



TUGAS AKHIR - EE 184801

**KARAKTERISASI *ARCING* SERI PADA *FEEDER* UTAMA
DAN *FEEDER* BEBAN DENGAN PENGARUH HARMONIK
DAN PEMBEBANAN**

Made Yudha Pranadiksa Giri
NRP 07111640000161

Dosen Pembimbing
Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.
Dr. IGN Satriyadi Hernanda, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



TUGAS AKHIR - EE 184801

**KARAKTERISASI *ARCING* SERI PADA *FEEDER* UTAMA
DAN *FEEDER* BEBAN DENGAN PENGARUH HARMONIK
DAN PEMBEBANAN**

Made Yudha Pranadiksa Giri
NRP 07111640000161

Dosen Pembimbing
Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.
Dr. IGN Satriyadi Hernanda, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



FINAL PROJECT - EE 184801

**CHARACTERIZATION OF SERIES ARCING ON PRIMARY
FEEDER AND LOAD FEEDER WITH HARMONIC AND
LOADING EFFECT**

Made Yudha Pranadiksa Giri
NRP 07111640000161

Supervisor(s)
Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.
Dr. IGN Satriyadi Hernanda, S.T., M.T.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Electrical and Intelligent Informatics Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Karakterisasi Arcing Seri pada Feeder Utama dan Feeder Beban dengan Pengaruh Harmonik dan Pembebanan**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 13 Juli 2020



Made Yudha Pranadiksa Giri
NRP. 0711 16 4000 0161

**KARAKTERISASI ARCING SERI PADA *FEEDER*
UTAMA DAN *FEEDER* BEBAN DENGAN
PENGARUH HARMONIK DAN PEMBEBANAN**

TUGAS AKHIR

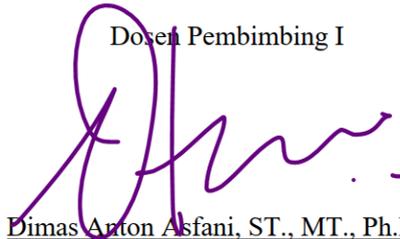
Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I



Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.

NIP. 198109052005011002

**SURABAYA
JULI, 2020**

**KARAKTERISASI ARCING SERI PADA *FEEDER*
UTAMA DAN *FEEDER* BEBAN DENGAN
PENGARUH HARMONIK DAN PEMBEBANAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing II



Dr. IGN Satriyadi Hernanda, S.T., M.T.
NIP. 197301232002121001

**SURABAYA
JULI, 2020**

KARAKTERISASI *ARCING* SERI PADA *FEEDER* UTAMA DAN *FEEDER* BEBAN DENGAN PENGARUH HARMONIK DAN PEMBEBANAN

Nama : Made Yudha Pranadiksa Giri
Pembimbing I : Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D.
Pembimbing II : Dr. IGN Satriyadi Hernanda, S.T., M.T.

ABSTRAK

Arcing seri hingga kini masih menjadi gangguan yang sulit diatasi perangkat proteksi konvensional yang tersedia dalam instalasi gedung atau rumah seperti *fuse* dan *circuit breaker* karena durasi terjadinya yang sangat singkat, dan nilai arus yang dibatasi nilai arus beban. Pada penelitian ini, dilakukan karakterisasi dan deteksi gangguan *arcing* seri pada sisi beban dan sisi penyulangnya dengan variasi pembebanan dan harmonisa. Karakterisasi dilakukan dengan mengamati perubahan gelombang dan nilai arus terhadap variasi beban dan harmonisa menggunakan NI 9246, kemudian diolah melalui DIAdem. Pendeteksian dengan menerapkan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) pada alat deteksi *arcing* seri. Alat kemudian memindai magnitudo sinyal pada frekuensi 240-260Hz, 390-410Hz, dan 490-510Hz untuk mendeteksi gangguan. Penelitian ini membuktikan bahwa gangguan *arcing* seri yang terjadi pada sisi beban mempengaruhi gelombang arus pada sisi sumbernya. Berdasarkan hasil pengujian, diketahui bahwa pembebanan berpengaruh terhadap besarnya arus puncak *arcing* seri, sedangkan harmonisa berpengaruh terhadap rasio arus *arcing* dan nilai RMS arus beban.

Kata Kunci: Deteksi *Arcing* Seri, Pembebanan, Harmonisa, *Fast Fourier Transform*, Tegangan Rendah, Penyulang

(Halaman sengaja dikosongkan)

CHARACTERIZATION OF SERIES ARCING ON PRIMARY FEEDER AND LOAD FEEDER WITH HARMONIC AND LOADING EFFECT

Name : Made Yudha Pranadiksa Giri
1st Advisor : Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D.
2nd Advisor : Dr. IGN Satriyadi Hernanda, S.T., M.T.

ABSTRACT

Arcing is still a challenging phenomenon to be solved using conventional protection devices available at standard building or home installation, such as fuse or circuit breaker. Its short duration, along with the amount of current limited by rated load current, caused this problem. This research tried to characterize and detect series arcing on load and source feeder with load and harmonic variation. Characterization was done by observing changes on the current waveform due to loading and harmonic variation using NI 9246 and DIAdem software. Detection was done by implementing Fast Fourier Transform method on the detection device. The device will then scan the frequencies of 240-260Hz, 390-410Hz, and 490-510Hz to detect the fault. This research proved that series arcing fault happening on load side affects the current waveform of its source. Through the experiment, it is known that load variation affects the peak value of series arc fault, while harmonic affects the ratio of arc current to its RMS current.

Keywords: *Series Arcing Detection, Load Variation, Harmonic Variation, Fast Fourier Transform, Low Voltage, Load and Source Feeder*

(Halaman sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan YME atas rahmat serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik.

Tugas akhir dengan judul **“Karakterisasi Arcing Seri pada Feeder Utama dan Feeder Beban dengan Pengaruh Harmonik dan Pembebanan”** disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan sarjana pada bidang studi Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Tugas Akhir terselesaikan tidak lepas dari dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Tuhan YME yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya.
2. Bapak Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., MT. dan Bapak Dr. I Gusti Ngurah Satriyadi Hernanda, S.T., M.T. serta seluruh dosen Laboratorium Tegangan Tinggi atas segala ilmu dan waktunya untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
3. Bapak I Nengah Rejiman Giri dan Ibu Sang Ayu Nyoman Mahadewi selaku orang tua penulis serta Dio dan Deva selaku saudara penulis, serta keluarga besar yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas dukungan dan kepercayaannya.
4. Seluruh dosen dan staf karyawan Departemen Teknik Elektro ITS.
5. Teman-teman Laboratorium Tegangan Tinggi yang saling memotivasi dan membantu sejak awal pengerjaan hingga akhir.
6. Keluarga e-56 atas semangat dan motivasi selama 4 tahun di jurusan Teknik Elektro ITS.

Surabaya, 8 Juni 2020

Penulis

(Halaman sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	
ABSTRACT	
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Metodologi	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
1.7 Relevansi.....	4
BAB II ARCING, KARAKTERISTIK ARCING SERI, DAN FAST	
FOURIER TRANSFORM	5
2.1 Busur Api (<i>Arcing</i>).....	5
2.2 Busur Api (<i>Arcing</i>) Seri	6
2.3 Harmonisa	7
2.4 Fast Fourier Transform (FFT)	8
BAB III PERANCANGAN ALAT EKSPERIMEN,	
PENGAMBILAN DAN PENGOLAHAN DATA	13
3.1 Perancangan Modul Simulasi <i>Arcing</i> Seri.....	13
3.1.1 Chamber Box	15
3.1.2 Beban Lampu	16
3.1.3 Transformator Arus (CT)	16
3.1.4 <i>Miniature Circuit Breaker</i> (MCB)	17
3.1.5 Alat Akuisisi Data NI DAQ 9246	18
3.1.6 Alat Deteksi <i>Arcing</i> Seri	18
3.1.7 LabVIEW	19
3.1.8 DIAdem.....	20
3.2 Pengambilan dan Pengolahan Data	21
3.2.1 Pengambilan Data Primer.....	21
3.2.2 Pengambilan Data Sekunder	24

3.2.3 Skema Kombinasi Pembebanan dan Harmonisa.....	26
3.2.4 Lokasi Pengambilan Data	28
3.2.5 Pengolahan Data	32
BAB IV HASIL DAN ANALISA DATA	33
4.1 Hasil Pengambilan Data Primer.....	33
4.1.1 Data Arus Kondisi Normal	33
4.1.2 Data Arus Kondisi <i>Switching</i>	36
4.1.3 Data Arus Kondisi <i>Arcing</i>	39
4.2 Pengolahan Data Primer dengan Metode FFT	57
4.2.1 Grafik Hasil Transformasi Sinyal Arus Normal	59
4.2.2 Grafik Hasil Transformasi Sinyal Arus <i>Switching</i>	61
4.2.3 Grafik Hasil Transformasi Sinyal Arus <i>Arcing Low</i>	63
4.2.4 Grafik Hasil Transformasi Sinyal Arus <i>Arcing High</i>	65
4.3 Penentuan <i>Threshold</i>	67
4.4 Analisa Performa Alat Deteksi <i>Arcing</i> Seri	79
4.4.1 Akurasi Deteksi <i>Arcing</i> Seri	80
4.4.2 Akurasi Pengelompokan Tingkat Keparahan <i>Arcing</i> Seri ..	82
BAB V PENUTUP	87
5.1 Kesimpulan	87
5.2 Saran	88
DAFTAR PUSTAKA.....	89
BIODATA PENULIS	91
LAMPIRAN	93

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Arcing</i> Seri	5
Gambar 2.2.	Rangkaian Ekuivalen <i>Arcing</i> Seri	6
Gambar 2.3	Gelombang Arus dan Tegangan Beban Non Linear [15]. 8	
Gambar 2.4	Sinyal Domain Waktu (Atas) dan Domain Frekuensi (Bawah)	9
Gambar 2.5	Metode <i>Interlaced Decomposition</i>	10
Gambar 2.6	Metode <i>Butterfly</i>	11
Gambar 3.1	Rangkaian Pengujian	13
Gambar 3.2	Skema Modul Simulasi <i>Arcing</i> Seri	14
Gambar 3.3	Modul Pengujian <i>Arcing</i> Seri.....	15
Gambar 3.4	<i>Chamber Box</i>	16
Gambar 3.5	Beban Lampu Pijar dan LED	16
Gambar 3.6	Transformator Arus 200/5	17
Gambar 3.7	<i>Miniature Circuit Breaker</i> (MCCB)	17
Gambar 3.8	NI 9246	18
Gambar 3.9	Alat Deteksi <i>Arcing</i> Seri	19
Gambar 3.10	Tampilan LABView	20
Gambar 3.11	Tampilan DIAdem	21
Gambar 3.12	Diagam Alir Pengambilan Data Primer	23
Gambar 3.13	Diagram Alir Pengambilan Data Sekunder.....	25
Gambar 3.14	<i>Single Line Diagram</i> Pengambilan Data.....	28
Gambar 3.15	Lokasi 1	29
Gambar 3.16	Lokasi 2 dan Lokasi 3	30
Gambar 3.17	Lokasi 4 dan Lokasi 5	31
Gambar 4.1	Hasil Pengambilan Data Kondisi Normal Lokasi 1	34
Gambar 4.2	Arus Kondisi Normal <i>Case</i> 1	35
Gambar 4.3	Hasil Pengambilan Data Kondisi <i>Switching</i> Lokasi 1....	37
Gambar 4.4	Arus Kondisi <i>Switching Case</i> 1	38
Gambar 4.5	Arus Kondisi <i>Arcing High Case</i> 1	40
Gambar 4.6	Hasil Pengambilan Data Kondisi <i>Arc High</i> Lokasi 1.....	42
Gambar 4.7	Hasil Pengambilan Data Kondisi <i>Arc High</i> Lokasi 2.....	45
Gambar 4.8	Hasil Pengambilan Data Kondisi <i>Arc High</i> Lokasi 3.....	46
Gambar 4.9	Hasil Pengambilan Data Kondisi <i>Arc High</i> Lokasi 4.....	47
Gambar 4.10	Hasil Pengambilan Data Kondisi <i>Arc High</i> Lokasi 5.....	48
Gambar 4.11	Arus Kondisi <i>Arcing Low Case</i> 1	49
Gambar 4.12	Hasil Pengambilan Data Kondisi <i>Arc Low</i> Lokasi 1.....	51
Gambar 4.13	Hasil Pengambilan Data Kondisi <i>Arc Low</i> Lokasi 2.....	53

Gambar 4.14	Hasil Pengambilan Data Kondisi <i>Arc Low</i> Lokasi 3	54
Gambar 4.15	Hasil Pengambilan Data Kondisi <i>Arc Low</i> Lokasi 4	55
Gambar 4.16	Hasil Pengambilan Data Kondisi <i>Arc Low</i> Lokasi 5	56
Gambar 4.17	Sinyal Asli (Hitam) dan Sinyal Terfiltrasi (Biru)	58
Gambar 4.18	Sinyal Hasil FFT Kondisi Normal	59
Gambar 4.19	Sinyal Hasil FFT Kondisi <i>Swching</i>	61
Gambar 4.20	Hasil FFT Kondisi <i>Arc Low</i>	63
Gambar 4.21	Hasil FFT Kondisi <i>Arc High</i>	66
Gambar 4.22	Perbandingan Sinyal FFT Seluruh Kondisi pada Frekuensi 250-500Hz	68
Gambar 4.23	Visualisasi Threshold Lokasi 1 Frekuensi 240-260Hz ...	70
Gambar 4.24	Visualisasi Threshold Lokasi 1 Frekuensi 390-410Hz ...	70
Gambar 4.25	Visualisasi Threshold Lokasi 1 Frekuensi 490-510Hz ...	71
Gambar 4.26	Visualisasi Threshold Lokasi 2 Frekuensi 240-260Hz ...	72
Gambar 4.27	Visualisasi Threshold Lokasi 2 Frekuensi 390-410Hz ...	72
Gambar 4.28	Visualisasi Threshold Lokasi 2 Frekuensi 490-510Hz ...	73
Gambar 4.29	Visualisasi Threshold Lokasi 3 Frekuensi 240-260Hz ...	74
Gambar 4.30	Visualisasi Threshold Lokasi 3 Frekuensi 390-410Hz ...	74
Gambar 4.31	Visualisasi Threshold Lokasi 3 Frekuensi 490-510Hz ...	75
Gambar 4.32	Visualisasi Threshold Lokasi 4 Frekuensi 240-260Hz ...	76
Gambar 4.33	Visualisasi Threshold Lokasi 4 Frekuensi 390-410Hz ...	76
Gambar 4.34	Visualisasi Threshold Lokasi 4 Frekuensi 490-510Hz ...	77
Gambar 4.35	Visualisasi Threshold Lokasi 5 Frekuensi 240-260Hz ...	78
Gambar 4.36	Visualisasi Threshold Lokasi 5 Frekuensi 390-410Hz ...	78
Gambar 4.37	Visualisasi Threshold Lokasi 5 Frekuensi 490-510Hz ...	79

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Skema Pengambilan Data Primer.....	26
Tabel 3.2 Skema Pengambila Data Sekunder.....	27
Tabel 4.1 Korelasi Arus <i>Arc High</i> Terhadap Pembebanan dan Harmonisa Lokasi 1.....	43
Tabel 4.2 Korelasi Normalisasi Arus <i>Arc High</i> Terhadap Harmonisa Lokasi 1.....	43
Tabel 4.3 Korelasi Arus <i>Arc High</i> Terhadap Pembebanan dan Harmonisa Lokasi 2.....	45
Tabel 4.4 Korelasi Normalisasi Arus <i>Arc High</i> Terhadap Harmonisa Lokasi 2.....	45
Tabel 4.5 Korelasi Arus <i>Arc High</i> Terhadap Pembebanan dan Harmonisa Lokasi 3.....	46
Tabel 4.6 Korelasi Normalisasi Arus <i>Arc High</i> Terhadap Harmonisa Lokasi 3.....	46
Tabel 4.7 Korelasi Arus <i>Arc High</i> Terhadap Pembebanan dan Harmonisa Lokasi 4.....	47
Tabel 4.8 Korelasi Normalisasi Arus <i>Arc High</i> Terhadap Harmonisa Lokasi 4.....	47
Tabel 4.9 Korelasi Arus <i>Arc High</i> Terhadap Pembebanan dan Harmonisa Lokasi 5.....	48
Tabel 4.10 Korelasi Normalisasi Arus <i>Arc High</i> Terhadap Harmonisa Lokasi 5.....	48
Tabel 4.11 Korelasi Arus <i>Arc Low</i> Terhadap Pembebanan dan Harmonisa Lokasi 1.....	53
Tabel 4.12 Korelasi Normalisasi Arus <i>Arc Low</i> Terhadap Harmonisa Lokasi 1.....	53
Tabel 4.13 Korelasi Arus <i>Arc Low</i> Terhadap Pembebanan dan Harmonisa Lokasi 2.....	54
Tabel 4.14 Korelasi Normalisasi Arus <i>Arc Low</i> Terhadap Harmonisa Lokasi 2.....	54
Tabel 4.15 Korelasi Arus <i>Arc Low</i> Terhadap Pembebanan dan Harmonisa Lokasi 3.....	54
Tabel 4.16 Korelasi Normalisasi Arus <i>Arc Low</i> Terhadap Harmonisa Lokasi 3.....	55
Tabel 4.17 Korelasi Arus <i>Arc Low</i> Terhadap Pembebanan dan Harmonisa Lokasi 4.....	55

Tabel 4.18	Korelasi Normalisasi Arus <i>Arc Low</i> Terhadap Harmonisa Lokasi 4	55
Tabel 4.19	Korelasi Arus <i>Arc Low</i> Terhadap Pembebanan dan Harmonisa Lokasi 5	56
Tabel 4.20	Korelasi Normalisasi Arus <i>Arc Low</i> Terhadap Harmonisa Lokasi 5	56
Tabel 4.21	Magnitudo FFT Kondisi Normal Lokasi 1	60
Tabel 4.22	Magnitudo FFT Kondisi <i>Switching</i> Lokasi 1	62
Tabel 4.23	Magnitudo FFT Kondisi <i>Arc Low</i> Lokasi 1	64
Tabel 4.24	Magnitudo FFT Kondisi <i>Arc High</i> Lokasi 1	66
Tabel 4.25	<i>Threshold</i> Lokasi 1	71
Tabel 4.26	<i>Threshold</i> Lokasi 2	73
Tabel 4.27	<i>Threshold</i> Lokasi 3	75
Tabel 4.28	<i>Threshold</i> Lokasi 4	77
Tabel 4.29	<i>Threshold</i> Lokasi 5	79
Tabel 4.30	Akurasi Deteksi Gangguan <i>Arcing</i> Seri	81
Tabel 4.31	Korelasi Rasio Arus <i>Arc High</i> /RMS Terhadap Akurasi Deteksi Gangguan	81
Tabel 4.32	Korelasi Rasio Arus <i>Arc Low</i> /RMS Terhadap Akurasi Deteksi Gangguan	82
Tabel 4.33	Akurasi Pengelompokkan <i>Arcing</i> Seri Kategori <i>Low</i>	83
Tabel 4.34	Akurasi Pengelompokkan <i>Arcing</i> Seri Kategori <i>High</i>	83
Tabel 4.35	Korelasi Rasio Arus <i>Arc High</i> /RMS Terhadap Akurasi Pengelompokkan Gangguan	84
Tabel 4.36	Korelasi Rasio Arus <i>Arc Low</i> /RMS Terhadap Akurasi Pengelompokkan Gangguan	84

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia termasuk salah satu negara dengan nilai pertumbuhan penduduk tertinggi di dunia, seperti proyeksi Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) bahwa jumlah penduduk di Indonesia akan mencapai angka 273,53 juta jiwa pada tahun 2020. Pertumbuhan jumlah penduduk ini diiringi pertumbuhan rasio elektrifikasi Indonesia yang telah menjadi salah satu perhatian utama pemerintah. Menurut Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), rasio elektrifikasi per Mei 2019 telah mencapai 98,81 persen dan data terbaru per Mei 2020 menunjukkan rasio tersebut mencapai 98,93 persen. Lebih lanjut, kementerian ESDM menargetkan peningkatan pemanfaatan listrik per kapita hingga 2500 kWh pada tahun 2025, dengan rasio elektrifikasi pada akhir tahun 2020 mencapai 99,99 persen [1].

Seiring dengan meningkatnya kepadatan penduduk, rasio elektrifikasi, dan konsumsi listrik oleh sektor rumah tangga, salah satu konsekuensinya adalah terjadi peningkatan probabilitas bencana kebakaran akibat hubung singkat listrik pada wilayah permukiman. Pada wilayah dengan kepadatan penduduk dan rasio elektrifikasi yang sangat tinggi seperti DKI Jakarta, listrik mendominasi sebagai penyebab utama terjadinya kebakaran. Situs statistik bencana kebakaran Provinsi DKI Jakarta menyatakan bahwa hingga akhir tahun 2019, terdapat 1355 kasus kebakaran dengan 577 kasus disebabkan oleh hubung singkat atau korsleting listrik [2].

Korsleting atau hubung singkat adalah fenomena di mana terdapat aliran arus listrik yang sangat besar namun dalam waktu yang sangat singkat pada suatu konduktor. Aliran arus ini dapat menyebabkan terjadinya *breakdown* pada konduktor apabila isolasi pada konduktor tersebut tidak mampu menahan kuat arus yang mengalir, sehingga timbul busur api (*arc flash/arcing*). Busur api atau *arcing* didefinisikan oleh Underwriter Laboratories (UL) pada standar 1699 sebagai pelepasan listrik bercahaya yang melintasi media isolasi disertai penguapan parsial dari elektroda. Fenomena busur api atau *arcing* seri menimbulkan percikan api yang dapat menjadi penyebab kebakaran apabila mengenai objek mudah terbakar.

Arcing seri hingga kini masih menjadi fenomena yang sangat sulit untuk dideteksi dengan menggunakan peralatan proteksi yang telah tersedia [3]. Nilai arus yang mengalir pada konduktor ketika terjadi *arcing* dibatasi oleh nilai arus nominal beban yang terhubung, dan mengalir dengan sangat cepat sehingga peralatan proteksi seperti *miniature circuit breaker* (MCB) tidak mendeteksi *arcing* seri sebagai gangguan. Peralatan proteksi *arcing* jenis *Arc Fault Current Interrupter* atau AFCI yang diperkenalkan untuk tujuan spesifik proteksi terhadap *arcing* pun dilaporkan mengalami kesulitan membedakan *arcing* seri dari kondisi arus normal [4]. Beberapa peralatan proteksi *arcing* terbaru memiliki kendala pada akurasi, dan skema peralatan yang kompleks serta berbiaya tinggi sehingga penerapan untuk kelas pelanggan rumah tangga dinilai tidak tepat [5]–[9]. Kondisi ini menyebabkan dibutuhkannya peralatan yang mampu mendeteksi adanya gangguan busur api seri untuk mencegah terjadinya kebakaran, terutama pada kawasan pemukiman.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah tugas akhir adalah

1. Bagaimana pengaruh pembebanan dan harmonisa terhadap gangguan *arcing* seri tegangan rendah pada sisi beban dan penyulangannya?
2. Bagaimana menentukan metode deteksi yang tepat untuk mendeteksi gangguan *arcing* seri pada sisi beban dan penyulangannya?

1.3 Tujuan

Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah

1. Mengetahui pengaruh pembebanan dan harmonisa terhadap gangguan *arcing* seri tegangan rendah pada sisi beban dan penyulangannya.
2. Memperoleh metode deteksi untuk mendeteksi gangguan *arcing* seri tegangan rendah pada sisi beban dan penyulangannya.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Busur api listrik (*arcing*) yang diteliti adalah busur api seri pada sistem tegangan rendah.

2. Busur api listrik (*arcing*) seri dilakukan pada sisi beban (Laboratorium Tegangan Tinggi), dan diamati pada sisi penyulangannya.
3. Variabel yang divariasikan pada penelitian ini adalah harmonisa dan besarnya pembebanan pada sisi beban.
4. Beban yang digunakan berupa lampu hemat energi untuk variasi harmonisa dan lampu pijar untuk variasi pembebanan.

1.5 Metodologi

Metodologi yang diterapkan pada tugas akhir ini adalah:

1. Studi Literatur
Studi literatur dilakukan dengan menggunakan artikel, jurnal, dan buku yang berkaitan dengan *arcing* seri sebagai referensi pengerjaan dan penyelesaian tugas akhir.
2. Percobaan dengan rangkaian simulator *arcing* seri
Pada tahap ini dilakukan percobaan untuk menimbulkan fenomena *arcing* seri dengan menggunakan rangkaian simulator. Percobaan dilakukan pada kondisi normal, *switching*, dan *arcing* pada sisi *feeder* beban dengan menggunakan variasi harmonisa dan pembebanan.
3. Pengambilan data gelombang arus
Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan transformator arus (CT) pada rangkaian simulator yang terintegrasi dengan PC (*personal computer*) dan modul NI DAQ 9246 untuk mengirimkan data berupa gelombang arus agar dapat dianalisis.
4. Perancangan alat deteksi *arcing* seri.
Tahap ini merupakan proses penentuan metode deteksi dan pemrograman ulang alat deteksi yang telah tersedia sebelumnya sesuai dengan metode deteksi yang ditetapkan.
5. Uji coba alat deteksi *arcing* seri
Uji coba dilakukan pada sisi *feeder beban* atau konduktor fasa modul simulasi *arcing* seri dan panel listrik Laboratorium Tegangan Tinggi Departemen Teknik Elektro ITS dan *feeder* utama atau Panel SDP Gedung B Lantai 1 Departemen Teknik Elektro ITS untuk mengetahui apakah alat dapat mendeteksi terjadinya *arcing* seri dan apakah *arcing* seri pada *feeder* beban terdeteksi pada *feeder* utama.
6. Pengolahan dan analisis data.

Setelah diperoleh data yang dibutuhkan, maka langkah berikutnya adalah pengolahan, analisis, dan evaluasi data hingga diperoleh suatu kesimpulan.

7. Penyusunan laporan Tugas Akhir
Penyusunan laporan dalam bentuk buku Tugas Akhir.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan pembahasan penelitian yang dilakukan, penulisan laporan dibagi menjadi lima bab.

Bab pertama adalah pendahuluan yang mencakup latar belakang permasalahan, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi, dan sistematika penulisan dan relevansi.

Bab kedua adalah dasar teori yang digunakan dalam penelitian untuk Tugas Akhir ini, yaitu *arc fault*, *arc*ing seri serta karakteristiknya, harmonisa, dan metode *Fast Fourier Transform*.

Bab ketiga adalah perancangan alat eksperimen, pengambilan dan pengolahan data. Berisi penjelasan mengenai alat dan metode yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian Tugas Akhir ini.

Bab keempat adalah hasil dan analisa data. Berisi sajian-sajian data dalam bentuk grafik berupa data primer sinyal arus, data sinyal arus menggunakan alat deteksi, pengujian akurasi alat pendeteksi *arc*ing, dan analisa sinyal arus dengan variasi harmonisa dan pembebanan

Bab kelima adalah penutup, yang berisi kesimpulan dan saran.

1.7 Relevansi

Tugas akhir diharapkan dapat memberikan manfaat, antara lain:

1. Sebagai alat deteksi busur api seri untuk beban linear dan non linear yang dapat diterapkan pada konsumen skala rumah tangga
2. Sebagai acuan pengembangan alat dan metode deteksi busur api seri
3. Menjadi referensi bagi penelitian dengan topik terkait

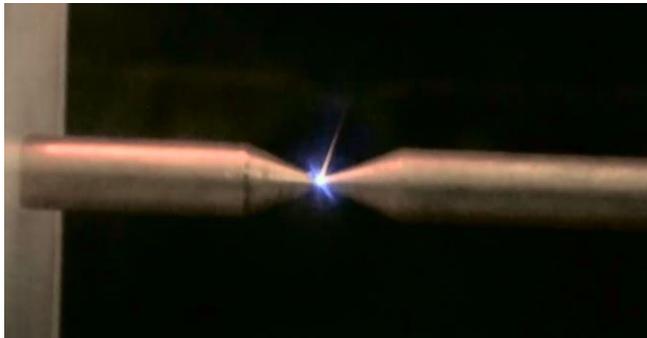
BAB II

ARCING, KARAKTERISTIK ARCING SERI, DAN FAST FOURIER TRANSFORM

2.1 Busur Api (*Arcing*)

Busur api atau *arcing* merupakan fenomena gangguan kelistrikan yang sering terjadi pada instalasi tegangan rendah. *Arcing* adalah pelepasan muatan listrik yang terjadi di antara dua konduktor atau lebih, yang memiliki beda potensial dan terpisahkan oleh suatu bentuk isolasi. Terjadinya gangguan ini disebabkan oleh medan yang tinggi pada bahan isolator sehingga terjadi fenomena *breakdown*. Hingga saat ini, gangguan *arcing* masih menjadi salah satu penyebab utama terjadinya kebakaran akibat fenomena kelistrikan [10].

Arcing dapat dikategorikan menjadi dua tipe yaitu *arcing* paralel dan *arcing* seri. *Arcing* paralel terjadi ketika loncatan arus mengalir antara kabel fasa dan kabel netral, atau antar kabel fasa yang memiliki beda potensial. Sedangkan *arcing* seri terjadi ketika loncatan arus mengalir pada jarak atau rongga konduktor fasa yang longgar.



