



TUGAS AKHIR - EE 184801

**SIMULASI DAN PEMODELAN ARCING SERI BERBASIS
NEURAL NETWORK DENGAN MEMPERTIMBANGKAN
BEBAN HARMONIK DAN LOKASI ARCING**

Shafirah Khairina Budiawan
NRP 0711164000058

Dosen Pembimbing
Dimas Anton Asfani, S.T., MT., Ph.D.
Danar Fahmi ST.,MT.

DEPATERMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas



TUGAS AKHIR - EE 184801

**SIMULASI DAN PEMODELAN ARCING SERI BERBASIS
NEURAL NETWORK DENGAN MEMPERTIMBANGKAN
BEBAN HARMONIK DAN LOKASI ARCING**

Shafirah Khairina Budiawan
NRP 0711164000058

Dosen Pembimbing
Dimas Anton Asfani, S.T., MT., Ph.D.
Danar Fahmi, ST., MT.

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



FINAL PROJECT - EE 184801

***SERIES ARC SIMULATION AND MODELLING BASED ON
NEURAL NETWORK WITH PREMEDITATED
HARMONIC LOAD AND ARC LOCATION***

Shafirah Khairina Budiawan
NRP 0711164000058

Supervisor(s)
Dimas Anton Asfani, S.T., MT., Ph.D.
Daniar Fahmi, ST., MT.

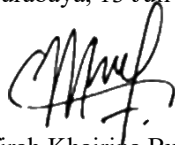
ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Simulasi dan Pemodelan Arcing Seri Berbasis Neural Network dengan Mempertimbangkan Beban Harmonik dan Lokasi Arcing**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan 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



Shafirah Khairina Budiawan
NRP. 0711164000058

Halaman ini sengaja dikosongkan

**SIMULASI DAN PEMODELAN ARCING SERI
BERBASIS NEURAL NETWORK DENGAN
MEMPERTIMBANGKAN BEBAN HARMONIK DAN
LOKASI ARCING**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

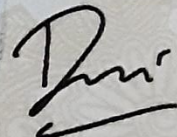
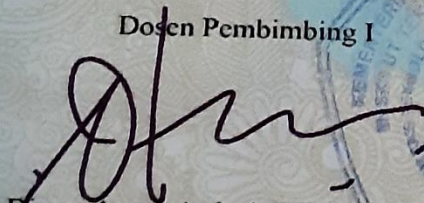
Pada

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

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Dimas Anton Asfani, S.T., MT., Ph.D.
NIP. 198109052005011002

Daniar Fahmi, ST., MT.
NIP. 198909252014041002

**SURABAYA
JULI, 2020**

Halaman ini sengaja dikosongkan

SIMULASI DAN PEMODELAN ARCING SERI BERBASIS NEURAL NETWORK DENGAN MEMPERTIMBANGKAN BEBAN HARMONIK DAN LOKASI ARCING

Nama : Shafirah Kairina Budiawan
Pembimbing I : Dimas Anton Asfani, S.T., MT., Ph.D.
Pembimbing II : Daniar Fahmi, ST., MT.

ABSTRAK

Salah satu gangguan kelistrikan yang terjadi pada sistem tegangan rendah adalah *arcing* seri. *Arcing* seri terjadi ketika terdapat dua titik yang memiliki nilai potensial yang berbeda pada sebuah sambungan konduktor sefasa, atau umumnya pada kabel dengan isolasi terbuka atau terkelupas. Terjadinya *arcing* seri jarang disadari karena tidak terlihat dan ketika terjadi secara terus menerus maka temperatur pada daerah di sekitar titik *arcing* akan meningkat dan berpotensi menyebabkan kebakaran terjadi. Pada saat *arcing* seri terjadi arus gangguan memiliki nilai yang hampir sama dengan besar arus nominal sehingga peralatan pengaman seperti *circuit breaker* dan *fuse* tidak dapat bekerja. Agar peralatan proteksi mampu bekerja dengan baik dalam mendeteksi *arcing* seri dibutuhkan pemodelan gelombang *arcing* seri tegangan rendah. Pada penelitian ini, dilakukan pemodelan *arcing* seri tegangan rendah pada beban non-linear, yang memiliki nilai THDi, dan pada kondisi impedansi jaringan yang berbeda. *Input* pemodelan berupa nilai tegangan, arus, dan daya sesaat sebelum *arcing* terjadi dengan *target* berupa resistansi *arcing*. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan jaringan saraf tiruan (*artificial neural network*) dengan algoritma *feed-forward back-propagation*. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, didapatkan bahwa semakin besar nilai THDi maka semakin besar pula nilai Iarc, selain itu pemodelan yang dilakukan mampu merepresentasikan resistansi saat *arcing* terjadi dengan nilai MSE <0.04.

Kata Kunci : Pemodelan *Arcing* Seri, Tegangan Rendah, THDi, Impedansi Jaringan, dan *Artificial Neural Network*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

**SERIES ARC SIMULATION AND MODELLING BASED ON
NEURAL NETWORK WITH PREMEDITATED HARMONIC LOAD
AND ARC LOCATION**

Name : Shafirah Khairina Budiawan
1st Advisor : Dimas Anton Asfani, S.T., MT., Ph.D.
2nd Advisor : Daniar Fahmi, ST., MT.

ABSTRACT

Series Arc is one of the many type of electrical fault that occurred in low voltage power system. Series arc occurred when two points of the same conductor connection have different potential values, it usually happens on a cable with broken insulation. The happening of series arc is rarely noticed by most people because it may not be visible, and when it happened continuously the temperature around the arc location will increase and may potentially cause fire. The series arc fault current has almost the same value as the nominal current, this caused protection devices such as circuit-breaker and fuse to not detect it. In order for protection devices to operate properly in detecting series arc fault, low voltage series arc modelling is needed. This experiment conducts a modelling of low voltage arc on non-linear loads, which contain THDi values, and on several different line impedance. The modelling input is the arc voltage, arc current, and arc power before series arc occurred and the modelling target is the arc resistance. The modelling method is by using artificial neural network with feed-forward back propagation. Experiment shows that the higher the THDi values in the system, the higher the series arc fault current will be. The modelling results show that the modelling is able to representate the series arc fault resistance with MSE value less than 0.04.

Keyword (s) : Series Arc Faults Modelling, Low Voltage, THDi, Line Impedance, and Artificial Neural Network

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur Saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, Allah SWT yang selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga Saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan tepat waktu.

Tugas akhir yang berjudul “**Simulasi dan Pemodelan Arcing Seri Berbasis Neural Network Dengan Mempertimbangkan Beban Harmonik Dan Lokasi Arcing**” ini disusun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan sarjana bidang studi Teknik Sistem Tenaga, departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Pelaksanaan dan penyelesaian tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu Saya mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Keluarga saya yang selalu memberikan dukungan moral dan materiil. Terutama kedua orang tua saya yang selalu sabar dan mendoakan saya.
2. Bapak Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT. dan Bapak Daniar Fahmi, ST., MT. sebagai pembimbing tugas akhir saya dan bersedia meluangkan waktu dan tenaganya dalam membimbing saya.
3. Bapak Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc., dan Bapak I. G. N. Satriyadi H. ST., MT. sebagai dosen di Laboratorium Tegangan Tinggi yang telah menyediakan fasilitas yang memungkinkan saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Keluarga laboratorium tegangan tinggi HVL family yang membantu memberikan dukungan dan asupan kepada saya saat mengerjakan tugas akhir ini. Serta seluruh teman teman yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang sudah memotivasi dan memberikan dukungannya kepada saya .

Akhir kata, penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembacanya terkait dengan pemodelan busur api seri tegangan rendah. Semoga apa yang ada di dalam buku ini membawa manfaat.

Surabaya, Mei 2020

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
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.....	5
BAB II DASAR TEORI	7
2.1 Arcing pada Tegangan Rendah	7
2.1.1 Arcing Seri	8
2.2 Beban Non Linear	9
2.2.1 THD	9
2.3 Impedansi Jaringan	10
2.4 Neural Network.....	11
BAB III PERANCANGAN ALAT EKSPERIMEN, PENGAMBILAN DAN PENGOLAHAN DATA	13
3.1 Perancangan Alat Eksperimen	13
3.1.1 Miniature Circuit Breaker	14
3.1.2 <i>Arc Chamber</i>	15
3.1.3 Beban berupa Lampu LED dan Lampu Pijar	16
3.1.4 <i>Fluke Power Quality</i>	16
3.1.5 Kabel NYMHY	17
3.1.6 Verivolt Entube DE-HB.....	18
3.1.7 Current Transformer	19
3.1.8 NI DAQ 9246.....	19
3.1.9 NI DAQ 9775.....	20
3.1.10 <i>Personal Computer</i>	20

3.2	Pengambilan Data.....	21
3.3	Pengolahan Data.....	23
3.3.1	Pengolahan Data pada DIAdem.....	23
3.3.2	Pengolahan Data pada Ms.Excel	25
3.3.3	Grafik <i>Arcing</i> Seri Tegangan Rendah.....	26
3.3.4	Pengaruh Variasi Pembebanan dan Resistansi Jaringan	30
BAB IV HASIL DAN ANALISA DATA		37
4.1	Pelatihan Jaringan Saraf Tiruan.....	37
4.1.1	Penentuan <i>Input</i> dan Target Jaringan Saraf Tiruan.....	37
4.1.2	Penentuan Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan	39
4.1.3	Penentuan Parameter Jaringan Saraf Tiruan	41
4.1.4	<i>Output</i> Jaringan Saraf Tiruan.....	43
4.2	Komparasi Data Pemodelan dengan Data Eksperimen.....	44
4.2.1	Komparasi Rarc Antar <i>Case</i>	44
4.2.2	Komparasi Rarc Antar Kondisi Impedansi.....	49
4.2.3	Komparasi Rarc Antar <i>Set Input</i>	51
BAB V PENUTUP		55
5.1	Kesimpulan.....	55
5.2	Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA.....		57
Lampiran 1. Tabel Rekap MSE Pelatihan		59
BIOGRAFI PENULIS.....		61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Busur Api Paralel dan Busur Api Seri.....	8
Gambar 2.2	Arcing Seri Pada Rangkaian.....	8
Gambar 2.3	Gelombang Arus Kondisi <i>Arcing</i>	9
Gambar 2.4	Gelombang Harmonik [14].....	10
Gambar 2.5	Ilustrasi Jaringan Saraf Tiruan.....	12
Gambar 3.1	Alat Eksperimen <i>Arcing</i> Seri Tegangan Rendah	13
Gambar 3.2	Skema Rangkaian Alat Eksperimen	14
Gambar 3.3	Skema Eksperimen	14
Gambar 3.4	MCB pada Alat Eksperimen	15
Gambar 3.5	<i>Arc Chamber</i>	15
Gambar 3.6	<i>Fluke 438-II Power Quality and Motor Analyzer</i>	17
Gambar 3.7	Nilai Resistansi Saluran (a) 3m dan (b) 5m.....	18
Gambar 3.8	Verivolt Entube DE-HB	18
Gambar 3.9	Current Transformer Split Core.....	19
Gambar 3.10	Modul NI DAQ 9246.....	19
Gambar 3.11	Modul NI DAQ 9775.....	20
Gambar 3.12	Tampilan Software LabVIEW.....	21
Gambar 3.13	Tampilan <i>Software</i> DIAdem.....	23
Gambar 3.14	Sinyal Keseluruhan.....	24
Gambar 3.15	Sinyal yang Telah Dipotong	25
Gambar 3.16	Grafik Tegangan <i>Arcing</i> Seri.....	26
Gambar 3.17	Grafik Arus <i>Arcing</i> Seri.....	26
Gambar 3.18	Grafik Resistansi <i>Arcing</i> Seri	27
Gambar 3.19	Grafik Daya <i>Arcing</i> Seri.....	27
Gambar 3.20	Grafik Energi <i>Arcing</i> Seri.....	27
Gambar 3.21	Plot Varc dan Iarc	28
Gambar 3.22	Plot Varc, Iarc, dan Rarc	28
Gambar 3.23	Plot Varc, Iarc, dan Parc	29
Gambar 3.24	Plot Varc, Iarc, dan Earc.....	29
Gambar 4.1	Skema Neural Network dengan 6 Input.....	38
Gambar 4.2	Skema Neural Network dengan Input (t-1).....	38
Gambar 4.3	Skema Neural Network dengan Input (t-2).....	39
Gambar 4.4	Hasil Pelatihan ‘nftool’	40
Gambar 4.5	<i>Default Script</i> ‘nftool’	40
Gambar 4.6	Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan	41
Gambar 4.7	Layar <i>Monitoring</i> Pelatihan	43
Gambar 4.8	Komparasi Rarc saat <i>Case 3_1</i>	44

Gambar 4.9	Komparasi Rarc saat <i>Case 3_2</i>	45
Gambar 4.10	Komparasi Rarc saat <i>Case 3_3</i>	45
Gambar 4.11	Komparasi Rarc saat <i>Case 3_4</i>	45
Gambar 4.12	Komparasi Rarc saat <i>Case 3_5</i>	46
Gambar 4.13	Komparasi Rarc saat <i>Case 3_6</i>	46
Gambar 4.14	Komparasi Rarc saat <i>Case 3_7</i>	46
Gambar 4.15	Komparasi Rarc saat <i>Case 3_8</i>	47
Gambar 4.16	Komparasi Rarc saat <i>Case 3_9</i>	47
Gambar 4.17	Komparasi Rarc saat <i>Case 3_10</i>	48
Gambar 4.18	Komparasi Rarc pada Impedansi Jaringan 3m	49
Gambar 4.19	Komparasi Rarc pada Impedansi Jaringan 5m	50
Gambar 4.20	Komparasi Rarc saat Input (t-1)	51
Gambar 4.21	Komparasi Rarc saat Input (t-2)	52
Gambar 4.22	Komparasi Rarc saat Input (t-1) dan (t-2)	52

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Kombinasi Beban Variasi THDi	16
Tabel 3.2	Skema Pengambilan Data	21
Tabel 3.3	Nilai Maksimum Data pada Variasi Pembebanan.....	30
Tabel 3.4	Korelasi Nilai Maksimum terhadap THDi	32
Tabel 3.5	Nilai Maksimum Data pada Variasi Impedansi Jaringan	32
Tabel 3.6	Korelasi V_{arc} dan I_{arc} Maksimum terhadap Impedansi	35
Tabel 4.1	Perbandingan Nilai MSE Masing-Masing <i>Case</i>	48
Tabel 4.2	Korelasi Antara MSE dan <i>Case</i>	49
Tabel 4.3	Perbandingan Nilai MSE.....	50
Tabel 4.4	Korelasi Antara MSE dan Impedansi Jaringan	50
Tabel 4.5	Perbandingan Nilai MSE Pelatihan	53

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gangguan listrik merupakan penyebab utama terjadinya kebakaran di Indonesia, berdasarkan Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) tahun 2014 hingga 2018, dengan jumlah sebanyak 531 kasus dari total 879 kasus kebakaran [1]. Gangguan listrik dapat disebabkan oleh gangguan akibat pemasangan instalasi listrik yang tidak tepat ataupun penggunaan peralatan listrik yang tidak sesuai dengan panduan penggunaan. Gangguan listrik yang berakibat kebakaran pada umumnya berhubungan dengan fenomena *arcing*. *Arcing* dapat terjadi ketika dua titik suatu permukaan bahan isolasi, umumnya kabel, memiliki besar potensial yang berbeda dan cukup berdekatan satu sama lainnya, sehingga arus mampu mengalir di antara keduanya [2]. Ketika salah satu kabel yang terpisah tersebut mendapat sumber tegangan secara terus-menerus, udara di antara kedua buah kabel akan terionisasi dan menjadi bersifat konduktif sehingga jalur konduktif terbentuk. Saat jalur konduktif terbentuk maka *arcing* terjadi. Ketika *arcing* terjadi, temperatur di sekitarnya dapat menjadi sangat tinggi dan mampu mencapai suhu 2000°C - 4000°C [3] selain itu, lompatan arus *arcing* mengakibatkan busur api (*arc flash*) muncul. Busur api tersebut berpotensi untuk menimbulkan terjadinya kebakaran jika berdekatan dengan benda yang mudah terbakar.

Arus *arcing* merupakan arus gangguan yang tidak dapat dideteksi oleh alat proteksi seperti *circuit breaker* karena nilai arus gangguan bernilai rendah, yaitu di bawah nilai arus nominal sistem [2][4]. Selain itu, ketidakmampuan alat pengaman untuk bekerja juga dapat diakibatkan karena durasi terjadinya *arcing* yang singkat [5].

