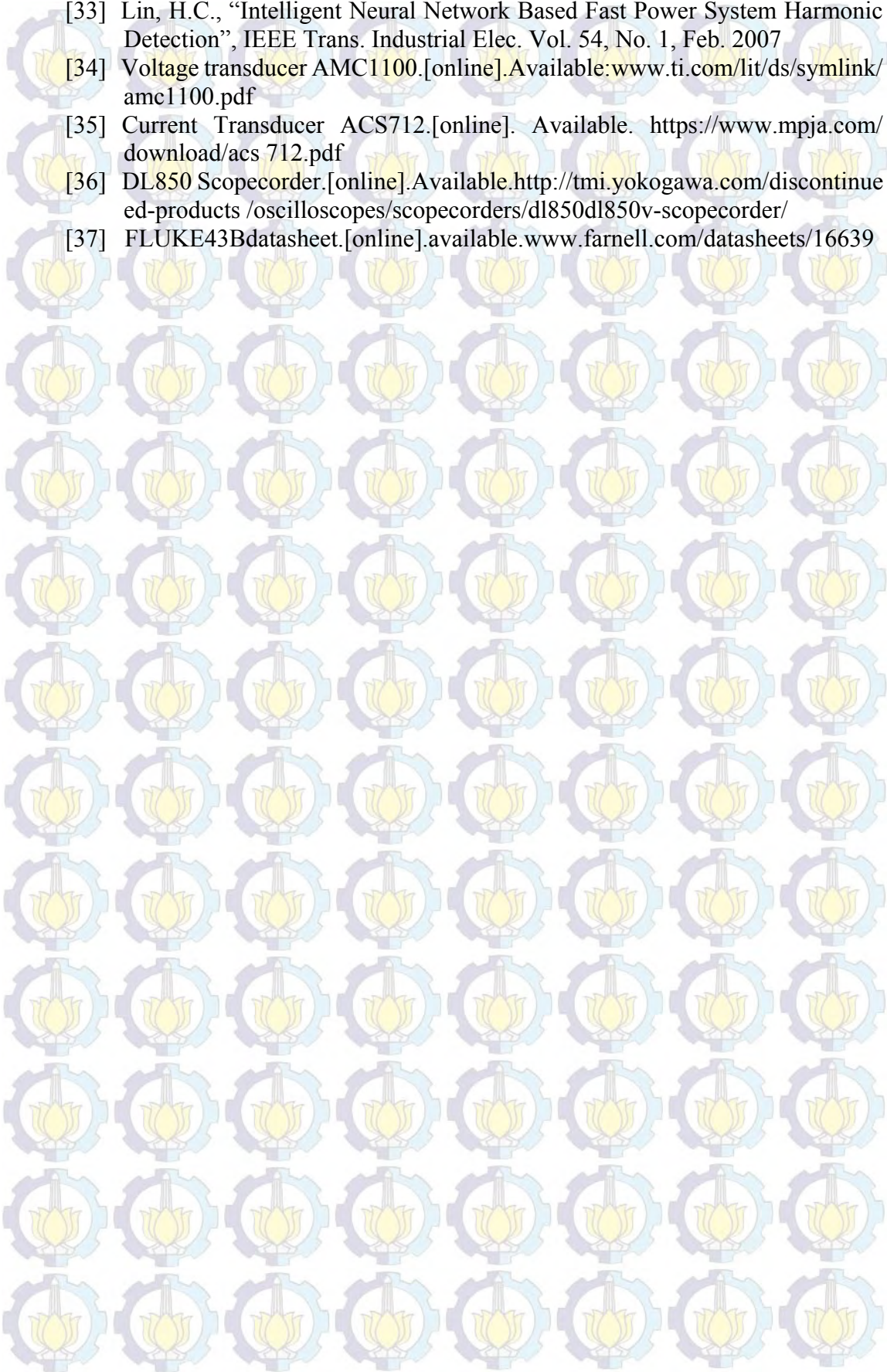
[33] Lin, H.C., "Intelligent Neural Network Based Fast Power System Harmonic Detection", IEEE Trans. Industrial Elec. Vol. 54, No. 1, Feb. 2007