Gambar 2.1 *Arcing* Seri

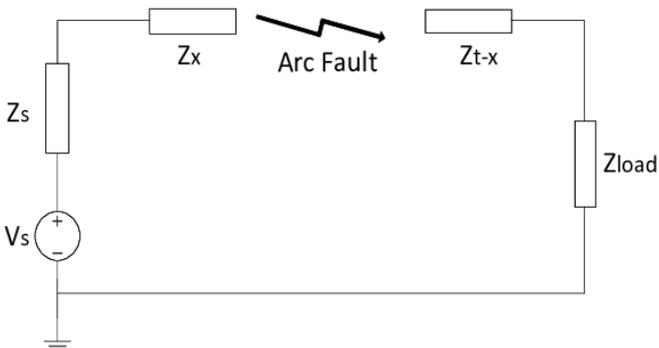
Penyebab utama terjadinya gangguan *arcing* adalah kondisi fisik kabel yang rusak sehingga terdapat bagian terbuka atau konduktor tidak terlindungi, serta konduktor yang terputus atau longgar [11]. Kondisi ini terjadi akibat beberapa faktor seperti instalasi listrik yang tidak sesuai standar, penuaan, dan tekanan fisik yang berlebihan pada kabel. Dengan tidak adanya pelindung pada konduktor, kontak antara konduktor fasa dan

netral dapat terjadi akibat perbedaan potensial. Konduktor yang tidak tersambung dengan baik atau longgar juga dapat memicu terjadinya *arcing* karena aliran arus akan menghasilkan medan yang tinggi sehingga isolator berupa udara yang menjadi pemisah antar konduktor tidak mampu menahan kuat medan tersebut.

2.2 Busur Api (*Arcing*) Seri

Gangguan busur api atau *arcing* seri merupakan peristiwa loncatan arus pada celah atau jarak yang terdapat di antara konduktor dengan fasa yang sama. *Arcing* seri terjadi pada konduktor yang terhubung seri dengan beban. Konduktor yang bengkok, tertarik, atau hangus dapat menjadi penyebab terjadinya *arcing* seri [11].

Arcing seri tergolong dalam gangguan *load limited* yang berarti arus yang mengalir pada sirkuit ketika terjadi gangguan *arcing* seri dibatasi oleh nilai nominal arus beban. Pada praktiknya, arus yang mengalir ketika terjadi *arcing* seri lebih rendah dari nilai RMS arus normal akibat adanya resistansi sehingga terjadi jatuh tegangan, dan adanya proses pemadaman (*extinction*), namun mengalami lonjakan saat terjadi penyalaaan (*ignition*) dan penyalaaan ulang (*re-ignition*). Pada saat terjadinya gangguan ini, tidak ada arus yang mengalir pada kawat netral dan tanah. Karakteristik-karakteristik tersebut menyebabkan peralatan proteksi berupa CB (*circuit breaker*) dan RCD (*residual-current devices*) tidak dapat digunakan untuk mengatasi gangguan *arcing* seri [12].



Gambar 2.2. Rangkaian Ekuivalen i Seri

Rangkaian ekuivalen dari sirkuit yang mengalami gangguan *arcing* seri adalah seperti yang ditampilkan dalam gambar di atas. *Arcing* seri dimodelkan sebagai komponen listrik yang terhubung seri dengan beban. Pada beban resistif, ketika terjadi *arcing* maka busur api atau *arc* dan beban akan membentuk rangkaian pembagi tegangan dan arus beban akan turun. Arus yang timbul ketika terjadi *arcing* seri atau Iarc bergantung pada impedansi busur api Z_x dan impedansi beban Z_{load} . Impedansi Z_x memiliki nilai yang relatif tinggi sehingga arus yang mengalir tidak cukup tinggi untuk memberi sinyal gangguan pada peralatan proteksi.

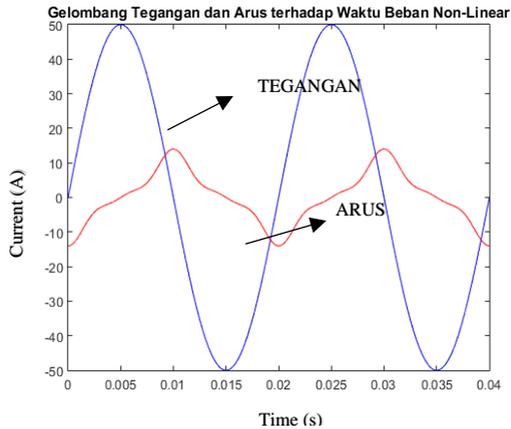
Arcing seri diketahui memiliki *range* frekuensi energi terpancar yang lebar [13]. Salah satu kendala dalam pendeteksian *arcing*, terutama dalam penggunaan beban non linier adalah membedakan *arcing* dan arus normal dalam frekuensi harmonik. Diketahui bahwa beban non linier juga memiliki magnitudo sinyal yang tinggi pada frekuensi harmoniknya akibat adanya harmonisa. Oleh karena itu, deteksi yang hanya didasarkan pada pembacaan frekuensi harmonik tidak maksimal untuk diterapkan.

2.3 Harmonisa

Dalam bidang kelistrikan, harmonisa didefinisikan sebagai nilai sinyal pada suatu frekuensi yang merupakan kelipatan integral dari frekuensi fundamentalnya [14]. Adanya nilai sinyal pada frekuensi selain frekuensi fundamental ini menyebabkan terjadinya distorsi pada sinyal gelombang arus maupun tegangan. Pada sistem dengan frekuensi fundamental 50Hz seperti yang digunakan di Indonesia, harmonisa orde ke-2 akan terjadi pada frekuensi 100Hz, orde ke-3 pada frekuensi 150Hz, dan seterusnya.

Distorsi pada gelombang harmonisa disebabkan oleh komponen elektronika daya pada peralatan listrik yang merupakan beban non-linear. Beban tipe ini memiliki nilai impedansi yang berubah terhadap tegangan, sehingga gelombang arusnya tidak proporsional dengan gelombang tegangan. Komponen elektronika daya dan *switching* yang menjadi penyebab harmonisa saat ini merupakan bagian yang sangat penting dari peralatan-peralatan listrik maupun instalasi listrik. Oleh karenanya, keberadaan harmonisa dalam suatu analisa sistem kelistrikan harus diperhitungkan. Distorsi tegangan telah muncul sejak pertama kali tegangan tersebut dibangkitkan, dan akan ikut ditransmisikan menuju sisi konsumen. Ketika peralatan milik konsumen mengandung harmonisa, maka distorsi arus akan meningkatkan distorsi tegangan. Apabila

beberapa konsumen terhubung pada sumber tegangan yang sama, maka distorsi tegangan yang meningkat akibat salah satu konsumen dapat dirasakan oleh konsumen lainnya.

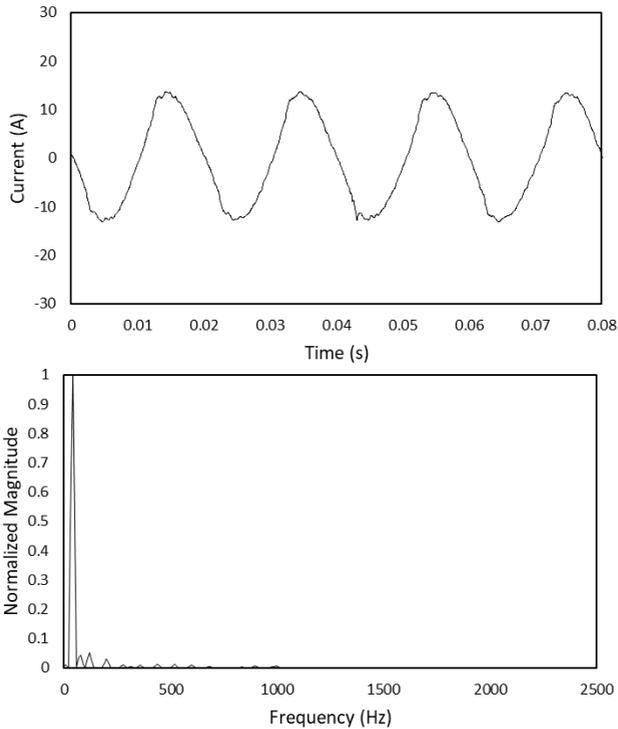


Gambar 2.3 Gelombang Arus dan Tegangan Beban Non Linear [15]

Harmonisa dinyatakan dalam notasi IHD atau *Individual Harmonic Distortion* dan THD atau *Total Harmonic Distortion*. IHD menyatakan rasio antara nilai RMS dari harmonisa individual dengan nilai RMS fundamental. Nilai IHD1 atau IHD dari harmonisa orde 1 yang terjadi pada frekuensi fundamental selalu 100%. THD menyatakan rasio antara nilai RMS dari harmonisa dengan nilai RMS fundamental.

2.4 Fast Fourier Transform (FFT)

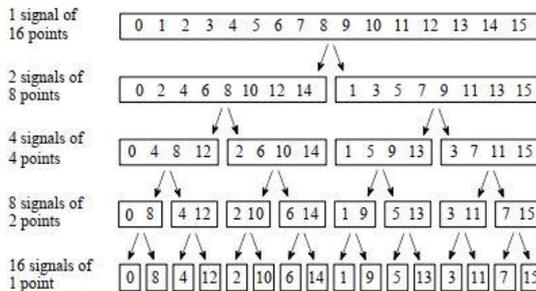
Fast Fourier Transform atau FFT secara sederhana didefinisikan sebagai metode transformasi Fourier yang lebih sederhana dan cepat dari Transformasi Fourier Diskrit atau *Discrete Fourier Transformation* (DFT) [16]. Transformasi Fourier baik dengan menggunakan FFT maupun DFT dapat mengubah sinyal domain waktu menjadi sinyal domain frekuensi. Perhitungan ini sangat berguna untuk mengetahui karakteristik suatu sinyal berdasarkan magnitudonya pada frekuensi tertentu.



Gambar 2.4 Sinyal Domain Waktu (Atas) dan Domain Frekuensi (Bawah)

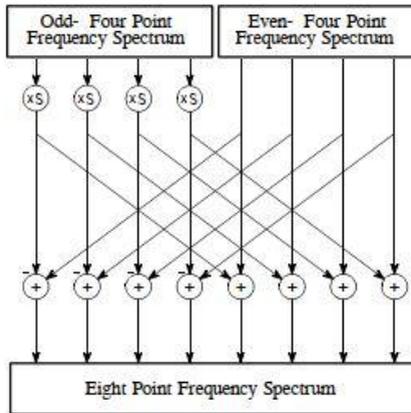
Metode paling terkenal dari perhitungan FFT adalah metode Cooley-Turkey. Metode ini dikenal dengan istilah algoritma *divide-and-conquer* karena membagi N titik sinyal DFT menjadi titik sinyal yang lebih kecil kemudian melakukan perhitungan terhadap titik sinyal yang lebih kecil tersebut. Dengan kata lain, dalam melakukan proses transformasi sinyal, FFT memotong deret sinyal yang panjang menjadi beberapa deret sinyal yang lebih pendek agar dapat dikomputasi secara cepat [17]. Dengan menerapkan pemotongan atau dekomposisi sinyal ini, FFT dapat bekerja dengan cepat namun tetap melakukan komputasi dengan operasi masukan-luaran atau *input-output operation* yang sama dengan DFT sehingga tidak mengubah karakteristik suatu sinyal.

Dekomposisi yang dilakukan oleh FFT didasarkan pada metode *interlace decomposition* [18]. Metode dekomposisi ini menyatakan bahwa sinyal yang telah terbagi dua dikelompokkan sesuai urutan ganjil genap sampelnya. Untuk perhitungan yang lebih cepat, dekomposisi dan pengelompokan ini dilakukan berulang hingga sinyal tidak dapat terbagi lagi. Lebih jelasnya, ilustrasi di bawah menampilkan visualisasi *interlaced decomposition*.



Gambar 2.5 Metode *Interlaced Decomposition*

Operasi inti suatu FFT adalah proses sintesis sinyal domain waktu menjadi domain frekuensi. Operasi ini dilakukan setelah dekomposisi, pengurutan, dan penyederhanaan sinyal dilakukan. Pengurutan sinyal dilakukan dengan metode *bit reversal sorting* atau nilai biner dari urutan sampel ditukar dengan kebalikan atau *reverse*-nya. Misal, sampel 3 yang memiliki nilai biner 0011 akan ditukar urutannya dengan sampel 12 yang memiliki nilai biner 1100. Sintesis sinyal dilakukan dengan mencari spektrum frekuensi yang tepat dari setiap titik domain waktu. Dalam teorinya, nilai sinyal dalam spektrum frekuensi satu titik domain waktu tunggal bernilai sama dengan nilainya sendiri, hanya saja domainnya berubah.



Gambar 2.6 Metode *Butterfly*

Langkah terakhir FFT adalah menggabungkan sinyal-sinyal sampel spektrum frekuensi menjadi suatu sinyal spektrum frekuensi utuh. Penggabungan ini dilakukan dengan urutan yang merupakan kebalikan urutan dekomposisi. Dalam pengurutan ini, metode *bit reversal* tidak dapat diterapkan. Pengurutan spektrum frekuensi harus dapat memutar balik efek *interlaced decomposition*. Metode ini dikenal dengan sebutan *butterfly topology* yang dapat dilihat visualisasinya pada gambar di atas. Hasil akhir dari seluruh operasi ini adalah suatu sinyal utuh domain frekuensi yang menyatakan magnitudo suatu sinyal berdasarkan masing-masing frekuensinya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

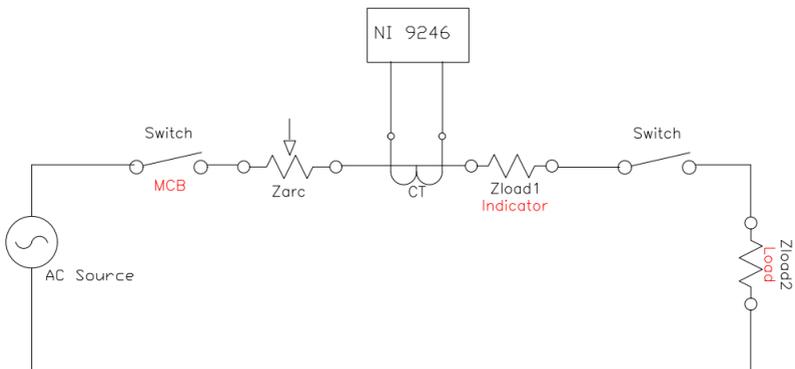
BAB III

PERANCANGAN ALAT EKSPERIMEN, PENGAMBILAN DAN PENGOLAHAN DATA

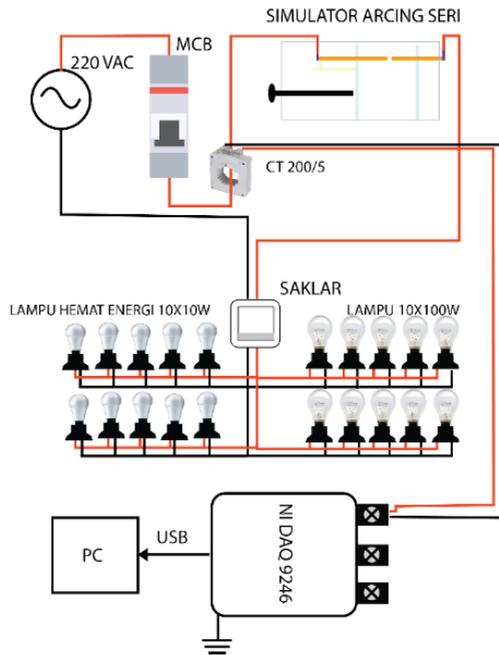
3.1 Perancangan Modul Simulasi *Arcing* Seri

Pada tugas akhir ini akan dilakukan simulasi fenomena gangguan *arcing* seri dengan menggunakan modul simulator *arcing* seri yang menggunakan sumber tegangan rendah 220V dan terhubung dengan beban linier dan non linier. Modul ini digunakan pada eksperimen yang terdiri dari 3 kondisi, yaitu kondisi normal, *switching*, dan *arcing*.

Modul simulasi *arcing* seri ini terdiri dari *chamber box*, beban lampu LED, beban lampu pijar, saklar, *miniature circuit breaker* dan transformator arus atau *current transformer*. Untuk keperluan akuisisi data, transformator arus akan terhubung dengan NI DAQ 9246. Data yang diterima oleh perangkat tersebut kemudian akan diolah dengan menggunakan *software* DIAdem. Rangkaian dan skema modul simulasi *arcing* seri dapat dilihat pada gambar 3.1 dan 3.2 berikut.

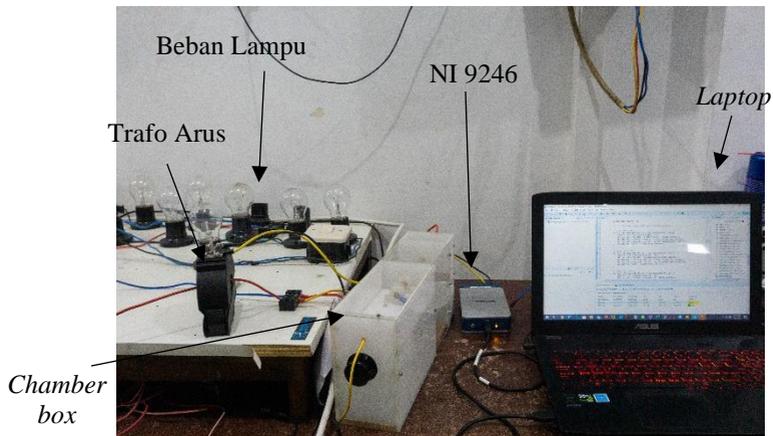


Gambar 3.1 Rangkaian Pengujian



Gambar 3.2 Skema Modul Simulasi *Arcing* Seri

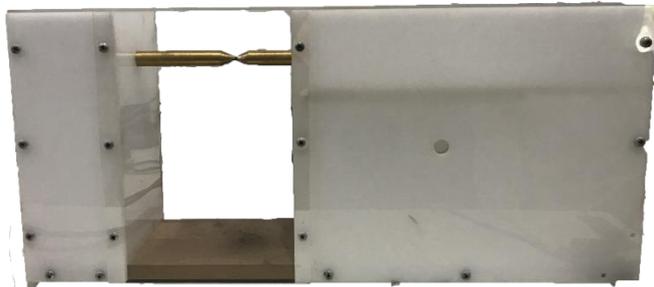
Seperti yang ditunjukkan oleh kedua gambar di atas, posisi elektroda tempat terjadinya gangguan *arcing* seri atau *chamber box* yang ditunjukkan oleh Zarc pada gambar 1 adalah seri terhadap beban atau Zload. Transformator arus akan di hubungkan dengan saluran fasa dan perangkat akuisisi data untuk melakukan pengambilan data. Terdapat 1 beban lampu pijar yang berfungsi sebagai indikator yang akan menyala apabila MCB berada pada posisi *on*. Gambar berikut menampilkan modul pengujian *arcing* seri.



Gambar 3. 3 Modul Pengujian Arcing Seri

3.1.1 Chamber Box

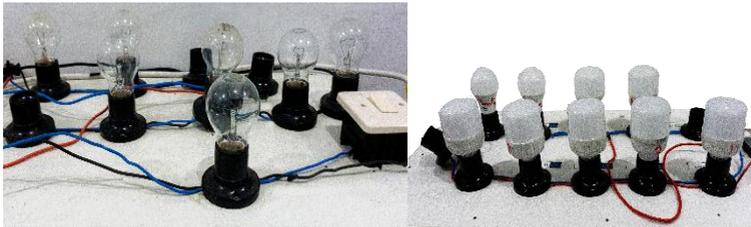
Chamber Box adalah tempat terjadinya gangguan *arcing* seri pada modul simulasi. Bagian ini terhubung dengan beban secara seri, artinya arus harus melewati *chamber box* sebelum mengalir ke beban. *Chamber box* ini berbentuk persegi panjang dengan ukuran panjang 36 cm, lebar 9 cm, dan tinggi 16 cm, dengan *casing* berbahan akrilik berlandaskan kayu. *Chamber box* terdiri dari dua batang konduktor tembaga, di mana jarak antar konduktor tersebut dapat diatur dengan menggunakan tuas putar. Untuk menyambungkan sirkuit dan mengalirkan arus ke beban, kedua konduktor harus bersentuhan. Untuk membangkitkan *arcing* seri, maka jarak konduktor diatur menjauh agar terdapat celah atau rongga udara di antara kedua konduktor tersebut. Elektroda berbahan dasar logam kuningan dengan diameter 10 mm.



Gambar 3.4 Chamber Box

3.1.2 Beban Lampu

Tugas akhir ini menggunakan beban yang didesain untuk memberi efek perubahan koefisien harmonik dan total daya. Beban yang digunakan berupa lampu LED hemat energi untuk variasi harmonisa atau THD dan lampu pijar untuk variasi pembebanan. Untuk melakukan variasi THD, beban dikombinasikan sedemikian rupa hingga menghasilkan daya yang sama untuk setiap kasus namun dengan jumlah lampu LED hemat energi yang berbeda-beda. Sedangkan untuk melakukan variasi pembebanan, jumlah beban yang divariasikan adalah lampu pijar, dengan jumlah lampu LED yang sama untuk setiap kasusnya.



Gambar 3.5 Beban Lampu Pijar dan LED

3.1.3 Transformator Arus (CT)

CT atau trafo arus digunakan pada tugas akhir ini untuk melakukan konversi nilai arus menjadi nilai yang dapat dibaca secara aman oleh perangkat NI DAQ 9246 sebagai penerima data, dan oleh modul deteksi *arc*ing seri. CT yang digunakan pada tugas akhir ini adalah CT jenis Powell MCQ-30, dengan rasio 200/5. CT Powell MCQ-30 memiliki

tingkat kesalahan pembacaan atau *error* sebesar 1%. *Range* frekuensi CT ini adalah pada rentang 50-60Hz.



Gambar 3.6 Transformator Arus 200/5

3.1.4 *Miniature Circuit Breaker (MCB)*

MCB adalah perangkat yang berfungsi sebagai pengaman sirkuit atau instalasi listrik dari arus berlebih. Pada tugas akhir ini, MCB terhubung dengan sumber pada sisi *input* dan dengan *chamber box* pada sisi *output*. MCB yang digunakan adalah MCB 16A yang umum digunakan pada instalasi tegangan rendah dengan daya 3500VA.



Gambar 3.7 *Miniature Circuit Breaker (MCCB)*

3.1.5 Alat Akuisisi Data NI DAQ 9246

Perangkat NI DAQ atau *National Instrument Data Acquisition* 9246 adalah perangkat yang mampu menerima data berupa bentuk gelombang arus serta besaran-besaran terkait lainnya. NI DAQ 9246 memiliki 3 *input channel* yang masing-masing memiliki laju *sampling* 50kS/s. Perangkat ini didesain untuk digunakan bersama trafo arus dengan keluaran sekunder 1A maupun 5A. NI 9246 dapat memiliki *measurement range* sebesar 20Arms kontinu, dan 30A *instantaneous*. NI 9246 mampu bertahan dari kerusakan apabila menerima lonjakan arus sebesar 1250A dalam 1 siklus gelombang. Suhu operasi berada dalam rentang -40°C hingga 70°C.

Pada tugas akhir ini, NI DAQ 9246 digunakan untuk melakukan pengambilan data arus 1 fasa yang mengalir pada sirkuit dalam kondisi normal, *switching*, dan *arcing*. Perangkat ini dihubungkan dengan transformator arus menggunakan *probe* khusus.

Sebelum dapat melakukan akuisisi data, NI DAQ 9246 harus dikonfigurasi dengan menggunakan perangkat lunak LabVIEW. Konfigurasi ini bertujuan agar data yang diperoleh akurat dan tidak terjadi kerusakan pada NI DAQ 9246.



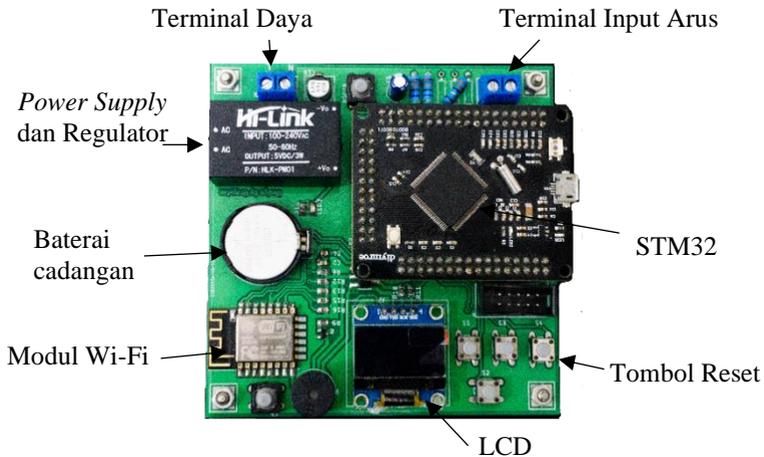
Gambar 3.8 NI 9246

3.1.6 Alat Deteksi Arcing Seri

Alat deteksi *arcing* seri alat sebuah alat berbasis *microcontroller* yang didesain untuk mampu mendeteksi adanya gangguan *arcing* seri, dan melakukan pengelompokkan gangguan berdasarkan tingkat keparahannya. Alat ini menggunakan *microcontroller* tipe STM32 sebagai *processor* logika utamanya. Pemilihan penggunaan STM32

didasarkan pada kecepatan pengolahan datanya yang mampu mengeksekusi 215 MIPS atau 215 juta instruksi per detik dalam kinerja maksimalnya. Kecepatan pengolahan data ini sangat dibutuhkan untuk melakukan deteksi *arcing* secara *real-time* untuk mengimbangi durasi terjadinya *arcing* yang sangat singkat.

Alat deteksi *arcing* seri yang digunakan dalam tugas akhir ini memiliki LCD yang digunakan untuk menampilkan pesan deteksi ketika terjadi *arcing*. LCD akan menampilkan hasil deteksi dan kategori gangguan berdasarkan tingkat keparahannya. Selain LCD, alat deteksi juga dilengkapi dengan modul *Power Supply* yang dilengkapi *Regulator* agar alat dapat terhubung dengan sumber tegangan 220V. Dalam melakukan deteksi, alat akan menerima sinyal dari transformator arus, di mana sinyal ini akan diterima oleh *converter analog-to-digital* pada STM32 sebelum diproses sesuai instruksi. Sinyal yang telah melalui konversi kemudian diolah secara FFT, dan kemudian hasil deteksi ditampilkan pada layar.



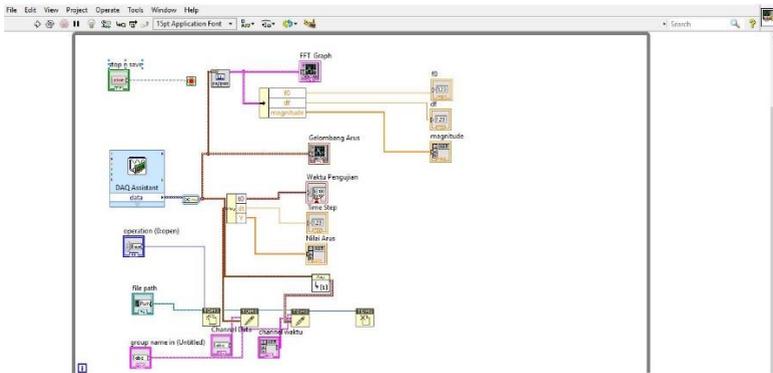
Gambar 3.9 Alat Deteksi *Arcing* Seri

3.1.7 LabVIEW

LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench*) adalah suatu perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan konfigurasi instrumen-instrumen NI dan melakukan

pengiriman data pada server ke *database* agar dapat diakses dan diolah. LabVIEW bekerja dengan konsep *diagram block*, di mana tiap *block* memiliki fungsi dan kode program tersendiri dan dapat saling dihubungkan untuk melakukan suatu fungsi yang terintegrasi. Pengguna LabVIEW dapat memilih, menempatkan, menghubungkan, dan mengubah *block* yang digunakan pada tampilan *editor panel*. Sedangkan operasi *debug* dan penyusunan VI atau *visual instrument* dilakukan pada tampilan *front panel*.

Pada tugas akhir ini, LabVIEW digunakan untuk melakukan konfigurasi NI DAQ 9246. Konfigurasi ini terdiri dari pemilihan *channel*, pengaturan *block diagram*, dan pengaturan parameter akuisisi data seperti frekuensi *sampling*.



Gambar 3.10 Tampilan LABView

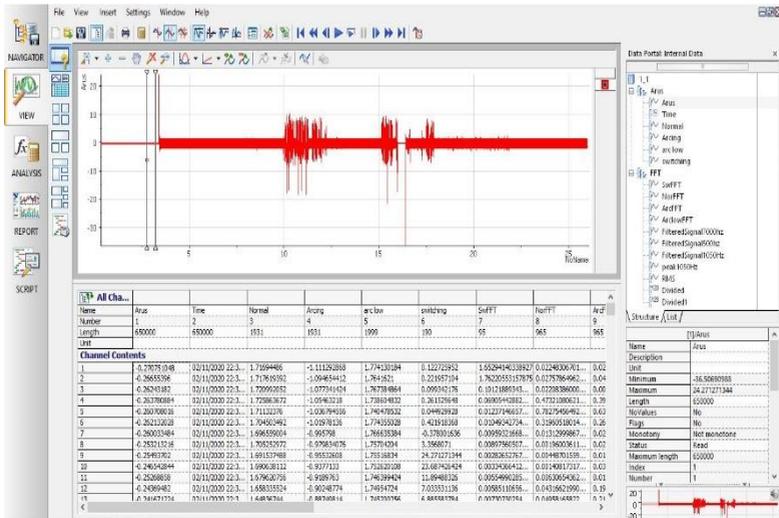
3.1.8 DIAdem

DIAdem adalah perangkat lunak atau *software* buatan *National Instrument* yang ditujukan untuk memudahkan proses pengolahan data. DIAdem dapat membaca data yang diperoleh menggunakan modul akuisisi data ciptaan NI seperti NI DAQ 9246 yang digunakan pada tugas akhir ini. Perangkat lunak ini secara *default* adalah perangkat lunak utama untuk membaca dan mengolah data yang disimpan dengan format *.tdms*.