Dalam mengembangkan peralatan pengaman yang dapat mendeteksi terjadinya fenomena *arcing* tegangan rendah yang andal, perlu adanya suatu bentuk pemodelan yang mampu merpresentasikan parameter ataupun data *arcing* tegangan rendah. Hingga saat ini tidak terdapat banyak jurnal ataupun penelitian mengenai pemodelan *arcing* tegangan rendah pada sistem AC. Beberapa penelitian yang telah dipublikasikan terkait pemodelan *arcing* dilakukan oleh Primabaraka pada tahun 2016 berupa pemodelan *arcing* paralel menggunakan *elman neural network* pada saat beban sistem berupa resistif, linear, dengan variasi jumlah serabut yang bersentuhan saat *arcing* paralel terjadi [6].

Kemudian pada tahun 2018 terdapat pula penelitian yang memodelkan *arcing* paralel tegangan rendah pada saat beban sistem linear dengan menggunakan *neural network* [7]. Pemodelan *arcing* seri tegangan rendah yang dipengaruhi oleh beban non linear belum dilakukan, sehingga dalam tugas akhir ini, dilakukan eksperimen *arcing* seri tegangan rendah pada beban non-linear yang terdiri atas lampu pijar dan lampu LED serta pada impedansi jaringan yang berbeda. Data hasil eksperimen digunakan untuk melakukan pemodelan *arcing* seri tegangan rendah. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan sistem komputasi jaringan saraf tiruan (*artificial neural network*). Jaringan saraf tiruan sebelumnya telah digunakan secara luas dalam mempelajari karakteristik, klasifikasi, dan prediksi berbagai bentuk permasalahan [8], [9].

1.2 Rumusan Masalah

Beberapa rumusan masalah yang menjadi acuan dalam pelaksanaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh pembebanan harmonik dan lokasi terjadinya *arcing* saat fenomena *arcing* seri terjadi terhadap kondisi sistem ?
2. Bagaimana bentuk gelombang resistansi *arcing* seri yang mewakili *arcing* seri ?
3. Bagaimana bentuk gelombang resistansi *arcing* seri hasil pemodelan menggunakan neural network terhadap hasil pengujian di laboratorium ?

1.3 Tujuan

Tujuan pelaksanaan tugas akhir ini mengacu pada rumusan masalah yang telah dipaparkan. Tujuan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mensimulasikan *arcing* seri pada saat beban harmonik dan lokasi arcing terjadi pada beberapa variasi kondisi.
2. Memodelkan resistansi yang mewakili karakteristik *arcing* seri menggunakan neural network.
3. Melakukan verifikasi model resistansi arcing seri dengan hasil pengukuran di laboratorium.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah

1. Fenomena *arcing* (busur api) yang diamati adalah *arcing* seri tegangan rendah.
2. Parameter maupun variabel yang diamati adalah parameter berdasarkan pada pengujian yang dilakukan pada modul pengujian di laboratorium.
3. Beban yang digunakan pada modul pengujian berupa beban resistif.
4. Variasi lokasi *arcing* berupa variasi impedansi saluran dan yang digunakan adalah nilai resistansinya.
5. Resistansi saluran menggunakan kabel NYMHY 2x1.5mm².

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan untuk melaksanakan tugas akhir ini terbagi menjadi beberapa tahap. Berikut adalah penjelasan dari tahapan yang dilakukan:

1. Studi literatur.

Tahap pertama dalam pengerjaan penelitian ini adalah melakukan studi literatur. Studi literatur dapat dilakukan dengan mempelajari jurnal, publikasi ilmiah, dan sumber-sumber lain yang valid yang dapat mendukung penelitian ini. Hal-hal yang dipelajari adalah teori-teori yang terkait dengan arcing listrik tegangan rendah sekaligus hal-hal yang berhubungan dengan penelitian ini seperti arcing seri, parameter *arcing* yang dipertimbangkan, neural network, dan training tools pada perangkat lunak MATLAB.

2. Pengujian *arcing* dengan menggunakan modul pengujian *arcing* seri.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan modul di laboratorium. Pengujian dilakukan sesuai dengan kondisi yang telah ditentukan. Kondisi tersebut berupa variasi beban dan Resistansi saluran.

3. Pengambilan data gelombang arus dan tegangan.

Pada saat pengujian berlangsung, terdapat dua jenis besaran yang didapatkan, yaitu nilai arus *arcing* dan nilai tegangan sumber serta nilai tegangan *arcing*. Dalam mendapatkan nilai arus *arcing*, perangkat yang digunakan adalah *current transformer* dan NI DAQ 9246 sedangkan untuk mendapatkan nilai tegangan menggunakan Vervolt Entube DE-HB dan NI DAQ 9775. Kedua perangkat NI DAQ tersebut terhubung dengan *personal computer* dan gelombang yang terakuisisi disimpan dengan menggunakan software LabVIEW.

4. Pengolahan data hasil pengujian

Data arus dan tegangan yang tersimpan selanjutnya ditampilkan untuk diolah lebih lanjut dengan menggunakan software DIAdem.

Dalam pengolahan data, gelombang arus maupun tegangan dipilah untuk diambil gelombang pada saat *arcing* seri terjadi. Setelah proses pemilahan, dilakukan penggeseran terhadap kedua gelombang tersebut agar berada pada fasa yang sama. Setelah dipilah, kedua gelombang tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan nilai daya dan energi pada saat *arcing* terjadi dengan menggunakan program Microsoft Excel. Hasil akhir tahap pengolahan data ini berupa nilai arus, tegangan, daya, dan energi *arcing* seri.

5. Pemodelan resistansi *arcing* seri menggunakan neural network.

Tahap kelima merupakan pemodelan resistansi *arcing* seri tegangan rendah. Pemodelan dilakukan dengan bantuan program MATLAB. Dalam program MATLAB terdapat fungsi *neural network toolbox*, *toolbox* inilah yang digunakan untuk membuat *neural network*. *Input* yang digunakan adalah data arus, tegangan, dan daya yang didapatkan dari tahap pengolahan data dan *target* berupa resistansi *arcing* seri tegangan rendah.

6. Komparasi resistansi *arcing* seri hasil pemodelan dengan hasil pengujian.

Setelah resistansi hasil pemodelan menggunakan *neural network* didapatkan, resistansi tersebut kemudian dikomparasi. Komparasi dilakukan dengan cara membandingkan resistansi hasil pemodelan dengan resistansi hasil pengujian.

7. Evaluasi resistansi *arcing* seri hasil pemodelan.

Setelah proses komparasi, dilakukan proses evaluasi terkait data hasil pemodelan agar dapat menarik kesimpulan terkait penelitian ini.

8. Penyusunan laporan akhir.

Penyusunan laporan akhir berupa tersusunnya buku tugas akhir terait pemodelan dan simulasi *arcing* seri tegangan rendah.

1.6 Sistematika Penulisan

Pembahasan penelitian ini terbagi menjadi lima bagian atau bab. Masing-masing bab berisi fokus pembahasan yang berbeda-beda. Pembagian bahasan masing-masing bab tersebut adalah sebagai berikut:

BAB I. Pendahuluan

Bab pertama ini merupakan pendahuluan penelitian dan meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi penelitian.

BAB II. Dasar Teori

Bab kedua ini merupakan bab yang membahas mengenai teori-teori utama terkait penelitian. Teori-teori yang dibahas meliputi *arcing* tegangan rendah, beban non linear, Resistansi jaringan, dan neural network.

BAB III. Perancangan Alat Eksperimen, Pengambilan dan Pengolahan Data

Bab ketiga pada buku ini meliputi langkah-langkah yang dilakukan dalam pengerjaan penelitian ini. Langkah-langkah tersebut meliputi perancangan alat eksperimen yang mencakup modul pengujian dan perangkatnya, proses pengambilan data hingga proses pengolahan data.

BAB IV. Hasil dan Analisa Data

Bab keempat menampilkan proses pemodelan *neural network* yang mencakup proses pelatihan *neural network*, penentuan *input* dan *output*, hingga hasil akhir pemodelan *neural network*. Selain itu, hasil komparasi data hasil pemodelan dengan data hasil pengujian juga ditampilkan.

BAB V. Penutup

Bab kelima berisi kesimpulan mengenai hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk penelitian selanjutnya.

1.7 Relevansi

Penelitian tugas akhir ini dapat menjadi referensi untuk penelitian mengenai *arcing* seri maupun pemodelan *arcing* seri. Serta dapat pula menjadi referensi dalam pembuatan alat deteksi *arcing* seri pada beban non-linear.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

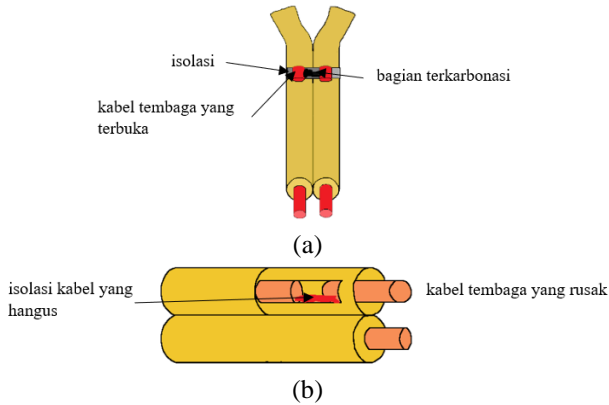
DASAR TEORI

2.1 Arcing pada Tegangan Rendah

Arcing merupakan pelepasan arus yang terjadi saat arus melewati celah yang terdapat di antara dua rangkaian. *Arcing* dapat terjadi ketika terdapat dua titik atau konduktor dengan potensial yang berbeda berdekatan satu sama lainnya, hal ini dapat terjadi karena bahan isolasi konduktor terkelupas, terjadi kerusakan peralatan listrik akibat penggunaan ataupun instalasi yang tidak tepat, dan terdapat kontaminan atau kotoran pada permukaan konduktor. Konduktor yang berdekatan ini memungkinkan arus untuk melompati melewati celah yang ada, hal ini akan menimbulkan munculnya percikan. Percikan tersebut akan mengionisasi udara di sekeliling konduktor sehingga udara menjadi konduktif dan membentuk busur api [2]. Terjadinya *arcing* tegangan rendah tidak dapat dideteksi oleh alat pengaman komersil, seperti *circuit breaker* [3]. Tidak bekerjanya alat pengaman diakibatkan karena durasi *arcing* atau waktu terjadinya *arcing* singkat [10].

Pada sistem kelistrikan di lingkungan padat penduduk, *arcing* tegangan rendah dapat terjadi pada instalasi bangunan komersil, fasilitas umum, ataupun rumah penduduk. Ketika *arcing* terjadi dan alat pengaman tidak bekerja, maka *arcing* dapat terjadi dalam waktu yang lama tanpa disadari dan mampu menimbulkan percikan api. Percikan api ini dapat menyebabkan luka bakar dan menyulut api sehingga terjadi kebakaran.

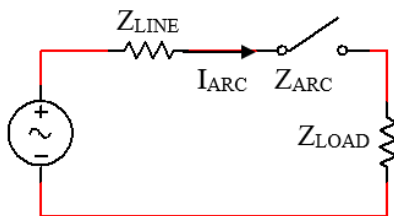
Terdapat dua kategori *arcing*, yaitu seri dan paralel [2]. *Arcing* paralel dapat terjadi di antara dua kabel yang berbeda atau di antara fasa dan *ground*. Sedangkan *arcing* seri sering kali terjadi pada hubungan konduktor fasa. Perbedaan letak terjadinya *arcing* seri dan *arcing* paralel dapat dilihat pada Gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Busur api paralel (a) dan busur api seri (b) [11]

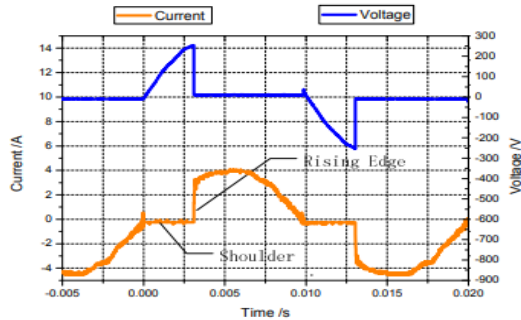
2.1.1 Arcing Seri

Arcing seri umumnya terjadi pada sambungan antara konduktor (kabel) yang seri dengan beban. Besar arus *arcing*, dapat disebut sebagai *I_{arc}*, pada *arcing* seri bergantung pada besar beban sistem yang terhubung pada rangkaian, Z_{load} . Ketika Z_{load} memiliki nilai impedansi yang tinggi, maka nilai *I_{arc}* akan semakin rendah, sebaliknya saat impedansi Z_{load} bernilai rendah, maka nilai *I_{arc}* akan semakin kecil. Hal ini berarti bahwa besar nilai *I_{arc}* tidak akan pernah lebih besar dari nilai arus sistem, I_{Line} . Sehingga saat *arcing* terjadi, alat pengaman seperti *circuit breaker* tidak akan mampu mendeteksi gangguan tersebut karena nilai *I_{arc}* berada dalam *range rating* arus *circuit breaker* [12]. Pada Gambar 2.2 dapat dilihat sebuah rangkaian tertutup yang mengalami *arcing* seri, terlihat pula variabel Z_{arc} yang dimaksud ketika *arcing* seri terjadi.



Gambar 2.2 Arcing seri pada rangkaian

Pada saat *arcing* seri terjadi, gelombang arus yang semula berbentuk sinus, akan mengalami perubahan sehingga akan nampak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 [13]. Pada gelombang Iarc, akan terdapat *shoulder* pada setiap setengah gelombang. *Shoulder* merupakan daerah dengan nilai magnitud mendekati 0.



Gambar 2.3 Gelombang Arus Kondisi Arcing

2.2 Beban Non Linear

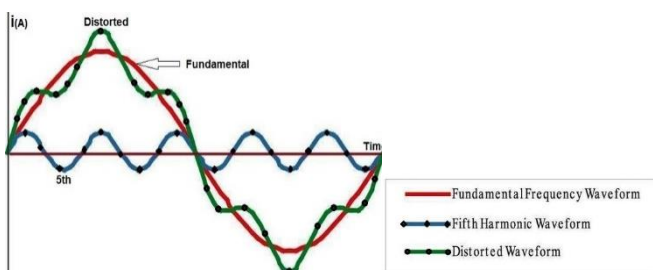
Beban non-linear merupakan beban listrik yang mampu menyebabkan bentuk gelombang *output* arus dan tegangan mengalami distorsi, sehingga tidak memiliki bentuk yang sama dengan gelombang *input*. Perubahan yang terjadi dapat diamati pada setiap setengah periode gelombang. Distorsi gelombang arus dan tegangan yang diakibatkan oleh adanya beban non-linear disebut dengan harmonisa. Secara umum, beban non-linear merupakan beban yang membutuhkan aliran arus dengan jumlah yang berbeda pada setiap periode waktunya. Contoh beban non-linear yang sering ditemui adalah mesin-mesin industri, komputer, *printer*, lampu LED, dan sebagainya.

2.2.1 THD

Harmonisa dapat terjadi ketika beban sistem non-linear, mengalami perubahan nilai impedansi. Perubahan nilai impedansi ini mengakibatkan besar arus yang mengalir tidak berbentuk sinusoidal. Arus yang tidak sinusoidal ini mengandung arus harmonik yang dapat menimbulkan distorsi gelombang. Distorsi yang terjadi berupa terbentuknya gelombang harmonik dengan frekuensi harmonik yang

merupakan perkalian angka urutan harmonik, berupa bilangan bulat, dengan frekuensi dasar sistem. Di Indonesia frekuensi sistem tenaga listrik adalah sebesar 50 Hz, maka harmonik kedua akan menimbulkan gelombang yang memiliki frekuensi sebesar 100 Hz. Gelombang harmonik ini akan menumpang pada gelombang fundamental sinusoidal sehingga akan terbentuk gelombang baru yang terdistorsi. Gelombang yang terdistorsi ini merupakan jumlahan antara gelombang fundamental dengan gelombang harmoniknya.

Gambar 2.4 menampilkan tiga jenis gelombang dengan warna berbeda. Gelombang berwarna merah merupakan gelombang fundamental sistem, sedangkan gelombang berwarna biru merupakan gelombang harmonik kelima yang dapat muncul ketika beban sistem non-linear. Ketika terdapat gelombang harmonik maka gelombang fundamental akan terganggu sehingga bentuk gelombang menjadi terdistorsi seperti yang dapat dilihat pada gelombang berwarna hijau.