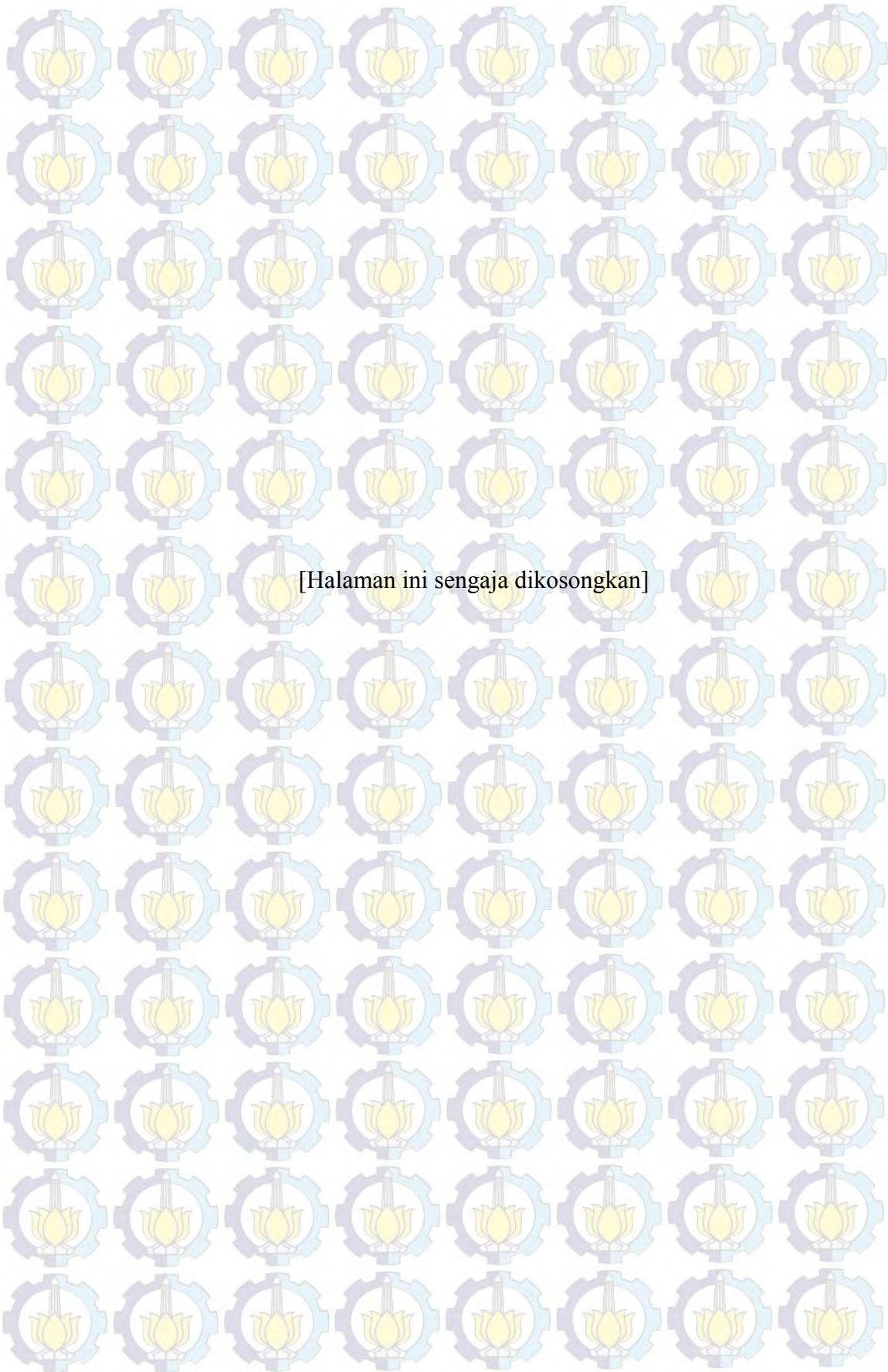
[34] Voltage transducer AMC1100.[online].Available:www.ti.com/lit/ds/symlink/amc1100.pdf