Dalam DIAdem, tersedia berbagai opsi pengolahan data baik data numerik maupun sinyal. Beberapa fitur yang diunggulkan adalah kemampuan DIAdem untuk melakukan konversi sinyal ke dalam bentuk FFT atau *Fast Fourier Transform*, baik *one-time* ataupun *two-time* FFT secara langsung dalam aplikasi. Fitur ini sangat memudahkan konversi

sinyal dari domain waktu menjadi domain frekuensi tanpa perhitungan yang rumit. DIAdem juga dapat melakukan pengolahan kumpulan sinyal yang dilakukan secara berulang atau memiliki pola pengolahan yang sama secara otomatis.

Pada tugas akhir ini, DIAdem digunakan untuk melakukan pemotongan sinyal. Menggunakan DIAdem, akan diperoleh bentuk sinyal kondisi normal, *switching*, dan *arcng*. DIAdem juga digunakan untuk melakukan konversi sinyal dengan FFT untuk menentukan *threshold* terjadinya *switching* dan *arcng*.



Gambar 3.11 Tampilan DIAdem

3.2 Pengambilan dan Pengolahan Data

Subbab ini membahas metode akuisisi atau pengambilan dan pengolahan data yang digunakan pada tugas akhir ini. Pengambilan data dibedakan menjadi pengambilan data primer untuk melakukan karakterisasi gelombang arus, dan pengambilan data sekunder untuk menentukan *threshold* dan melakukan deteksi.

3.2.1 Pengambilan Data Primer

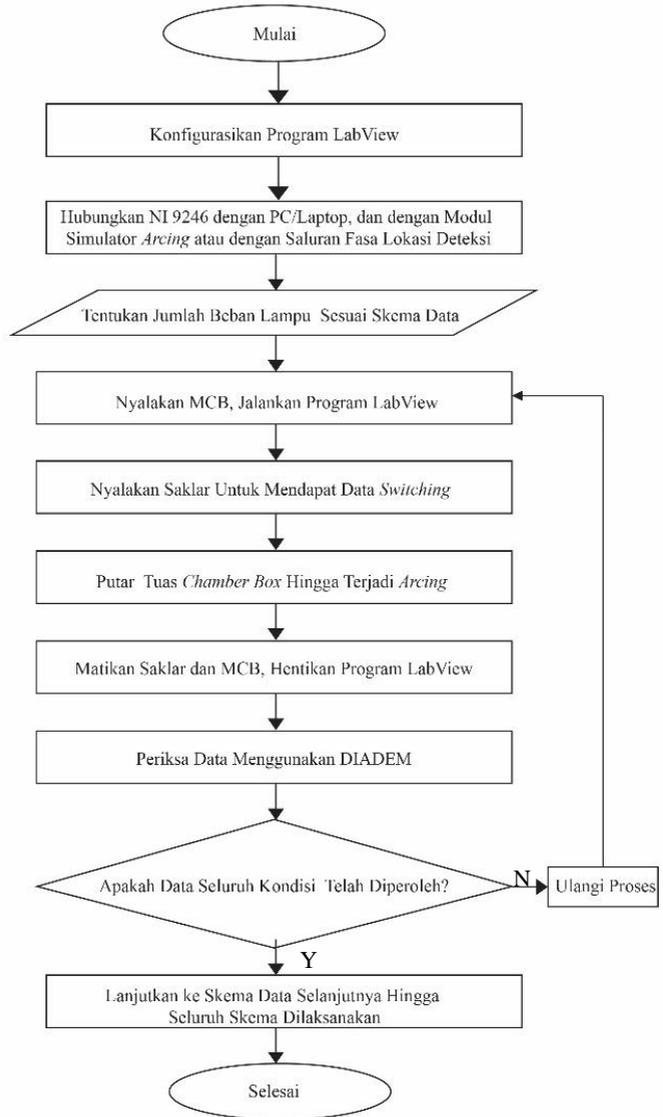
Pengambilan data primer adalah proses pengambilan data dengan menggunakan perangkat keras NI DAQ 9246 untuk memperoleh sinyal

arus. Data yang diperoleh pada proses ini adalah sinyal arus dalam domain waktu pada kondisi normal, *switching*, dan *arcng*.

Dalam proses pengambilan data primer, modul simulasi *arcng* seri digunakan untuk menimbulkan fenomena *arcng* seri, dan NI DAQ 9246 dihubungkan dengan *current transformer* (CT) yang dilalui konduktor untuk melakukan akuisisi data. NI DAQ 9246 juga terhubung komputer untuk menjalankan program yang telah disusun melalui perangkat lunak LabVIEW.

Pengambilan data primer dilakukan di 5 titik, yang akan dijelaskan pada subbab di bawah. Perpindahan titik pengambilan data ini bertujuan melihat pengaruh terjadinya *arcng* pada gelombang arus sisi beban terhadap gelombang arus sisi penyulang.

Pada saat pengambilan data, modul simulasi akan dinyalakan dengan sumber 220V, kemudian MCB 16A dinyalakan. Lampu 100W sebanyak 1 buah yang berfungsi sebagai indikator yang menandakan modul telah dialiri arus listrik akan menyala. Kondisi ini hanya tercapai jika elektroda dalam posisi bersentuhan atau tanpa jarak. Untuk melakukan pengambilan data dengan NI DAQ 9246, program LabVIEW dijalankan melalui komputer. Kemudian, saklar disambungkan sehingga lampu menyala.. Data yang diperoleh pada tahap ini adalah data arus *switching*. Ketika dalam kondisi *steady state* setelah beban lampu menyala, diperoleh data kondisi normal. Untuk memperoleh data kondisi *arcng*, maka jarak antar elektroda diatur dengan menggunakan tuas putar hingga timbul *arcng* seri. Data dari proses ini akan tersimpan dalam format .tdms untuk kemudian diolah. Gambar 3.12 di bawah menunjukkan diagram alir atau *flowchart* pengambilan data primer.

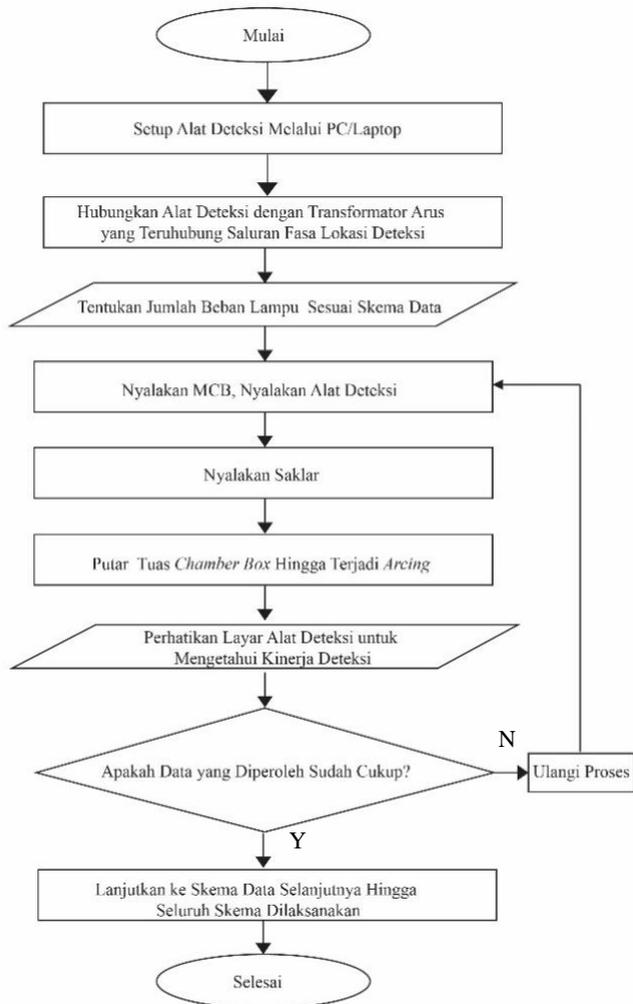


Gambar 3.12 Diagram Alir Pengambilan Data Primer

3.2.2 Pengambilan Data Sekunder

Pengambilan data sekunder adalah pengambilan data sinyal arus yang dilakukan dengan menggunakan alat deteksi *arcing* seri yang telah diterapkan metode *Fast Fourier Transforms*. Pengambilan data sekunder juga dilakukan dengan menggunakan tiga kondisi, yaitu kondisi normal, *switching* dan *arcing*. Tujuan dari pengambilan data ini adalah untuk membandingkan antara gelombang sinyal arus dalam domain waktu dan domain frekuensi, serta untuk membedakan kondisi normal, *switching*, dan *arcing* dalam domain frekuensi. Dalam membedakan kondisi-kondisi tersebut, digunakan *threshold* atau batas yang telah ditentukan sesuai dengan data pengujian.

Mekanisme atau proses pengambilan data sekunder hampir sama dengan mekanisme atau proses dalam pengambilan data primer. Hanya saja, dalam pengambilan data sekunder, tugas dari modul NI DAQ 9246 digantikan oleh alat deteksi *arcing* sebagai perangkat akuisisi data sinyal arus. Alat deteksi ini akan memproses sinyal arus yang awalnya berada dalam domain waktu, lalu ditransformasikan ke domain frekuensi dengan metode *Fast Fourier Transforms*. Diagram alir (*flowchart*) dari proses tersebut diberikan dalam Gambar 3.13 di bawah ini.



Gambar 3.13 Diagram Alir Pengambilan Data Sekunder

Data akan tersimpan dalam *micro* SD yang terdapat pada alat deteksi. Data dapat dipindahkan ke komputer dan diproses dengan menggunakan perangkat lunak seperti Excel dan DIAdem.

3.2.3 Skema Kombinasi Pembebanan dan Harmonisa

Pengambilan data pada tugas akhir ini dilakukan dengan dua tujuan utama, yaitu untuk melakukan karakterisasi fenomena *arc*ing seri, dan melakukan pendeteksian terhadap fenomena tersebut. Untuk memperoleh data karakterisasi, perlu digunakan kombinasi pembebanan dan harmonisa. Kombinasi ini berfungsi sebagai variabel bebas yang akan diamati pengaruhnya terhadap fenomena *arc*ing.

Tabel 3.1 Skema Pengambilan Data Primer

Case	Lampu Pijar (W)	LED (W)	Jumlah Kondisi Arus	Jumlah Percobaan	Jumlah Lokasi Deteksi	Data per Lokasi
1	360	40	3	3	5	45
2	340	60	3	3	5	45
3	300	100	3	3	5	45
4	560	40	3	3	5	45
5	540	60	3	3	5	45
6	500	100	3	3	5	45
7	760	40	3	3	5	45
8	740	60	3	3	5	45
9	700	100	3	3	5	45
TOTAL						405

Tabel 3.2 Skema Pengambilan Data Sekunder

Case	Lampu Pijar (W)	LED (W)	Jumlah Kondisi Arus	Jumlah Percobaan	Jumlah Lokasi Deteksi	Data per Lokasi
1	360	40	2	3	5	30
2	340	60	2	3	5	30
3	300	100	2	3	5	30
4	560	40	2	3	5	30
5	540	60	2	3	5	30
6	500	100	2	3	5	30
7	760	40	2	3	5	30
8	740	60	2	3	5	30
9	700	100	2	3	5	30
TOTAL						270

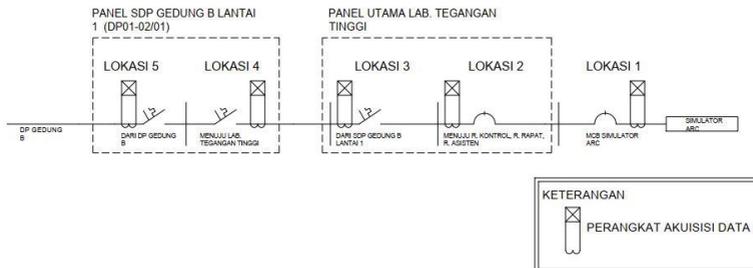
Tabel di atas menunjukkan skema pengambilan beban untuk tugas akhir ini. Skema tersebut disusun untuk mendapatkan data yang mampu menunjukkan efek harmonisa melalui perubahan jumlah LED dan efek pembebanan melalui perubahan jumlah bohlam. Pengambilan data primer dengan NI DAQ 9246 dilakukan dengan 9 kasus yang meliputi 3 skema harmonisa dan 3 skema pembebanan. Percobaan untuk tiap kasus dilakukan sebanyak 3 kali untuk mendapatkan data yang akurat dan konsisten. Pengambilan data dilakukan pada 3 kondisi yaitu kondisi normal, *switching*, dan *arcing*. Berdasarkan skema ini, maka untuk 1 lokasi deteksi akan diperoleh data sebanyak 81 data primer. Pengambilan data dilakukan di 5 lokasi yang berbeda sehingga total data primer adalah sebanyak 405 data. Pengambilan data sekunder dengan alat deteksi *arcing* seri juga dilakukan sebanyak 3 kali untuk setiap kasusnya, dengan 2 kategori *arcing*. Total data yang diperoleh dari pengambilan data sekunder adalah 270 data, sehingga secara keseluruhan tugas akhir ini memiliki 675 data.

Fenomena *arcing* seri dibangkitkan menggunakan modul simulator *arcing* seri. Ketika melakukan pengambilan data, kondisi awal berupa modul dengan posisi CB *on* sedangkan posisi saklar *off*. Hal ini ditandai dengan menyalanya 1 buah lampu pijar sebagai indikator, dan lampu lainnya dalam posisi mati. Pada pengambilan data primer, program

LabView untuk pengambilan data dengan NI 9246 kemudian dijalankan. Dalam kondisi program berjalan, saklar dinyalakan sehingga NI 9246 merekam kondisi *switching*. Setelahnya NI 9246 akan merekam kondisi normal yang terjadi sebelum tuas putar pada *arc chamber* diputar. Setelah data kondisi normal diperoleh, tuas akan diputar hingga menimbulkan fenomena *arcing*. Apabila kebutuhan data ketiga kondisi telah terpenuhi, maka program akan dihentikan, dan modul simulator akan dimatikan.

3.2.4 Lokasi Pengambilan Data

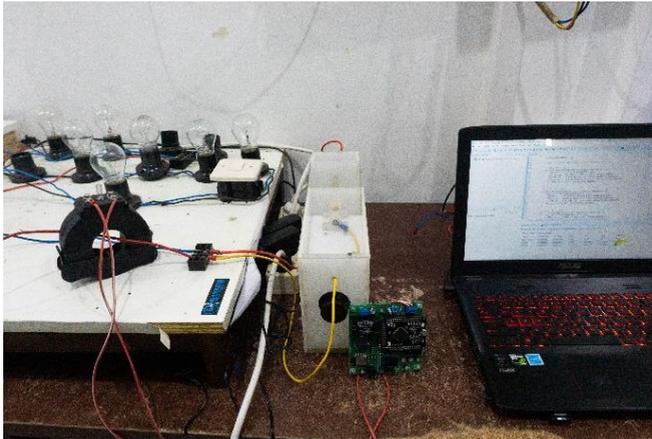
Pada tugas akhir ini, pengambilan data dilakukan pada 5 lokasi yang berbeda. Tujuan dari perpindahan lokasi pengambilan data ini adalah untuk mengetahui pengaruh terjadinya *arcing* pada sisi beban terhadap penyulangannya, mulai dari yang terdekat, hingga penyulang pada panel SDP. Gambar di bawah menampilkan *single line diagram* lokasi pengambilan data dan deteksi.



Gambar 3.14 *Single Line Diagram* Pengambilan Data

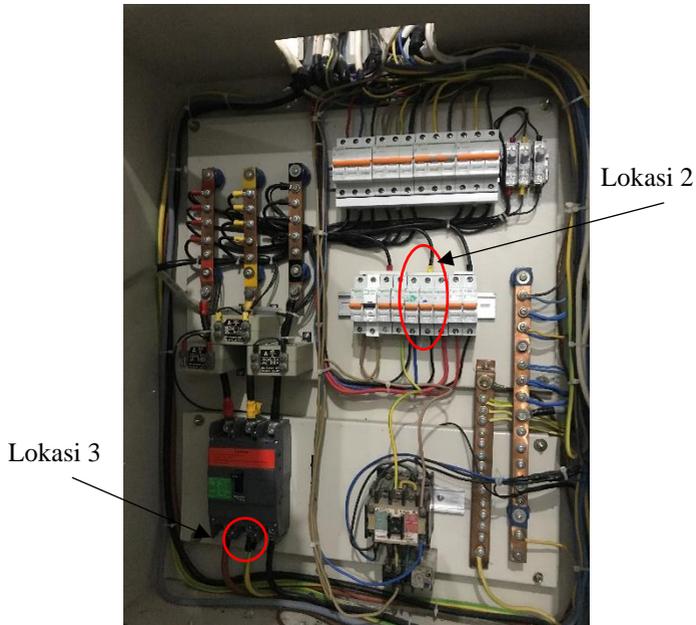
Seperti yang terlihat pada gambar di atas, terdapat 1 lokasi simulasi *arcing* seri, dan 5 lokasi pengambilan data. *Arcing* seri disimulasikan dengan menggunakan modul simulator *arcing* seri yang terletak di Ruang Kontrol Laboratorium Tegangan Tinggi. Sepanjang proses pengerjaan tugas akhir ini, tidak dilakukan perpindahan lokasi modul simulator tersebut sehingga lokasi terjadinya *arcing* tidak berubah. Perpindahan lokasi pengambilan data dilakukan dengan memindah perangkat akuisisi data. Lokasi terjadinya *arcing* ini selanjutnya akan disebut sebagai Lokasi 1. Pada lokasi ini, pengambilan data dilakukan dengan menghubungkan perangkat akuisisi data berupa transformator arus, NI 9246, serta alat

deteksi dengan saluran fasa modul simulator *arcing* seri. Gambar berikut menunjukkan lokasi 1 pengambilan data.



Gambar 3.15 Lokasi 1

Selanjutnya, pengambilan data dilakukan pada saluran fasa sisi *incoming* salah satu MCB pada Panel Utama Laboratorium Tegangan Tinggi. MCB ini menjadi penghubung antara MCCB Panel Utama Laboratorium Tegangan Tinggi dengan instalasi ruang rapat, ruang asisten dan ruang kontrol. Fasa yang terhubung adalah fasa S. Pengambilan data pada lokasi ini bertujuan mengetahui karakteristik arus saluran fasa ketika terjadi *arcing* seri pada salah satu bebannya, dan beban lainnya tetap berada dalam kondisi normal. Dalam penulisan buku tugas akhir, lokasi ini akan disebut sebagai lokasi 2. Gambar berikut menampilkan lokasi 2 dan lokasi 3.

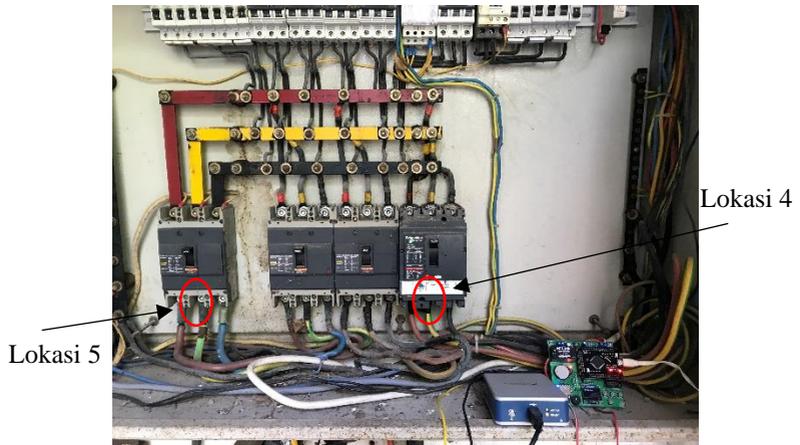


Gambar 3.16 Lokasi 2 dan Lokasi 3

Lokasi pengambilan data primer dan sekunder berikutnya adalah saluran fasa pada sisi *incoming* MCCB Panel Utama Laboratorium Tegangan Tinggi seperti yang ditampilkan pada gambar di atas. MCCB tersebut terhubung dengan seluruh beban yang berada di Laboratorium Tegangan Tinggi. Melalui pengambilan data lokasi 2, diketahui bahwa beban modul simulator *arcing* seri terhubung pada fasa S sehingga pada lokasi ini perangkat akuisisi data juga dihubungkan dengan saluran fasa S. Lokasi pengambilan data pada sisi *incoming* fasa S MCCB Panel Utama Laboratorium Tegangan Tinggi selanjutnya akan disebut sebagai Lokasi 3, Seperti pada lokasi 2, tujuan pengambilan data pada lokasi ini adalah untuk mengetahui apakah *arcing* seri yang terjadi pada salah satu beban berpengaruh terhadap karakteristik arus penyulanganya.

Lokasi berikutnya adalah sisi *outgoing* saluran fasa pada salah satu MCCB pada Panel SDP Gedung B Lantai 1 Departemen Teknik Elektro ITS. MCCB ini adalah penghubung antara Panel SDP Gedung B Lantai 1 dengan Panel Utama Laboratorium Tegangan Tinggi. Seperti kedua lokasi sebelumnya, saluran fasa yang dihubungkan dengan perangkat

akuisisi data adalah fasa S. Sisi *incoming* MCCB ini memiliki panjang kabel dan jarak antar saluran fasa yang tidak memungkinkan untuk dihubungkan dengan transformator arus tipe *clamp*, sehingga diputuskan untuk melakukan pengambilan data pada sisi *outgoing*. Lokasi ini selanjutnya akan disebut sebagai lokasi 4. Gambar berikut menampilkan lokasi 4 dan 5.



Gambar 3.17 Lokasi 4 dan Lokasi 5

Lokasi pengambilan data terakhir adalah sisi *incoming* saluran fasa S MCCB utama pada Panel SDP Gedung B Lantai 1 Departemen Teknik Elektro ITS. MCCB ini menghubungkan Panel SDP Gedung B Departemen Teknik Elektro dengan Panel SDP Gedung B Lantai 1 Departemen Teknik Elektro. Beban yang terhubung dengan MCCB ini adalah Laboratorium Konversi Energi, Laboratorium Tegangan Tinggi, Laboratorium Sistem Pengaturan, Laboratorium Simulasi Sistem Tenaga Listrik, Sekretariat Himpunan Mahasiswa, serta penerangan pada kamar mandi dan selasar. Dalam penulisan buku tugas akhir, lokasi ini akan disebut sebagai lokasi 5.

Pengambilan data yang dilakukan pada lokasi 1 akan menghasilkan data yang menunjukkan gelombang arus asli fenomena *arcing* seri. Pengambilan data pada lokasi 2 hingga lokasi 5 tanpa memindah lokasi terjadinya *arcing* seri akan menghasilkan data yang menunjukkan pengaruh terjadinya *arcing* seri pada sisi beban terhadap sisi

penyulangannya, sekaligus memperlihatkan perubahan pengaruh *arcing* seri seiring menjauhnya

3.2.5 Pengolahan Data

Pengolahan data bertujuan untuk melakukan karakterisasi terhadap fenomena *arcing* seri yang terjadi pada sisi beban. Dalam proses pengolahan ini, data berupa gelombang arus yang telah diakuisisi akan dianalisis, ditransformasikan jika perlu, dan dibandingkan dengan data lainnya hingga dapat ditentukan *threshold* terjadinya *arcing* seri.

Data primer yang tersimpan dalam format .tdms. akan diolah menggunakan perangkat lunak DIAdem dan Excel. Data ini merupakan gelombang arus kondisi normal, *switching*, dan *arcing* dalam domain waktu. Pengolahan data primer meliputi transformasi data dari domain waktu ke dalam domain frekuensi dengan metode FFT. Variasi harmonisa dan pembebanan akan menghasilkan bentuk gelombang yang berbeda sehingga dapat terlihat pengaruh dari kedua variasi tersebut terhadap fenomena *arcing* seri tegangan rendah. Melalui pengolahan data primer akan diperoleh *threshold* yang menjadi batasan antara fenomena *arcing* dan *switching*. *Threshold* ini kemudian akan diterapkan pada alat pendeteksi *arcing* untuk pengambilan data sekunder.

Pengolahan data sekunder adalah proses mengetahui kinerja metode deteksi dan *threshold* yang telah ditentukan sebelumnya dalam mendeteksi terjadinya *arcing* seri. Data dari alat pendeteksi akan tersimpan dalam format .txt. dan dapat diolah menggunakan perangkat lunak Excel. Melalui data ini, dapat dilakukan perbaikan metode deteksi dan *threshold* jika dibutuhkan. Data sekunder juga menunjukkan apakah terjadinya *arcing* seri pada sisi beban dapat terdeteksi pada sisi penyulangannya.

BAB IV

HASIL DAN ANALISA DATA

4.1 Hasil Pengambilan Data Primer

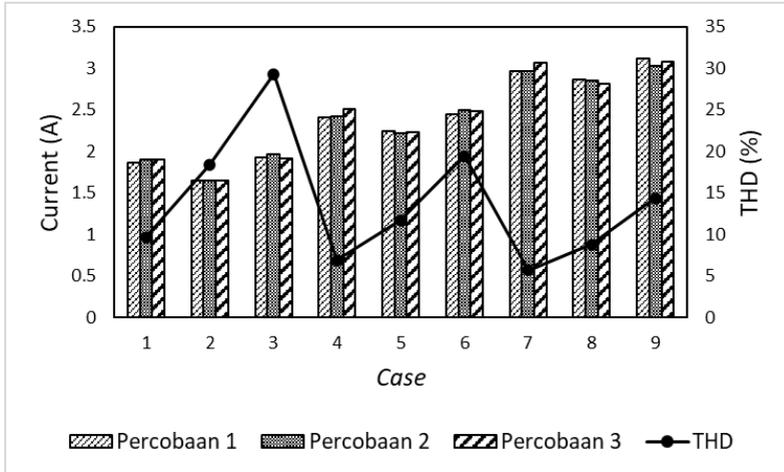
Subbab ini menjelaskan tentang pengolahan dan hasil pengambilan data primer sesuai mekanisme yang telah dijelaskan sebelumnya untuk memperoleh grafik kondisi normal, *switching*, dan *arcing*. Data primer disimpan dalam format .tdms. yang menjadi format standar penyimpanan data hasil akuisisi NI 9246. Pengolahan menggunakan perangkat lunak DIADEM. Proses pengolahan meliputi pemotongan gelombang arus, normalisasi nilai arus, dan penentuan karakteristik arus *arcing* seri terhadap pengaruh harmonik dan pembebanan. Pemotongan gelombang arus dilakukan untuk memisahkan gelombang arus kondisi normal, *switching*, dan *arcing*. Normalisasi dilakukan dengan membagi nilai arus terhadap nilai RMS untuk menentukan karakteristiknya. Penentuan karakteristik gelombang arus dilakukan dengan membandingkan bentuk gelombang dan nilai arus pada tiap kondisi.

Data pada subbab ini disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Pada kondisi normal dan *switching*, data yang ditampilkan adalah tdata arus pada lokasi 1, sedangkan data arus lokasi 2 hingga 5 ditampilkan pada lampiran. Hal ini dikarenakan kesamaan karakteristik pada setiap lokasi sehingga hanya 1 lokasi yang ditampilkan untuk dianalisis pada subbab ini. Pada kondisi *arcing*, ditampilkan data seluruh lokasi beserta analisisnya.

4.1.1 Data Arus Kondisi Normal

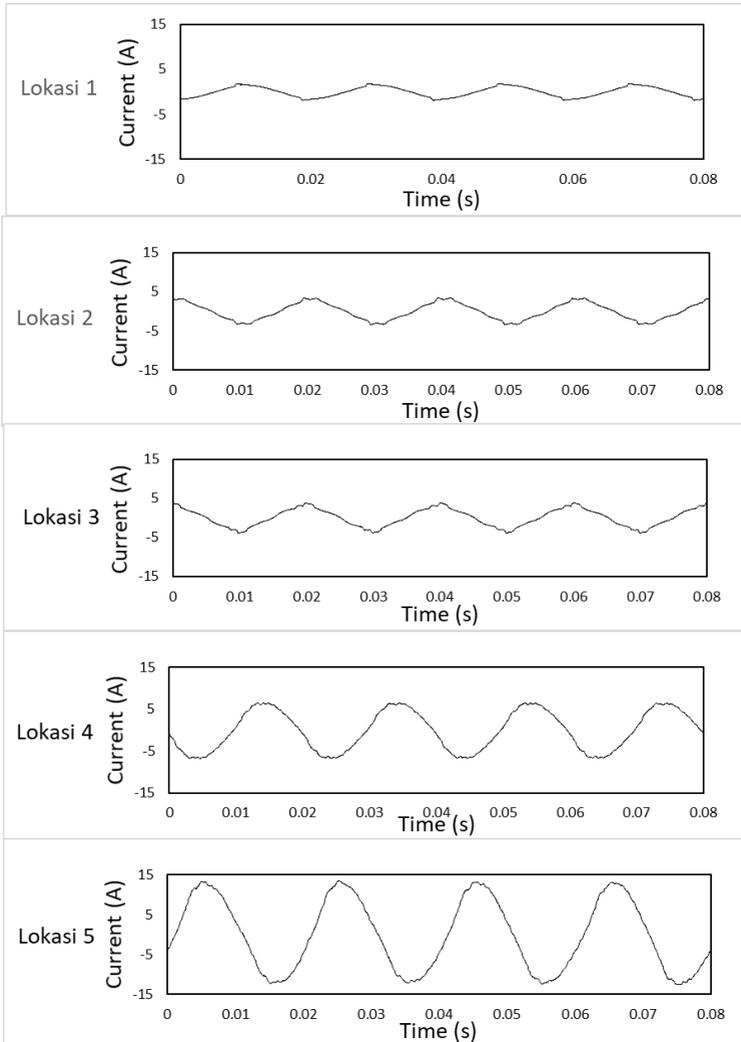
Kondisi normal didefinisikan sebagai kondisi *steady state* pasca *switching* di mana tidak terjadi fenomena *arcing*. Secara garis besar, bentuk gelombang arus ini adalah sinusoid dengan distorsi akibat adanya harmonisa. Melalui hasil percobaan diperoleh bahwa gelombang arus pada kondisi normal untuk masing-masing *case* pada lokasi pengambilan data yang sama memiliki amplitudo yang meningkat seiring dengan meningkatnya daya beban. Perubahan harmonisa mengakibatkan bentuk gelombang semakin terdistorsi seiring dengan meningkatnya nilai THD. Data berupa tabel arus kondisi normal lokasi 1 ditampilkan untuk melihat pengaruh perubahan daya dan harmonisa, diikuti data berupa grafik akan ditampilkan untuk melihat perbedaan bentuk gelombang arus kondisi normal masing-masing lokasi. Gambar di bawah menampilkan hasil

pengambilan data arus kondisi normal lokasi 1. Karena kesamaan karakteristik data seluruh lokasi, hasil pengambilan data lokasi 2 hingga 5 ditampilkan pada lampiran dalam bentuk tabel-tabel yang memuat detail data.