Gambar 2.4 Gelombang Harmonik [14]

Total Harmonic Distortion (THD) adalah besar persentase antara total komponen harmonisa dengan komponen fundamentalnya. THD dapat berfungsi sebagai salah satu parameter dalam menentukan kualitas daya listrik. Terdapat dua jenis THD, yaitu THD_v dan THD_i [15]. THD sering kali dinyatakan dalam persentase, tujuannya adalah agar besar distorsi keseluruhan yang dihasilkan oleh komponen-komponen penghasil harmonisa diketahui [16].

2.3 Impedansi Jaringan

Pada sistem kelistrikan AC, impedansi tidak hanya terdiri atas nilai resistansi, tapi juga meliputi nilai induktansi dan kapasitansi

sehingga nilai impedansi (Z) terdiri atas nilai *real*, berupa resistansi (R) dan nilai imajiner, berupa reaktansi (X). Impedansi memiliki satuan yang sama dengan resistansi, yaitu Ohm (Ω). Dalam sistem kelistrikan, impedansi suatu jaringan umumnya terdapat pada kabel konduktor.

Satuan resistansi dan impedansi sama, sehingga dalam menghitung besar impedansi jaringan dapat menggunakan persamaan berikut:

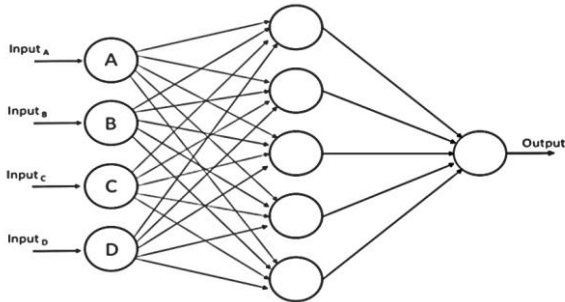
$$R = \frac{\rho \times l}{A} \quad (2.1)$$

Dimana ρ merupakan massa jenis konduktor, l merupakan panjang kabel, dan A merupakan luas penampang kabel.

2.4 Neural Network

Jaringan Saraf Tiruan (*Neural Networks*) adalah sistem komputasi yang menyerupai otak manusia dan bekerja dengan cara mendeteksi suatu pola tertentu berdasarkan data dan nilai yang diberikan pada masing-masing koneksi. Jaringan saraf tiruan pada umumnya memiliki tiga lapisan, dimana lapisan pertama merupakan tempat *input* data, lapisan kedua adalah *hidden layer* atau lapisan tersembunyi dimana data yang masuk akan diolah sesuai algoritma yang telah ditentukan, dan lapisan ketiga adalah lapisan hasil luaran pengolahan data dari lapisan sebelumnya. Masukan dan keluaran pada jaringan saraf tiruan dapat berjumlah lebih dari satu. Jaringan saraf tiruan merupakan metode yang baik dalam memodelkan *arcing* [9].

Ilustrasi sederhana terkait arsitektur jaringan saraf tiruan dapat dilihat pada Gambar 2.5. Terlihat bahwa terdapat sejumlah lingkaran yang terhubung dengan anak panah. Kolom lingkaran pertama, sisi paling kiri, terdiri atas empat lingkaran, lingkaran tersebut merupakan ilustrasi *layer input*. Kemudian kolom lingkaran kedua merupakan *hidden layer* yang memiliki sejumlah neuron tersembunyi di dalamnya. Kolom lingkaran terakhir merupakan *output layer* yang berisi hasil akhir pengolahan data dari *layer* sebelumnya.



Gambar 2.5 Ilustrasi Jaringan Saraf Tiruan

Salah satu struktur jaringan saraf tiruan yang paling sederhana adalah *feedforward*. *Feedforward* adalah ketika koneksi antar layer dan *nodes* yang ada pada jaringan saraf tiruan tidak membentuk suatu *loop*, dan data akan bergerak secara berurutan dari *layer* masukan, menuju *layer* tersembunyi, hingga sampai pada *layer* keluaran. Pada *feedforward* terdapat beberapa algoritma, yaitu single-layer perceptron, multilayer perceptron, radial-basis function networks serta backpropagation neural network.

Salah satu algoritma pada jaringan saraf tiruan adalah *backpropagation*. *Back-propagation* merupakan algoritma yang dapat mengurangi nilai error secara efisien dengan cara menyesuaikan *weights* dan *biases* berdasarkan komparasi antara *output* dengan target. Backpropagation merupakan metode pelatihan untuk operasi jaringan saraf tiruan dengan arsitektur *multilayer*. Backpropagation terdiri atas 3 lapisan, yaitu *input*, *hidden*, dan *output*. Dengan adanya *hidden layer*, maka nilai *error* akan lebih kecil. Hal ini dapat terjadi karena pada layer tersembunyi (*hidden layer*), nilai *weights* akan selalu diperbarui dengan adanya training [7].

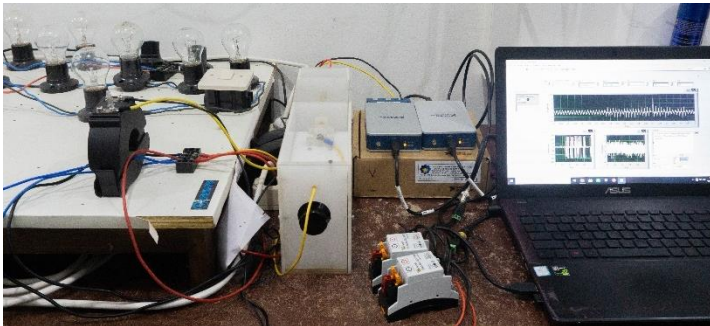
BAB III

PERANCANGAN ALAT EKSPERIMEN, PENGAMBILAN DAN PENGOLAHAN DATA

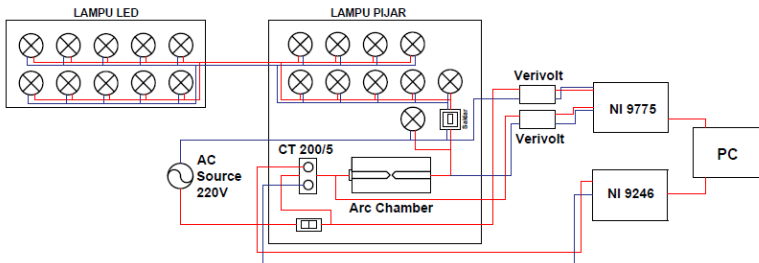
3.1 Perancangan Alat Eksperimen

Alat eksperimen pada tugas akhir ini terdiri atas beberapa komponen yang dirangkai sedemikian rupa agar dapat mensimulasikan arcing seri tegangan rendah. Beban yang digunakan pada eksperimen ini adalah lampu pijar dan lampu LED dengan kombinasi nilai yang bervariasi. Selain variasi pada pembebanan, juga dilakukan variasi pada Resistansi saluran dengan cara mengatur panjang kabel yang terdapat pada alat eksperimen. Skema rangkaian alat eksperimen serta skema pengambilan eksperimen dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 serta rangkaian peralatan pada saat eksperimen berlangsung dapat dilihat pada Gambar 3.1.

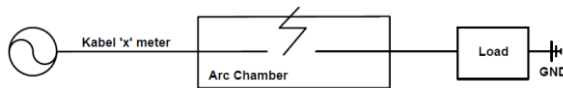
Alat eksperimen yang digunakan tersusun atas berbagai komponen yang berfungsi untuk mensimulasikan arcing dan mengakuisisi data *arcing*. Komponen yang digunakan untuk mensimulasikan *arcing* adalah *Miniature Circuit Breaker*, *Arc Chamber*, Saklar, dan beban lampu. Sedangkan komponen yang berfungsi untuk mengakuisisi data *arcing* adalah *Current Transformer (CT) 200/5*, *Verivolt Entube DE-HB*, *NI DAQ 9775*, *NI DAQ 9246*, dan *personal computer*.



Gambar 3.1 Alat Eksperimen Arcing Seri Tegangan Rendah



Gambar 3.2 Skema Rangkaian Alat Eksperimen



Gambar 3.3 Skema Eksperimen

3.1.1 Miniature Circuit Breaker

Miniature circuit breaker (MCB) yang digunakan adalah MCB tegangan rendah. MCB merupakan alat pengaman yang berfungsi untuk memutus rangkaian pada saat sistem mengalami gangguan atau dalam kondisi *overload*. Pada saat terjadi gangguan, arus lebih yang mengalir melewati MCB akan mengakibatkan kontak MCB terbuka dan MCB akan berkeadaan *off* sehingga aliran arus menjadi terputus.

Penggunaan MCB di alat eksperimen berfungsi untuk melindungi lampu dan beban lain, di luar rangkaian alat eksperimen, dari gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi. Berikut merupakan ilustrasi MCB yang umum digunakan sekaligus MCB yang digunakan pada eksperimen *arcing* seri tegangan rendah.

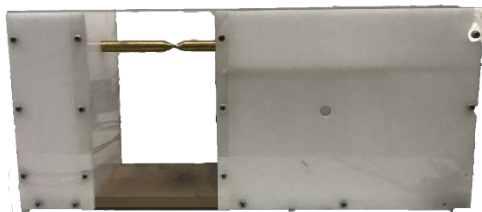


Gambar 3.4 MCB pada Alat Eksperimen

3.1.2 *Arc Chamber*

Arc Chamber merupakan komponen yang digunakan untuk menimbulkan *arcing* seri tegangan rendah. *Arc Chamber* terdiri atas dua komponen utama yaitu, dua buah elektroda yang terdapat dan sebuah kotak akrilik. Kedua elektroda tersebut berada di dalam kotak akrilik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.

Elektroda merupakan titik timbulnya *arcing* pada saat eksperimen dilakukan. Jarak antara kedua elektroda yang terdapat di dalam *Arc Chamber* dapat diatur dengan menggunakan pemutar yang terdapat pada salah satu sisi elektroda, jarak antara kedua elektroda tersebut diatur sedemikian rupa agar *arcing* terjadi. Kotak akrilik berfungsi sebagai pengaman sekaligus pelindung. Sebagai pengaman, kotak akrilik mampu mencegah loncatan *arc* yang timbul saat *arcing* seri terjadi tidak merusak peralatan lain ataupun menimbulkan kebakaran. Selain itu kotak akrilik juga berfungsi sebagai pelindung agar loncatan *arc* tidak mencederai penguji.



Gambar 3.5 *Arc Chamber*

3.1.3 Beban berupa Lampu LED dan Lampu Pijar

Lampu yang digunakan sebagai beban adalah lampu LED dan lampu pijar. Kedua jenis lampu ini digunakan karena sering ditemui dalam kehidupan sehari-hari dan mampu mewakili beban non-linear. Pada eksperimen terdapat 10 kondisi beban dan jumlah lampu LED dan lampu pijar. Jumlah lampu yang digunakan pada masing-masing kondisi bervariasi, dari 1 hingga 10 lampu, dengan jumlah total daya beban lampu pada setiap kondisi adalah 600 Watt. Hal ini dilakukan agar mendapatkan nilai THDi yang berbeda-beda. Nilai THDi pada setiap kondisi diukur dengan menggunakan alat bernama *Fluke Power Quality Analyzer*. Kombinasi lampu serta nilai THDi terukur yang digunakan pada eksperimen dalam mensimulasikan *arcing* seri dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kombinasi Beban Variasi THDi

Case	LED	Lampu Pijar	Daya (Watt)	THDi
1	1 x 10	$(5 \times 100) + (1 \times 75) + (1 \times 15)$	600	3,2
2	2 x 10	$(5 \times 100) + (2 \times 40)$	600	4,4
3	3 x 10	$(5 \times 100) + (1 \times 40) + (1 \times 5) + (1 \times 25)$	600	5,3
4	4 x 10	$(5 \times 100) + (1 \times 40) + (1 \times 15) + (1 \times 5)$	600	7,3
5	5 x 10	$(5 \times 100) + (2 \times 25)$	600	8,8
6	6 x 10	$(5 \times 100) + (1 \times 40)$	600	10,1
7	7 x 10	$(5 \times 100) + (1 \times 25) + (1 \times 5)$	600	11,8
8	8 x 10	$(5 \times 100) + (1 \times 15) + (1 \times 5)$	600	13,2
9	9 x 10	$(5 \times 100) + (2 \times 5)$	600	17,5
10	10 x 10	(5×100)	600	19,9

3.1.4 *Fluke Power Quality*

Fluke Power Quality merupakan sebuah peralatan yang berfungsi untuk mengukur kualitas daya dan energi sehingga dapat digunakan untuk menganalisis permasalahan terkait keandalan sistem. Alat ini mampu melakukan pengukuran terhadap berbagai parameter sistem seperti nilai tegangan, arus, harmonisa, dan daya pada sistem tiga fasa. Dalam

eksperimen ini, *fluke* yang digunakan adalah *Fluke 438-II Power Quality and Motor Analyzer* dan digunakan untuk mengukur nilai THDi sistem pada setiap *case* eksperimen. Berikut merupakan tampilan *fluke* yang digunakan.

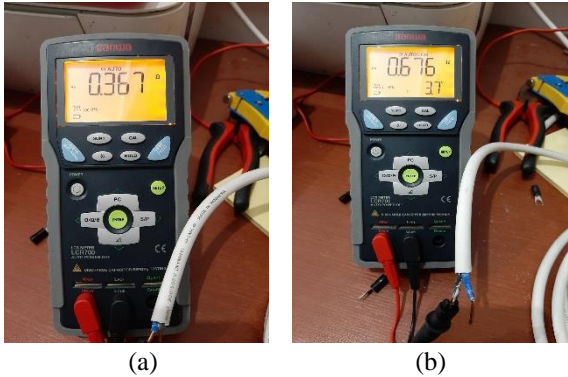


Gambar 3.6 *Fluke 438-II Power Quality and Motor Analyzer*

3.1.5 Kabel NYMHY

Kabel yang digunakan pada alat eksperimen adalah kabel NYMHY $2 \times 1.5 \text{ mm}^2$. NYMHY berbentuk serabut dengan inti berbahan tembaga dan merupakan salah satu jenis kabel yang umum digunakan untuk instalasi listrik pada bangunan seperti gedung dan rumah [1].

Terdapat dua variasi panjang kabel yang digunakan dalam eksperimen, yaitu 3m dengan impedansi sebesar 0.367Ω dan 5m dengan impedansi sebesar 0.676Ω) pengukuran nilai hambatan masing-masing kabel dilakukan dengan menggunakan alat ukur LCR Meter produksi Sanwa, yaitu LCR700.



Gambar 3.7 Nilai Resistansi Saluran (a) 3m dan (b) 5m

3.1.6 Verivolt Entube DE-HB

Tegangan pada saat kondisi normal dan *arcing* memiliki nilai yang besar, oleh karena itu agar dapat mengukur dan mengolah tegangan dengan menggunakan peralatan berbasis sistem komputer diperlukan sebuah alat yang mampu mengecilkan nilai tegangan. Salah satu alat yang dapat digunakan adalah Verivolt.

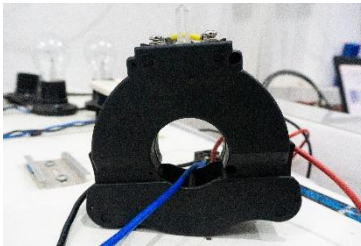
Verivolt mampu menghasilkan output berupa tegangan dengan nilai yang jauh lebih kecil dari nilai tegangan pada input. Verivolt yang digunakan pada eksperimen ini adalah Verivolt Entube DE-HB 2000/10. Apabila besar tegangan di sisi input adalah 2000 volt maka nilai tegangan di sisi output adalah sebesar 10 volt. Pada eksperimen ini terdapat dua nilai tegangan yang diukur yaitu nilai tegangan sumber, V_s , dan nilai tegangan saat *arcing* terjadi, V_{arc} , sehingga pada eksperimen ini menggunakan dua buah verivolt.



Gambar 3.8 Verivolt Entube DE-HB

3.1.7 Current Transformer

Current Transformer (CT) merupakan alat yang mampu mengubah nilai arus menjadi lebih kecil. Pada eksperimen ini CT dibutuhkan agar nilai arus *arcing* dapat diukur dan diolah lebih lanjut dengan menggunakan *personal computer*. CT yang digunakan adalah CT split core, yang memungkinkan transformer untuk digunakan dan dipindah sesuai kebutuhan tanpa harus melepas sambungan kabel pada rangkaian. Rasio pada CT yang digunakan adalah 200/5, hal ini berarti bahwa nilai arus maksimum pada sisi primer CT adalah 200 A dengan nilai arus pada sisi sekunder sebesar 5 A.