[35] Current Transducer ACS712.[online]. Available. https://www.mpja.com/download/acs_712.pdf

[36] DL850 Scopecorder.[online].Available.<http://tmi.yokogawa.com/discontinued-products/oscilloscopes/scopecorders/dl850dl850v-scopecorder/>

[37] FLUKE43Bdatasheet.[online].available.www.farnell.com/datasheets/16639





[Halaman ini sengaja dikosongkan]

INDEKS

B

Bartlett window, 19
Blackman window, 19
Bohman window, 19

C

Continuous wavelet transform, 17
Scale parameter, 17
Cycle, 6, 19
Chebyshev, 19
Clock, 19

D

Display, 2
Downtime, 10
Dynamic voltage restorer, 11
Discrete fourier transform, 16

E

Energization, 8
Embedded system, 17

F

Fast fourier transform, 1, 17
Fast S-transform, 2, 17
Feeder, 10

G

Gaussian window, 19
Gabor transform, 17
Frequency slice wavelet transform, 17

H

Hamming window, 19
Hanning window, 19
Harmonic distortion, 1
Hilbert transform, 16

I

Inverter, 1
Impulsive transient, 5
Instantaneous, 9
Interruptions, 9
Instantaneous flicker severity, 15
Interuppt, 33

K

Kaiser window, 19

L

Load shedding, 12
Long time flicker severity, 15

M

Momentary interruption, 1
Malfunctions, 1, 9
Mother wavelet, 17

N

Notch, 1, 21
Noise, 1, 17

O

Oscillatory transient, 1, 21
Output, 16

P

Prototype, 2, 21, 25, 26, 27, 29, 32, 33, 34, 35
Power quality analyzer, 3
Processor, 19

R

Rectangular window, 19
Rectifier, 1
Root mean square, 5
Reclosing, 10
Range, 10

S

Sampling rate, 19
Spike, 1, 21
Short time fourier transform, 1
S-transform, 2
Steady state, 8
Switching, 7, 8
Starting, 11
Short term flicker severity, 5