Gambar 4.1 Hasil Pengambilan Data Kondisi Normal Lokasi 1

Pada pengambilan data, setiap *case* diikuti dengan perubahan nilai harmonisa, serta terdapat 3 kelompok daya yaitu daya 400W pada *case* 1-3, daya 600W pada *case* 4-6, dan daya 800W pada *case* 7-9. Terlihat bahwa terdapat perubahan nilai maksimum arus kondisi normal seiring perubahan THD. Pola yang ditunjukkan oleh hasil pengambilan data adalah bahwa terdapat penurunan arus pada *level* harmonisa kedua setiap kelompok daya, kemudian kembali meningkat pada *level* harmonisa ketiga. Diketahui pula bahwa kenaikan daya menyebabkan kenaikan arus kondisi normal. Pola pengaruh pembebanan dan harmonisa pada lokasi 1 juga dapat ditemukan pada data kondisi normal lokasi 2 hingga lokasi 5.



Gambar 4.2 Arus Kondisi Normal *Case 1*

Gambar 4.2 menampilkan spektrum gelombang arus kondisi normal *case 1* pada setiap lokasi. Seperti terlihat pada gambar tersebut, arus kondisi normal pada lokasi 1 hingga 3 memiliki bentuk gelombang

terdistorsi. Distorsi ini disebabkan adanya harmonisa akibat penggunaan beban non linier. Pada ketiga lokasi ini, arus kontribusi dari beban non linear yang digunakan pada modul simulasi *arcing* seri masih tinggi, sehingga distorsi sangat terlihat.

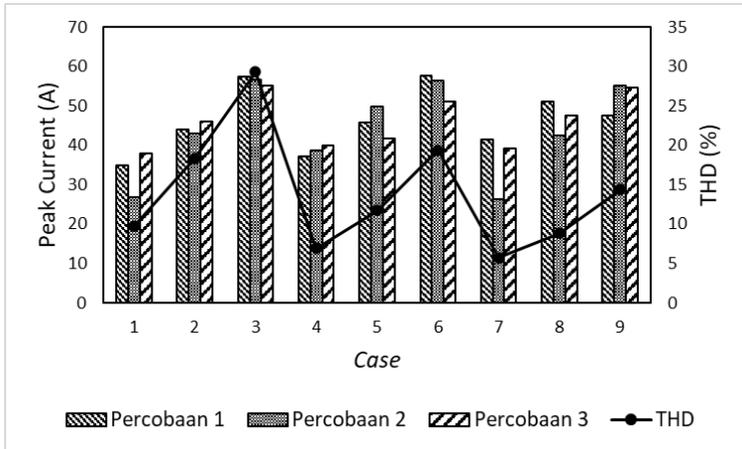
Pada lokasi 4 dan lokasi 5, akibat banyaknya beban terhubung dan posisi *feeder* yang berada jauh dari lokasi beban non linier yang digunakan pada modul simulasi, pengaruh harmonisa menjadi berkurang dan bentuk gelombang semakin mendekati sinusoid murni.

Melalui pengamatan spektrum arus pada gambar 4.2, terlihat bahwa terdapat perbedaan amplitudo arus pada tiap lokasi. Amplitudo terkecil adalah amplitudo lokasi 1, dan amplitudo terbesar adalah amplitudo lokasi 5. Hal ini akibat pembebanan pada setiap lokasi yang lebih tinggi dari lokasi sebelumnya.

Data berupa spektrum gelombang arus kondisi normal *case 2* hingga *case 9* ditampilkan pada lampiran. Data tersebut memiliki karakteristik berupa bentuk gelombang yang sama dengan spektrum arus kondisi normal *case 1*, dan pola perubahan amplitudo sesuai dengan yang ditampilkan dan dijelaskan melalui gambar 4.1

4.1.2 Data Arus Kondisi *Switching*

Kondisi *switching* adalah kondisi yang terjadi ketika saklar dinyalakan. Pada kondisi ini, terjadi peningkatan arus yang sangat besar dalam durasi yang sangat singkat sehingga tidak mengaktifkan mekanisme *trip* peralatan proteksi. Gambar 4.3 menunjukkan data hasil percobaan untuk kondisi *switching* pada lokasi 1. Seperti halnya kondisi arus normal, subbab ini hanya menampilkan data lokasi 1 sedangkan data berupa tabel yang memuat detail hasil pengambilan data kondisi *switching* lokasi 2 hingga 5 ditampilkan pada lampiran karena kesamaan karakteristik seluruh lokasi.



Gambar 4.3 Hasil Pengambilan Data Kondisi *Switching* Lokasi 1

Berdasarkan data tersebut, diketahui bahwa arus maksimum kondisi *switching* meningkat seiring dengan peningkatan harmonisa di setiap kelompok daya. Data percobaan pada gambar 4.3 menunjukkan bahwa nilai puncak arus ketika *switching* tidak memiliki nilai tetap. Nilai puncak arus ini berada pada *range* tertentu.

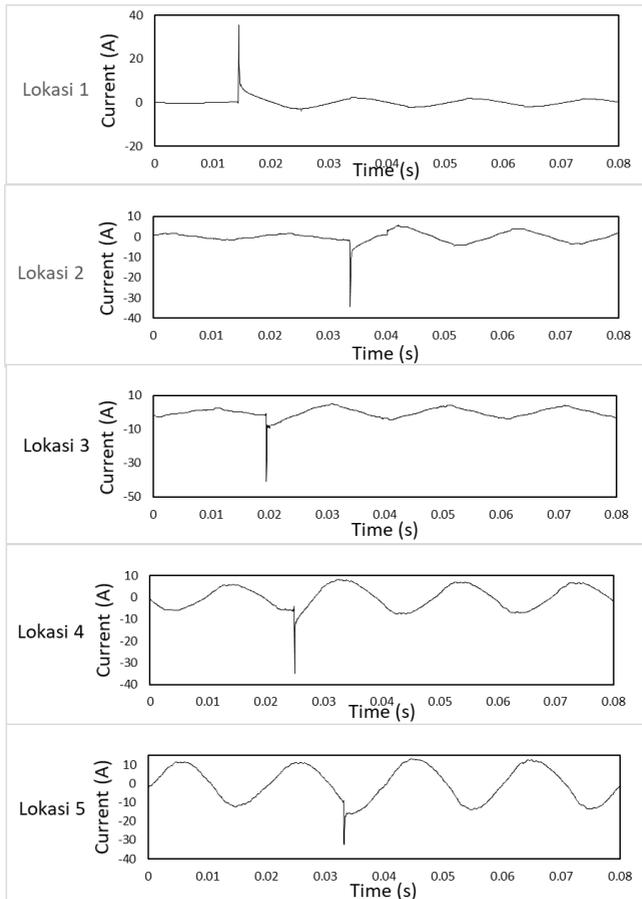
Pola perubahan nilai arus *switching* yang ditunjukkan oleh pengujian pada lokasi 1 juga ditunjukkan oleh lokasi 1 hingga lokasi 5. Tidak ada perbedaan bentuk gelombang arus *switching* lokasi 1 dan lokasi-lokasi lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa peristiwa penyalan atau penyambungan beban yang terjadi pada *feeder* sisi beban memiliki pengaruh hingga 4 tingkatan *feeder* di atasnya. Data berupa tabel nilai arus *switching* lokasi 2 hingga lokasi 5 dapat ditemukan pada lampiran.

Gambar 4.4 menampilkan spektrum arus kondisi *switching case 1* masing-masing lokasi. Terlihat bahwa ketika beban disambungkan, terdapat lonjakan arus. Lonjakan arus ini dapat memiliki nilai positif maupun negatif, bergantung pada arah aliran arus ketika beban disambungkan. Lonjakan arus hanya terjadi satu kali, yaitu pada awal setengah siklus gelombang. Setelah terjadi lonjakan, arus kemudian menurun, dan melanjutkan siklus sinusoid periodiknya.

Lonjakan arus akibat *switching* tidak menyebabkan timbulnya respons alat proteksi. Peralatan proteksi yang digunakan umumnya memiliki kemampuan meloloskan lonjakan arus yang terjadi dalam waktu sangat singkat, seperti ketika terjadi *switching*. Dalam merancang alat

deteksi *arcing* seri, diperlukan alat yang mampu membedakan lonjakan arus akibat *switching* dengan lonjakan arus akibat *arcing* seri. Kegagalan membedakan kedua kondisi ini menyebabkan alat akan merespons lonjakan arus yang terjadi ketika *switching* sebagai gangguan.

Seperti data kondisi normal, bentuk gelombang kondisi *switching* tidak memiliki perbedaan yang signifikan antar *case*. Spektrum gelombang arus kondisi *switching case 2* hingga *case 9* dapat ditemukan pada lampiran.



Gambar 4.4 Arus Kondisi *Switching Case 1*

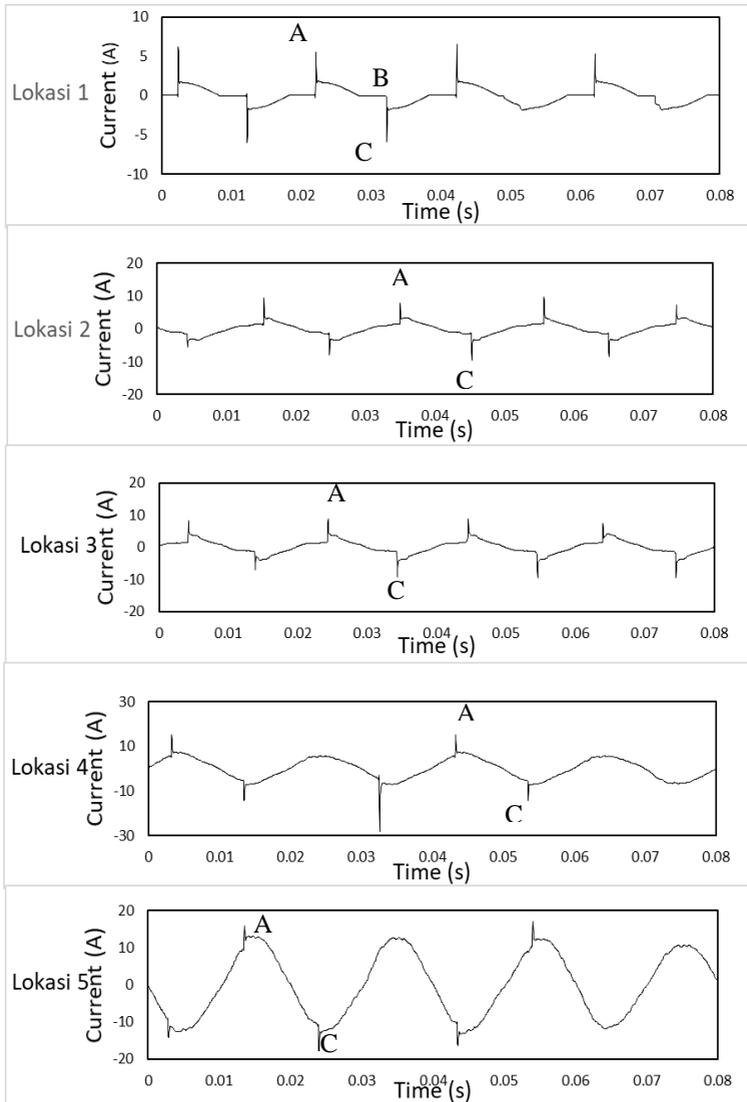
4.1.3 Data Arus Kondisi Arcing

Data arus kondisi *arcing* diperoleh dengan cara memutar tuas *arc chamber* sehingga terdapat jarak antar elektroda. Pada subbab ini, akan ditampilkan data kondisi *arcing* yang terdiri dari nilai arus maksimum kondisi *arc low*, nilai arus maksimum kondisi *arc high*, dan nilai normalisasi kedua kondisi tersebut terhadap arus RMS normal. *Arc low* didefinisikan sebagai fenomena *arcing* yang tidak menyebabkan terjadinya kedip atau *flicker* pada beban lampu, namun tetap menimbulkan bunga api. *Arc high* didefinisikan sebagai kondisi *arcing* yang menyebabkan kedip pada beban lampu, menimbulkan suara dan percikan bunga api. Melalui percobaan, diketahui bahwa nilai *arc high* tampak memiliki nilai saturasi sebelum jarak antar elektroda terlalu jauh dan menyebabkan rangkaian terputus atau mati. Oleh karena hal ini, pengaruh harmonisa dan pembeban pada tiap kasusnya memiliki pola yang fluktuatif. Untuk mengetahui secara jelas pengaruh kedua variabel tersebut terhadap arus *arcing*, maka dilakukan normalisasi arus terhadap RMS arus normalnya. Dengan normalisasi, didapatkan nilai rasio arus *arcing* terhadap arus RMS-nya yang dapat digunakan untuk menentukan karakteristik. Gambar yang ditampilkan pada subbab ini adalah gambar kondisi *arc high* dan *arc low* pada setiap lokasi pengambilan data. Seperti pada kondisi normal dan *switching*, data akan ditampilkan dalam bentuk grafik, sedangkan tabel yang memuat detail data dapat ditemukan pada lampiran.

4.1.3.1 Data Arus Kondisi Arcing High

Lonjakan arus pada *arcing* seri kategori *high* memiliki nilai yang jauh lebih tinggi dibandingkan nilai arus dalam kondisi normal. Lonjakan ini terjadi ketika isolasi yang berada pada rongga antar elektroda tidak mampu menahan medan akibat aliran arus, sehingga terjadi loncatan arus dari salah satu elektroda. Peristiwa ini dapat dikategorikan sebagai suatu bentuk *breakdown*.

Bentuk gelombang arus yang diperoleh pada lokasi 1 ketika terjadi *arcing high* adalah bentuk gelombang arus *arcing high* seri murni karena tidak ada beban lain yang terhubung dengan saluran fasa lokasi ini. Gambar 4.3 di bawah menunjukkan sinyal kondisi *arc high case 1* pada lokasi 1 hingga lokasi 5. Gambar-gambar yang menampilkan gelombang arus *arcing high case 2* hingga *case 9* dapat ditemukan pada lampiran.



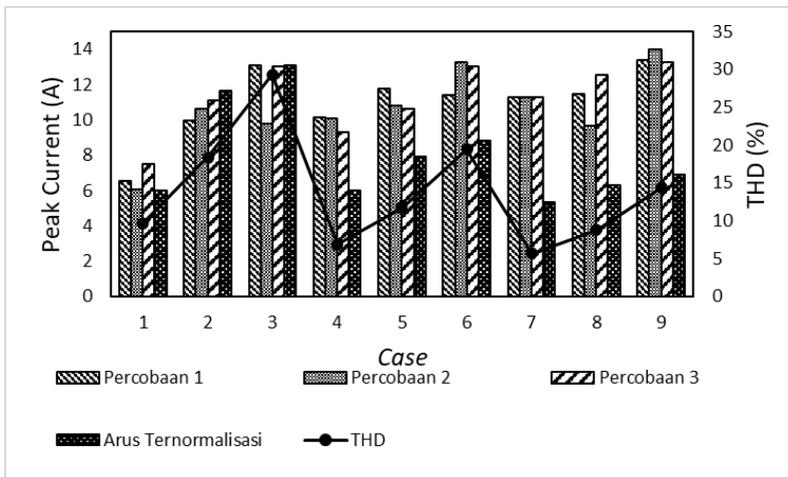
Gambar 4.5 Arus Kondisi Arcing High Case 1

Terlihat bahwa terdapat bahwa terjadi lonjakan atau *spike* arus sesaat pada awal gelombang. Lonjakan arus ini dinamakan arus penyalaan (*ignition*) yang ditandai dengan notasi A. Setelah terjadi penyalaan, maka arus akan menurun menyerupai arus normal, namun dengan nilai yang lebih rendah karena dibatasi oleh impedansi *arcing*.

Pada *arc high* yang terjadi pada lokasi 1, terlihat bahwa gelombang seperti memiliki bahu atau daerah datar yang ditandai dengan notasi B. Daerah datar ini terjadi setelah energi penyalaan habis, dan dikenal dengan istilah daerah pemadaman (*extinction*). Pada setengah siklus selanjutnya, penyalaan akan terjadi kembali (*re-ignition*) sehingga kembali terdapat lonjakan arus. Penyalaan kembali ini ditandai dengan notasi C pada gambar. Apabila tuas *arc chamber* terus diputar sehingga jarak antar elektroda semakin lebar, maka sirkuit akan terputus dan lampu akan padam. Sebaliknya, apabila jarak antar elektroda diperkecil hingga terhubung sempurna maka arus akan kembali ke kondisi normal.

Daerah datar atau bahu arus yang terdapat pada gelombang arus lokasi 1 tidak ditemukan pada gelombang arus *arc high* lokasi 2 hingga lokasi 5. Hal ini diakibatkan adanya beban lain selain modul simulasi *arcing* seri yang terhubung pada saluran fasa lokasi-lokasi ini. Ketika tidak terdapat aliran arus pada modul simulasi *arcing* seri, saluran fasa masih menyalurkan arus ke beban-beban lainnya.

Terlihat pula bahwa lonjakan arus yang terjadi setiap setengah siklus pada lokasi 1 dimulai dari titik nol dan melonjak hingga 6 kalinya. Lonjakan arus ini kemudian menurun hingga energi habis. Sedangkan pada lokasi 2 hingga lokasi 5, lonjakan arus yang terjadi diawali oleh gelombang yang bergerak mengikuti siklus sinusoid periodik, kemudian melonjak dengan nilai yang lebih rendah dibanding lokasi 1. Pada lokasi 4 dan 5, lonjakan arus terlihat sangat kecil, dan gangguan *arcing* seri tidak mengubah bentuk gelombang sinusoid. Perbedaan karakteristik masing-masing lokasi ini disebabkan arus kontribusi gangguan *arcing* seri yang semakin kecil seiring dengan perpindahan lokasi pengambilan data yang menjauh dari lokasi terjadinya gangguan. Gambar berikut menampilkan grafik hasil pengambilan data kondisi *arcing high* pada lokasi 1.



Gambar 4.6 Hasil Pengambilan Data Kondisi *Arc High* Lokasi 1

Gambar 4.6 di atas menampilkan nilai arus *arcing high* lokasi 1. Pada tabel, terdapat 4 data utama. Untuk setiap *case*, terdapat 3 data nilai puncak lonjakan arus yang terjadi pada fasa penyalaan atau *ignition*. Terdapat pula 1 data arus ternormalisasi yang merupakan rata-rata dari hasil normalisasi nilai arus puncak ketiga percobaan tersebut terhadap RMS-nya. Melalui pengamatan pada data percobaan 1 hingga percobaan 3, terlihat nilai arus puncak setiap kasus tidak memiliki nilai yang konstan, melainkan berfluktuasi pada *range* tertentu. Misal, pada kasus 1, rentang arus puncak *arcing* seri adalah 6A-8A, pada kasus 2 rentang ini adalah 9A-12A, pada kasus 3 bernilai 10A-13A, dan seterusnya. Perbedaan nilai puncak antar percobaan pada kasus yang sama ini terjadi walaupun variabel harmonisa dan pembebanan tidak diubah. Hal ini menunjukkan karakteristik yang sama antara gangguan *arcing* seri dengan *switching*, di mana nilai puncaknya berubah-ubah.

Data menunjukkan bahwa seiring dengan perubahan pembebanan, rentang arus puncak mengalami peningkatan. Pada pembebanan 400W yaitu kasus 1 hingga 3, nilai arus puncak *arcing high* di lokasi 1 berada pada rentang 6-13A. Pada pembebanan 600W yaitu kasus 4 hingga 6, rentang nilai arus puncaknya adalah 9A-13.5A. Pada pembebanan 800W yaitu kasus 7 hingga 9, rentang nilai arus puncaknya adalah 9.5-14A. Hal ini sesuai dengan pengamatan pada spektrum gelombang arus *arcing high* masing-masing lokasi yang telah ditampilkan di atas, di mana seiring

dengan perpindahan dari lokasi 1 ke lokasi 5 yang diikuti dengan kenaikan pembebanan, nilai puncak arus *arcing high* turut meningkat.

Data rata-rata arus normalisasi digunakan untuk mengetahui rasio lonjakan arus terhadap RMS-nya dan untuk mengetahui pengaruh variasi harmonisa terhadap gangguan *arcing* seri. Penggunaan kolom normalisasi ini untuk mengatasi fluktuasi nilai arus yang terjadi seiring perubahan harmonisa, di mana fluktuasi tersebut menyebabkan pola yang ditimbulkan tidak jelas. Hal ini ditemukan terutama dalam gangguan *arcing* seri kategori *low*. Penggunaan nilai normalisasi didasarkan pada teori bahwa harmonisa menyebabkan arus fundamental terdistorsi sehingga nilai RMS-nya berubah, sehingga terdapat kemungkinan bahwa walaupun nilai puncak lonjakan arus *arcing* terlihat tidak berubah, rasio nilai tersebut terhadap nilai arus RMS-nya berubah.

Pengamatan pada data menunjukkan bahwa semakin meningkatnya harmonisa dan daya, rasio nilai puncak arus *arcing high* terhadap RMS-nya meningkat. Hal ini berarti bahwa peningkatan kedua variabel tersebut menghasilkan gangguan *arcing* seri yang lebih besar dan lebih memberi pengaruh pada aliran arus di sistem yang mengalami gangguan.

Untuk melihat lebih jelas hubungan antara gangguan *arcing* seri kategori *high* dengan harmonisa dan pembebanan, dilakukan perhitungan korelasi. Hasil perhitungan tersebut ditampilkan dalam bentuk tabel sebagai berikut.

Tabel 4.1 Korelasi Arus *Arc High* Terhadap Pembebanan dan Harmonisa Lokasi 1

	Daya (W)	THD (%)	<i>Arc High</i> (A)
Daya (W)	1		
THD (%)	-0,97435	1	
<i>Arc High</i> (A)	0,957432	0,400351	1

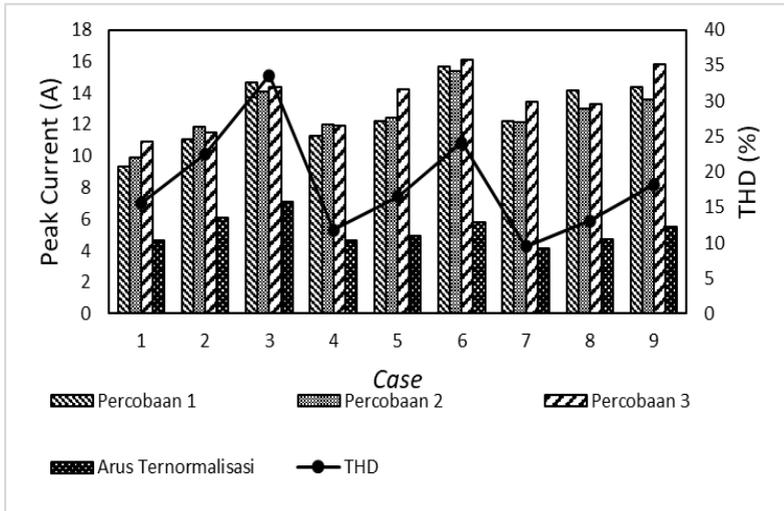
Tabel 4.2 Korelasi Normalisasi Arus *Arc High* Terhadap Harmonisa Lokasi 1

	THD (%)	Normalisasi <i>Arc High</i> (xRMS)
THD (%)	1	
Normalisasi <i>Arc High</i> (xRMS)	0,940077	1

Berdasarkan hasil perhitungan korelasi yang ditampilkan pada tabel di atas, terlihat bahwa besarnya lonjakan arus gangguan *arcing* seri dengan kedip lampu atau *arcing high* turut meningkat seiring dengan peningkatan pembebanan dan harmonisa. Terlihat pula bahwa korelasi antara harmonisa dan *arcing high* dengan menggunakan normalisasi arus lebih besar dibanding hasil perhitungan yang hanya menggunakan nilai puncak lonjakan arus.

Karakteristik arus gangguan *arcing* seri, termasuk pengaruh harmonisa dan pembebanan, tidak mengalami perubahan seiring perpindahan lokasi pengambilan data. Karakteristik yang ditampilkan oleh gangguan *arcing* seri lokasi 1 kembali terlihat pada lokasi 2 hingga lokasi 5. Perbedaan di antara gangguan kelima lokasi tersebut terletak pada besarnya kontribusi gangguan *arcing* seri terhadap arus fasa tersebut. Besaran ini dapat terlihat dari nilai normalisasi arus puncak lonjakan terhadap arus RMS. Rasio antara arus puncak dan RMS memiliki nilai terbesar pada lokasi 1, dengan rata-rata nilai normalisasi keseluruhan *case* sebesar 8 kali arus RMS. Seiring dengan perpindahan lokasi menjauhi lokasi terjadinya gangguan, nilai ini mengalami penurunan. Pada lokasi 2, nilai normalisasi rata-rata sebesar 5,3 kali arus RMS, pada lokasi 3 sebesar 5,6 kali arus RMS, pada lokasi 4 sebesar 4 kali arus RMS, dan pada lokasi 5 sebesar 2,2 kali arus RMS. Hal ini sesuai dengan bentuk gelombang arus *arcing high* di mana pada lokasi 4 dan 5, bentuk gelombang sinusoid secara umum tidak berubah, dan lonjakan arus yang terjadi tidak sebesar lokasi sebelumnya. Data ini mengindikasikan bahwa semakin banyak beban lain yang terhubung pada suatu saluran fasa atau suatu *feeder*, pengaruh atau arus kontribusi gangguan *arcing* seri yang terjadi pada salah satu bebannya akan semakin rendah.

Gambar-gambar berikut menampilkan data arus *arcing* seri kategori *high* serta perhitungan korelasi antar variabel pada lokasi 2 hingga lokasi 5.