Gambar 3.9 Current Transformer Split Core

3.1.8 NI DAQ 9246

NI DAQ 9246 merupakan sebuah modul yang digunakan untuk proses akuisisi data. Modul ini memiliki tiga *channel* masukan dan dapat menerima arus sebesar 1A dan 5A, masukan arus ini berasal dari sisi sekunder CT. NI DAQ 9246 digunakan untuk merekam dan mengukur sinyal arus arcing yang berbentuk arus bolak-balik (AC) secara kontinu. Keluaran NI DAQ kemudian tersambung melalui USB ke *personal computer* agar selanjutnya sinyal arus dapat disimpan dan diolah.



Gambar 3.10 Modul NI DAQ 9246

3.1.9 NI DAQ 9775

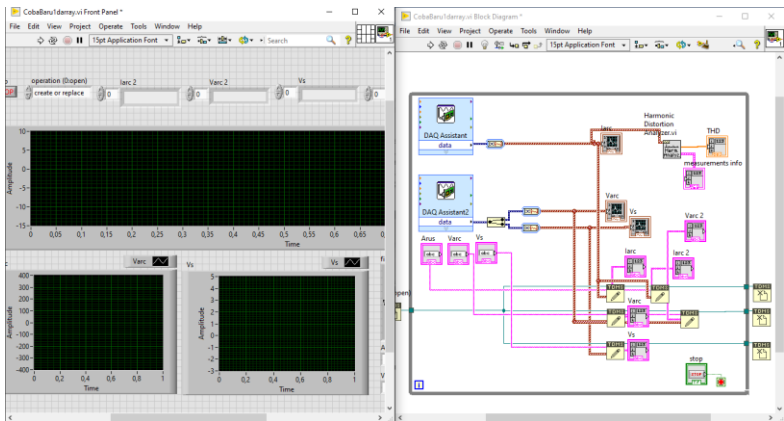
Seperti halnya NI DAQ 9246, NI DAQ 9775 juga merupakan modul yang digunakan untuk merekam dan mengukur data. NI DAQ 9775 memiliki 4 *channel* input dimana masing-masing *channel* mampu menerima sinyal tegangan sebesar ± 10 V. Sinyal *input* NI DAQ 9775 merupakan sinyal tegangan V_s dan V_{arc} yang nilainya telah diperkecil oleh Verivolt Entube DE-HB. *Output* NI DAQ 9775 kemudian dihubungkan ke *personal computer* (PC) dengan menggunakan kabel USB dimana sinyal akan disimpan dan diolah.



Gambar 3.11 Modul NI DAQ 9775

3.1.10 *Personal Computer*

Sinyal arus dan tegangan yang telah direkam dan diukur oleh modul NI DAQ disimpan dengan menggunakan *software* LabVIEW pada *personal computer*. Agar NI DAQ dapat menyimpan data, perlu dilakukan pengaturan terlebih dahulu pada *software* LabVIEW. Bentuk pengaturan yang dilakukan salah satunya adalah penentuan *sampling rate*. Frekuensi *sampling* diatur sebesar 5k Hz sehingga dalam 1 detik terdapat 5000 data yang terekam. Berikut merupakan tampilan pemrograman yang digunakan untuk menyimpan data sinyal *arc*ing pada LabVIEW.



Gambar 3.12 Tampilan Software LabVIEW

3.2 Pengambilan Data

Sebelum melaksanakan eksperimen, hal yang perlu dilakukan adalah memastikan bahwa peralatan eksperimen telah dirangkai sesuai dengan skema alat eksperimen. Pada eksperimen simulasi *arcing* seri tegangan rendah ini terdapat dua jenis variasi yang dilakukan, yaitu variasi THDi, sebanyak 10 kondisi, dan variasi Resistansi jaringan, sebanyak 2 kondisi, sehingga total terdapat 20 kondisi berbeda. Pengambilan data eksperimen dilakukan sebanyak 5 kali pada masing-masing kondisi sehingga total data yang diambil dan disimpan adalah sebanyak 100 data.

Tabel 3.2 Skema Pengambilan Data

Case	Kondisi	LED	THDi	Percobaan Setiap Case	Total
1	Impedansi 0.367 Ω	1 x 10	0,032	5	10
	Impedansi 0.676 Ω				
2	Impedansi 0.367 Ω	2 x 10	0,044	5	10
	Impedansi 0.676 Ω				
3	Impedansi 0.367 Ω	3 x 10	0,053	5	10
	Impedansi 0.676 Ω				
4	Impedansi 0.367 Ω	4 x 10	0,073	5	10
	Impedansi 0.676 Ω				

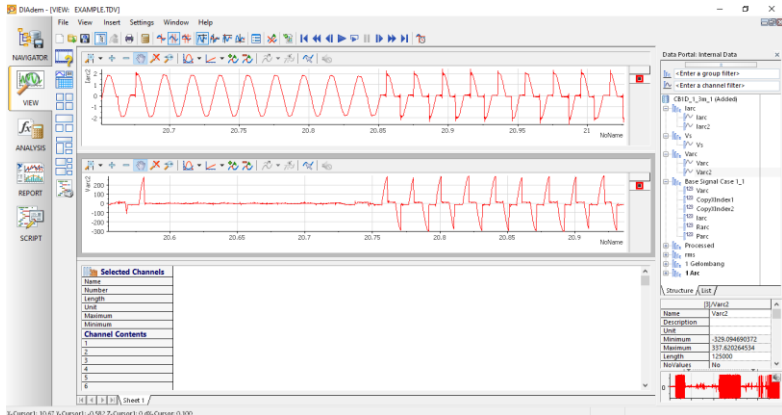
Case	Kondisi	LED	THDi	Percobaan Setiap Case	Total
5	Impedansi 0.367Ω	5 x 10	0,088	5	10
	Impedansi 0.676Ω				
6	Impedansi 0.367Ω	6 x 10	0,101	5	10
	Impedansi 0.676Ω				
7	Impedansi 0.367Ω	7 x 10	0,118	5	10
	Impedansi 0.676Ω				
8	Impedansi 0.367Ω	8 x 10	0,132	5	10
	Impedansi 0.676Ω				
9	Impedansi 0.367Ω	9 x 10	0,175	5	10
	Impedansi 0.676Ω				
10	Impedansi 0.367Ω	10 x 10	0,199	5	10
	Impedansi 0.676Ω				
Total					100

Saat modul eksperimen dihubungkan dengan sumber listrik, maka modul akan mendapatkan sumber AC sebesar 220V yang berasal dari PLN. Ketika CB diubah dari keadaan *off* menjadi *on* maka akan terdapat sebuah indikator yang menandakan bahwa modul eksperimen telah teraliri listrik berupa sebuah lampu pijar 100 watt. Setelah memastikan lampu indikator menyala, maka selanjutnya program LabVIEW akan di-*run* agar data sinyal yang terakuisisi dapat disimpan. Setelah program telah berjalan maka saklar yang terdapat di sebelah lampu indikator diaktifkan untuk mensimulasikan *arc*ing seri. Ketika mengaktifkan saklar, perlu dipastikan bahwa kedua elektroda di dalam *arc chamber* saling bersentuhan agar arus mengalir seluruh modul eksperimen, hal ini dapat dilihat dengan menyalanya seluruh lampu pada modul.

Untuk mendapatkan kondisi *arc*ing maka pemutar yang terdapat di sisi *arc chamber* harus diputar untuk membuat kedua elektroda menjauh dari satu sama lain sehingga kondisi *arc*ing diperoleh. Bentuk gelombang arus dan tegangan dapat dilihat melalui program LabVIEW dan jika data yang didapatkan sudah cukup maka program dihentikan dan selanjutnya mematikan saklar dan MCB secara berurutan.

Data sinyal arus dan tegangan yang telah diakuisisi otomatis tersimpan dalam sebuah file dengan format “.tdms” ketika program LabVIEW dihentikan. File yang tersimpan berisikan data sinyal arus *arc*ing, tegangan *arc*ing dan tegangan sumber pada saat sistem dalam

keadaan normal, *switching*, dan *arcing*. File tersebut dapat dibuka dan diolah lebih lanjut dengan menggunakan *software* DIAdem. Berikut adalah tampilan *software* DIAdem.



Gambar 3.13 Tampilan *Software* DIAdem

3.3 Pengolahan Data

Pengolahan data sinyal tegangan dan arus *arcing* yang didapatkan dilakukan dengan menggunakan beberapa *software*. *Software* tersebut adalah DIAdem, Ms. Excel, Origin, dan Matlab. Tahap pertama pengolahan data adalah menampilkan dan memilah data sinyal pada DIAdem. Sinyal yang telah dipilih kemudian dipindah ke Ms. Excel untuk melakukan perhitungan nilai resistansi, daya, dan energi ketika *arcing* terjadi sehingga didapatkan lima variabel sinyal *arcing*. Kelima variabel tersebut selanjutnya ditampilkan dengan menggunakan MATLAB atau Origin dalam bentuk grafik agar perubahan nilai masing-masing variabel saat *arcing* terjadi dapat diamati.

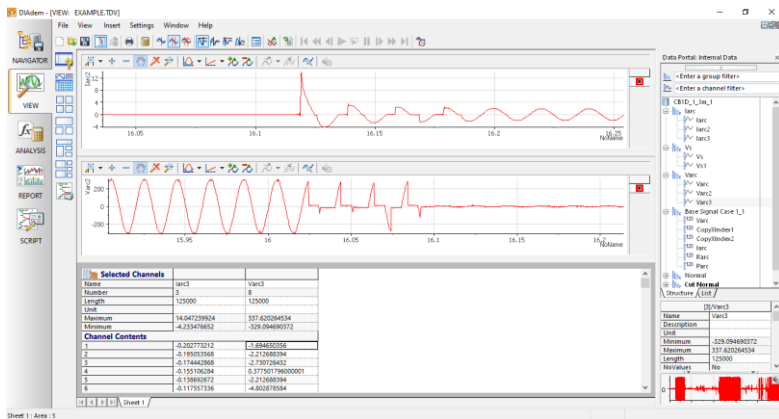
3.3.1 Pengolahan Data pada DIAdem

Data sinyal arus *arcing*, Iarc, dan tegangan *arcing*, Varc, ditampilkan dan diolah menggunakan DIAdem. Pengolahan data Iarc dan Varc dilakukan dengan cara menampilkan data yang tersimpan dalam file berformat “.tdms”. Dalam file tersebut terdapat sinyal arus dan tegangan

pada saat sistem dalam empat kondisi, yaitu saat *off*, normal, *arc*ing, dan *switching*. Seperti yang ditampilkan pada Gambar 3.13.

Berdasarkan data yang tersimpan, terdapat perbedaan fasa antara sinyal tegangan dan arus dimana arus lebih lambat dari tegangan. Dalam menganalisa kemungkinan penyebab timbulnya pergeseran fasa tersebut, gelombang ditampilkan dengan menggunakan *Fluke Power Quality* dan *DIAdem* pada beban rangkaian yang sama. Saat gelombang ditampilkan menggunakan *Fluke Power Quality*, tidak terlihat perbedaan fasa antara tegangan dan arus, tetapi lain halnya saat gelombang menggunakan *DIAdem*. Hal ini dapat terjadi karena tidak seperti penggunaan *DIAdem* yang memerlukan *NI DAQ* dan *CT*, penggunaan *Fluke Power Quality* tidak memerlukan *CT*. Sehingga pergeseran fasa yang terlihat adalah akibat penggunaan alat ukur, bukan akibat beban.

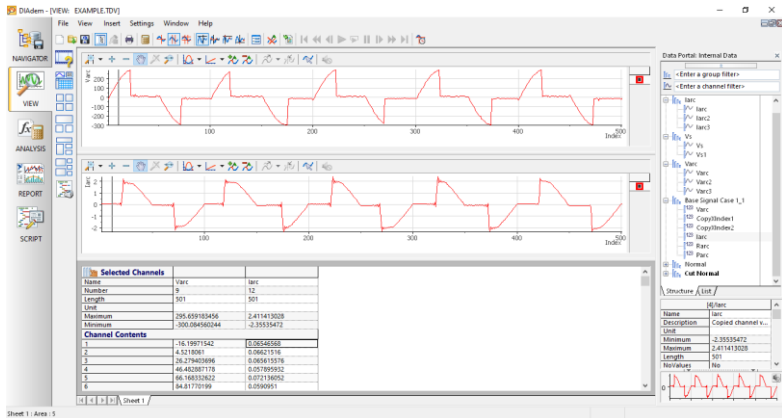
Langkah pertama dalam mengolah gelombang arus dan tegangan yang memiliki perbedaan fasa ini adalah dengan menggeser gelombang arus agar memiliki fasa yang sama dengan gelombang tegangan.



Gambar 3.14 Sinyal Keseluruhan

Setelah memastikan bahwa gelombang memiliki fasa yang sama, maka selanjutnya dilakukan pemilihan dan pemotongan data karena data yang digunakan hanyalah data pada saat *arc*ing seri terjadi. Pemilihan data *arc*ing yang digunakan merupakan data *arc*ing yang berlangsung selama setidaknya lima periode gelombang, atau selama 0,1 s. Tampilan

sinyal yang telah dipilih dan dipotong dapat dilihat pada Gambar 3.14 dan selanjutnya data diolah pada *software* Ms.Excel.



Gambar 3.15 Sinyal yang Telah Dipotong

3.3.2 Pengolahan Data pada Ms.Excel

Pada *software* Ms. Excel, nilai resistansi, daya, dan energi masing-masing data *arcng* dihitung sehingga hasil akhir pengolahan pada Ms.Excel terdapat 5 variabel berupa Iarc, Varc, Rarc, Parc, dan Earc.

Beban yang digunakan pada eksperimen berupa beban non linear yang berasal dari lampu LED, lampu LED bukan lah beban induktif maupun kapasitif, dan memiliki nilai $\cos \phi$ 1. Oleh karena itu persamaan Rarc dan Parc yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$Rarc = \frac{Varc}{Iarc} \quad (3.1)$$

$$Parc = Varc \times Iarc \quad (3.2)$$

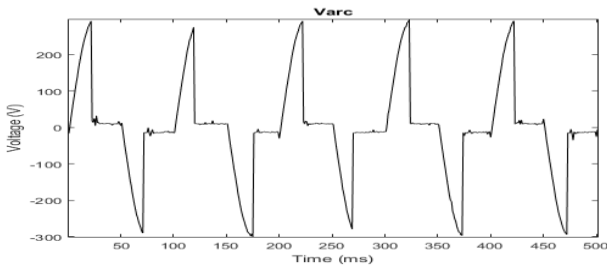
Energi *arcng* dihitung selama *arcng* berlangsung, yaitu selama 5 periode gelombang. Persamaan yang digunakan dalam menghitung energi *arcng* adalah sebagai berikut [7] :

$$Earc = Parc \times \Delta t \quad (3.3)$$

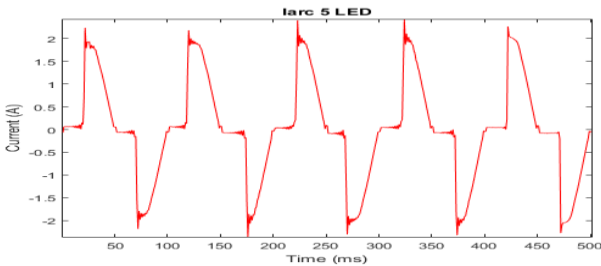
Hasil perhitungan nilai R_{arc} , P_{arc} , dan E_{arc} , beserta dengan V_{arc} dan I_{arc} , selanjutnya ditampilkan dalam bentuk grafik dengan menggunakan program Matlab atau Origin. Berikut adalah tampilan grafik V_{arc} , I_{arc} , R_{arc} , P_{arc} , dan E_{arc} .

3.3.3 Grafik Arcing Seri Tegangan Rendah

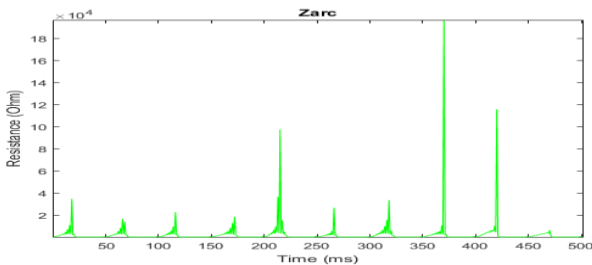
Berikut merupakan grafik representasi sinyal tegangan, arus, resistansi, daya, dan energi *arcing* seri tegangan rendah yang didapatkan.