T

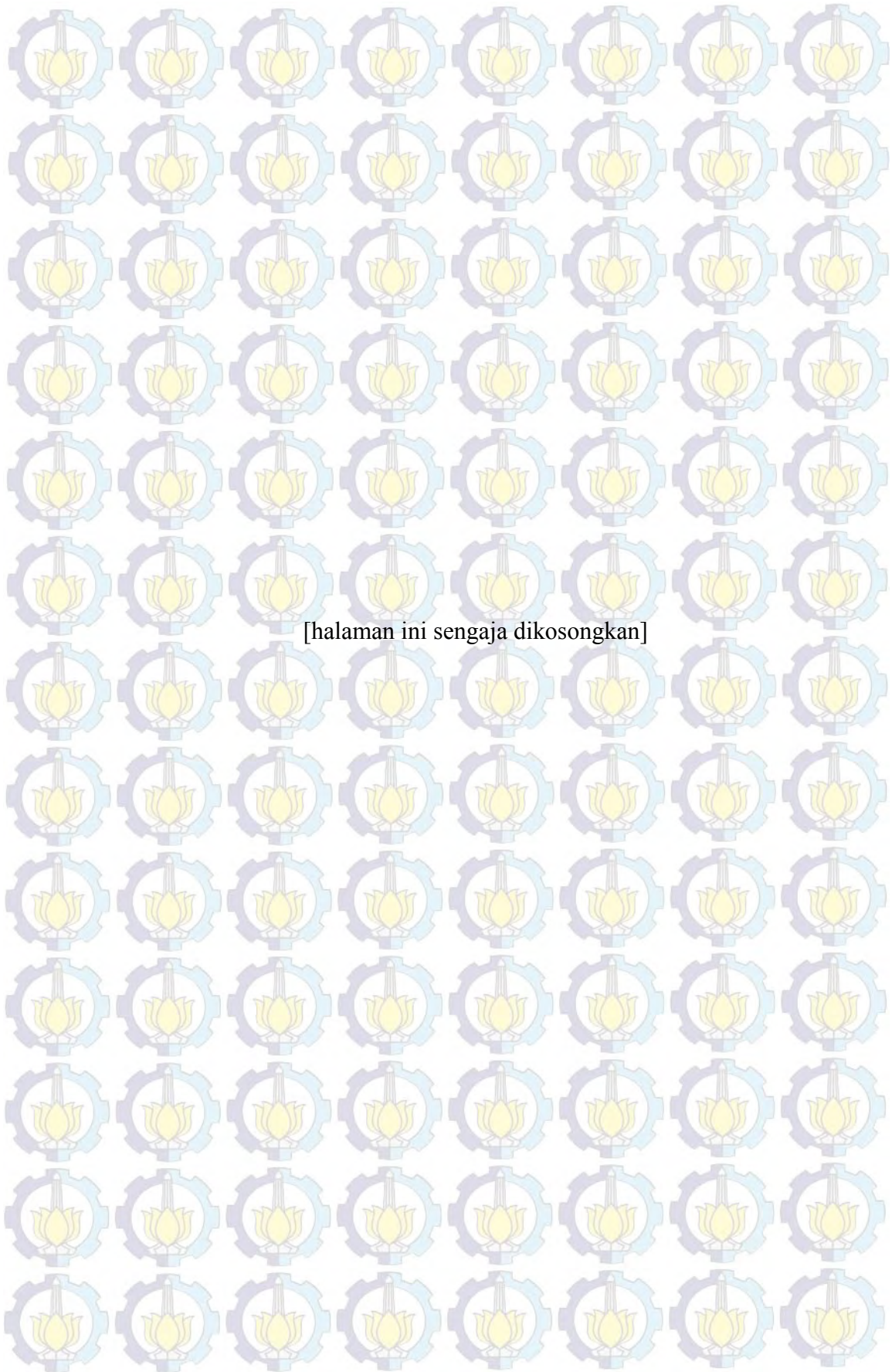
Tukey window, 19
Taylor window, 19
Triangular window, 19
Total harmonic distortion, 12

V

Voltage sag, 1, 5, 9, 10, 11, 12, 21
Voltage swell, 1, 9, 11, 12, 21
Voltage flicker, 1, 21
Variable speed drives, 5