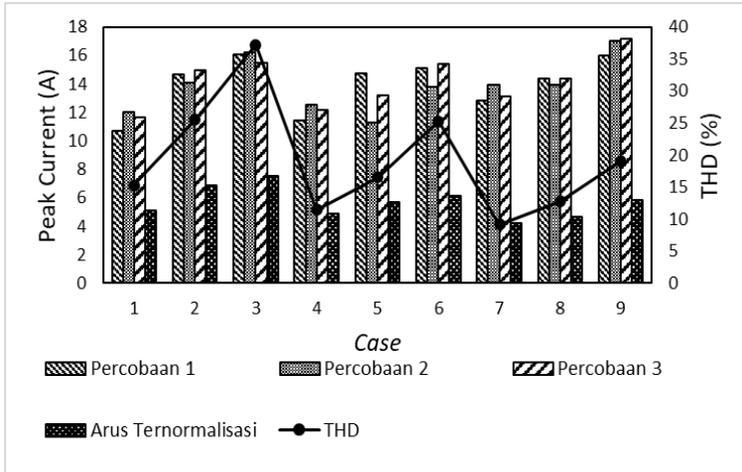
Gambar 4.7 Hasil Pengambilan Data Kondisi *Arc High* Lokasi 2

Tabel 4.3 Korelasi Arus *Arc High* Terhadap Pembebanan dan Harmonisa Lokasi 2

	Daya (W)	THD (%)	<i>Arc High</i> (A)
Daya (W)	1		
THD (%)	-0,99007	1	
<i>Arc High</i> (A)	0,983637	0,438849	1

Tabel 4.4 Korelasi Normalisasi Arus *Arc High* Terhadap Harmonisa Lokasi 2

	THD (%)	<i>Norm Arc High</i> (xRMS)
THD (%)	1	
<i>Norm Arc High</i> (xRMS)	0,874791	1



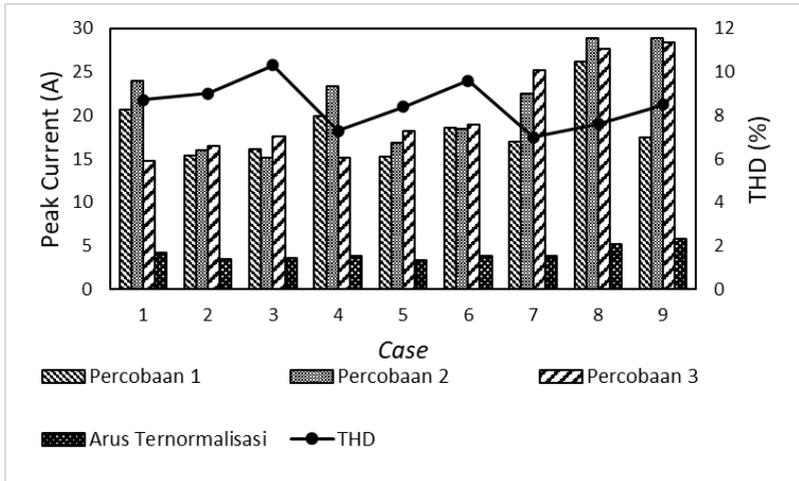
Gambar 4.8 Hasil Pengambilan Data Kondisi *Arc High* Lokasi 3

Tabel 4.5 Korelasi Arus *Arc High* Terhadap Pembebanan dan Harmonisa Lokasi 3

	Daya (W)	THD (%)	<i>Arc High</i> (A)
Daya (W)	1		
THD (%)	-0,99007	1	
<i>Arc High</i> (A)	0,980966	0,642012	1

Tabel 4.6 Korelasi Normalisasi Arus *Arc High* Terhadap Harmonisa Lokasi 3

	THD (%)	Norm <i>Arc High</i> (xRMS)
THD (%)	1	
Norm <i>Arc High</i> (xRMS)	0,880162	1



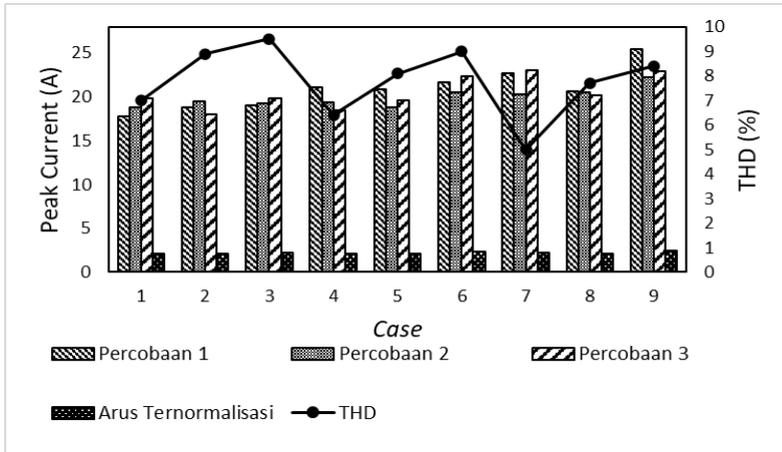
Gambar 4.9 Hasil Pengambilan Data Kondisi *Arc High* Lokasi 4

Tabel 4.7 Korelasi Arus *Arc High* Terhadap Pembebanan dan Harmonisa Lokasi 4

	<i>Daya (W)</i>	<i>THD (%)</i>	<i>Arc High (A)</i>
<i>Daya (W)</i>	1		
<i>THD (%)</i>	-0,93677	1	
<i>Arc High (A)</i>	0,980966	0,548621	1

Tabel 4.8 Korelasi Normalisasi Arus *Arc High* Terhadap Harmonisa Lokasi 4

	<i>THD (%)</i>	<i>Norm Arc High (xRMS)</i>
<i>THD (%)</i>	1	
<i>Norm Arc High (xRMS)</i>	0,869716	1



Gambar 4.10 Hasil Pengambilan Data Kondisi Arc High Lokasi 5

Tabel 4.9 Korelasi Arus Arc High Terhadap Pembebanan dan Harmonisa Lokasi 5

	Daya (W)	THD (%)	Arc High (A)
Daya (W)	1		
THD (%)	-0,99007	1	
Arc High (A)	0,981404	-0,28861	1

Tabel 4.10 Korelasi Normalisasi Arus Arc High Terhadap Harmonisa Lokasi 5

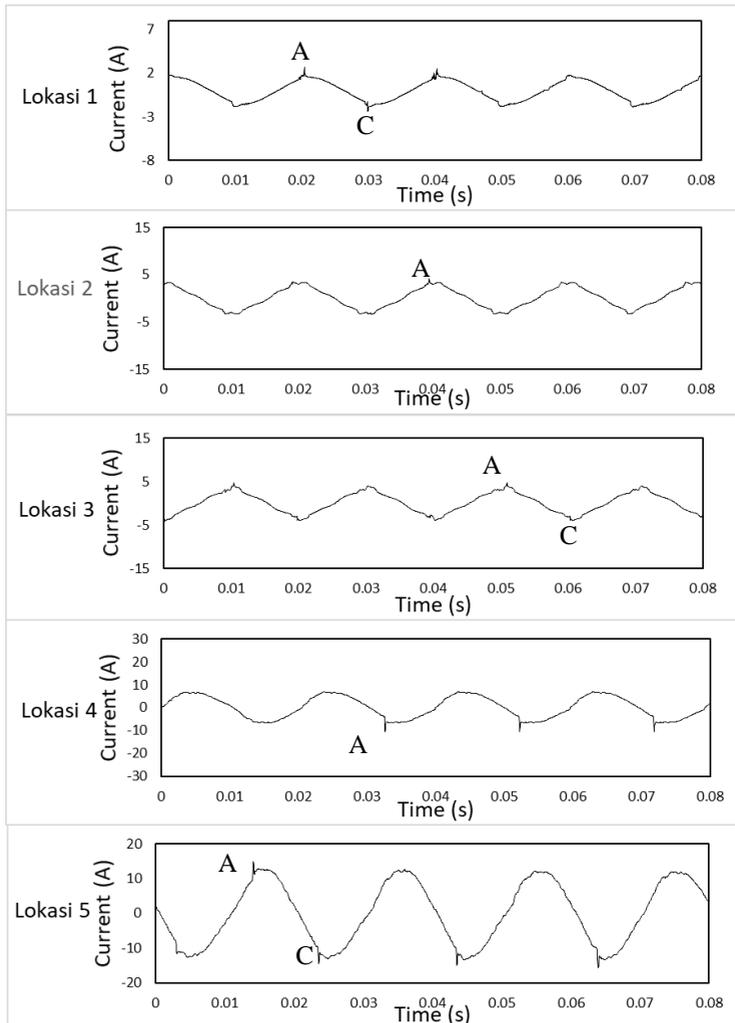
	THD (%)	Norm Arc High (xRMS)
THD (%)	1	
Norm Arc High (xRMS)	-0,05337	1

Pada tabel korelasi arus *arc high* dan harmonisa lokasi 5, baik perhitungan dengan menggunakan nilai arus puncak dan nilai arus ternormalisasi, diperoleh korelasi negatif kecil. Hasil ini dapat disebabkan oleh kecilnya arus kontribusi gangguan *arc high* seri pada lokasi ini sehingga tidak dapat digunakan untuk menentukan pola yang jelas.

4.1.3.2 Data Arus Kondisi Arcing Low

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, gangguan *arc high* seri kategori *low* adalah gangguan *arc high* seri yang tidak disertai kedip lampu beban, namun tetap disertai percikan bunga api pada jarak di antara

elektroda. Gambar berikut menampilkan gelombang arus *arcing low case* 1.



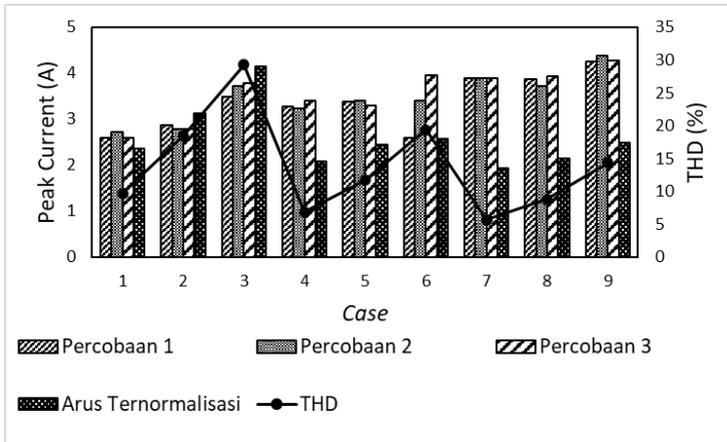
Gambar 4.11 Arus Kondisi *Arcing Low Case* 1

Bentuk gelombang arus yang ditampilkan pada gambar di atas menunjukkan adanya kenaikan arus di awal setiap setengah siklus gelombang, seperti halnya yang ditunjukkan oleh gelombang arus *arcing high*. Perbedaan terdapat pada besarnya kenaikan arus tersebut, di mana pada gangguan *arcing low* seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.11 kenaikan arus terutama pada lokasi dengan pembebanan kecil seperti lokasi 1 hingga 3 tidak sebesar kenaikan arus pada kasus yang sama, namun dengan gangguan *arcing high*. Pada lokasi 1, pengambilan data *arcing low* kasus 1 menunjukkan kenaikan arus yang terjadi hanya mencapai nilai 2.6A, sedangkan pada lokasi dan kasus yang sama, gangguan *arcing high* menyebabkan kenaikan hingga 6.56A. Hal ini juga terjadi pada lokasi lainnya, sebagai contoh adalah lokasi 2 di mana skema kasus 1 menghasilkan kenaikan arus hingga 3.95A, sedangkan skema yang sama dengan gangguan *arcing high* menyebabkan kenaikan hingga 9.33A.

Perbedaan lainnya antara gelombang arus *arcing high* dan *arcing low* yang terlihat jelas adalah tidak adanya daerah datar atau bahu, yang pada gambar 4.3 dinotasikan dengan huruf B. Pada gelombang arus *arcing low* yang ditunjukkan oleh gambar 4.11, setelah terjadinya penyalan atau *ignition* yang dinotasikan dengan huruf A, arus menurun mengikuti bentuk sinusoid, hingga pada awal setengah siklus berikutnya mengalami proses penyalan kembali atau *re-ignition* yang dinotasikan dengan huruf C. Tidak adanya daerah datar ini terjadi akibat jarak pemisahan antar elektroda yang tidak cukup lebar untuk memutus aliran arus, atau dengan kata lain jarak antar elektroda sangat kecil sehingga ketahanan isolasi udara di antara rongga tersebut rendah, di mana diketahui ketahanan isolasi udara ini dinyatakan dengan tegangan per satuan jarak sehingga akan meningkat seiring meningkatnya jarak. Ketahanan isolasi yang rendah ini menjadi salah satu penyebab arus dapat mengalir secara kontinu di antara elektroda, sehingga tidak terdapat daerah datar, dan tidak menyebabkan kedip lampu.

Walaupun tidak terlalu terlihat pada gambar 4.11, pengambilan data menunjukkan bahwa seiring perpindahan lokasi menjauhi lokasi terjadinya gangguan, kenaikan arus di awal setengah siklus gelombang mengalami penurunan. Gambar-gambar yang menunjukkan gelombang arus *arcing low case 2* hingga 9 pada setiap lokasi dapat ditemukan pada lampiran.

Seperti penjelasan gambar 4.12, terlihat bahwa pada gelombang arus seluruh kasus tidak ditemukan adanya daerah datar atau bahu. Gambar-gambar di atas menunjukkan bahwa untuk lokasi dengan pembebanan rendah yaitu lokasi 1 dan 2, kenaikan arus pada awal setengah siklus gelombang terlihat seperti distorsi kecil. Semakin meningkatnya pembebanan pada saluran fasa yang dideteksi, maka semakin terlihat kenaikan arusnya. Walaupun demikian, pengolahan data menunjukkan bahwa seperti gangguan *arcing high*, semakin menjauh lokasi deteksi dari lokasi gangguan maka rasio arus puncak terhadap arus RMS-nya semakin rendah. Tabel berikut menampilkan data arus *arcing* seri kategori *low* lokasi 1.



Gambar 4.12 Hasil Pengambilan Data Kondisi *Arc Low* Lokasi 1

Seperti halnya data kondisi *arc high*, data arus *arcing* pada gambar di atas menampilkan 4 data utama. Data percobaan 1 hingga percobaan 3 adalah data nilai puncak lonjakan arus pada awal setengah siklus gelombang pada masing-masing *case*. Data arus ternormalisasi adalah nilai rata-rata normalisasi arus puncak *Arc Low* masing-masing percobaan terhadap arus RMS-nya. Nilai puncak masing-masing percobaan dapat digunakan untuk menentukan pengaruh pembebanan terhadap gangguan *arcing* seri kategori *low*, sedangkan nilai normalisasi digunakan untuk menentukan pengaruh perubahan harmonisa.

Nilai puncak arus yang ditampilkan pada gambar memiliki nilai yang berbeda pada setiap percobaan masing-masing kasus, seperti yang

terjadi pada *arcing high* dan *switching*. Nilai puncak ini memiliki rentang nilai setiap kasus yang lebih rendah dibanding rentang nilai kasus yang sama pada gangguan *arcing high*. Seiring dengan peningkatan pembebanan, nilai puncak arus turut mengalami peningkatan. Pada kasus dengan pembebanan 400W, nilai puncak arus berada pada rentang 2,5A-4A. Pada kasus dengan pembebanan 600W, nilai ini berada pada rentang 3A-4A. Pada kasus dengan pembebanan 800W, nilai ini berada pada rentang 3,5A-4,5A. Kenaikan nilai puncak lonjakkan arus terhadap pembebanan ini juga dapat diamati pada gelombang arus yang telah ditampilkan.

Perubahan harmonisa dapat diketahui lebih jelas dengan pengamatan pada data arus ternormalisasi. Sebagai contoh, pada kasus 7 dengan THD sebesar 5,7%, data nilai puncak lonjakkan arus berada pada rentang 3,89A-3,9A, pada kasus 8 di mana THD meningkat menjadi 8,8%, nilai puncak ini berada pada rentang yang sama, dan kemudian pada kasus 9 dengan harmonisa ditingkatkan menjadi 14,4%, nilai arus kembali meningkat menjadi 4,25A-4,39A. Sedangkan melalui pengamatan nilai normalisasi, terlihat kenaikan rasio nilai puncak arus terhadap arus RMS-nya seiring dengan kenaikan harmonisa. Seperti penjelasan pada gangguan *arcing high*, penggunaan data ternormalisasi ini didasarkan pada terjadinya distorsi arus RMS akibat harmonisa, sehingga pada beberapa kasus nilai puncak lonjakkan arus pada awal setengah siklus gelombang terlihat sama dengan nilai tersebut pada THD yang lebih rendah, tetapi sebenarnya rasio arus puncak terhadap arus RMS-nya meningkat.

Untuk mengetahui pengaruh pembebanan dan harmonisa terhadap gangguan *arcing* seri kategori *low*, kembali digunakan perhitungan korelasi seperti pada gangguan *arcing* seri kategori *high*. Tabel 4.11 menampilkan korelasi antara nilai puncak lonjakkan arus akibat gangguan *arcing* seri terhadap pembebanan dan harmonisa. Terlihat bahwa korelasi terhadap harmonisa memiliki nilai negatif rendah, yang berarti pola cenderung bertolak belakang, namun sangat rendah. Perhitungan korelasi dengan menggunakan nilai ternormalisasi yang ditampilkan pada tabel 4.12 menampilkan korelasi positif yang tinggi. Hal ini berarti peningkatan harmonisa menyebabkan peningkatan nilai puncak lonjakkan arus.

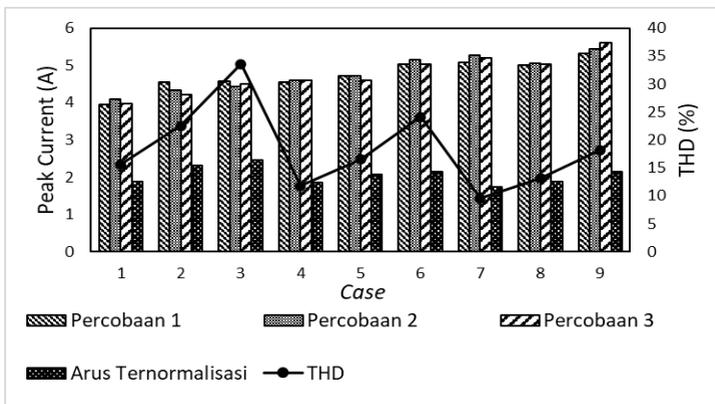
Tabel 4.11 Korelasi Arus *Arc Low* Terhadap Pembebanan dan Harmonisa Lokasi 1

	Daya (W)	THD (%)	<i>Arc Low</i> (A)
Daya (W)	1		
THD (%)	-0,97435	1	
<i>Arc Low</i> (A)	0,999645	-0,20883	1

Tabel 4.12 Korelasi Normalisasi Arus *Arc Low* Terhadap Harmonisa Lokasi 1

	THD (%)	<i>Norm Arc Low</i> (xRMS)
THD (%)	1	
<i>Norm Arc Low</i> (xRMS)	0,838181	1

Karakteristik yang diperoleh dari analisa data lokasi 1 kembali ditunjukkan pada hasil pengambilan data lokasi 2 hingga lokasi 5. Tidak terdapat perubahan pengaruh variasi pembebanan dan harmonisa terhadap gangguan *arcing* seri kategori *low* pada setiap lokasi. Seperti halnya gangguan *arcing high*, terjadi penurunan rasio nilai puncak lonjakan arus terhadap arus RMS seiring menjauhnya lokasi pengambilan data dari lokasi gangguan. Pada lokasi 1, nilai rata-rata rasio ini adalah 2,6xRMS, sedangkan pada lokasi 2 sebesar 2,05xRMS, pada lokasi 3 sebesar 2,4xRMS, pada lokasi 4 sebesar 2xRMS, dan pada lokasi 5 sebesar 1,8xRMS. Gambar berikut menampilkan hasil pengambilan data masing-masing lokasi, diikuti tabel yang perhitungan korelasi pada lokasi tersebut.



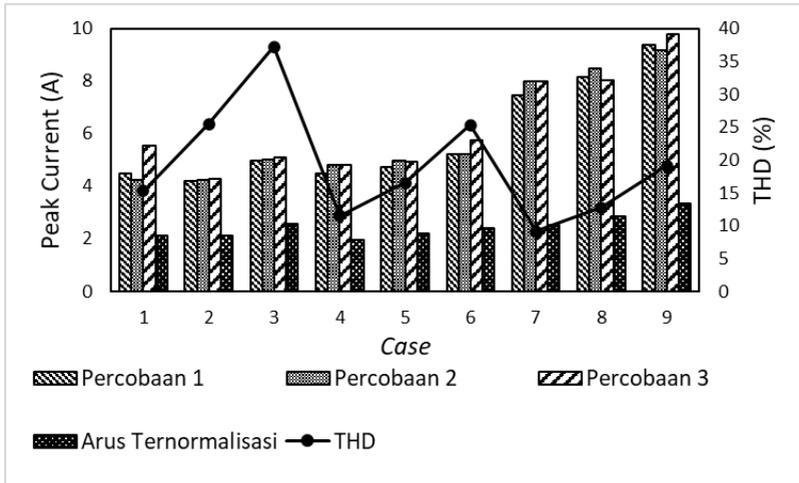
Gambar 4.13 Hasil Pengambilan Data Kondisi *Arc Low* Lokasi 2

Tabel 4.13 Korelasi Arus Arc Low Terhadap Pembebanan dan Harmonisa Lokasi 2

	Daya (W)	THD (%)	Arc Low (A)
Daya (W)	1		
THD (%)	-0,99007	1	
Arc Low (A)	0,998944	-0,1005	1

Tabel 4.14 Korelasi Normalisasi Arus Arc Low Terhadap Harmonisa Lokasi 2

	THD (%)	Norm Arc Low (xRMS)
THD (%)	1	
Norm Arc Low (xRMS)	0,92512	1



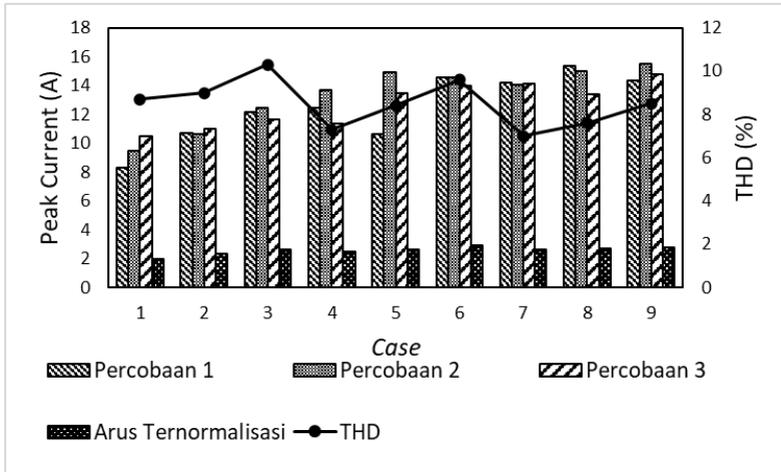
Gambar 4.14 Hasil Pengambilan Data Kondisi Arc Low Lokasi 3

Tabel 4.15 Korelasi Arus Arc Low Terhadap Pembebanan dan Harmonisa Lokasi 3

	Daya (W)	THD (%)	Arc Low (A)
Daya (W)	1		
THD (%)	0,99007	1	
Arc Low (A)	0,867482	0,31687	1

Tabel 4.16 Korelasi Normalisasi Arus Arc Low Terhadap Harmonisa Lokasi 3

	THD (%)	Norm Arc Low (xRMS)
THD (%)	1	
Norm Arc Low (xRMS)	0,12212	1



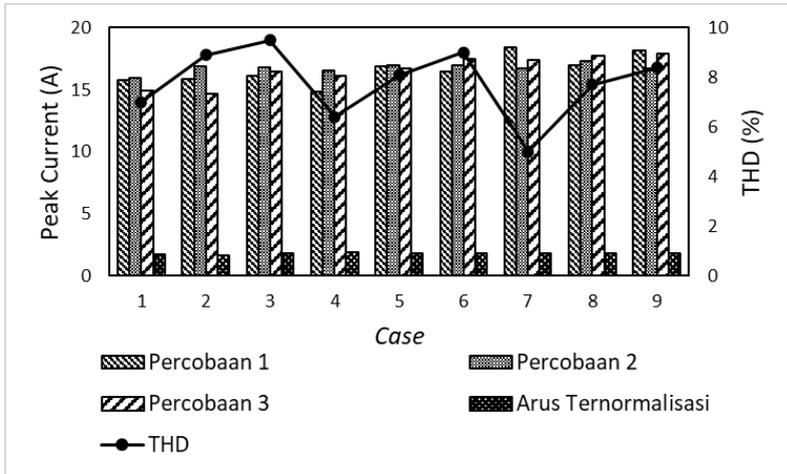
Gambar 4.15 Hasil Pengambilan Data Kondisi Arc Low Lokasi 4

Tabel 4.17 Korelasi Arus Arc Low Terhadap Pembebanan dan Harmonisa Lokasi 4

	Daya (W)	THD (%)	Arc Low (A)
Daya (W)	1		
THD (%)	-0,93677	1	
Arc Low (A)	0,867482	-0,37251	1

Tabel 4.18 Korelasi Normalisasi Arus Arc Low Terhadap Harmonisa Lokasi 4

	THD (%)	Norm Arc Low (xRMS)
THD (%)	1	
Norm Arc Low (xRMS)	0,063351	1



Gambar 4.16 Hasil Pengambilan Data Kondisi *Arc Low* Lokasi 5

Tabel 4.19 Korelasi Arus *Arc Low* Terhadap Pembebanan dan Harmonisa Lokasi 5

	Daya (W)	THD (%)	<i>Arc Low</i> (A)
Daya (W)	1		
THD (%)	-0,99007	1	
<i>Arc Low</i> (A)	0,704598	-0,24283	1

Tabel 4.20 Korelasi Normalisasi Arus *Arc Low* Terhadap Harmonisa Lokasi 5

	THD (%)	<i>Norm Arc Low</i> (xRMS)
THD (%)	1	
<i>Norm Arc Low</i> (xRMS)	-0,11671	1

Data perhitungan korelasi lokasi 3 hingga lokasi 5 menampilkan korelasi yang kecil antara arus puncak dan arus ternormalisasi dengan perubahan harmonisa. Kemungkinan penyebabnya adalah pada ketiga lokasi ini arus kontribusi dari gangguan *arcing low* sangat kecil sehingga rasionya cenderung konstan maupun menurun.

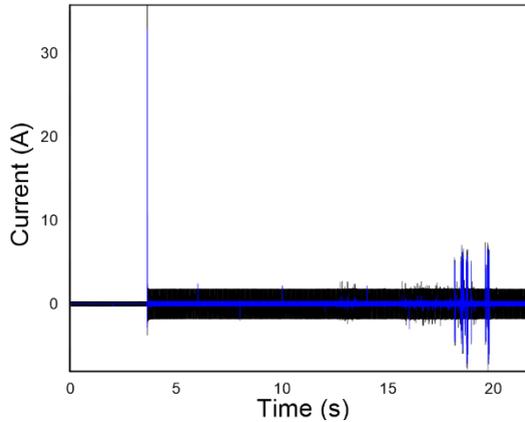
Pengambilan data kondisi *arcing high* dan *arcing low* pada lokasi 1 hingga lokasi 5 menunjukkan bahwa terjadinya gangguan *arcing* seri pada sisi beban mempengaruhi aliran arus pada sisi sumbernya. Hal ini mendukung diperlukannya alat deteksi yang mampu mendeteksi dan

mengelompokkan gangguan *arcing* seri yang terjadi di sisi beban berdasarkan kearahannya.

4.2 Pengolahan Data Primer dengan Metode FFT

Data primer yang diperoleh menggunakan NI 9246 dan LABView selanjutnya perlu diolah untuk menentukan metode deteksi yang tepat. Metode FFT atau *Fast Fourier Transform* digunakan untuk melakukan transformasi data dari spektrum arus dan waktu menjadi spektrum frekuensi. Melalui metode ini, dapat diketahui karakteristik spektrum frekuensi yang membedakan kondisi *arcing*, *switching*, dan normal. *Threshold* yang digunakan untuk mendeteksi terjadinya *arcing* juga didasarkan pada pengolahan dengan FFT.

Tugas akhir ini menggunakan spektrum frekuensi tinggi di atas frekuensi fundamental untuk melakukan deteksi *arcing* seri. Pemilihan penggunaan frekuensi tinggi ini didasarkan pada data hasil penelitian *online monitoring arcing* seri pada tahun 2018 yang menyatakan bahwa arus *arcing* termasuk kategori arus *high frequency* [19]. Penerapan *digital filter* yang terdapat pada DIAdem pun membuktikan bahwa apabila gelombang arus diberi *filter high pass*, terlihat arus yang memiliki amplitudo tinggi adalah arus *arcing*. Gelombang hasil filtrasi menunjukkan bahwa fenomena *arcing* terjadi pada frekuensi tinggi, sedangkan arus normal memiliki nilai mendekati nol. Berdasarkan penemuan ini, maka selanjutnya alat deteksi *arcing* diprogram untuk bekerja pada frekuensi tinggi. Gambar di bawah menunjukkan hasil filtrasi data primer.



Gambar 4.17 Sinyal Asli (Hitam) dan Sinyal Terfiltrasi (Biru)

Terlihat pada gambar sinyal di atas bahwa setelah diberikan *high pass filter* pada frekuensi 250Hz atau harmonisa orde ke-5, amplitudo gelombang menjadi lebih rendah. Gelombang arus normal memiliki amplitudo yang sangat rendah sehingga terlihat seperti sinyal *noise*. Lonjakan amplitudo arus terjadi saat *switching*, dan saat fenomena *arcing*, baik *arc low* maupun *arc high*. Karakteristik ini dijadikan landasan untuk penentuan frekuensi *threshold* setelah transformasi dengan FFT. Frekuensi yang diamati dalam tugas akhir ini adalah frekuensi harmonik orde ke-5, dan frekuensi tinggi non harmonik di bawah 800Hz karena keterbatasan kemampuan alat.

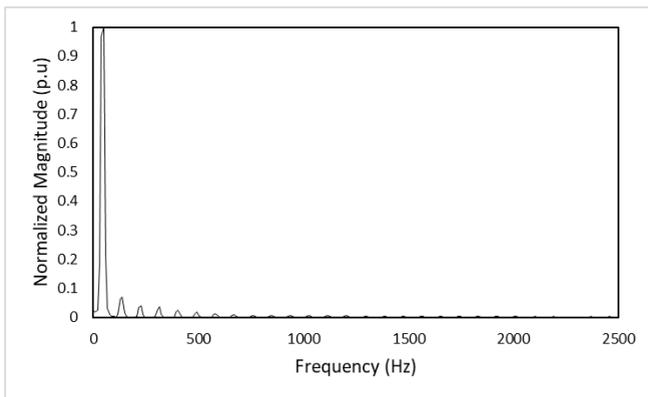
Transformasi FFT dilakukan dengan menggunakan DIAdem, dan dengan menggunakan *microcontroller* STM32 yang terpasang pada alat deteksi. FFT pada DIAdem digunakan untuk menentukan *threshold* terjadinya *arcing*, sedangkan FFT pada *microcontroller* digunakan untuk mendeteksi terjadinya *arcing*. Pada DIAdem, digunakan FFT dengan *windowing* tipe Hanning untuk mengurangi terjadinya *spectral noise* atau lonjakan amplitudo akibat sampel data yang tidak kontinu. FFT dilakukan pada data *switching*, *arcing*, dan normal. Sinyal hasil transformasi kemudian dinormalisasi sehingga nilai maksimumnya adalah 1.

Algoritma FFT dan deteksi yang diterapkan pada alat deteksi bekerja dengan mendeteksi magnitudo pada frekuensi tertentu dengan *band* sebesar 20Hz, atau $\pm 10\text{Hz}$ dari frekuensi deteksi. Sebagai contoh, apabila dipilih frekuensi 250Hz sebagai salah satu frekuensi deteksi, maka alat akan bekerja dengan membaca magnitudo FFT pada frekuensi 240-

260Hz. Dengan sistem *band*, maka apabila terjadi pergeseran frekuensi akibat *error* FFT, alat deteksi masih tetap dapat melakukan pembacaan.

4.2.1 Grafik Hasil Transformasi Sinyal Arus Normal

Pada kondisi normal, hasil transformasi sinyal FFT akan selalu menghasilkan magnitudo tinggi pada frekuensi fundamentalnya. Apabila menggunakan beban non linier yang memiliki komponen harmonik, maka kelipatan ganjil dari frekuensi fundamental akan mengalami lonjakan magnitudo, namun bernilai lebih rendah dari magnitudo frekuensi fundamental. Lonjakan magnitudo frekuensi harmonik ini akan memiliki nilai yang menurun hingga akhirnya mendekati nol pada frekuensi tinggi. Frekuensi non harmonik, termasuk frekuensi kelipatan genap dari frekuensi fundamental akan memiliki magnitudo yang sangat rendah atau mendekati nol. Karakteristik ini sangat penting dalam penentuan *threshold* deteksi *arcing*



Gambar 4.18 Sinyal Hasil FFT Kondisi Normal

Gambar 4.18 di atas menunjukkan hasil transformasi FFT arus kondisi normal pada lokasi 1 atau pada simulator *arcing*. Frekuensi fundamentalnya adalah 50Hz, dan beban yang digunakan adalah kombinasi beban linier dan non linier sehingga memiliki harmonik. Terlihat pada gambar bahwa magnitudo tertinggi yang bernilai 1 terjadi pada frekuensi 49.5Hz. Pada frekuensi harmonik yang merupakan kelipatan ganjil dari frekuensi fundamental, terjadi kenaikan magnitudo

namun nilainya menurun. Pada frekuensi non harmonik, nilai magnitudonya sangat rendah.