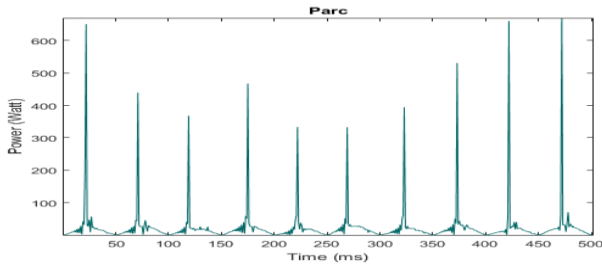
Gambar 3.16 Grafik Tegangan Arcing Seri



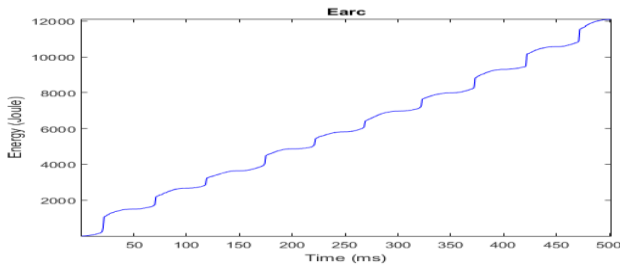
Gambar 3.17 Grafik Arus Arcing Seri



Gambar 3.18 Grafik Resistansi *Arcing* Seri



Gambar 3.19 Grafik Daya *Arcing* Seri

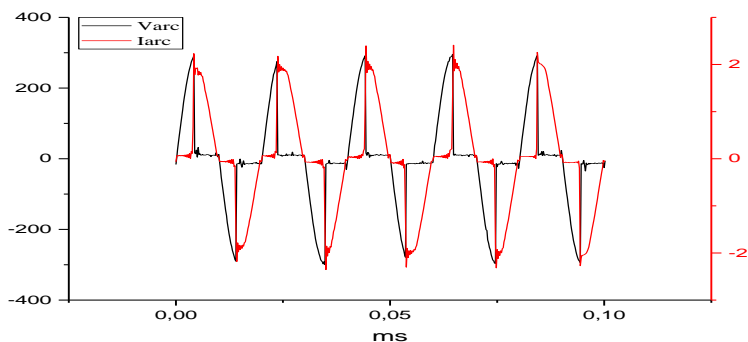


Gambar 3.20 Grafik Energi *Arcing* Seri

Berdasarkan grafik yang didapat terlihat bahwa pada saat *arcing* seri terjadi, gelombang arus dan tegangan yang seharusnya sinus akan mengalami perubahan dan membentuk *shoulder*. Pengamatan yang lebih detail terkait karakteristik dan relasi antar parameter akan dibahas pada sub-sub-bab berikut.

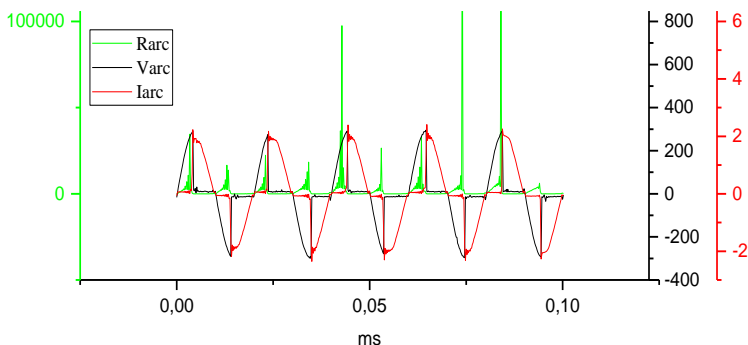
3.3.3.1 Relasi Antar Parameter

Pada sub bab sebelumnya telah dipaparkan mengenai plot grafik sinyal *Varc*, *Iarc*, *Rarc*, *Parc*, dan *Zarc* pada saat *arcing* seri terjadi. Berikut merupakan plot grafik yang menunjukkan hubungan antar sinyal pada saat *arcing*.



Gambar 3.21 Plot Varc dan Iarc

Berdasarkan gambar di atas terlihat bahwa pada saat *arc*ing seri terjadi Varc dan Iarc tidak berbentuk sinus sempurna, selain itu terdapat *shoulder* pada bentuk gelombang. *Shoulder* yang muncul, pada gelombang Iarc, merupakan pertanda bahwa *arc*ing terjadi dan pada saat eksperimen dapat dilihat dengan adanya lompatan bunga api di antara kedua elektroda. Ketika *arc*ing terjadi, maka tidak ada beda potensial di antara elektroda, sehingga nilai tegangan akan mendekati 0 dan gelombang terlihat menyerupai garis lurus.

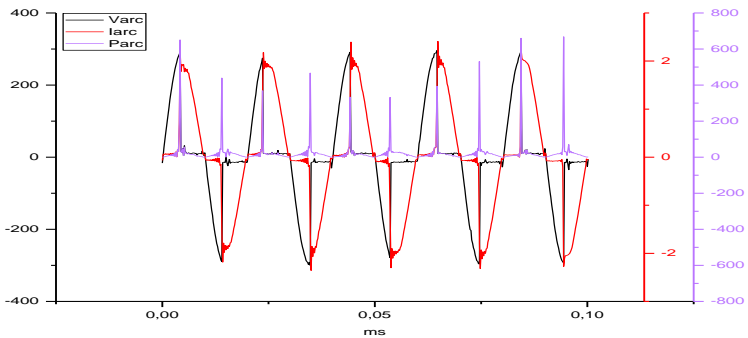


Gambar 3.22 Plot Varc, Iarc, dan Rarc

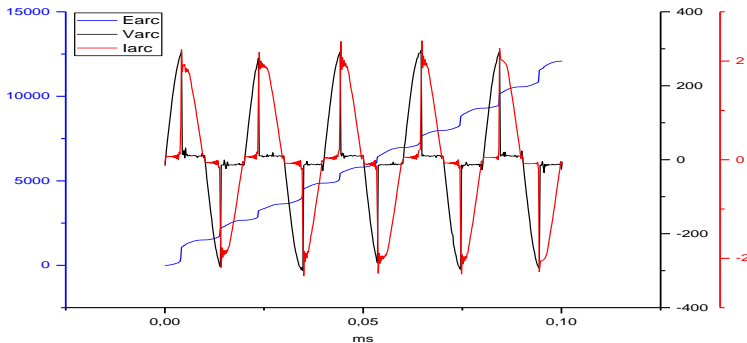
Pada Gambar 3.21 dapat dilihat bahwa semakin tinggi nilai Varc, maka nilai Rarc juga semakin tinggi. Pada saat Rarc bernilai, maka nilai

Iarc akan mendekati 0. Rarc memiliki hubungan yang berbanding lurus dengan Varc dan berbanding terbalik dengan Iarc.

Pada saat *arcing* akan terjadi, $\frac{1}{4}$ gelombang Varc pertama seakan akan menyerupai gelombang sinus sedangkan Iarc akan bernilai mendekati 0, sehingga nilai Rarc akan perlahan-lahan membesar seiring dengan meningkatnya nilai Varc. Tepat sebelum *breakdown* terjadi, nilai Rarc akan meningkat secara tajam dan saat *breakdown* terjadi nilai Rarc akan menjadi sangat kecil. Setelah nilai Rarc menjadi kecil, yaitu pada saat setelah *breakdown*, *arcing* terjadi dan nilai Iarc tidak lagi 0 seperti yang terlihat pada Gambar 3.21.



Gambar 3.23 Plot Varc, Iarc, dan Parc



Gambar 3.24 Plot Varc, Iarc, dan Earc

Gambar 3.22 dan Gambar 3.23 menunjukkan plot grafik gelombang Parc dan Earc pada saat *arcing* seri tegangan rendah terjadi. Pada Gambar 3.22 terlihat bahwa nilai Parc akan menjadi sangat besar selama sesaat pada saat Varc dan Iarc berada pada titik puncak, *breakdown* terjadi. Setelah Parc mengalami lonjakan nilai yang sangat besar, nilai Parc akan perlahan-lahan mengecil seiring terjadinya *arcing*.

Gambar 3.23 menunjukkan bahwa gelombang Earc memiliki bentuk yang menyerupai anak tangga. Terlihat bahwa saat setelah *breakdown* dan *arcing* mulai terjadi, nilai Earc akan naik secara tajam hingga membentuk garis vertikal.

3.3.4 Pengaruh Variasi Pembebanan dan Resistansi Jaringan

3.3.4.1 Variasi Beban Lampu

Pada kondisi variasi beban lampu, terdapat 10 keadaan yang diuji, yaitu pada saat lampu LED berjumlah 1 hingga 10. Berikut merupakan tabel ringkasan data masing-masing keadaan pembebanan.

Tabel 3.3 Nilai Maksimum Data pada Variasi Pembebanan

Case	Percobaan	Impedansi	THDi (%)	Varc Maks	Iarc Maks
1	1	0.367 Ω	3,2	300,08	2,41
	2	0.367 Ω	3,2	288,69	2,42
	3	0.367 Ω	3,2	303,71	2,57
	4	0.367 Ω	3,2	310,96	3,09
	5	0.367 Ω	3,2	309,93	3,02
2	1	0.367 Ω	4,4	298,01	2,53
	2	0.367 Ω	4,4	296,18	3,29
	3	0.367 Ω	4,4	308,89	3,18
	4	0.367 Ω	4,4	287,13	3,14
	5	0.367 Ω	4,4	295,42	3,22
3	1	0.367 Ω	5,3	298,53	3,76
	2	0.367 Ω	5,3	285,58	3,24
	3	0.367 Ω	5,3	298,01	3,80
	4	0.367 Ω	5,3	297,49	3,58
	5	0.367 Ω	5,3	288,69	3,33

Case	Percobaan	Impedansi	THDi (%)	Varc Maks	Iarc Maks
4	1	0.367 Ω	7,3	332,72	4,50
	2	0.367 Ω	7,3	284,54	3,88
	3	0.367 Ω	7,3	286,33	3,97
	4	0.367 Ω	7,3	289,72	4,09
	5	0.367 Ω	7,3	292,55	4,92
5	1	0.367 Ω	8,8	302,16	4,22
	2	0.367 Ω	8,8	284,54	3,57
	3	0.367 Ω	8,8	293,87	4,28
	4	0.367 Ω	8,8	297,49	4,02
	5	0.367 Ω	8,8	297,73	4,46
6	1	0.367 Ω	10,1	283,74	3,77
	2	0.367 Ω	10,1	279,88	3,38
	3	0.367 Ω	10,1	298,01	4,29
	4	0.367 Ω	10,1	294,11	4,64
	5	0.367 Ω	10,1	277,01	3,38
7	1	0.367 Ω	11,8	305,50	5,59
	2	0.367 Ω	11,8	299,80	4,72
	3	0.367 Ω	11,8	297,49	4,97
	4	0.367 Ω	11,8	283,74	4,56
	5	0.367 Ω	11,8	308,61	6,45
8	1	0.367 Ω	13,2	309,93	6,76
	2	0.367 Ω	13,2	300,84	6,78
	3	0.367 Ω	13,2	297,21	5,93
	4	0.367 Ω	13,2	287,13	4,48
	5	0.367 Ω	13,2	282,19	4,54
9	1	0.367 Ω	17,5	294,90	5,86
	2	0.367 Ω	17,5	293,87	5,99
	3	0.367 Ω	17,5	294,62	6,01
	4	0.367 Ω	17,5	281,95	5,38
	5	0.367 Ω	17,5	291,80	4,27
10	1	0.367 Ω	19,9	317,42	6,60
	2	0.367 Ω	19,9	289,44	5,52

Case	Percobaan	Impedansi	THDi (%)	Varc Maks	Iarc Maks
10	3	0.367 Ω	19,9	302,67	6,65
	4	0.367 Ω	19,9	298,25	7,15
	5	0.367 Ω	19,9	297,49	5,00

Tabel 3.4 Korelasi Nilai Maksimum terhadap THDi

	<i>THDi (%)</i>
Varc Maks	-0,045063345
Iarc Maks	0,835679855

Tabel 3.3 memaparkan nilai tegangan dan arus *arcing* maksimum yang didapatkan dari 5 kali pengambilan data pada masing-masing case. Terlihat bahwa seiring dengan kenaikan nilai THDi maka nilai Iarc maksimum cenderung naik sedangkan nilai Varc tidak terdapat perubahan. Untuk mendapat pengaruh THDi dengan lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 3.4. Tabel 3.4 merupakan tabel korelasi antara nilai THDi terhadap tegangan dan arus *arcing* maksimum dan dapat dilihat bahwa korelasi antara THDi dengan Iarc maksimum besar, mencapai 0.84.

3.3.4.2 Variasi Impedansi Jaringan

Selain variasi pada pembebanan, juga terdapat variasi impedansi jaringan dengan menggunakan kabel sepanjang 3m dan 5m. Besar impedansi masing-masing kabel adalah 0.367 Ω dan 0.676 Ω . Tabel 3.5 merupakan hasil pengambilan data pada kondisi variasi impedansi jaringan.. Tabel di bawah menampilkan nilai Varc dan Iarc maksimum pada setiap *case*, sehingga nilai Varc dan Iarc dapat dibandingkan.

Tabel 3.5 Nilai Maksimum Data pada Variasi Impedansi Jaringan

Impedansi Jaringan			0.367 Ω		0.676 Ω	
Case	Percobaan	THDi (%)	Varc Maks	Iarc Maks	Varc Maks	Iarc Maks
1	1	3,2	300,08	2,41	306,82	2,77
	2	3,2	288,69	2,42	312,75	2,74

Impedansi Jaringan			0.367 Ω		0.676 Ω	
Case	Percobaan	THDi (%)	Varc Maks	Iarc Maks	Varc Maks	Iarc Maks
1	3	3,2	303,71	2,57	302,16	2,74
	4	3,2	310,96	3,09	297,49	2,64
	5	3,2	309,93	3,02	301,64	2,73
2	1	4,4	298,01	2,53	286,62	2,75
	2	4,4	296,18	3,29	308,37	3,14
	3	4,4	308,89	3,18	304,23	3,23
	4	4,4	287,13	3,14	305,26	3,01
	5	4,4	295,42	3,22	305,26	3,32
3	1	5,3	298,53	3,76	299,05	3,56
	2	5,3	285,58	3,24	295,94	3,29
	3	5,3	298,01	3,8	301,12	3,96
	4	5,3	297,49	3,58	299,57	3,5
	5	5,3	288,69	3,33	304,75	3,85
4	1	7,3	332,72	4,5	298,01	3,81
	2	7,3	284,54	3,88	303,19	3,33
	3	7,3	286,33	3,97	287,13	3,07
	4	7,3	289,72	4,09	285,06	3,14
	5	7,3	292,55	4,92	307,34	3,99
5	1	8,8	302,16	4,22	303,19	5,03
	2	8,8	284,54	3,57	290,76	4,14
	3	8,8	293,87	4,28	288,17	4,32
	4	8,8	297,49	4,02	303,71	4,46
	5	8,8	297,73	4,46	301,64	4,42
6	1	10,1	283,74	3,77	296,46	5,25

Impedansi Jaringan			0.367 Ω		0.676 Ω	
Case	Percobaan	THDi (%)	Varc Maks	Iarc Maks	Varc Maks	Iarc Maks
6	2	10,1	279,88	3,38	303,71	5,31
	3	10,1	298,01	4,29	304,23	5,7
	4	10,1	294,11	4,64	291,28	4,3
	5	10,1	277,01	3,38	299,57	4,74
7	1	11,8	305,5	5,59	293,35	5,04
	2	11,8	299,8	4,72	290,24	5,72
	3	11,8	297,49	4,97	313,55	6,5
	4	11,8	283,74	4,56	304,23	5,88
	5	11,8	308,61	6,45	296,18	5,7
8	1	13,2	309,93	6,76	295,42	5,36
	2	13,2	300,84	6,78	277,53	4,82
	3	13,2	297,21	5,93	288,41	5,23
	4	13,2	287,13	4,48	289,72	5,52
	5	13,2	282,19	4,54	296,98	5,47
9	1	17,5	294,9	5,86	295,42	5,06
	2	17,5	293,87	5,99	307,34	7,46
	3	17,5	294,62	6,01	290,76	6
	4	17,5	281,95	5,38	290,76	5,07
	5	17,5	291,8	4,27	303,19	6,89
10	1	19,9	317,42	6,6	299,05	6,28
	2	19,9	289,44	5,52	289,72	5,78
	3	19,9	302,67	6,65	287,13	5,44
	4	19,9	298,25	7,15	286,62	5,2
	5	19,9	297,49	5	296,98	6,24

Tabel 3.6 Korelasi Varc dan Iarc Maksimum terhadap Impedansi

	<i>Impedansi</i>
Varc Maks	0,099211466
Iarc Maks	0,037170553

Tabel 3.5 menampilkan nilai Varc dan Iarc maksimum pada 2 keadaan, yaitu pada saat impedansi jaringan bernilai 0.367Ω dan 0.676Ω . Berdasarkan tabel, tidak terlihat perubahan nilai Iarc maksimum secara tertentu dalam satu *case* dengan nilai impedansi yang berbeda. Nilai Iarc maksimum cenderung fluktuatif. Pengamatan yang dilakukan pada Tabel 3.5 didukung oleh Tabel 3.6 yang merupakan tabel korelasi antara Varc dan Iarc maksimum terhadap impedansi jaringan. Korelasi Varc dan Iarc maksimum terhadap impedansi jaringan sangatlah kecil dan tidak memiliki korelasi satu sama lain. Hal ini memperlihatkan bahwa berdasarkan eksperimen yang dilakukan, dengan penggunaan kabel sepanjang 3m (0.367Ω) dan 5m (0.676Ω) sebagai impedansi jaringan, impedansi jaringan tidak berpengaruh terhadap nilai Iarc maksimum.