W

Window, 1, 3
Wavelet transform, 1



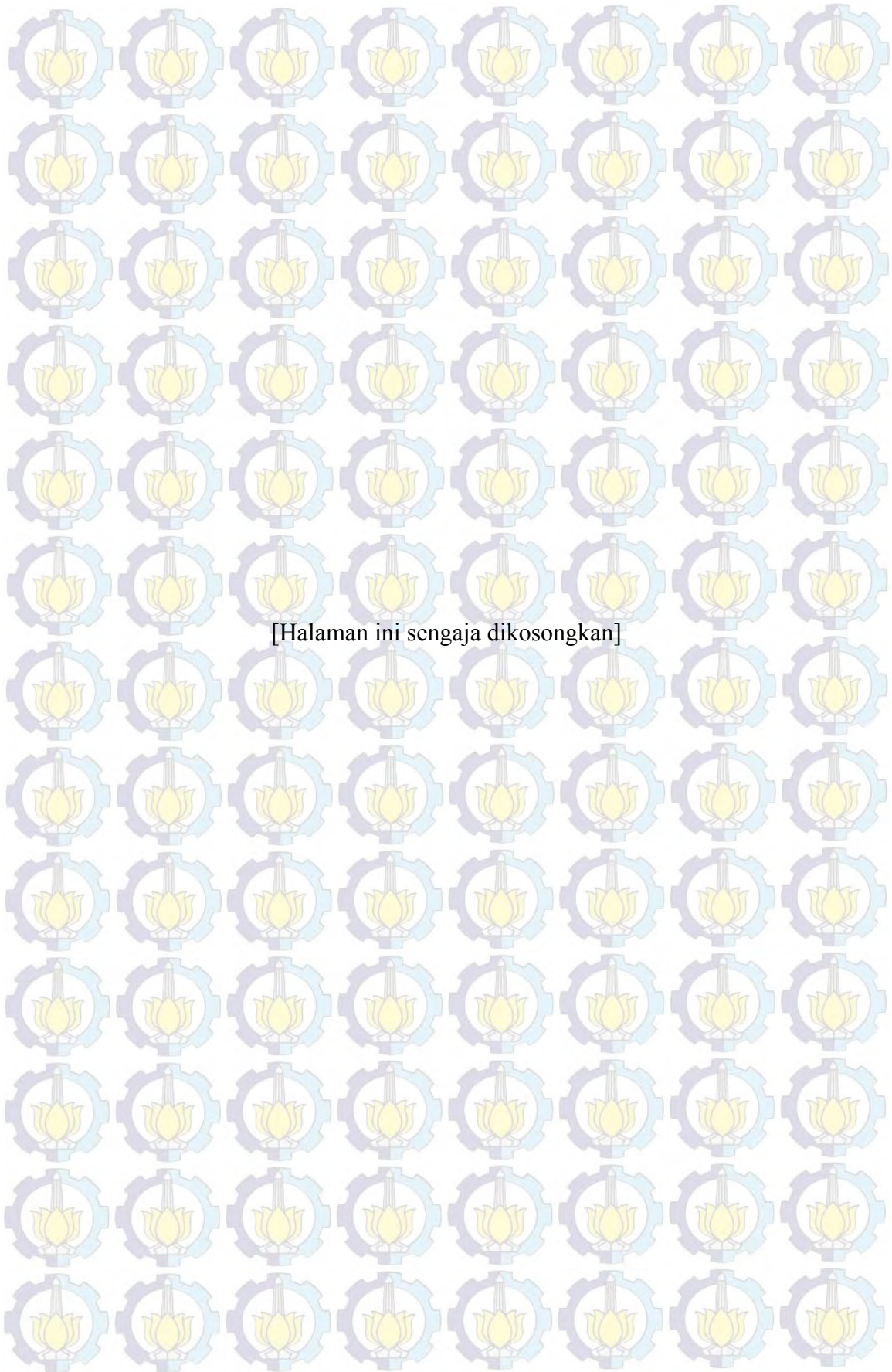
[halaman ini sengaja dikosongkan]

RIWAYAT HIDUP



Dimas Okky Anggriawan, dilahirkan di Klaten, 19 Januari 1991. Anak pertama dari tiga bersaudara pasangan Bapak Sugiarto dan Ibu Endang Ariyani. Pendidikan dasar ditempuh di SD N 1 Keden lulus tahun 2003. Kemudian melanjutkan ke SMP N 1 Pedan lulus tahun 2006. Selanjutnya, di SMA N 1 Klaten lulus tahun 2009 dan memperoleh gelar sarjana di teknik elektro ITS, bidang studi teknik sistem tenaga pada tahun 2013. Saat ini sedang menyelesaikan pendidikan pada program magister di Jurusan Teknik Elektro ITS, bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Saat menjadi mahasiswa, aktif sebagai staf ahli di departemen riset dan teknologi, Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro 2011-2012 dan asisten laboratorium instrumentasi, pengukuran dan identifikasi sistem tenaga Jurusan Teknik Elektro ITS pada tahun 2012-2013 serta aktif didunia keilmiahan dengan menjadi ketua klub keilmiahan jurusan teknik elektro ITS 2011 - 2012 dan koordinator trainer keilmiahan ITS 2012 - 2013. Penulis pernah menjadi mahasiswa berprestasi 1 Jurusan Teknik Elektro ITS tahun 2011/2012 dan mengikuti serta menjuarai berbagai kompetisi di tingkat regional dan nasional salah satunya pada “*competition of innovation and scientific writings*” di Paris, Prancis pada tahun 2011.

Email: dimasokkyanggriawan@yahoo.com / dimas.okky09@mhs.ee.its.ac.id



[Halaman ini sengaja dikosongkan]