Tabel 4.21 Magnitudo FFT Kondisi Normal Lokasi 1

<i>Case</i>	Percobaan ke-	FFT Normal		
		240-260Hz	390-410Hz	490-510Hz
1	1	0,0458	0,0002	0,0006
	2	0,0471	0,0005	0,0012
	3	0,0389	0,0003	0,0003
2	1	0,0848	0,0002	0,0002
	2	0,0814	0,0002	0,0002
	3	0,0835	0,0002	0,0003
3	1	0,0950	0,0015	0,0018
	2	0,0958	0,0013	0,0012
	3	0,0848	0,0010	0,0014
4	1	0,0334	0,0003	0,0004
	2	0,0306	0,0009	0,0002
	3	0,0314	0,0005	0,0002
5	1	0,0566	0,0005	0,0006
	2	0,0564	0,0003	0,0002
	3	0,0560	0,0006	0,0005
6	1	0,0898	0,0002	0,0018
	2	0,0960	0,0002	0,0004
	3	0,0970	0,0002	0,0005
7	1	0,0247	0,0004	0,0002
	2	0,0243	0,0002	0,0002
	3	0,0214	0,0006	0,0006
8	1	0,0409	0,0003	0,0004
	2	0,0384	0,0005	0,0003
	3	0,0414	0,0009	0,0008
9	1	0,0701	0,0010	0,0010
	2	0,0677	0,0001	0,0002
	3	0,0640	0,0004	0,0006

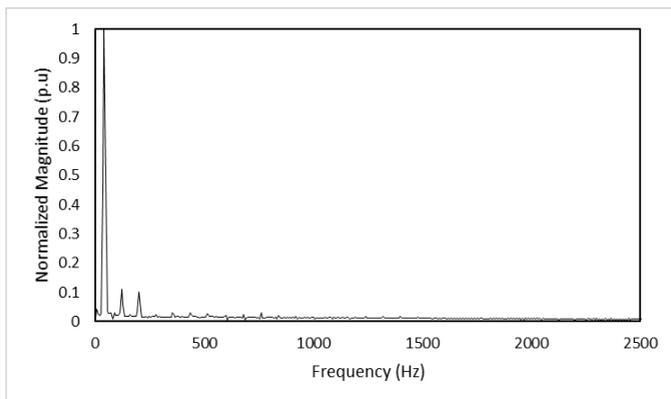
Tabel 4.21 di atas menampilkan data magnitudo sinyal hasil transformasi arus kondisi normal pada lokasi 1 yang diamati pada frekuensi harmonik orde ke-5 (240-260Hz) dan pada frekuensi tinggi non

harmonik (390-410Hz dan 490-510Hz). Terlihat bahwa pada frekuensi non harmonik, magnitudo sinyal kondisi normal sangat rendah.

Bentuk sinyal hasil transformasi FFT dari arus kondisi normal pada setiap lokasi memiliki karakteristik yang identik. Perbedaan terdapat pada magnitudo frekuensi harmonik yang dipengaruhi oleh pembebanan dan nilai THD. Tabel hasil transformasi FFT kondisi normal lokasi 2 hingga lokasi 5 dapat ditemukan pada lampiran. Tidak terdapat karakteristik yang berbeda antara data hasil transformasi FFT lokasi 2 hingga lokasi 5 dengan data yang ditampilkan pada lokasi 1.

4.2.2 Grafik Hasil Transformasi Sinyal Arus *Switching*

Berbeda dengan sinyal transformasi FFT arus kondisi normal, pada kondisi *switching* setelah magnitudo tinggi pada frekuensi fundamental, magnitudo sinyal tidak langsung turun mendekati nol melainkan mengalami penurunan yang lebih landai. Akibatnya, pada frekuensi non harmonik terdapat magnitudo yang lebih tinggi dibandingkan magnitudo frekuensi kondisi normal. Magnitudo sinyal kondisi *switching* akan mendekati nol pada frekuensi tinggi seperti halnya kondisi normal. Gambar di bawah menampilkan sinyal hasil transformasi FFT kondisi *switching* lokasi 1.



Gambar 4.19 Sinyal Hasil FFT Kondisi *Switching*

Tabel 4.22 Magnitudo FFT Kondisi *Switching* Lokasi 1

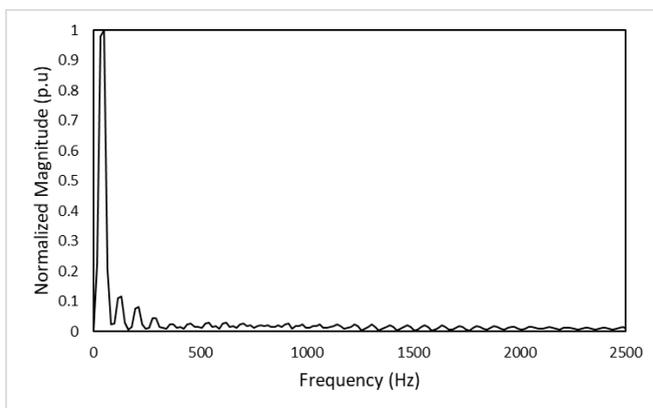
<i>Case</i>	Percobaan ke-	FFT <i>Switching</i> Lokasi 1		
		240-260Hz	390-410Hz	490-510Hz
1	1	0,0373	0,0022	0,0048
	2	0,0420	0,0028	0,0041
	3	0,0451	0,0038	0,0048
2	1	0,0546	0,0031	0,0045
	2	0,0359	0,0045	0,0024
	3	0,0578	0,0032	0,0042
3	1	0,0978	0,0074	0,0039
	2	0,0971	0,0089	0,0047
	3	0,0937	0,0057	0,0049
4	1	0,0494	0,0085	0,0037
	2	0,0339	0,0073	0,0041
	3	0,0267	0,0081	0,0041
5	1	0,0334	0,0020	0,0017
	2	0,0529	0,0032	0,0031
	3	0,0434	0,0042	0,0024
6	1	0,0575	0,0028	0,0025
	2	0,0369	0,0049	0,0023
	3	0,0609	0,0041	0,0039
7	1	0,0503	0,0089	0,0039
	2	0,0229	0,0095	0,0032
	3	0,0333	0,0094	0,0038
8	1	0,0251	0,0081	0,0039
	2	0,0334	0,0093	0,0049
	3	0,0249	0,0094	0,0044
9	1	0,0642	0,0083	0,0043
	2	0,0583	0,0094	0,0047
	3	0,0498	0,0071	0,0025

Tabel di atas menampilkan data magnitudo sinyal hasil transformasi FFT arus kondisi *switching*. Data yang ditampilkan adalah data dengan frekuensi teramati yang sama seperti frekuensi teramati kondisi normal. Terlihat bahwa tidak seperti kondisi normal, frekuensi non harmonik memiliki magnitudo yang tidak terlalu rendah.

Seperti sinyal transformasi kondisi normal, karakteristik sinyal kondisi *switching* tetap sama walaupun lokasi deteksi berubah. Perbedaan terjadi pada nilai magnitudo sinyal yang dipengaruhi beban dan THD. Tabel di bawah menampilkan grafik dan data magnitudo hasil transformasi arus kondisi *switching* pada tiap lokasi. Tabel data hasil transformasi FFT kondisi *switching* lokasi 2 hingga lokasi 5 dapat ditemukan pada lampiran.

4.2.3 Grafik Hasil Transformasi Sinyal Arus Arcing Low

Seperti yang telah didefinisikan pada subbab sebelumnya, kondisi *arcing low* adalah kondisi *arcing* yang tidak menyebabkan terjadinya *flicker* atau kedip pada lampu beban. Bentuk gelombang kondisi ini lebih menyerupai gelombang arus kondisi *normal* daripada gelombang arus kondisi *arcing high*, dengan lonjakan arus pada saat terjadi penyalaan atau *ignition*. Setelah dilakukan transformasi FFT, diketahui bahwa bentuk sinyal hasil transformasi kondisi *arcing low* juga memiliki kemiripan yang lebih besar dengan sinyal hasil transformasi kondisi normal. Gambar di bawah menunjukkan sinyal hasil transformasi arus kondisi *arcing low* pada lokasi 1.



Gambar 4.20 Hasil FFT Kondisi Arc Low

Terlihat pada gambar di atas bahwa sinyal hasil transformasi FFT arus kondisi *arcing low* menyerupai sinyal hasil transformasi FFT kondisi normal. Magnitudo terbesar terdapat pada frekuensi fundamental yaitu 50Hz. Setelah melewati frekuensi 50Hz, magnitudo sinyal mengalami

penurunan signifikan menuju nilai yang sangat rendah. Kenaikan magnitudo terdapat pada frekuensi harmonik yang merupakan kelipatan ganjil dari frekuensi fundamental. Melalui pengolahan data juga diketahui bahwa magnitudo sinyal FFT kondisi *arcing low* dan kondisi *normal* pada frekuensi harmonik memiliki nilai yang tidak jauh berbeda. Karakteristik yang menjadi pembeda antara sinyal FFT kondisi *arcing low* dengan sinyal FFT kondisi normal adalah magnitudo pada frekuensi tinggi non harmonik. Pada kondisi *arcing low*, frekuensi tinggi non harmonik memiliki magnitudo yang lebih tinggi dan memiliki selisih yang signifikan dengan magnitudo sinyal kondisi normal. Sinyal FFT kondisi *arcing low* tidak langsung turun mendekati nol setelah mengalami kenaikan pada frekuensi harmonik. Berdasarkan karakteristik ini, maka alat deteksi diprogram untuk melakukan pendeteksian pada frekuensi tinggi non harmonik untuk membedakan arus *arcing low* dari arus normal.

Tabel 4.23 Magnitudo FFT Kondisi Arc Low Lokasi 1

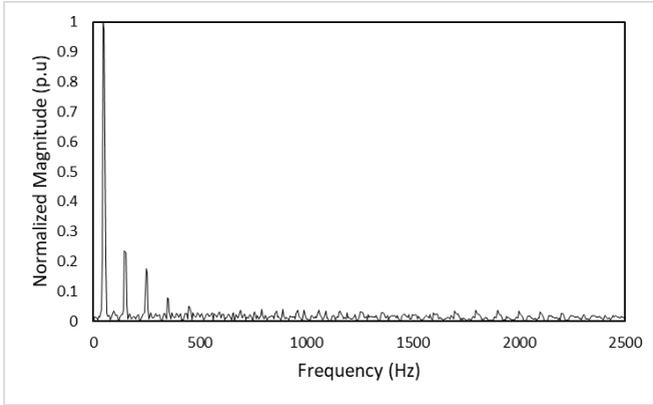
Case	Percobaan ke-	FFT Arc Low Lokasi 1		
		240-260Hz	390-410Hz	490-510Hz
1	1	0,0743	0,0159	0,0069
	2	0,0774	0,0104	0,0088
	3	0,0845	0,0114	0,0082
2	1	0,0816	0,0101	0,0072
	2	0,0885	0,0105	0,0085
	3	0,0834	0,0108	0,0069
3	1	0,1500	0,0111	0,0076
	2	0,1800	0,0107	0,0085
	3	0,1820	0,0117	0,0154
4	1	0,0798	0,0104	0,0063
	2	0,0706	0,0115	0,0077
	3	0,0729	0,0101	0,0074
5	1	0,0719	0,0097	0,0069
	2	0,0708	0,0117	0,0116
	3	0,0719	0,0097	0,0064
6	1	0,0849	0,0145	0,0071
	2	0,0935	0,0133	0,0081
	3	0,0897	0,0181	0,0136
7	1	0,0848	0,0117	0,0092
	2	0,0852	0,0098	0,0096

Case	Percobaan ke-	FFT Arc Low Lokasi 1		
		240-260Hz	390-410Hz	490-510Hz
	3	0,0855	0,0098	0,0079
8	1	0,0711	0,0100	0,0061
	2	0,0688	0,0099	0,0074
	3	0,0692	0,0102	0,0063
9	1	0,0698	0,0105	0,0104
	2	0,0766	0,0118	0,0098
	3	0,0693	0,0118	0,0099

Tabel di atas menampilkan data magnitudo sinyal FFT kondisi *arcing low* lokasi 1 pada frekuensi 240-260Hz, 390-410Hz, dan 490-510Hz. Dapat diamati bahwa pada frekuensi harmonik, yaitu pada *band* 240-260Hz, magnitudo sinyal tidak jauh berbeda dengan kondisi normal. Sedangkan pada frekuensi non harmonik terdapat perbedaan yang signifikan. Perbedaan lokasi deteksi, pembebanan, dan harmonik tidak mempengaruhi karakteristik sinyal FFT kondisi *arcing low*, namun memiliki pengaruh terhadap magnitudo sinyal. Tabel data hasil transformasi FFT kondisi *arcing low* lokasi 2 hingga lokasi 5 dapat ditemukan pada lampiran.

4.2.4 Grafik Hasil Transformasi Sinyal Arus *Arcing High*

Pada subbab sebelumnya ditampilkan data bahwa dengan memberikan *high pass filter*, diketahui bahwa magnitudo arus kondisi normal menjadi sangat kecil, sedangkan magnitudo arus kondisi *arcing* masih memiliki nilai yang teramati. Hal ini menjadi bukti bahwa *arcing* adalah fenomena gangguan frekuensi tinggi. Berdasarkan fakta ini, secara teori sinyal FFT kondisi *arcing* akan memiliki magnitudo yang lebih tinggi dibanding sinyal FFT kondisi normal pada frekuensi tinggi. Melalui transformasi FFT dengan DIAdem, didapati bahwa sinyal FFT kondisi *arcing high* memiliki lonjakan magnitudo pada frekuensi harmoniknya dengan selisih yang signifikan dari kondisi normal. Gambar di bawah menampilkan sinyal FFT kondisi *arcing high* pada lokasi 1.



Gambar 4.21 Hasil FFT Kondisi *Arc High*

Melalui gambar sinyal FFT di atas diketahui bahwa seperti halnya kondisi normal, *switching*, dan *arcing low*, sinyal kondisi *arcing high* memiliki magnitudo tertinggi pada frekuensi fundamental. Namun, pada sinyal kondisi *arcing high*, magnitudo pada frekuensi harmonik memiliki nilai yang jauh lebih tinggi dari kondisi lainnya. Selain itu, penurunan magnitudo setelah frekuensi fundamental dan frekuensi harmonik juga tidak sebesar pada kondisi normal. Akibatnya, frekuensi non harmonik memiliki magnitudo yang lebih tinggi.

Tabel 4.24 Magnitudo FFT Kondisi *Arc High* Lokasi 1

Case	Percobaan ke-	FFT <i>Arc High</i> Lokasi 1		
		240-260Hz	390-410Hz	490-510Hz
1	1	0,151	0,0365	0,0369
	2	0,211	0,0221	0,0221
	3	0,150	0,0275	0,0324
2	1	0,228	0,0477	0,0440
	2	0,363	0,0847	0,0905
	3	0,202	0,0979	0,0714
3	1	0,160	0,2750	0,2460
	2	0,268	0,0562	0,0566
	3	0,222	0,0318	0,0349
4	1	0,128	0,0514	0,0330
	2	0,206	0,0257	0,0252

Case	Percobaan ke-	FFT Arc High Lokasi 1		
		240-260Hz	390-410Hz	490-510Hz
	3	0,129	0,0463	0,0428
5	1	0,136	0,0230	0,0111
	2	0,138	0,0739	0,0714
	3	0,161	0,0392	0,0351
6	1	0,247	0,0875	0,0730
	2	0,195	0,1100	0,1017
	3	0,211	0,0967	0,0816
7	1	0,130	0,0559	0,0442
	2	0,121	0,0455	0,0341
	3	0,170	0,0217	0,0201
8	1	0,156	0,0509	0,0631
	2	0,137	0,0292	0,0217
	3	0,137	0,0566	0,0482
9	1	0,141	0,0692	0,0574
	2	0,133	0,0727	0,0769
	3	0,176	0,0462	0,0504

Tabel di atas menampilkan data magnitudo sinyal FFT kondisi *arcing low* pada frekuensi 240-260Hz, 390-410Hz, dan 490-510Hz. Terlihat bahwa magnitudo pada frekuensi harmonik jauh lebih besar dibandingkan magnitudo kondisi normal, *switching*, dan *arcing low* pada frekuensi yang sama. Selain itu, magnitudo pada frekuensi non harmonik juga memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan ketiga kondisi lainnya. Karakteristik inilah yang akan diterapkan pada algoritma deteksi alat pendeteksi *arcing*. Seperti ketiga kondisi lainnya, perubahan beban dan harmonik mempengaruhi besarnya magnitudo sinyal FFT. Akan tetapi perubahan lokasi deteksi tidak memberi perubahan terhadap karakteristik sinyal. Tabel hasil transformasi FFT kondisi *arcing high* lokasi 2 hingga lokasi 5 dapat ditemukan pada lampiran.

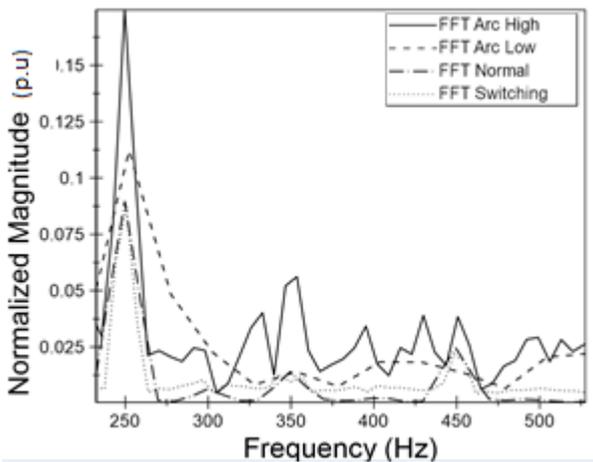
4.3 Penentuan *Threshold*

Alat pendeteksi *arcing* seri diprogram untuk dapat membedakan kondisi *arcing low* dan *arcing high* dari kondisi normal dan *switching*. Diperlukan *threshold* atau batasan berupa besaran magnitudo sinyal FFT untuk membedakan keempat kondisi tersebut. Penentuan *threshold*

dilakukan berdasarkan data hasil transformasi FFT sinyal arus keempat kondisi yang telah ditampilkan pada subbab sebelumnya.

Berdasarkan pengolahan data dan perbandingan bentuk sinyal FFT, diketahui bahwa terdapat karakteristik yang membedakan bentuk sinyal masing-masing kondisi. Pada frekuensi harmonik, magnitudo tinggi terjadi pada seluruh kondisi akibat adanya harmonisa. Pada frekuensi non harmonik magnitudo FFT kondisi normal sangat rendah, sedangkan kondisi *arc high*, *arc low*, dan *switching* masih memiliki nilai yang signifikan.

Melalui perbandingan yang telah dijelaskan, ditentukan rentang atau *band* frekuensi deteksi yang mencakup frekuensi harmonik dan non harmonik. Frekuensi harmonik dibutuhkan untuk membedakan kondisi *arc high*, *arc low*, dan *switching* karena pada frekuensi ini magnitudo *switching* lebih rendah dibandingkan magnitudo *arc high*. Frekuensi non harmonik dibutuhkan untuk membedakan kondisi *arc low* dan normal. Pada frekuensi ini, perbedaan magnitudo kedua kondisi tersebut terlihat jelas, sedangkan pada frekuensi harmonik terdapat beberapa kasus di mana magnitudo normal lebih tinggi atau sama dengan magnitudo *arc low*. Gambar 4.22 menampilkan perbandingan bentuk sinyal FFT masing-masing kondisi pada rentang frekuensi 250Hz-500Hz, sesuai dengan rentang frekuensi yang nilainya diamati pada subbab sebelumnya.



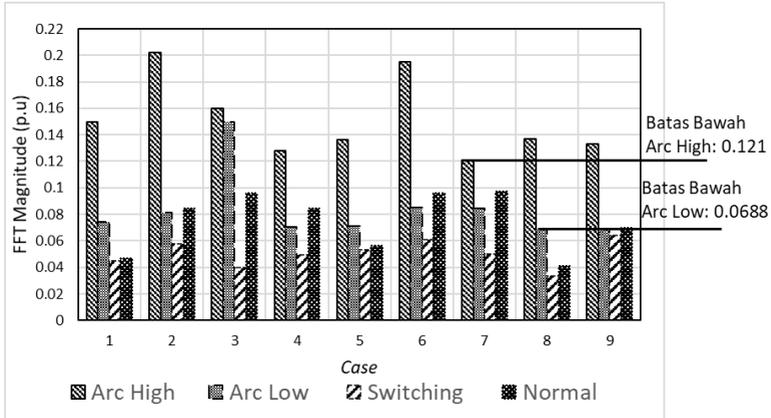
Gambar 4.22 Perbandingan Sinyal FFT Seluruh Kondisi pada Frekuensi 250-500Hz

Karena menggunakan 3 *band* frekuensi untuk melakukan deteksi, dan menginginkan pendeteksian yang dapat membedakan *arcing low* dan *arcing high*, maka dibutuhkan 6 nilai *threshold* untuk setiap lokasi, dengan 2 nilai *threshold* untuk masing-masing *band* frekuensi. Dengan mengabaikan data yang merupakan *outlier*, untuk masing-masing lokasi, data yang digunakan sebagai *lower threshold* atau batas bawah adalah data magnitudo terkecil hasil transformasi FFT kondisi *arcing low*, dan *upper threshold* atau batas atas adalah magnitudo terkecil *arcing high* dari seluruh kasus pada masing-masing *band* frekuensi deteksi (240-260Hz, 390-410Hz, dan 490-510Hz). Apabila alat deteksi menerima sinyal yang pada ketiga rentang frekuensi tersebut nilainya lebih rendah dari *lower threshold* maka alat tidak memberi respons. Apabila sinyal masukan memiliki nilai melebihi *lower threshold* namun masih berada di bawah *upper threshold* pada ketiga rentang frekuensi tersebut, maka akan terdeteksi sebagai *arcing low*. Apabila terdapat sinyal gangguan yang nilainya melebihi *lower* dan *upper threshold* pada ketiga rentang frekuensi tersebut, maka terdeteksi sebagai *arcing high*.

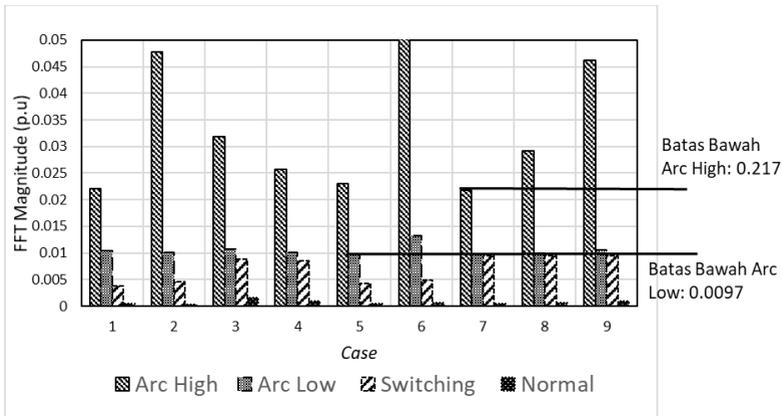
Ketiga rentang frekuensi harus dilewati agar suatu sinyal dianggap sebagai gangguan. Melalui skema ini, alat pendeteksi akan dapat mengabaikan fenomena *switching* dan normal. Pada saat terjadinya *switching*, diharapkan nilai hasil transformasi FFT pada frekuensi 240-260Hz berada di bawah *lower threshold* sehingga alat tidak merespons. Pada saat kondisi normal, diharapkan nilai hasil transformasi FFT pada frekuensi 390-410Hz dan 490-510Hz berada di bawah *lower threshold* sehingga alat tidak merespons.

Gambar 4.23-4.24 berikut adalah visualisasi hasil transformasi sinyal arus lokasi 1. Pada setiap *band* frekuensi, disajikan data yang terdiri dari nilai terendah kondisi *arc high* dan *arc low*, serta nilai tertinggi kondisi normal dan *switching*. Sebagai contoh pada gambar 4.31, pada frekuensi 240Hz-260Hz, nilai FFT terendah kondisi *arc high* kasus 1 adalah 0,15, nilai terendah kasus 2 adalah 0,2, nilai terendah kasus 3 adalah 0,16, dan seterusnya. Dari nilai seluruh kasus, terlihat bawah nilai terendah terdapat pada kasus ke 7. Nilai ini kemudian menjadi *upper threshold*. Untuk menentukan *lower threshold* digunakan cara yang sama, namun dengan menggunakan data *arc low*. Terlihat bahwa pada frekuensi 240Hz-260Hz, terdapat beberapa nilai tertinggi kondisi normal yang melebihi nilai terendah kondisi *arc low*, yaitu kasus 2,3,4,6, dan 7. Hal ini menunjukkan bahwa membedakan kondisi normal dan *arc low* tidak dapat dilakukan pada frekuensi harmonik saja. Pada frekuensi non

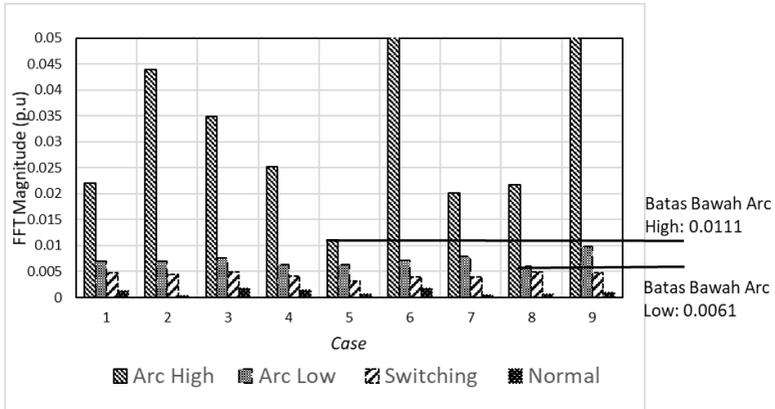
harmonik yaitu 390Hz-410Hz dan 490Hz-510Hz, terlihat bahwa tidak terdapat nilai kondisi normal yang melebihi kondisi *arc low*. Perlu diketahui bahwa magnitudo FFT adalah magnitudo yang telah dinormalisasikan.



Gambar 4.23 Visualisasi *Threshold* Lokasi 1 Frekuensi 240-260Hz



Gambar 4.24 Visualisasi *Threshold* Lokasi 1 Frekuensi 390-410Hz



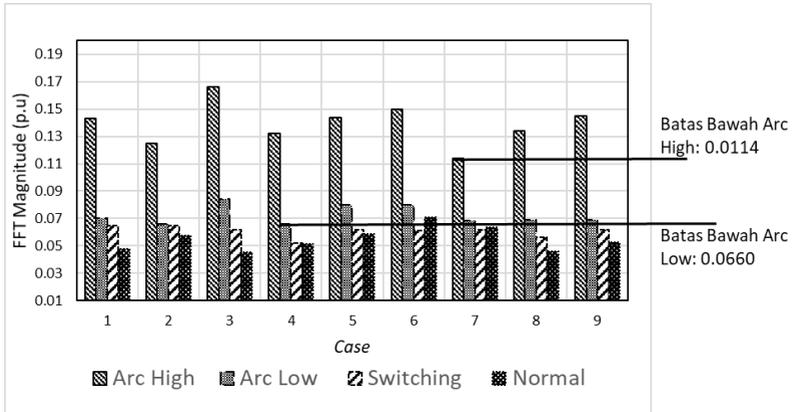
Gambar 4.25 Visualisasi *Threshold* Lokasi 1 Frekuensi 490-510Hz

Berdasarkan data yang telah divisualisasikan pada grafik tersebut, maka dapat ditentukan nilai *threshold* pada lokasi 1. Nilai *threshold* ditampilkan pada tabel berikut.

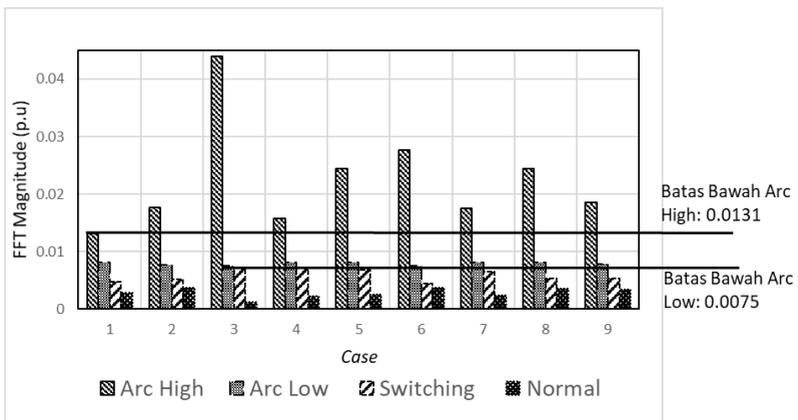
Tabel 4.25 *Threshold* Lokasi 1

<i>Threshold</i> Lokasi 1	
Frekuensi 240-260Hz	
0,0688 <Arc Low	<0,121
Arc High > 0,121	
Frekuensi 390-410Hz	
0,0097 <Arc Low	<0,0217
Arc High > 0,0217	
Frekuensi 490-510Hz	
0,0061 <Arc Low	<0,0111
Arc High > 0,0111	

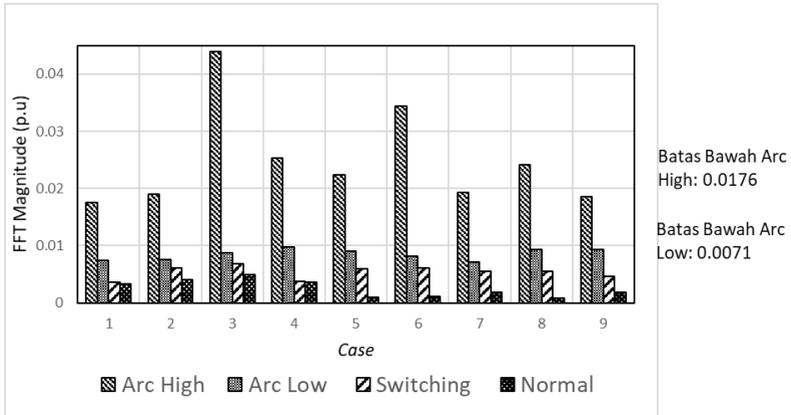
Gambar 4.26-4.27 berikut adalah visualisasi magnitudo FFT terendah kondisi *arc*ing dan magnitudo FFT tertinggi kondisi normal dan *switching* lokasi 2. Setiap *band* frekuensi yang menjadi area deteksi ditampilkan pada gambar yang berbeda.