Berdasarkan data eksperimen, telah didapatkan pola gelombang parameter *arcing* seri tegangan rendah pada saat nilai THDi dan impedansi jaringan bervariasi. Data dan pola parameter yang didapatkan menjadi dasar pelatihan *neural network* dalam mendapatkan nilai Rarc dengan menggunakan *software* MATLAB.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV HASIL DAN ANALISA DATA

4.1 Pelatihan Jaringan Saraf Tiruan

Pelatihan program jaringan saraf tiruan untuk memodelkan *arcing* seri tegangan rendah dalam eksperimen ini menggunakan *toolbox* jaringan saraf tiruan yang dapat diakses melalui fitur *nstart* pada *software* MATLAB. Pada fitur *nstart* terdapat empat jenis *toolbox* jaringan saraf tiruan yang masing-masing ditujukan untuk jenis permasalahan yang berbeda-beda. Dalam penelitian ini menggunakan *nftool*, *neural net fitting tool*.

Tidak terdapat parameter atau peraturan spesifik mengenai arsitektur jaringan saraf tiruan yang digunakan untuk menyelesaikan suatu jenis permasalahan. Oleh karena itu, arsitektur program jaringan saraf tiruan yang digunakan ditentukan melalui proses *trial and error*. Tahap pertama dalam melakukan pemodelan adalah menentukan *input* dan *target* yang digunakan. Setelah variabel *input* dan *target* ditentukan, maka tahap selanjutnya adalah pengembangan arsitektur jaringan saraf tiruan. Pengembangan arsitektur dilakukan dengan menentukan jenis algoritma, metode *training*, serta parameter yang mampu memberikan hasil pemodelan terbaik. Setelah *training* selesai maka terdapat data *output* hasil pemodelan, *output* kemudian dikomparasi dengan *target* untuk melihat kemampuan jaringan saraf tiruan melakukan pemodelan.

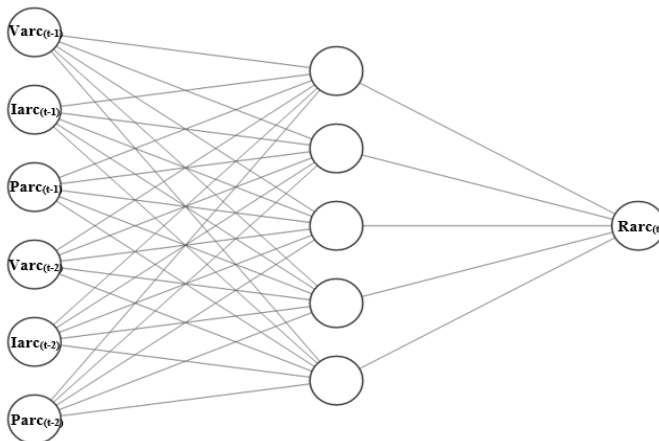
4.1.1 Penentuan *Input* dan *Target* Jaringan Saraf Tiruan

Pada eksperimen, terdapat lima parameter *arcing* yang dianalisis yaitu tegangan, arus, daya, energi, dan resistansi. Dari lima parameter tersebut, resistansi menjadi target pelatihan jaringan saraf tiruan, sedangkan parameter tegangan, arus, dan daya menjadi *input* pelatihan. Relasi antar parameter dapat dilihat pada sub-bab 3.3.3.1 Relasi Antar Parameter yang terdapat pada halaman 25.

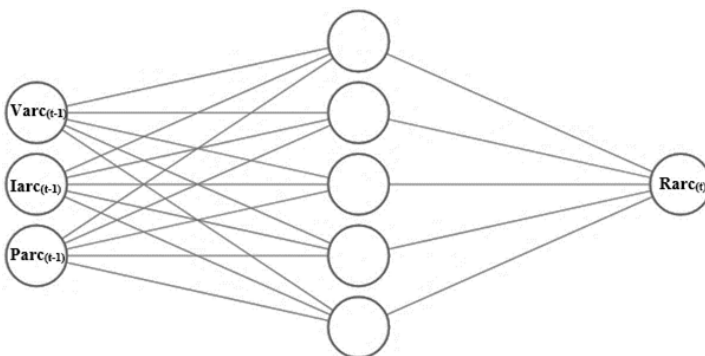
Perlu diingat bahwa pemodelan *arcing* merupakan salah satu bentuk upaya dalam mengetahui dan mendeteksi *arcing*. Oleh karena itu dalam penelitian ini, *input* yang digunakan berupa tegangan, arus, dan daya pada waktu sesaat sebelum *arcing* terjadi. Sehingga *input* berupa $V_{arc(t-1)}$, $I_{arc(t-1)}$, $P_{arc(t-1)}$, dan $V_{arc(t-2)}$, $I_{arc(t-2)}$, $P_{arc(t-2)}$ dengan *output* berupa $R_{arc(t)}$. Keenam *input* pelatihan tersebut terbagi menjadi 3 *set* data dan masing-masing *set* data dilatih dengan menggunakan program

jaringan saraf tiruan yang sama. Set *input* pertama terdiri atas enam variabel, yaitu $\text{Varc}_{(t-1)}$, $\text{Iarc}_{(t-1)}$, $\text{Parc}_{(t-1)}$, dan $\text{Varc}_{(t-2)}$, $\text{Iarc}_{(t-2)}$, $\text{Parc}_{(t-2)}$ dan set kedua dan ketiga terdiri atas tiga variabel, Varc , Iarc , dan Parc , masing-masing pada saat $(t-1)$ dan $(t-2)$.

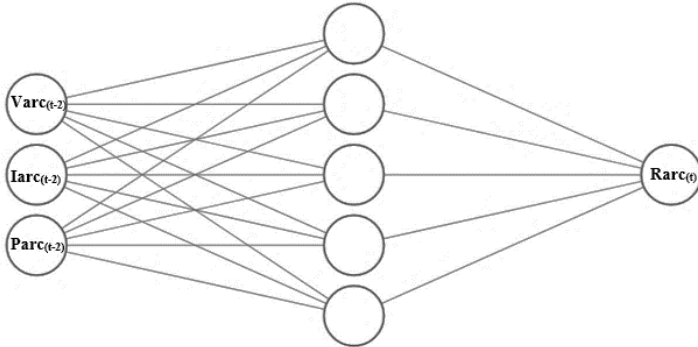
Berikut merupakan skema *input* dan *output* pelatihan jaringan saraf tiruan.



Gambar 4.1 Skema Neural Network dengan 6 Input



Gambar 4.2 Skema Neural Network dengan Input (t-1)



Gambar 4.3 Skema Neural Network dengan Input (t-2)

4.1.2 Penentuan Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan

Arsitektur jaringan saraf tiruan dibuat dengan menggunakan *nftool*, yang merupakan salah satu *toolbox* jaringan saraf tiruan di dalam MATLAB. Hasil *default* pelatihan program jaringan saraf tiruan dengan menggunakan *nftool* berupa jaringan saraf tiruan *feed-forward* dengan satu buah *hidden layer* dengan algoritma pelatihan berupa Levenberg-Marquardt *back-propagation*.

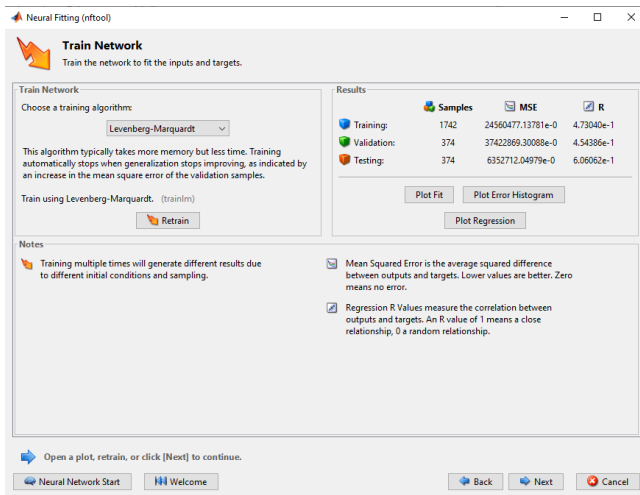
Pada *nftool* beberapa pengaturan *default* yang ada adalah :

1. Pembagian *subset* data *input* menjadi *training*, *validation*, dan *testing* sebesar 70 : 15 : 15.
2. Jumlah neuron pada *hidden layer* sebanyak 10 neuron.
3. Algoritma pelatihan, berupa Levenberg-Marquardt.

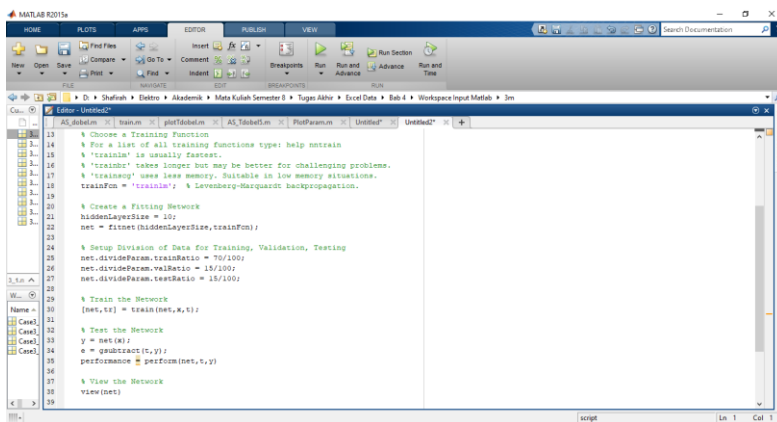
Setelah rasio pembagian data, jumlah neuron, dan algoritma pelatihan telah ditentukan, data dapat dilatih sesuai arsitektur yang telah dibuat untuk pertama kalinya. Pada *nftool*, hasil pelatihan ditampilkan dalam bentuk nilai mse dan regresi seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.4. Apabila hasil pelatihan tidak baik, maka pengguna dapat melatih ulang jaringan saraf tiruan, menambahkan jumlah neuron, dan menambahkan jumlah data *input*. Hasil pelatihan pada *nftool* dapat disimpan dan diperbaiki melalui *script* jaringan saraf tiruan yang dihasilkan.

Terlihat pada Gambar 4.4 bahwa hasil pelatihan melalui *nftool* cenderung buruk dengan nilai mse dan regresi yang rendah. Oleh karena

itu selanjutnya harus mengubah atau menambahkan arsitektur dan parameter tambahan di dalam *script* yang didapatkan.



Gambar 4.4 Hasil Pelatihan ‘nftool’

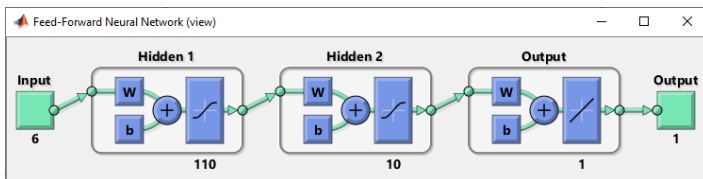


Gambar 4.5 Default Script ‘nftool’

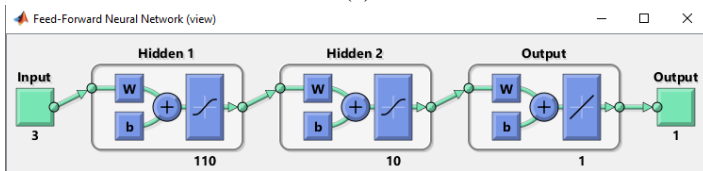
Pada *script*, salah satu langkah pertama dan paling sederhana yang dilakukan untuk memperbaiki performa jaringan saraf tiruan adalah

dengan mengubah jumlah neuron dengan cara menambah maupun menguranginya. Hal ini dilakukan untuk mencari jumlah neuron yang dapat menghasilkan *output* yang lebih baik. Melalui berbagai percobaan *trial error*, ditentukan bahwa jumlah neuron yang ada pada *hidden layer* pertama berjumlah 110 neuron.

Selain jumlah neuron, arsitektur yang diubah adalah jumlah *hidden layer* sehingga arsitektur jaringan saraf tiruan yang awalnya hanya memiliki sebuah *hidden layer* kini memiliki dua buah *hidden layer* dengan jumlah neuron pada masing-masing *layer* adalah 110 dan 10. Fungsi aktivasi yang digunakan pada kedua *hidden layer*, adalah *tansig* dan pada *layer* keluaran berupa *purelin*. Fungsi aktivasi tersebut juga merupakan salah satu pengaturan *default* yang terdapat pada *nftool*. Berikut merupakan arsitektur jaringan saraf tiruan yang digunakan dengan skema pada masing-masing *set input*.



(a)



(b)

Gambar 4.6 Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan

4.1.3 Penentuan Parameter Jaringan Saraf Tiruan

Ketika menggunakan *nftool* dengan algoritma pelatihan Levenberg-Marquardt, maka terdapat beberapa parameter *default* yang disertakan. Berikut merupakan parameter *default* yang didapatkan melalui pelatihan *nftool*.

1. `net.trainParam.epochs = 1000`
2. `net.trainParam.goal = 0`

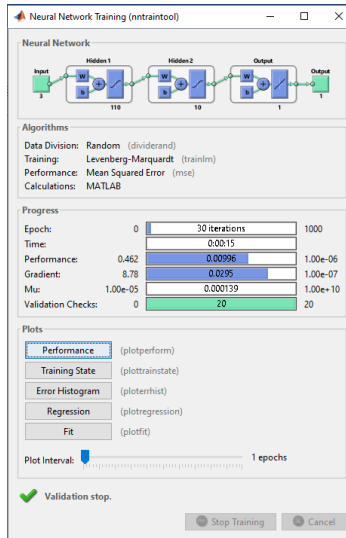
3. `net.trainParam.max_fail = 6`
4. `net.trainParam.min_grad = 1e-7`
5. `net.trainParam.mu = 0.001`
6. `net.trainParam.mu_dec = 0.1`
7. `net.trainParam.mu_inc = 10`
8. `net.trainParam.mu_max = 1e10`

Pada parameter *default*, terlihat pengaturan parameter yang diberikan beserta nilainya. Dalam melatih jaringan saraf tiruan agar mampu menghasilkan *output* yang lebih baik, nilai parameter tersebut diubah. Berbagai kombinasi nilai parameter digunakan dalam melatih jaringan saraf tiruan dan akhirnya ditentukan beberapa nilai parameter yang diubah sesuai hasil pelatihan. Berikut merupakan parameter yang diubah nilainya secara manual dalam pengembangan program jaringan saraf tiruan :

1. `net.trainParam.goal = 0.000001;`
2. `net.trainParam.max_fail = 20;`
3. `net.trainParam.mu = 0.00001;`

Ketiga parameter tersebut merupakan beberapa parameter yang menjadi acuan pelatihan jaringan saraf tiruan. Pelatihan akan berhenti ketika mencapai satu dari ketiga nilai parameter tersebut. Parameter pertama, `net.trainParam.goal`, merupakan parameter yang menentukan nilai *error* performa jaringan saraf tiruan. Parameter kedua, `net.trainParam.max_fail`, merupakan jumlah kegagalan maksimum yang dapat terjadi pada *validation checks*. *Validation checks* terdapat pada layar *monitoring* ketika pelatihan berlangsung. Pada parameter ketiga, `net.trainParam.mu`, merupakan nilai momentum yang digunakan. Dalam jaringan saraf tiruan, istilah momentum adalah sebuah konstanta yang berperan dalam proses *weight-update* agar *weight*, atau bobot, mampu mencapai nilai yang relevan dengan *input* dan performa jaringan saraf tiruan dapat menjadi lebih baik [17].

Setelah parameter tersebut ditambahkan, maka pelatihan dilakukan. Pada saat pelatihan berlangsung, sebuah layar yang menampilkan proses pelatihan akan muncul dan melalui layar tersebut progres pelatihan dapat diamati.



Gambar 4.7 Layar *Monitoring* Pelatihan

Pada layar *monitoring*, terlihat bahwa pelatihan berhenti karena telah mencapai jumlah maksimum ‘*validation checks*’, ditandai dengan warna hijau. ‘*Validation checks*’ menunjukkan peningkatan nilai error pada *subset* data validasi, pelatihan akan berhenti jika nilai *error* tahap validasi meningkat selama lebih dari 20 epochs.

4.1.4 *Output* Jaringan Saraf Tiruan

Dalam eksperimen ini terdapat 10 *case*, variasi THDi, dengan masing- masing pada kondisi impedansi jaringan sepanjang 3m dan 5m, sehingga terdapat total sejumlah 20 *case*. Masing-masing *case* dilatih dengan tiga *set input* data sebanyak tiga kali pelatihan. Pelatihan sebanyak tiga kali ini bertujuan untuk mengetahui kisaran mse masing-masing pelatihan dan memastikan bahwa nilai mse pertama yang didapatkan bukanlah sebuah kebetulan saja.

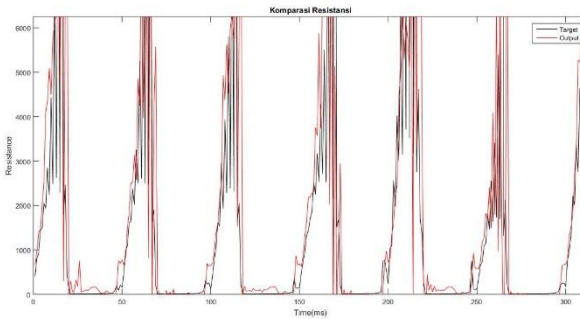
Hasil pelatihan ditampilkan dalam bentuk *plot* komparasi *output* dan target pelatihan, serta dalam bentuk tabel nilai mse pelatihan.

4.2 Komparasi Data Pemodelan dengan Data Eksperimen

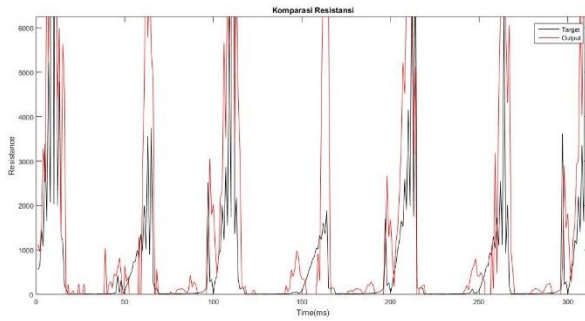
Berikut merupakan *plot* hasil komparasi Rarc pemodelan dengan Rarc pengujian laboratorium. Pada *plot* terdapat dua grafik, yaitu grafik berwarna merah dan grafik berwarna hitam. Grafik berwarna merah merupakan *output* pelatihan jaringan saraf tiruan dan warna hitam merupakan target berdasar hasil eksperimen.

4.2.1 Komparasi Rarc Antar Case

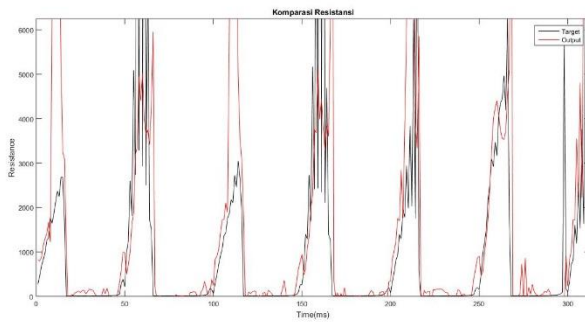
Pada sub-bab ini hasil *plot* grafik komparasi antara Rarc pemodelan dengan Rarc eksperimen ditampilkan. *Plot* grafik menggunakan data Rarc pada kondisi impedansi jaringan yang sama, yaitu pada 3m, dan pada saat *set input* (t-1) tetapi dengan *case* yang berbeda, jumlah lampu LED yang berbeda. Terdapat 10 *case* dalam eksperimen ini dan berikut merupakan hasil *plot* masing-masing *case*.



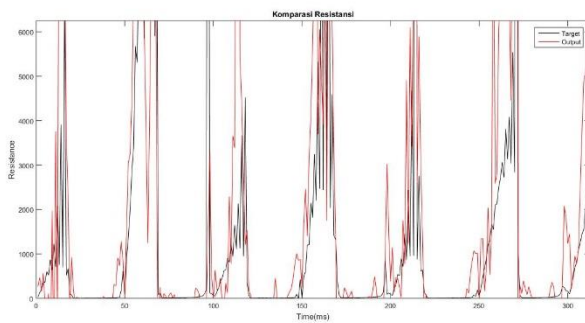
Gambar 4.8 Komparasi Rarc saat *Case 3_1*



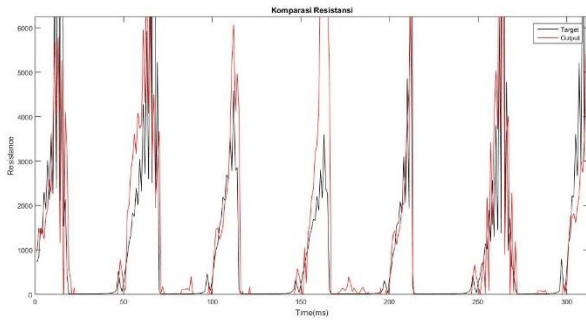
Gambar 4.9 Komparasi Rarc saat *Case 3_2*



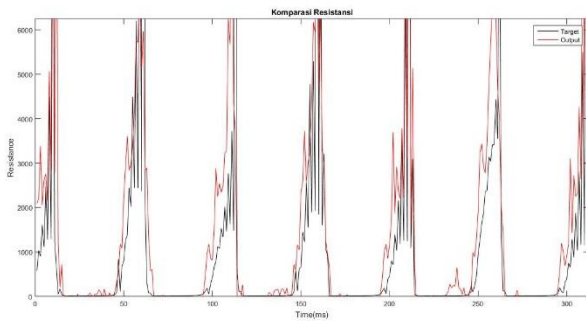
Gambar 4.10 Komparasi Rarc saat *Case 3_3*



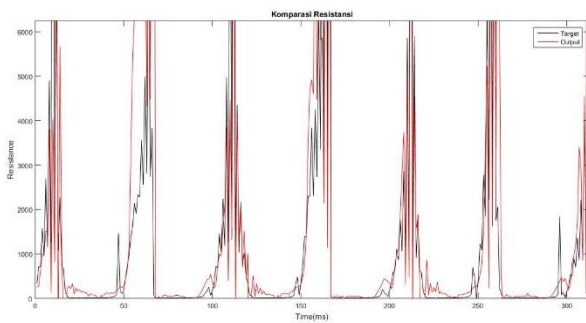
Gambar 4.11 Komparasi Rarc saat *Case 3_4*



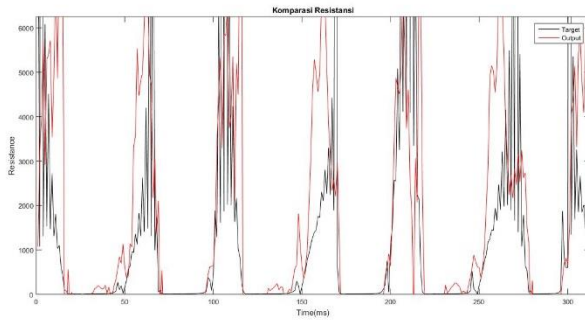
Gambar 4.12 Komparasi Rarc saat *Case 3_5*



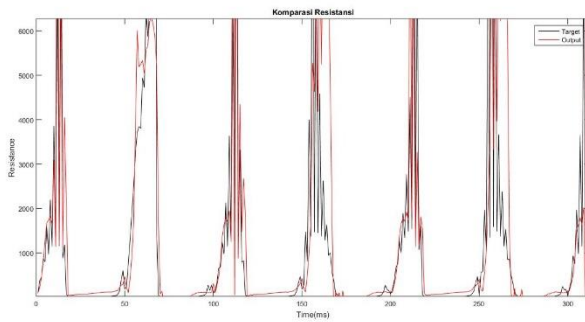
Gambar 4.13 Komparasi Rarc saat *Case 3_6*



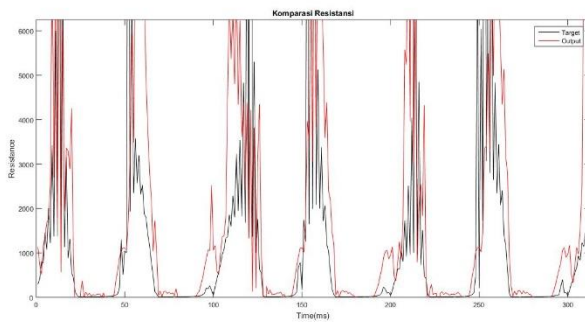
Gambar 4.14 Komparasi Rarc saat *Case 3_7*



Gambar 4.15 Komparasi Rarc saat *Case 3_8*



Gambar 4.16 Komparasi Rarc saat *Case 3_9*



Gambar 4.17 Komparasi Rarc saat Case 3_10

Jika dilihat secara sekilas, Rarc pemodelan pada masing-masing *case* memiliki grafik yang menyerupai Rarc eksperimen, tetapi jika dilihat dengan lebih seksama maka terlihat bahwa masih terdapat perbedaan nilai di antara keduanya. Agar dapat melihat perbedaan tersebut dengan lebih baik, berikut merupakan rekapan nilai MSE hasil masing-masing pelatihan.

Tabel 4.1 Perbandingan Nilai MSE Masing-Masing Case

Case	Impedansi 3m			Impedansi 5m		
	Pelatihan ke-n			Pelatihan ke-n		
	1	2	3	1	2	3
1	0.0098	0.0097	0.0102	0.0125	0.0148	0.0100
2	0.0132	0.0142	0.0137	0.0043	0.0076	0.0067
3	0.0139	0.0141	0.0140	0.0155	0.0168	0.0156
4	0.0159	0.0158	0.0162	0.0132	0.0124	0.0130
5	0.0224	0.0216	0.0221	0.0119	0.0106	0.0110
6	0.0260	0.0259	0.0267	0.0158	0.0151	0.0159
7	0.0219	0.0212	0.0206	0.0159	0.0146	0.0157
8	0.0351	0.0322	0.0376	0.0263	0.0312	0.0336
9	0.0174	0.0219	0.0227	0.0311	0.0302	0.0303
10	0.0220	0.0222	0.0218	0.0168	0.0170	0.0163

Pada tabel terdapat nilai MSE masing-masing *case* pada saat impedansi jaringan sepanjang 3m dan 5m. Berdasarkan tabel dapat dilihat bahwa nilai MSE terendah didapatkan pada *case* 5_2 sebesar 0.0043 dan nilai MSE tertinggi pada *case* 3_8 sebesar 0.0376. Tetapi tidak terlihat pola perubahan yang tetap terhadap nilai MSE antara masing-masing *case*, oleh karena itu berikut merupakan tabel korelasi nilai MSE masing-masing *case*.

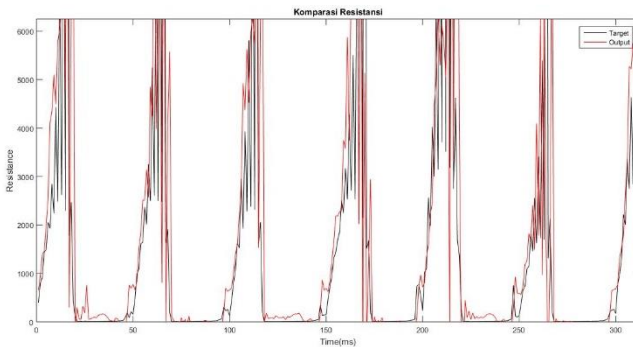
Tabel 4.2 Korelasi Antara MSE dan Case

	<i>Case</i>	<i>MSE</i>
Case	1	
MSE	0,743815	1

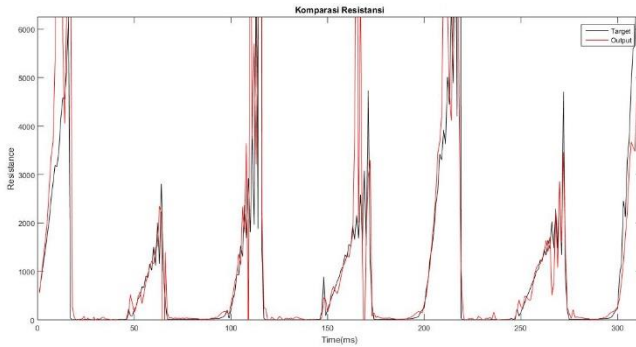
Pada tabel terlihat bahwa nilai korelasi antara *case* dan MSE besar, $0.5 \leq$, sehingga dapat dikatakan bahwa jumlah LED pada masing-masing *case* mempengaruhi performa jaringan saraf tiruan. Semakin banyak jumlah LED, maka performa jaringan saraf tiruan menurun dan MSE semakin meningkat.

4.2.2 Komparasi Rarc Antar Kondisi Impedansi

Pada sub bab ini, hasil *plot* grafik antara Rarc pemodelan dan Rarc eksperimen ditampilkan. Data yang digunakan dalam *plot* grafik merupakan data pada *case* dan *set input* yang sama, yaitu pada *case* 1 dan *set input* (t-1), tetapi pada saat impedansi jaringan sepanjang 3m dan 5m.



Gambar 4.18 Komparasi Rarc pada Impedansi Jaringan 3m



Gambar 4.19 Komparasi Rarc pada Impedansi Jaringan 5m

Tabel 4.3 Perbandingan Nilai MSE

Case	Impedansi 3m			Impedansi 5m		
	Pelatihan ke-n			Pelatihan ke-n		
	1	2	3	1	2	3
1	0.0098	0.0097	0.0102	0.0125	0.0148	0.0100

Tabel 4.4 Korelasi Antara MSE dan Impedansi Jaringan

	<i>Impedansi</i>	<i>MSE</i>
Impedansi	1	
MSE	0,672382	1

Seperti pada saat membandingkan antara nilai MSE dengan *case*, pada *plot* komparasi tidak terlihat perbedaan signifikan antara kedua Rarc dengan impedansi yang berbeda. Sehingga agar perbedaan di antara keduanya dapat diamati dengan lebih baik, maka Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 dilampirkan.

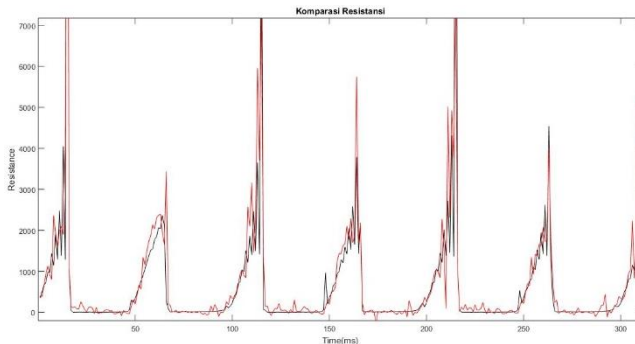
Tabel 4.3 menunjukkan nilai MSE pada saat *case* 1 dengan *set input* (t-1) pada kondisi impedansi jaringan yang berbeda, yaitu pada 3m dan 5m. Pada pelatihan ke-3 saat kondisi impedansi jaringan 3m nilai mse maksimum sebesar 0.0102 dan pada saat kondisi impedansi jaringan 5m nilai mse maksimum adalah 0.0148. Secara sekilas dapat dilihat bahwa

nilai mse pada kondisi impedansi 5m lebih besar jika dibanding kondisi 3m. Pengamatan ini didukung oleh nilai korelasi pada Tabel 4.4.