Gambar 4.26 Visualisasi *Threshold* Lokasi 2 Frekuensi 240-260Hz



Gambar 4.27 Visualisasi *Threshold* Lokasi 2 Frekuensi 390-410Hz



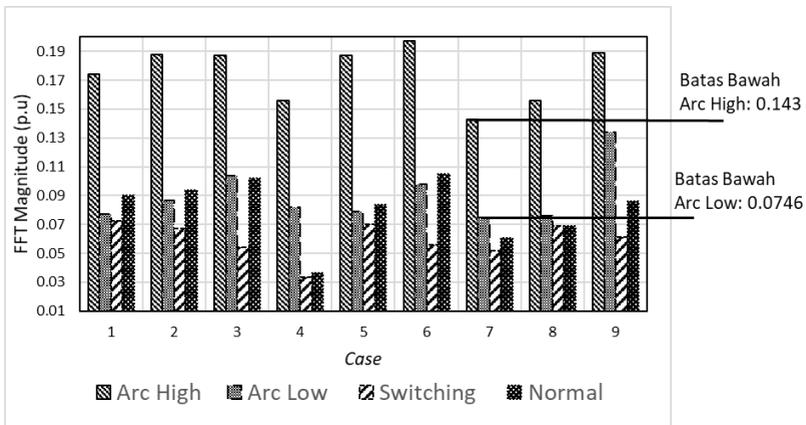
Gambar 4.28 Visualisasi *Threshold* Lokasi 2 Frekuensi 490-510Hz

Nilai *threshold* deteksi *arcing* untuk lokasi 2 berdasarkan visualisasi yang telah disajikan adalah sebagai berikut.

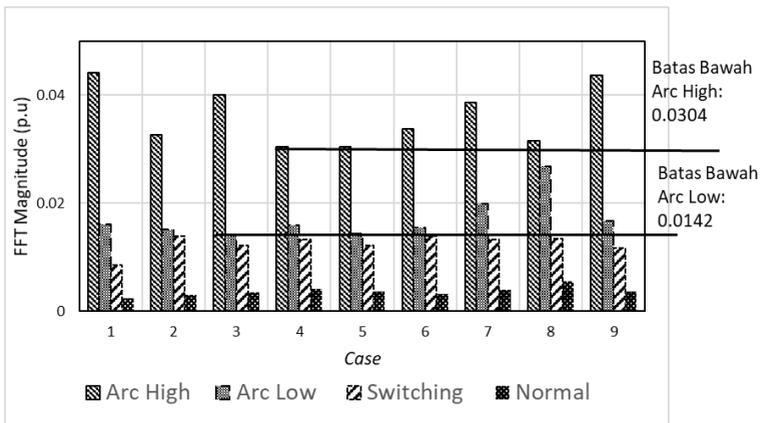
Tabel 4.26 *Threshold* Lokasi 2

<i>Threshold</i> Lokasi 2
Frekuensi 240-260Hz
$0,066 < \text{Arc Low} < 0,114$ $\text{Arc High} > 0,114$
Frekuensi 390-410Hz
$0,0075 < \text{Arc Low} < 0,0131$ $\text{Arc High} > 0,0131$
Frekuensi 490-510Hz
$0,0071 < \text{Arc Low} < 0,0176$ $\text{Arc High} > 0,0176$

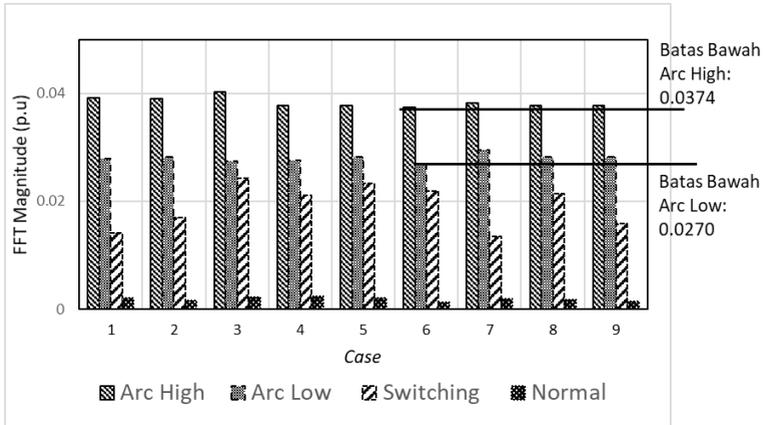
Gambar berikut menyajikan data magnitudo FFT tiap kondisi lokasi 3. Seperti lokasi sebelumnya, setiap *band* frekuensi disajikan dalam gambar yang berbeda.



Gambar 4.29 Visualisasi *Threshold* Lokasi 3 Frekuensi 240-260Hz



Gambar 4.30 Visualisasi *Threshold* Lokasi 3 Frekuensi 390-410Hz



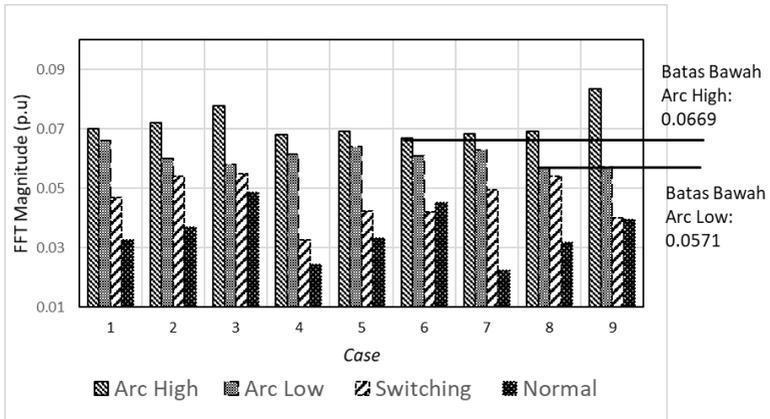
Gambar 4.31 Visualisasi *Threshold* Lokasi 3 Frekuensi 490-510Hz

Pada *band* frekuensi 240-260Hz, terlihat bahwa pada beberapa kasus data, magnitudo tertinggi kondisi *switching* melebihi magnitudo terendah kondisi *arc low*. *Threshold* deteksi *arcing* untuk lokasi 3 berdasarkan data yang telah disajikan adalah sebagai berikut.

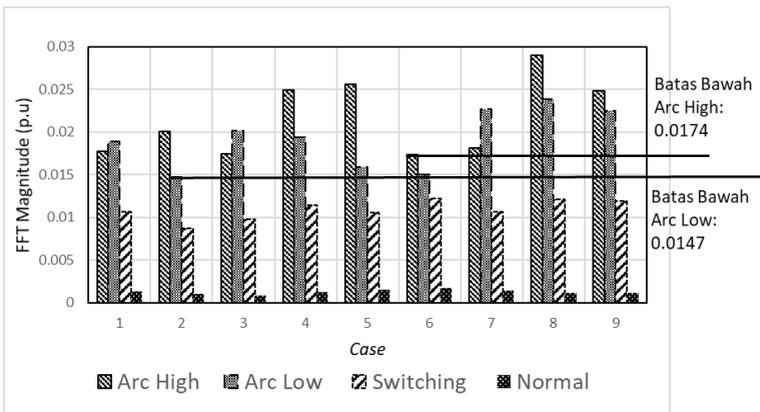
Tabel 4.27 *Threshold* Lokasi 3

<i>Threshold</i> Lokasi 3
Frekuensi 240-260Hz
$0,0746 < \text{Arc Low} < 0,143$ $\text{Arc High} > 0,143$
Frekuensi 390-410Hz
$0,0142 < \text{Arc Low} < 0,0304$ $\text{Arc High} > 0,0304$
Frekuensi 490-510Hz
$0,0270 < \text{Arc Low} < 0,0374$ $\text{Arc High} > 0,0374$

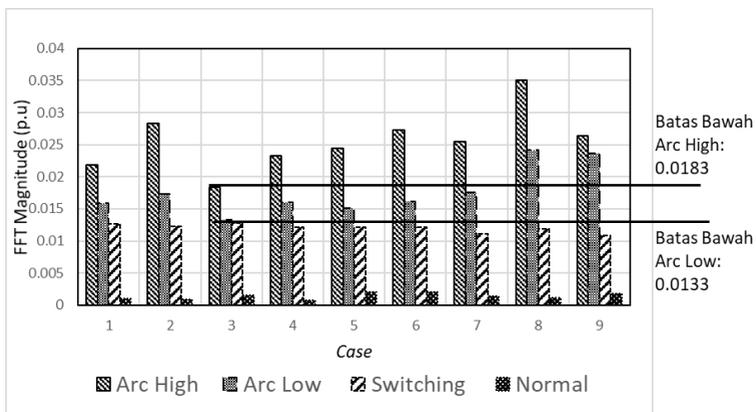
Gambar 4.32-4.33 berikut adalah visualisasi FFT masing-masing kondisi pada lokasi 4.



Gambar 4.32 Visualisasi *Threshold* Lokasi 4 Frekuensi 240-260Hz



Gambar 4.33 Visualisasi *Threshold* Lokasi 4 Frekuensi 390-410Hz



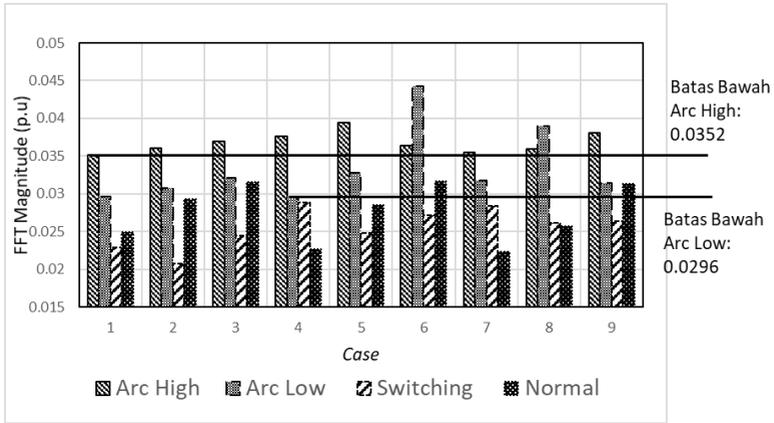
Gambar 4.34 Visualisasi *Threshold* Lokasi 4 Frekuensi 490-510Hz

Tabel berikut menampilkan nilai *threshold* deteksi *arcing* yang ditentukan berdasarkan data magnitudo FFT lokasi 4.

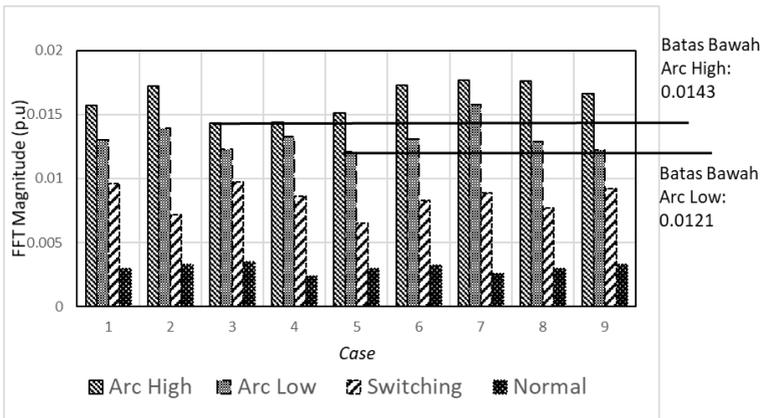
Tabel 4.28 *Threshold* Lokasi 4

<i>Threshold</i> Lokasi 4
Frekuensi 240-260Hz
$0,0571 < \text{Arc Low} < 0,0669$ $\text{Arc High} > 0,0669$
Frekuensi 390-410Hz
$0,0147 < \text{Arc Low} < 0,0174$ $\text{Arc High} > 0,0174$
Frekuensi 490-510Hz
$0,0133 < \text{Arc Low} < 0,0183$ $\text{Arc High} > 0,0183$

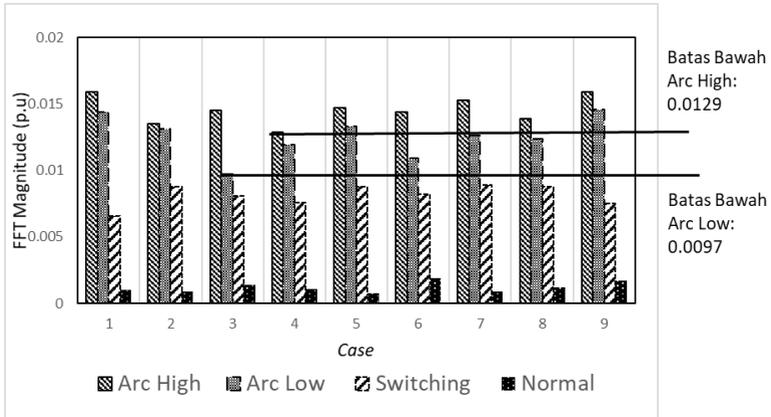
Gambar berikut menyajikan data magnitudo FFT tiap kondisi lokasi 5. Terlihat pada lokasi ini bahwa magnitudo untuk masing-masing kondisinya adalah yang paling rendah dibanding lokasi-lokasi sebelumnya.



Gambar 4.35 Visualisasi Threshold Lokasi 5 Frekuensi 240-260Hz



Gambar 4.36 Visualisasi Threshold Lokasi 5 Frekuensi 390-410Hz



Gambar 4.37 Visualisasi *Threshold* Lokasi 5 Frekuensi 490-510Hz

Nilai *threshold* deteksi *arcing* lokasi 5 berdasarkan data magnitudo FFT ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 4.29 *Threshold* Lokasi 5

<i>Threshold</i> Lokasi 5	
Frekuensi 240-260Hz	
$0,0296 < \text{Arc Low} < 0,0352$ $\text{Arc High} > 0,0352$	
Frekuensi 390-410Hz	
$0,0121 < \text{Arc Low} < 0,0143$ $\text{Arc High} > 0,0143$	
Frekuensi 490-510Hz	
$0,0097 < \text{Arc Low} < 0,0129$ $\text{Arc High} > 0,0129$	

4.4 Analisa Performa Alat Deteksi *Arcing* Seri

Setelah dilakukan penentuan nilai *threshold* seperti yang telah dibahas pada subbab 4.3, maka dilanjutkan dengan pengujian alat deteksi *arcing* seri. Pengujian dilakukan dengan cara menghubungkan alat deteksi dengan transformator arus, dan membangkitkan gangguan *arcing* seri dengan modul simulator. Hasil deteksi akan ditampilkan pada layar alat deteksi, di mana terdapat tiga kemungkinan hasil, yaitu *arcing high*, *arcing low*, dan *arcing medium*. Seperti yang telah dijelaskan pada subbab

4.1.3, *arcing high* adalah kondisi terjadinya *arcing* seri yang diiringi kedip pada beban lampu. Kondisi *arcing low* adalah terjadinya *arcing* seri tanpa adanya kedip pada beban lampu. *Arcing medium* adalah pesan yang akan ditampilkan pada layar alat deteksi apabila alat tidak dapat mengategorikan *arcing* yang sedang terjadi ke dalam dua kategori sebelumnya. Kondisi ini dapat terjadi ketika sinyal *arcing* yang sedang terjadi memiliki magnitudo yang cukup untuk dianggap sebagai *arcing high* pada salah satu atau kedua spektrum frekuensi dari tiga spektrum yang dideteksi, namun pada frekuensi lainnya tidak melebihi *upper threshold*.

Pengujian kinerja alat deteksi dilakukan dengan menggunakan kombinasi pembebanan dan harmonisa yang sama seperti yang digunakan pada pengambilan data primer. Skema pengujian alat deteksi terdiri dari 9 kasus yang masing-masing memiliki nilai pembebanan dan harmonisa berbeda, dan setiap kasusnya dilakukan sebanyak 3 kali. Untuk setiap percobaan, dibangkitkan masing-masing 1 gangguan *arcing low* dan 1 *arcing high*. Dengan skema ini, untuk setiap lokasi terdapat 54 gangguan *arcing* yang digunakan untuk menguji alat deteksi, terdiri dari 27 gangguan *arcing low* dan 27 gangguan *arcing high*. Alat diuji pada seluruh lokasi, sehingga secara keseluruhan terdapat 270 gangguan *arcing* yang disimulasikan, terdiri dari 135 *arcing high* dan 135 *arcing low*.

Parameter yang diperhatikan dalam pengujian performa alat deteksi *arcing* seri ini adalah kemampuan alat untuk mendeteksi terjadinya *arcing*, serta kemampuan alat untuk mengategorikan gangguan sesuai tingkat keparahannya. Selanjutnya, untuk mengetahui kinerja alat deteksi seiring dengan perubahan kombinasi beban dan harmonisa, serta rasio arus *arcing* terhadap RMS-nya, dilakukan perhitungan korelasi parameter-parameter tersebut.

4.4.2 Akurasi Deteksi *Arcing* Seri

Pada analisa akurasi deteksi *arcing* seri dengan menggunakan alat deteksi, parameter yang diperhatikan hanyalah kemampuan alat untuk mendeteksi adanya gangguan *arcing* seri. Kemampuan alat untuk mengelompokkan gangguan *arcing* seri berdasarkan tingkat keparahannya belum menjadi parameter yang diperhitungkan pada tahap ini. Tabel-tabel berikut menampilkan akurasi deteksi alat deteksi *arcing* seri masing-masing lokasi.

Tabel 4.30 Akurasi Deteksi Gangguan Arcing Seri

Total Simulasi: 270 (135 Arcing Low, 135 Arcing High)							
Simulasi per Lokasi: 54 (27 Arcing Low, 27 Arcing High)							
Lokasi	Arc Low			Arc High			Akurasi Total (%)
	Deteksi	Gagal	Akurasi (%)	Deteksi	Gagal	Akurasi (%)	
1	22	5	81,48%	26	1	96,30%	88,89%
2	25	2	92,59%	25	2	92,59%	92,59%
3	23	4	85,19%	24	3	88,89%	85,19%
4	19	8	70,37%	22	5	81,48%	75,93%
5	18	9	66,67%	20	7	74,07%	70,37%
Total	107	28	79,26%	117	18	86,67%	82,96%

Berdasarkan data yang ditampilkan pada tabel terlihat bahwa pada seluruh lokasi, akurasi deteksi *arcing high* lebih tinggi dibandingkan akurasi deteksi *arcing low*. Hal ini disebabkan magnitudo FFT *arcing high* yang memiliki nilai tinggi, sehingga hampir seluruh simulasi *arcing high* dapat terdeteksi. Selain itu, jika melihat dari besarnya rasio arc terhadap RMS, *arc high* memiliki rasio terhadap RMS yang lebih tinggi dibandingkan *arc low*. Hal ini berarti alat akan semakin akurat dalam mendeteksi terjadinya *arcing* apabila gangguan *arcing* yang terjadi memberikan arus kontribusi yang besar terhadap saluran fasa yang dideteksi

Tabel akurasi deteksi menampilkan data bahwa selain lokasi 2, akurasi alat deteksi secara keseluruhan menurun seiring dengan perpindahan lokasi menjauhi titik terjadinya gangguan *arcing* seri. Untuk menganalisis hal ini, maka dilakukan perhitungan korelasi antara kinerja alat deteksi dan rasio arc terhadap RMS. Tabel berikut menampilkan hasil perhitungan korelasi rasio arus dan kinerja alat deteksi.

Tabel 4.31 Korelasi Rasio Arus Arc High/RMS Terhadap Akurasi Deteksi Gangguan

	Akurasi Arc High	Rasio Arc High/RMS
Akurasi Arc High	1	
Rasio Arc High/RMS	0,947507	1

Tabel 4.32 Korelasi Rasio Arus Arc Low/RMS Terhadap Akurasi Deteksi Gangguan

	Akurasi Arc low	Rasio Arc Low/RMS
Akurasi Arc low	1	
Rasio Arc low/RMS	0,160002	1

Hasil perhitungan korelasi menunjukkan bahwa terdapat korelasi positif yang signifikan bahkan mendekati nilai 1 antara rasio *arc high* terhadap RMS dan kinerja pendeteksian gangguan *arcing* oleh alat deteksi. Hasil perhitungan korelasi rasio *arc low* tidak menampilkan nilai korelasi yang signifikan untuk dapat disimpulkan ada atau tidaknya korelasi antara rasio *arc low* terhadap akurasi deteksi seiring perpindahan lokasi deteksi.

4.4.3 Akurasi Pengelompokan Tingkat Keparahan *Arcing* Seri

Analisa akurasi alat deteksi dalam pengelompokan gangguan *arcing* seri berdasarkan tingkat keparahannya dilakukan dengan mengamati kategori *arcing* yang ditampilkan oleh LCD pada alat deteksi. Ketika terjadi gangguan *arcing* seri, terdapat 3 kemungkinan yang akan ditampilkan oleh alat deteksi pada LCD apabila terdeteksi adanya *arcing*. Ketiga kemungkinan tersebut adalah *arcing high*, *arcing low*, dan *arcing medium*. Kategori *arcing high* akan ditampilkan apabila alat mengelompokkan gangguan yang sedang terjadi kedalam kategori keparahan *arcing high*. Kategori *arcing low* akan ditampilkan apabila gangguan yang terjadi dikelompokkan kedalam kategori keparahan *arcing low*. Kategori *arcing medium* akan ditampilkan apabila alat tidak dapat menentukan dengan jelas kategori keparahan gangguan *arcing* seri yang sedang terjadi. Pengelompokan gangguan ke dalam *arcing medium* dapat terjadi karena beberapa hal. Kemungkinan pertama adalah ketika timbul gangguan *arcing low*, alat mendeteksi adanya gangguan tersebut, namun magnitudo FFT pada salah satu *band* frekuensi dari 3 *band* frekuensi yang dideteksi melebihi *threshold arcing high*. Kemungkinan kedua adalah ketika timbul gangguan *arcing high*, magnitudo FFT pada salah satu *band* frekuensi dari 3 *band* frekuensi yang dideteksi tidak melebihi *threshold arcing high*.

Tabel 4.33 dan 4.34 berikut menampilkan hasil pengujian akurasi pengelompokan gangguan *arcing* seri oleh alat deteksi. Terdapat 3 kolom hasil pengelompokan pada tabel di bawah. Kolom ini menyatakan banyaknya gangguan *arcing* seri yang dikelompokkan ke masing-masing

kategori pada setiap lokasi. Misal, pada tabel 4.33, pada lokasi 1 data kolom *Low* bernilai 18, hal ini berarti dari 27 gangguan *arcing* seri kategori *low* yang disimulasikan, 18 di antaranya dikelompokkan secara tepat oleh alat ke dalam kategori *Low*. Kolom *Medium* yang bernilai 4 berarti terdapat 4 simulasi *arcing* seri kategori *low* yang memiliki nilai sinyal FFT sedemikian rupa hingga alat tidak dapat mengelompokkan secara tepat dan menganggapnya sebagai kategori *medium*. Kolom *High* bernilai 0 berarti tidak ada gangguan *arcing* seri kategori *low* pada lokasi 1 yang dikelompokkan ke dalam kategori *high* oleh alat deteksi, dan kolom *Gagal* bernilai 5 berarti terdapat 5 gangguan yang tidak terdeteksi.

Tabel 4.33 Akurasi Pengelompokan *Arcing* Seri Kategori *Low*

Lokasi	Hasil Pengelompokan per Kategori				
	<i>Low</i>	<i>Medium</i>	<i>High</i>	<i>Gagal</i>	Akurasi(%)
1	18	4	0	5	67%
2	17	8	0	2	63%
3	18	5	0	4	67%
4	12	7	0	8	44%
5	12	6	0	9	44%
Total	77	30	0	28	57%

Tabel 4.34 Akurasi Pengelompokan *Arcing* Seri Kategori *High*

Lokasi	Hasil Pengelompokan per Kategori				
	<i>Low</i>	<i>Medium</i>	<i>High</i>	<i>Gagal</i>	Akurasi (%)
1	0	7	19	1	70%
2	0	10	15	2	56%
3	0	7	17	3	63%
4	0	7	15	5	56%
5	0	7	13	7	48%
Total	0	38	79	18	59%

Data yang ditampilkan oleh tabel-tabel di atas menunjukkan bahwa performa alat dalam mengelompokkan gangguan *arcing* berdasarkan tingkat keparahannya masih belum maksimal. Secara keseluruhan, hanya

79 dari 135 simulasi *arcing high* yang dikelompokkan dengan tepat ke dalam kategori gangguan *arcing high*, dan hanya 77 dari 135 simulasi *arcing low* yang dikelompokkan ke dalam kategori *arcing low*. Pengaruh lokasi deteksi menunjukkan pola yang fluktuatif, sebagai contoh akurasi pengelompokan *arcing low* lokasi 3 sama dengan lokasi 1, dan lokasi 5 sama dengan lokasi 4. Seperti halnya analisa akurasi deteksi *arcing*, dilakukan perhitungan korelasi antara kinerja pengelompokan keparahan *arcing* dan rasio *arc* terhadap RMS.

Tabel perhitungan korelasi yang ditampilkan di bawah menunjukkan korelasi positif antara rasio *arc* terhadap RMS dan akurasi pengelompokan gangguan *arcing high* berdasarkan keparahannya. Hal ini berarti semakin besar rasio *arc high* terhadap arus RMS, semakin akurat pengelompokan gangguan yang dilakukan oleh alat deteksi. Seperti perhitungan korelasi pada analisa deteksi yang ditampilkan pada subbab sebelumnya, nilai korelasi antara rasio *arc low* terhadap arus RMS tidak memiliki nilai yang cukup untuk dapat dikatakan adanya korelasi yang kuat.

Tabel 4.35 Korelasi Rasio Arus *Arc High*/RMS Terhadap Akurasi Pengelompokan Gangguan

	Akurasi Kategori <i>Arc High</i>	Rasio <i>Arc High</i> /RMS
Akurasi Kategori <i>Arc High</i>	1	
Rasio <i>Arc High</i> /RMS	0,969531	1

Tabel 4.36 Korelasi Rasio Arus *Arc Low*/RMS Terhadap Akurasi Pengelompokan Gangguan

	Akurasi Kategori <i>Arc Low</i>	Rasio <i>Arc Low</i> /RMS
Akurasi Kategori <i>Arc Low</i>	1	
Rasio <i>Arc Low</i> /RMS	0,370499	1

Kegagalan alat dalam melakukan pengelompokan gangguan dan pendeteksian alat dapat disebabkan oleh beberapa kemungkinan. Kemungkinan pertama adalah terganggunya proses transformasi FFT oleh lonjakan arus. Hal ini didasari oleh kejadian di mana pada beberapa kesempatan, alat deteksi mati dan melakukan *reset* dengan sendirinya ketika timbul arus yang sangat tinggi saat terjadi *arcing*. Kemungkinan kedua adalah tidak akuratnya pemotongan gelombang arus yang akan

ditransformasi oleh alat deteksi. Alat deteksi yang beroperasi dengan frekuensi *sampling* 5kHz ini didesain untuk melakukan transformasi setiap 2048 data terhitung sejak alat dinyalakan. Terdapat kemungkinan bahwa alat sudah menghitung 2048 data sesaat setelah terjadi *arcing* dan langsung melakukan transformasi sehingga FFT yang dihasilkan tidak merepresentasikan bentuk FFT *arcing* yang seharusnya atau terdapat *spectral noise* dalam sinyal hasil transformasi tersebut. Kemungkinan ketiga adalah adanya *delay* pada STM32 sehingga sinyal yang akan ditransformasikan tertunda selama beberapa saat, dan transformasi selesai setelah *arcing* berakhir.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian, pengolahan data, serta analisa hasil pengujian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan mengenai karakteristik arus *arcing*, pengaruh variasi harmonik dan pembebanan, serta pendeteksian gangguan *arcing* seri. Adapun kesimpulan tersebut sebagai berikut:

1. Melalui pengujian pada lokasi 1, diketahui bahwa peristiwa kedip lampu atau padamnya lampu beban sesaat terjadi pada daerah padam atau *extinction point* yang dapat terlihat pada gelombang arus *arcing high*, di mana tidak ada arus yang mengalir. Daerah ini tidak ditemukan pada gelombang arus *arcing low* sehingga tidak terjadi kedip lampu.
2. Pada kondisi *arcing high*, terdapat korelasi positif antara nilai puncak arus *arcing* terhadap pembebanan pada lokasi 1 hingga lokasi 5 dengan rata-rata korelasi sebesar 0,976. Korelasi positif antara nilai arus ternormalisasi terhadap harmonisa terdapat pada lokasi 1 hingga lokasi 4 dengan rata-rata korelasi sebesar 0,891 sedangkan pada lokasi 5 tidak terdapat korelasi.
3. Pada kondisi *arcing low*, terdapat korelasi positif antara nilai puncak arus *arcing* terhadap pembebanan pada lokasi 1 hingga lokasi 5 dengan rata-rata korelasi sebesar 0,887, dan korelasi positif nilai arus ternormalisasi terhadap harmonisa pada lokasi 1 hingga lokasi 3 dengan rata-rata korelasi sebesar 0,628. Pada lokasi 4 dan 5 nilai korelasi arus ternormalisasi dan harmonisa sangat rendah sehingga dapat dikatakan tidak terdapat korelasi.
4. *Arcing* seri dapat dideteksi dan dikelompokkan sesuai tingkat keparahannya dengan metode FFT pada 3 *band* frekuensi yaitu 240-260Hz, 390-410Hz, dan 490-510Hz, dengan akurasi deteksi keseluruhan lokasi mencapai 79,26% untuk gangguan *arc low* dan 82,96% untuk gangguan *arc high*. Akurasi pengelompokan gangguan pada keseluruhan lokasi adalah 57% untuk gangguan *arc low* dan 59% untuk gangguan *arc high*.
5. Akurasi pendeteksian dan pengelompokan gangguan oleh alat deteksi *arcing* seri dipengaruhi oleh rasio arus *arcing* terhadap

arus RMS-nya. Pada lokasi 1 dengan rata-rata rasio *arc high* sebesar 8xRMS dan *arc low* sebesar 2,6xRMS, akurasi deteksi mencapai 88,89% dan akurasi pengelompokan sebesar 68%. Pada lokasi 5 dengan rata-rata rasio *arc high* sebesar 2,19xRMS dan *arc low* 1,8xRMS, akurasi deteksi dan pengelompokan hanya sebesar 70,37% dan 46%

6. Masih diperlukan perbaikan pada perangkat keras dan program pendeteksian alat deteksi *arcing* seri untuk meningkatkan akurasi.

5.2 Saran

Melalui pengujian pada tugas akhir, telah diketahui karakteristik gangguan *arcing* seri pada *feeder* utama dan *feeder* beban dengan variasi harmonisa dan pembebanan. Pendeteksian *arcing* seri telah dapat dilakukan pada setiap lokasi, namun dengan akurasi yang belum optimal. Oleh karenanya, perlu dilakukan perbaikan baik pada komponen perangkat keras maupun perangkat lunak, hingga penentuan *band* frekuensi dan *threshold arcing*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] “Rasio Elektrifikasi Indonesia,” Kementerian ESDM Republik Indonesia, Mei 2020. Diakses pada: 5 Mei, 2020. [Daring]. Tersedia pada: <https://geoportal.esdm.go.id/project-strategis/>.
- [2] Jakarta Fire, “Statistik Kebakaran Berdasarkan Penyebab,” Jakarta Fire, DKI Jakarta, Annual Report, 2019. Diakses pada: 28 April, 2020. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.jakartafire.net/statistic>.
- [3] N. Hadziefendic, M. Kostic, and Z. Radakovic, “Detection of series arcing in low-voltage electrical installations,” *Eur. Trans. Electr. Power*, vol. 19, no. 3, pp. 423–432, Apr. 2009, doi: 10.1002/etep.229.
- [4] S. Zhang, F. Zhang, P. Liu, and Z. Han, “Identification of Low Voltage AC Series Arc Faults by using Kalman Filtering Algorithm,” *Elektron. IR ELEKTROTEHNIKA*, vol. 20, no. 5, p. 6, 2014.
- [5] G. Privitera, A. Cataliotti, V. Consentino, and G. Artale, “Arc Fault Detection Equipment and Method Using Low Frequency Harmonic Current Analysis,” US9025287B2, Mei 05, 2015.
- [6] D. F. Grosjean, “Arc fault detection,” US9945894B2, Apr. 17, 2018.
- [7] J. Zach, “Arc Fault Detection System and Method,” US9366713B2, Jun. 14, 2016.
- [8] P. Schneider and J. Xu, “Electrical System With Arc Fault Detection,” US10078105B2, Sep. 18, 2018.
- [9] C. Rivers *et al.*, “Series Arc Fault Current Interrupters and Methods,” US7463465B2.
- [10] S. H. Ma, J. W. Guo, and J. Q. Bao, “Identification Method of Low-Voltage Series Arc Fault Based on Harmonic Component Relative Change Coefficient,” *Appl. Mech. Mater.*, vol. 331, pp. 144–147, Jul. 2013, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.331.144.
- [11] J.-M. Martel, F. Berger, P. Schegner, and M. Anheuser, *Series arc faults in low-voltage AC electrical installations*. Ilmenau: Universitätsverlag Ilmenau, 2018.
- [12] A. F. Husain, “Series Arc Fault Detection,” p. 76.
- [13] A. Bilal, M. F. Zia, M. H. Asif, and M. S. Yousaf, “Fast Fourier Transform Based Cost-Effective Implementation of the Arc Fault Current Interrupter,” p. 7.

- [14] E. H. Mayoral, M. A. H. López, E. R. Hernández, H. J. C. Marrero, J. R. D. Portela, and V. I. M. Oliva, "Fourier Analysis for Harmonic Signals in Electrical Power Systems," in *Fourier Transforms - High-tech Application and Current Trends*, G. S. Nikolic, M. D. Cakic, and D. J. Cvetkovic, Eds. InTech, 2017.
- [15] D. A. Asfani and D. Fahmi, "Low-Voltage Arcing Detection on Non-Linear Load with Total Harmonic Distortion and Power Factor Variations," p. 5.
- [16] U. Oberst, "The Fast Fourier Transform," *SIAM J. Control Optim.*, vol. 46, no. 2, pp. 496–540, Jan. 2007, doi: 10.1137/060658242.
- [17] A. Gupta and K. R. Rao, "An efficient FFT algorithm based on the discrete sine transform," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 39, no. 2, pp. 486–490, Feb. 1991, doi: 10.1109/78.80835.
- [18] J. W. Cooley, "Real DFT Using the Complex DFT," p. 18.
- [19] D. A. Asfani, F. F. Kurniawan, and J. A. R. Hakim, "Monitoring Online Arcing Seri Tegangan Rendah Berbasis Web dengan Analisa Impedansi Saluran," p. 6, 2018.
- [20] D. A. Asfani, I. F. Ramadhan, and S. Anam, "Desain Peralatan Deteksi Arcing Paralel Tegangan Rendah Berbasis Smartphone Dan Analisa Pengaruh Impedansi Jaringan Terhadap Kinerja Deteksi," p. 6.
- [21] A. T. Pradipta and D. A. Asfani, "Analysis of Low Voltage Series Arcing Detection on The Effect of Network Impedance and Electrode Distance," p. 6.

BIODATA PENULIS

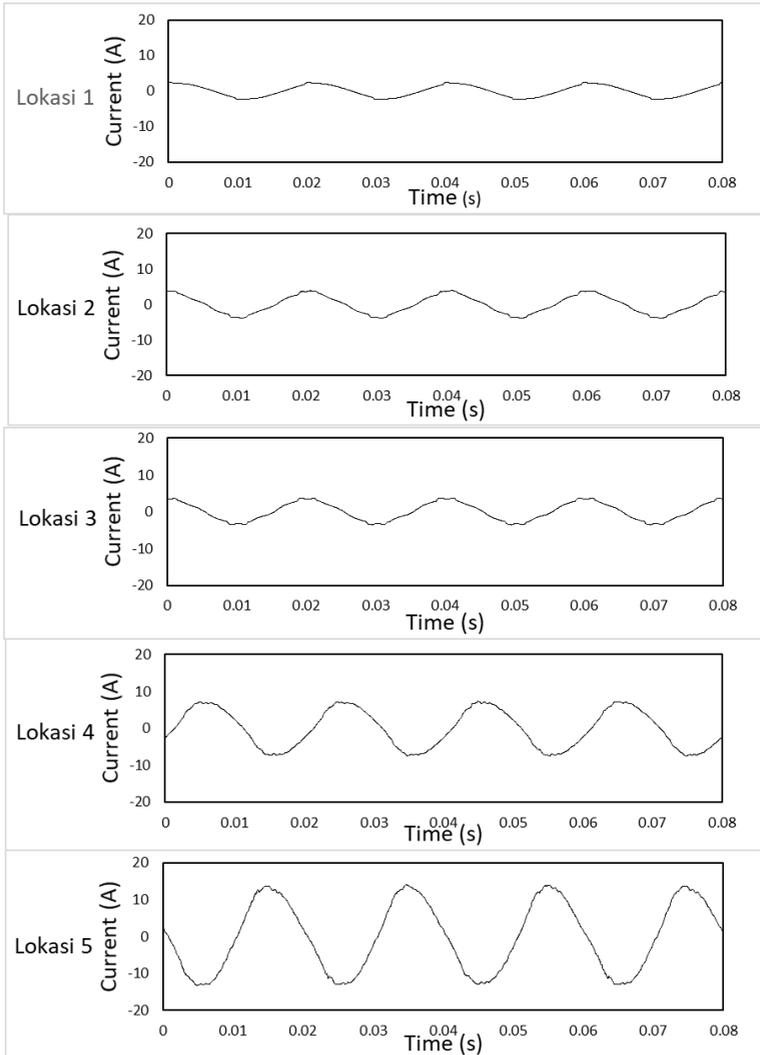


Made Yudha Pranadiksa Giri dilahirkan sebagai anak kedua dari tiga bersaudara pada tanggal 28 Oktober 1998 di Balikpapan, Kalimantan Timur. Penulis menempuh pendidikan dasar di SD YPJ Jayawijaya, Tembagapura, Papua, kemudian menempuh jenjang selanjutnya di 2 SMP berbeda yaitu YPJ Jayawijaya Tembagapura dan SMP Negeri 1 Denpasar Bali. Pendidikan SMA penulis ditempuh di SMA Negeri 1 Denpasar. Selama menjalankan perkuliahan, penulis mengikuti beberapa kegiatan di berbagai bidang yang berbeda untuk mengasah diri. Kegiatan yang telah dilaksanakan pada tahun kedua adalah menjadi salah satu anggota komite ad hoc pembentukan BEM FTE ITS, dan sebagai Wakil Kepala Departemen Media dan Informasi Tim Pembina Kerohanian Hindu ITS. Pada tahun yang sama, penulis dipercaya untuk mengemban tugas sebagai Koordinator Divisi Desain pada EVOLTY 2019. Pada tahun yang ketiga, penulis bergabung dengan Laboratorium Tegangan Tinggi Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknologi Elektro ITS sebagai asisten laboratorium, kemudian sebagai Staf Departemen Riset pada periode kepengurusan semester pertama tahun 2019, Koordinator Departemen Relasi Publik pada periode berikutnya. Penulis mengikuti seluruh pelatihan yang diadakan oleh Laboratorium Tegangan Tinggi yaitu pelatihan pertanahan, pengukuran tahanan kontak, pengujian belitan motor, dan pengujian *high potential leakage current*. Penulis juga terpilih sebagai salah satu delegasi Indonesia dalam Asean Student Forum 2019 yang diselenggarakan oleh Universiti Teknologi Petronas, Malaysia. Pada tahun keempat, penulis terpilih sebagai salah satu peserta Winter University Program 2020 yang diselenggarakan oleh Darmstadt University, Jerman. Penulis dapat dihubungi pada alamat *email*: madeyudhagiri@gmail.com

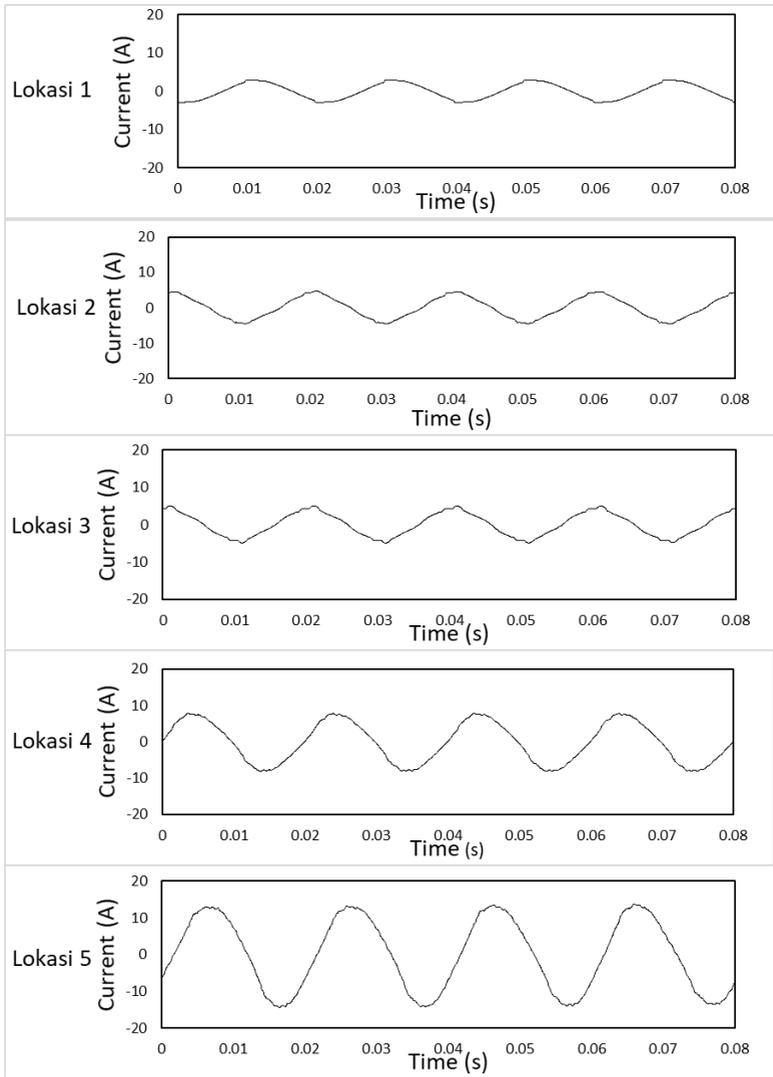
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

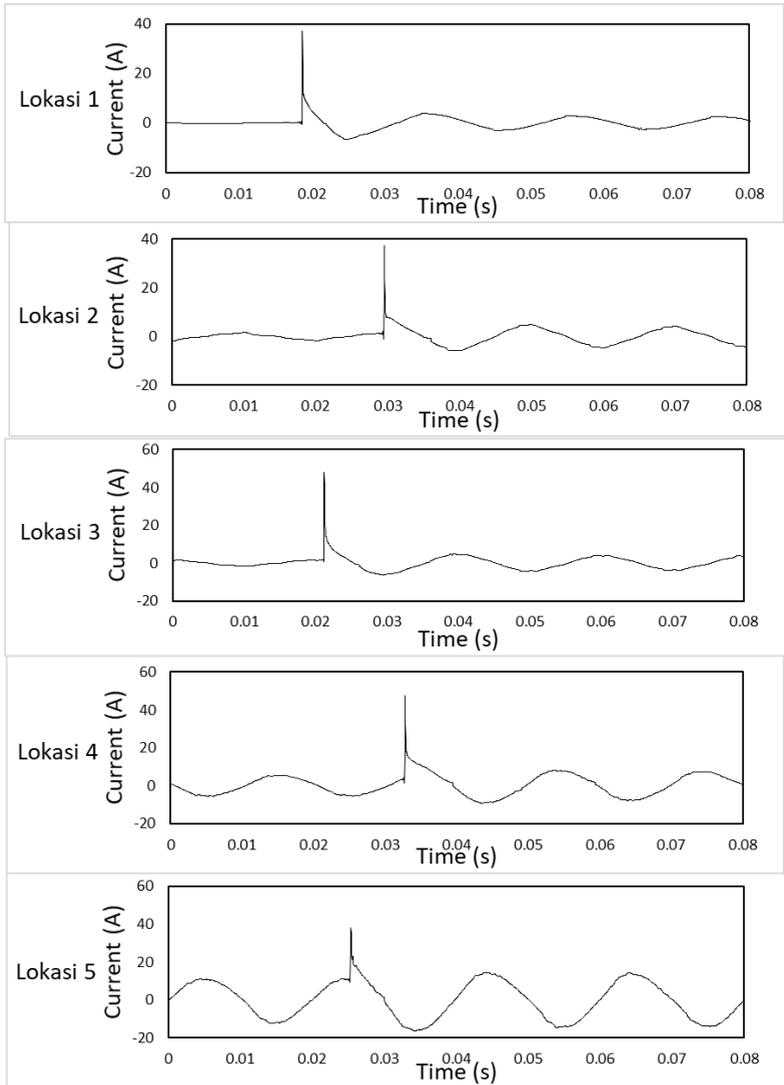
Lampiran berikut berisi data grafik hasil pengambilan data.



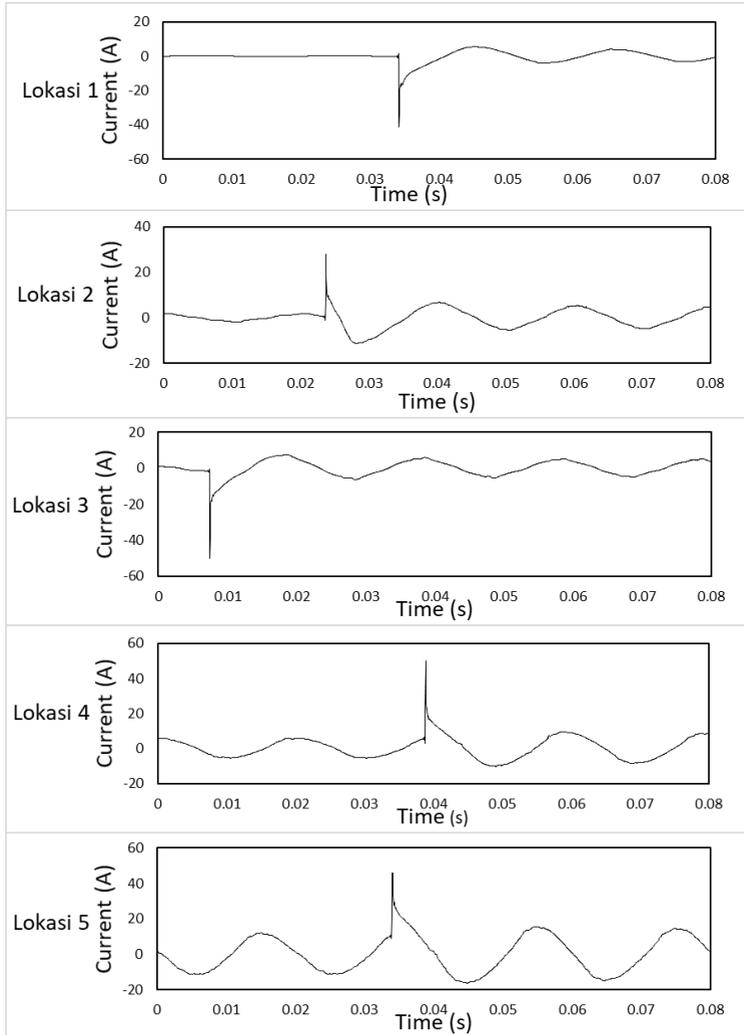
Arus Kondisi Normal Case 4



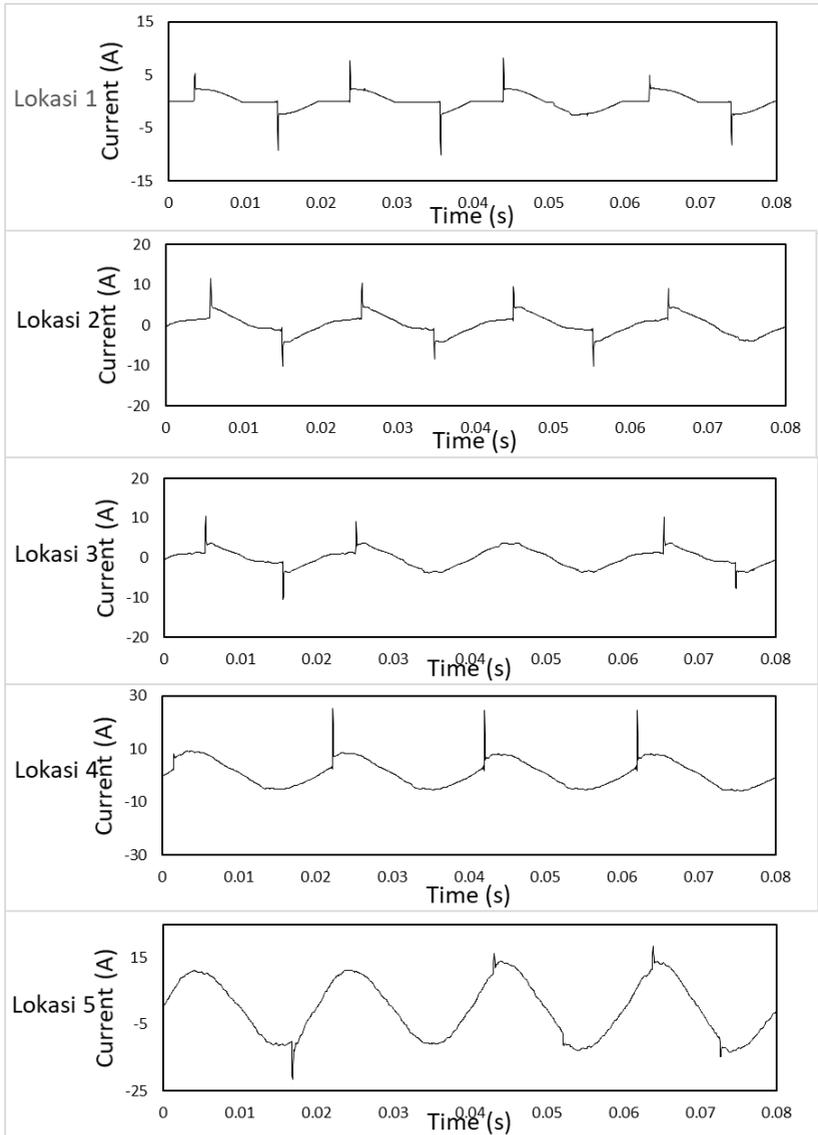
Arus Kondisi Normal Case 7



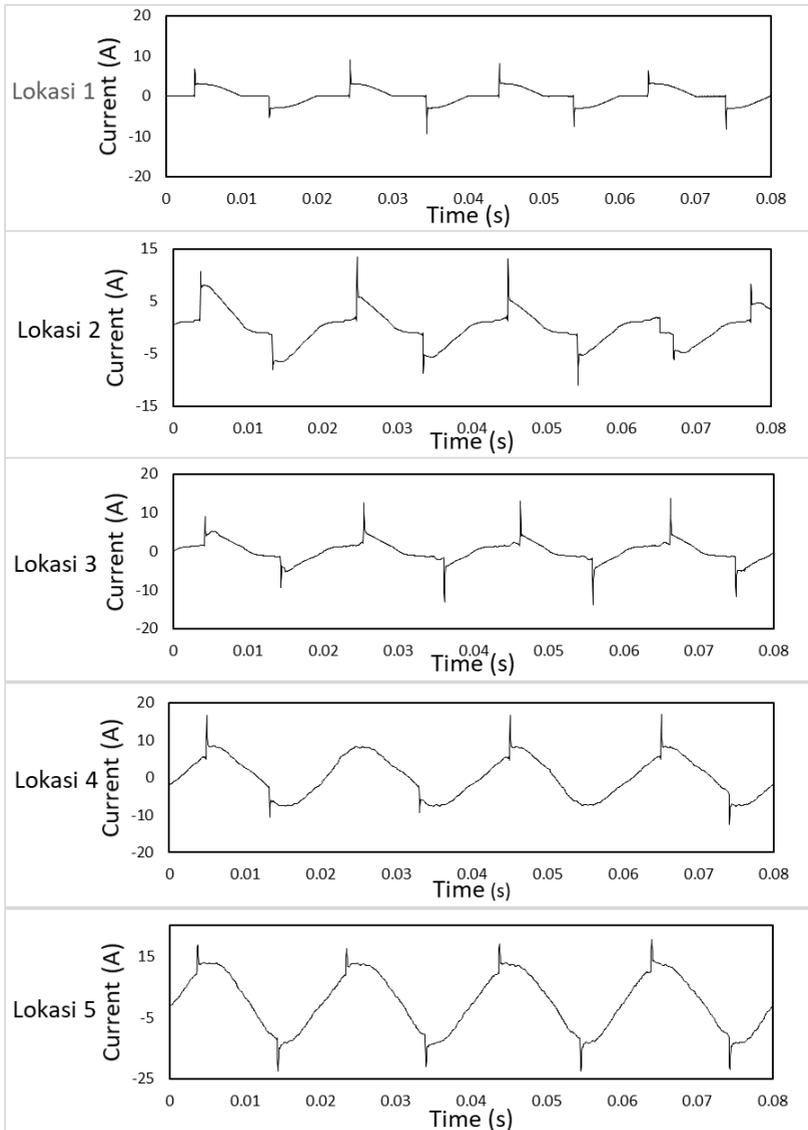
Arus Kondisi Switching Case 4



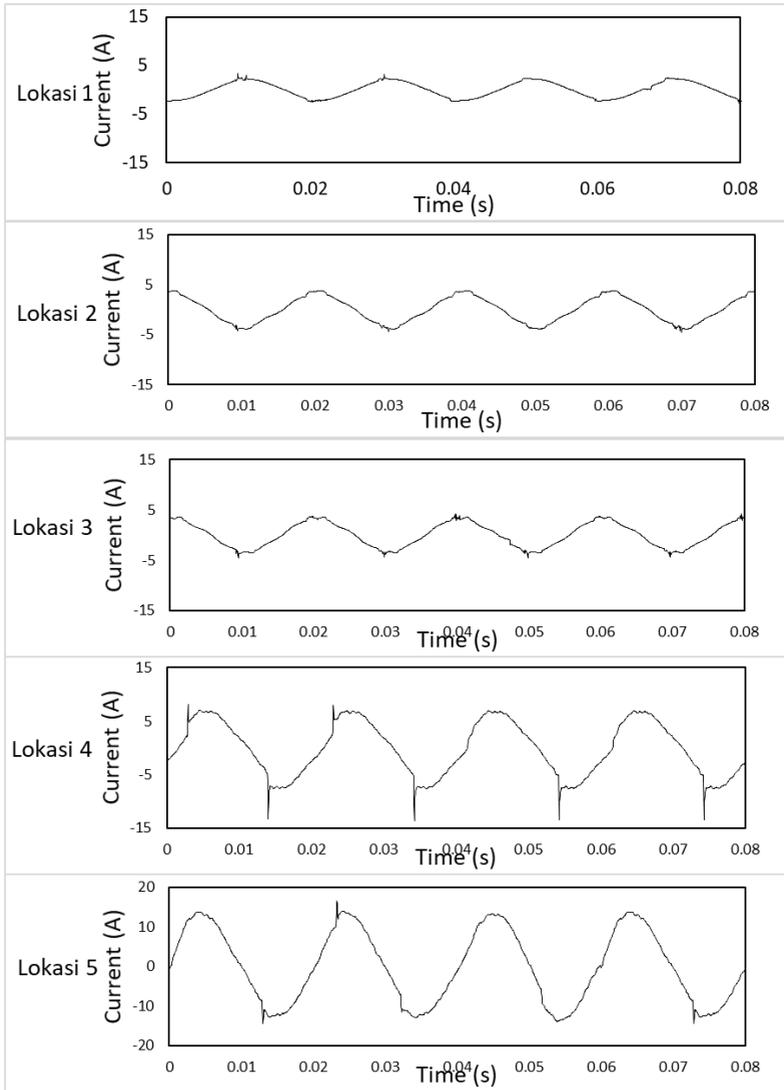
Arus Kondisi *Switching Case 7*



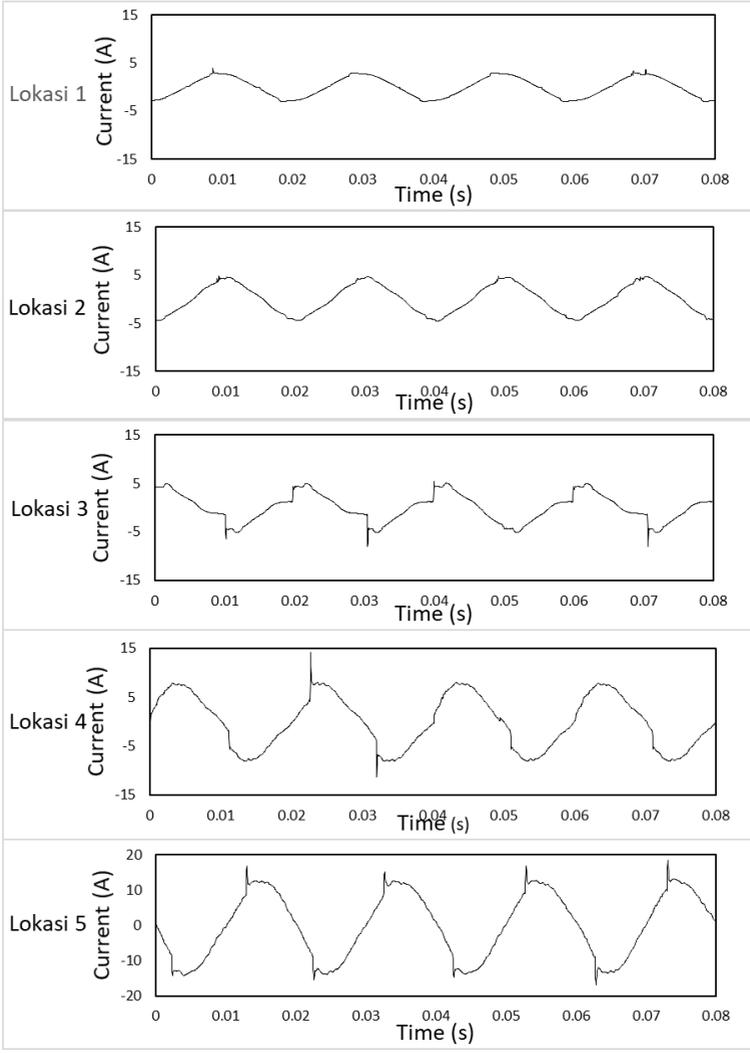
Arus Kondisi Arcing High Case 4



Arus Kondisi Arcing High Case 7



Arus Kondisi Arcing Low Case 4



Arus Kondisi Arcing Low Case 7