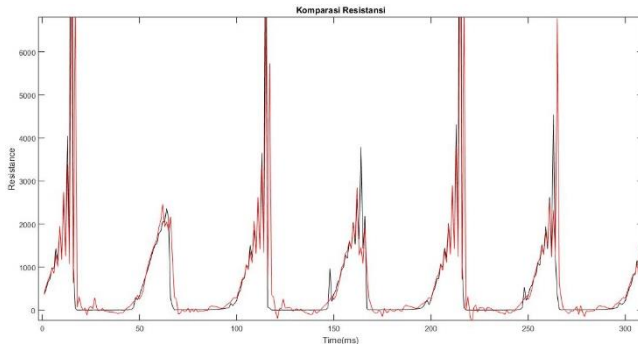
Tabel 4.4 menunjukkan bahwa besar nilai korelasi antara Impedansi Jaringan dan MSE bernilai 0.672, nilai ini menunjukkan adanya korelasi yang positif antara kedua variabel. Sehingga dapat dikatakan bahwa semakin besar nilai impedansi jaringan, maka nilai mse semakin besar pula. Hal tersebut berarti bahwa performa jaringan saraf tiruan dipengaruhi oleh nilai impedansi.

4.2.3 Komparasi Rarc Antar *Set Input*

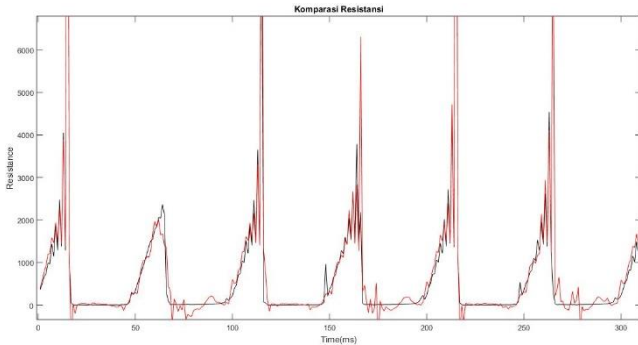
Pada sub bab ini, akan ditampilkan komparasi Rarc antara masing-masing *set input*. *Plot* yang ditampilkan merupakan data pada *case 2*, jumlah LED sebanyak dua buah pada kondisi impedansi jaringan sepanjang 3m. Pelatihan dilakukan dengan *set input* yang berbeda. Berikut merupakan *plot* hasil pelatihan yang didapatkan dengan grafik berwarna hitam merupakan target pelatihan dan grafik berwarna merah merupakan *output* pelatihan.



Gambar 4.20 Komparasi Rarc saat Input (t-1)



Gambar 4.21 Komparasi Rarc saat Input (t-2)



Gambar 4.22 Komparasi Rarc saat Input (t-1) dan (t-2)

Berdasarkan *plot* komparasi dapat dilihat bahwa ketiga *set* input, dengan program jaringan saraf tiruan yang sama, menghasilkan nilai Rarc pemodelan yang baik dan mampu merepresentasikan tren Rarc hasil pengujian. Tidak terlihat perbedaan hasil pelatihan yang mencolok dari ketiga *set input* data yang diberikan. Untuk mengetahui lebih detail mengenai perbedaan di antara ketiga *set input*, berikut merupakan tabel rekap mse pada setiap *training* data.

Tabel 4.5 Perbandingan Nilai MSE Pelatihan

Impedansi		3m			5m		
Case	Pelatihan ke-	t-1	t-2	t-1 t-2	t-1	t-2	t-1 t-2
1	1	0.0098	0.0074	0.0032	0.0125	0.0090	0.0068
	2	0.0097	0.0070	0.0038	0.0148	0.0078	0.0053
	3	0.0102	0.0073	0.0054	0.100	0.0088	0.0055

Tabel 4.5 menampilkan nilai mse pelatihan jaringan saraf tiruan pada setiap case dengan menggunakan tiga *set* input yang berbeda. Berdasarkan data, terlihat bahwa nilai mse paling kecil cenderung didapatkan saat *input* pelatihan berupa $\text{Varc}_{(t-1)}$, $\text{Iarc}_{(t-1)}$, $\text{Parc}_{(t-1)}$, dan $\text{Varc}_{(t-2)}$, $\text{Iarc}_{(t-2)}$, $\text{Parc}_{(t-2)}$. Sedangkan nilai mse tertinggi seringkali didapatkan pada saat *input* berupa parameter dengan waktu (t-1). Walaupun *input* (t-1) cenderung menghasilkan nilai mse tertinggi, nilai mse pelatihan secara keseluruhan berada di bawah 0.04.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari eksperimen mengenai simulasi dan pemodelan arcing seri berbasis neural network dengan variasi beban harmonik dan lokasi arcing adalah sebagai berikut:

1. Pada variasi pembebanan didapatkan bahwa nilai THDi yang terdapat di dalam sistem akan mempengaruhi nilai Iarc dan semakin besar nilai THDi yang ada maka nilai Iarc juga akan semakin meningkat. Hal ini juga dapat diamati melalui nilai korelasi antara Iarc maksimum dengan THDi yang bernilai 0,836.
2. Pada variasi impedansi jaringan berupa kabel dengan nilai impedansi sebesar 0,367 Ω dan 0,676 Ω , tidak terlihat pengaruh impedansi jaringan yang signifikan terhadap nilai Iarc dan nilai korelasi antara Iarc maksimum dengan impedansi hanyalah sebesar 0,037. Hal ini dapat terjadi karena kabel terhitung pendek sehingga nilai impedansinya rendah dan tidak memberikan dampak yang signifikan.
3. Pada saat *arcing* terjadi, terdapat *shoulder*, yang merupakan daerah datar dengan nilai mendekati 0, pada gelombang Iarc. Pada saat gelombang Iarc membentuk *shoulder*, Varc bernilai tinggi. Sebaliknya pada saat nilai Iarc tidak 0, nilai Varc akan mendekati 0.
4. Nilai Rarc bertambah seiring dengan meningkatnya nilai Varc. Peningkatan nilai Rarc terjadi pada saat $\frac{1}{4}$ dan $\frac{3}{4}$ periode gelombang. Sesaat sebelum *arcing* terjadi maka nilai Rarc akan menurun drastis dan mendekati 0.
5. Parc memiliki nilai yang sebanding dengan perkalian Varc dan Iarc, akibatnya nilai Parc akan menyerupai segitiga pada setiap $\frac{1}{2}$ gelombang. Pada saat Varc dan Iarc berada pada puncak gelombang, maka nilai Parc akan meningkat secara tajam selama 0,02 ms. Kenaikan nilai Parc secara tajam ini kemudian diikuti dengan terjadinya *arcing*.
6. *Neural network* dapat dimanfaatkan untuk memodelkan Rarc, terlihat bahwa Rarc pemodelan, *output*, mampu merepresentasikan tren nilai Rarc pada saat *arcing* terjadi. Performa *neural network* paling rendah bernilai 0,0032 dan paling tinggi bernilai 0,0376.

7. Performa jaringan saraf tiruan dipengaruhi oleh nilai THDi, impedansi jaringan, dan *set input* kemudian hasil nilai mse setiap pemodelan tidak lebih dari 0,04 dengan nilai mse paling rendah cenderung didapatkan ketika *set input* berupa $\text{Varc}_{(t-1)}$, $\text{Iarc}_{(t-1)}$, $\text{Parc}_{(t-1)}$, dan $\text{Varc}_{(t-2)}$, $\text{Iarc}_{(t-2)}$, $\text{Parc}_{(t-2)}$ yang mencapai 0.0032.

5.2 Saran

Simulasi dan pemodelan *arcing* seri tegangan rendah yang telah dilakukan menunjukkan bahwa *neural network* dapat digunakan untuk memodelkan resistansi *arcing*, tetapi terlihat bahwa performa jaringan saraf tiruan dipengaruhi oleh nilai THDi dan impedansi jaringan, oleh karena itu saran pertama adalah untuk membuat jaringan saraf tiruan yang mampu memodelkan *arcing* seri dengan kinerja yang lebih baik, kemudian saran kedua adalah untuk melakukan eksperimen dengan menggunakan nilai impedansi yang lebih besar agar pengaruh nilai impedansi jaringan terhadap kondisi sistem dapat terlihat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Wiryatama, D. Asfani, and D. Fahmi, "Analisis Karakteristik Busur Api Listrik Tegangan Rendah Pada Hubung Singkat Langsung Melalui Sinkronisasi Penginderaan Termal Bunga Api Dan Arus Hubung Singkat," *J. Tek. ITS*, vol. 6, 2017, doi: 10.12962/j23373539.v6i1.21148.
- [2] A. Mishra, A. Routray, and A. Pradhan, "Detection of Arcing in Low Voltage Distribution Systems," in *IEEE Region 10 Colloquium and 3rd International Conference on Industrial and Information Systems, ICIIIS 2008*, 2009, pp. 1–3, doi: 10.1109/ICIINFS.2008.4798477.
- [3] Yuan Wu, Zhengxiang Song, and Xue Li, "A method for arc fault detection based on the analysis of signal's characteristic frequency band with wavelet transform," in *2013 2nd International Conference on Electric Power Equipment - Switching Technology (ICEPE-ST)*, 2013, pp. 1–4.
- [4] V. Babrauskas, "How do electrical wiring faults lead to structure ignitions?," *Fire Arson Investig.*, vol. 52, pp. 39-45,49, 2002.
- [5] T. Gammon and J. Matthews, "The historical evolution of arcing-fault models for low-voltage systems," in *1999 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference (Cat. No.99CH36371)*, 1999, pp. 6 pp.-.
- [6] L. Primabaraka, D. A. Asfani, and I. M. Y. Negara, "Pemodelan Arus Arcing Tegangan Rendah Pada Kabel Fleksibel (Serabut) Menggunakan Elman Neural Network," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2016.
- [7] D. Asfani *et al.*, "The Modelling Of Low Voltage Arc Flash Based On Artificial Neural Network," *Int. J. Innov. Comput. Inf. Control*, vol. 14, pp. 1389–1405, 2018, doi: 10.24507/ijicic.14.04.1389.
- [8] K. Kim, J. J. Jeong, S. J. Lee, S. Moon, and S. W. Kim, "Modeling of DC electric arc furnace using chaos theory and neural network," in *2012 12th International Conference on Control, Automation and Systems*, 2012, pp. 1675–1678.
- [9] Z. Hui, X. Wang, and X. Wang, "Prediction Model of Arc Furnace Based on Improved BP Neural Network," in *2009 International Conference on Environmental Science and Information Application Technology*, 2009, vol. 3, pp. 664–669.

- [10] A. M. Smoak and A. J. Keeth, "An investigation of low voltage arc flash exposure," in *2013 IEEE IAS Electrical Safety Workshop*, 2013, pp. 183–185.
- [11] J. J. Shea, "Comparing 240 Vrms to 120 Vrms Series Arcing Faults in Residential Wire," in *2008 Proceedings of the 54th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts*, Oct. 2008, pp. 218–224, doi: 10.1109/HOLM.2008.ECP.47.
- [12] P. Müller, S. Tenbohlen, R. Maier, and M. Anheuser, "Characteristics of Series and Parallel Low Current Arc Faults in the Time and Frequency Domain," in *2010 Proceedings of the 56th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts*, Oct. 2010, pp. 1–7, doi: 10.1109/HOLM.2010.5619539.
- [13] D. Li *et al.*, "A Method for Residential Series Arc Fault Detection and Identification," in *2009 Proceedings of the 55th IEEE Holm Conference on Electrical Contacts*, Sep. 2009, pp. 8–14, doi: 10.1109/HOLM.2009.5284428.
- [14] H. al-bayaty, "Novel Methods of Utilization, Elimination, and Description of The Distortion Power in Electrical Circuits," PhD Thesis, 2018.
- [15] M. K. Soni and N. Soni, "Review of Causes and Effect of Harmonics on Power System," 2014.
- [16] F. Samman, R. Ahmad, and M. Mustafa, "Perancangan, Simulasi dan Analisis Harmonisa Rangkaian Inverter Satu Fasa," *J. Nas. Tek. Elektro Dan Teknol. Inf. JNTETI*, vol. 4, 2015, doi: 10.22146/jnteti.v4i1.140.
- [17] V. T. Widyaningrum and A. S. Romadhon, "Pengaruh Pemberian Momentum Pada Artificial Neural Network Backpropagation," *Semin. Nas. Sains Dan Teknol. 2014*, pp. 1–4, Nov. 2014.

Lampiran 1. Tabel Rekapian MSE Pelatihan

Impedansi		3m			5m		
Case	Training	t-1	t-2	t-1 t-2	t-1	t-2	t-1 t-2
1	1	0.0098	0.0074	0.0032	0.0125	0.0090	0.0068
	2	0.0097	0.0070	0.0038	0.0148	0.0078	0.0053
	3	0.0102	0.0073	0.0054	0.100	0.0088	0.0055
2	1	0.0132	0.0097	0.0086	0.0043	0.0071	0.0048
	2	0.0142	0.0105	0.0075	0.0076	0.0055	0.0055
	3	0.0137	0.0094	0.0091	0.0067	0.0058	0.0054
3	1	0.0139	0.0118	0.0142	0.0155	0.0130	0.0102
	2	0.0141	0.0059	0.0158	0.0168	0.0124	0.0104
	3	0.0140	0.0112	0.0155	0.0156	0.0096	0.0088
4	1	0.0159	0.0138	0.0143	0.0132	0.0097	0.0054
	2	0.0158	0.0134	0.0127	0.0124	0.0037	0.0087
	3	0.0162	0.0124	0.0133	0.0130	0.0078	0.0070
5	1	0.0224	0.0165	0.0236	0.0119	0.0048	0.0058
	2	0.0216	0.0172	0.0159	0.0106	0.0052	0.0046
	3	0.0221	0.0204	0.0195	0.011	0.0049	0.0058
6	1	0.0260	0.0245	0.0226	0.0158	0.0121	0.0059
	2	0.0259	0.0232	0.0169	0.0151	0.0113	0.0081
	3	0.0267	0.0164	0.0240	0.0159	0.112	0.0076
7	1	0.0219	0.0212	0.0189	0.0159	0.0100	0.0077
	2	0.0212	0.0190	0.0209	0.0146	0.0099	0.0094
	3	0.0206	0.0148	0.0195	0.0157	0.0091	0.0080
8	1	0.0351	0.0281	0.0291	0.0263	0.0227	0.0163
	2	0.0322	0.0285	0.0293	0.0312	0.0203	0.0173
	3	0.0376	0.0300	0.0307	0.0336	0.0205	0.0180
9	1	0.0174	0.0146	0.0186	0.0311	0.0233	0.0165
	2	0.0219	0.0158	0.0143	0.0302	0.0225	0.0135
	3	0.0227	0.0146	0.0175	0.0303	0.0239	0.0184

Impedansi		3m			5m		
Case	Training	t-1	t-2	t-1 t-2	t-1	t-2	t-1 t-2
10	1	0.0220	0.0170	0.0145	0.0168	0.0122	0.0119
	2	0.0222	0.0196	0.0141	0.0170	0.0129	0.0113
	3	0.0218	0.0156	0.0143	0.0163	0.0128	0.0090

BIOGRAFI PENULIS



Shafirah Khairina Budiawan merupakan anak bungsu dari dua bersaudara dan lahir pada tanggal 06 Agustus tahun 1998 di kota Surabaya. Penulis lahir dan besar di kota Surabaya dan menempuh seluruh jenjang pendidikan di kota yang sama pula. Sebelum melanjutkan pendidikan ke S1 Teknik Elektro Institut Sepuluh Nopember Surabaya, penulis menempuh pendidikan di SMPN 1 Surabaya pada tahun 2010 dan selanjutnya di SMAN 5 Surabaya pada tahun 2013. Selama menempuh pendidikan di S1 Teknik Elektro, sejak tahun pertama penulis telah mengikuti berbagai kegiatan kepanitiaan pada tingkat departemen maupun tingkat institut. Pada tahun 2018 penulis aktif sebagai sekretaris ITS EXPO 2019 Kemudian pada tahun 2019 penulis juga menjabat sebagai asdir Kebijakan Publik, BEM-ITS. Pada tahun kedua masa perkuliahan penulis menjadi salah satu asisten Laboratorium Tegangan Tinggi dan selama menjadi asisten, penulis aktif mengembangkan kemampuan dalam bidang riset dan keilmiah.

Halaman ini sengaja dikosongkan