



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI MODUL DETEKSI  
ARCING TEGANGAN RENDAH BERBASIS WAVELET  
TRANSFORM MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER**

Dwika Widyantama  
NRP 2213100035

Dosen Pembimbing  
Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D.  
Daniar Fahmi, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



*---Halaman ini sengaja dikosongkan---*





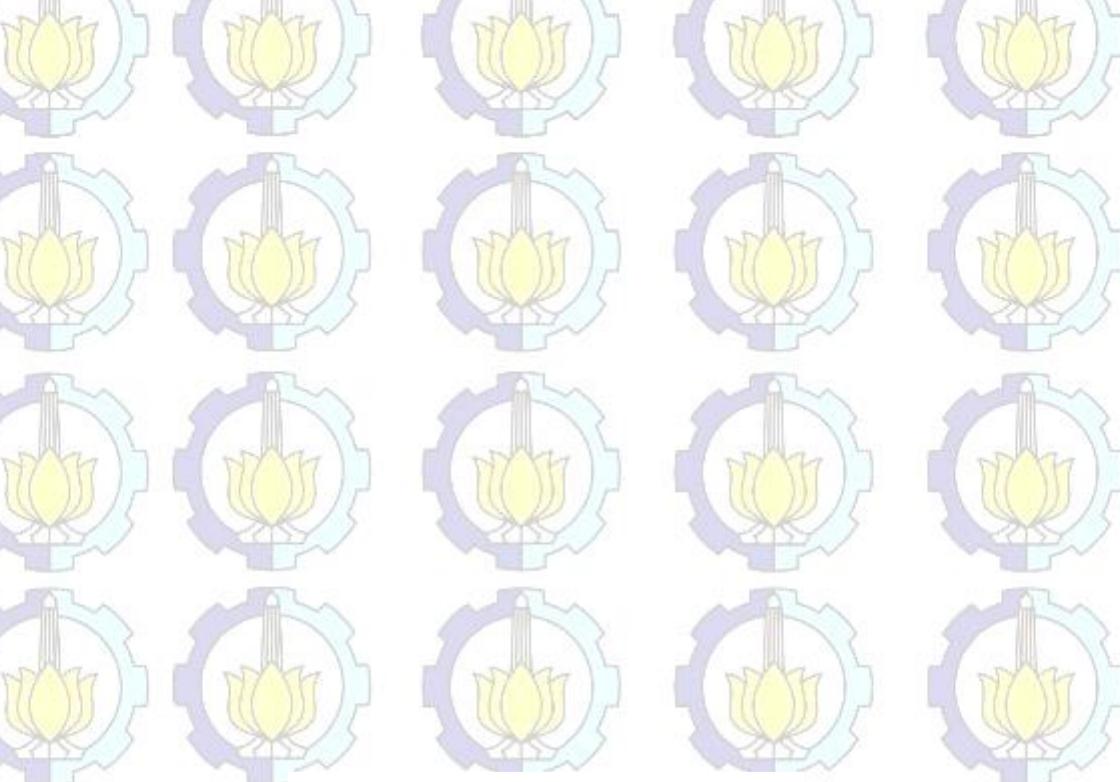
*FINAL PROJECT - TE 141599*

**DESIGN AND IMPLEMENTATION OF LOW VOLTAGE  
ARC-FAULT DETECTION MODULE BASED ON  
WAVELET TRANSFORM USING MICROCONTROLLER**

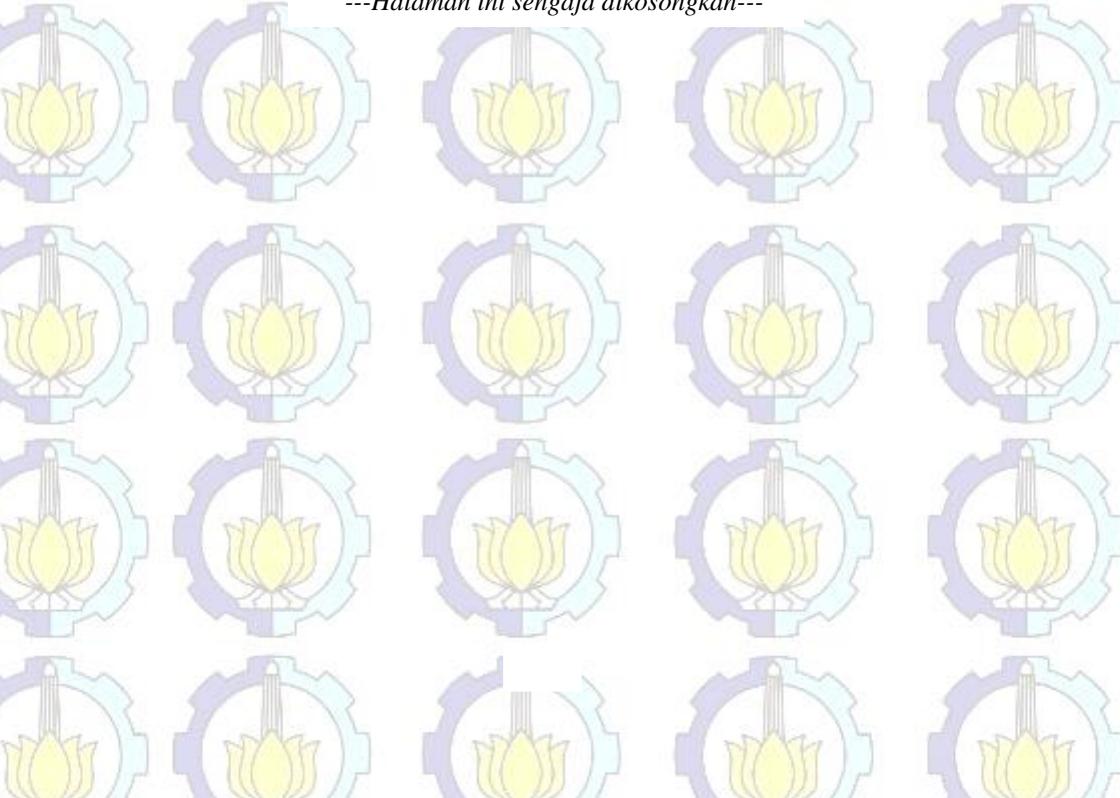
Dwika Widyantama  
NRP 2213100035

Advisor  
Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D.  
Daniar Fahmi, ST., MT.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Electrical Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



*---Halaman ini sengaja dikosongkan---*



## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan tugas akhir saya dengan judul **“Desain dan Implementasi Modul Deteksi Arcing Tegangan Rendah Berbasis Wavelet Transform Menggunakan Mikrokontroller”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan 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, 16 Oktober 2017



**Dwika Widyantama**

NRP. 2213100035



*---Halaman ini sengaja dikosongkan---*



**DESAIN DAN IMPLEMENTASI MODUL DETEKSI ARCING  
TEGANGAN RENDAH BERBASIS *WAVELET TRANSFORM*  
MENGUNAKAN MIKROKONTROLER**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I

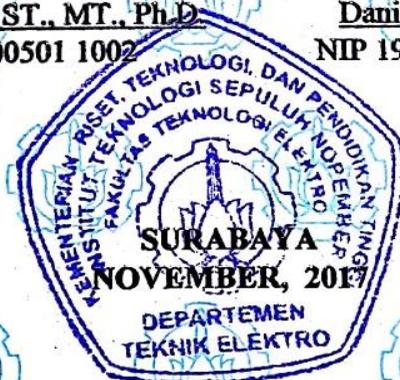
Dosen Pembimbing II

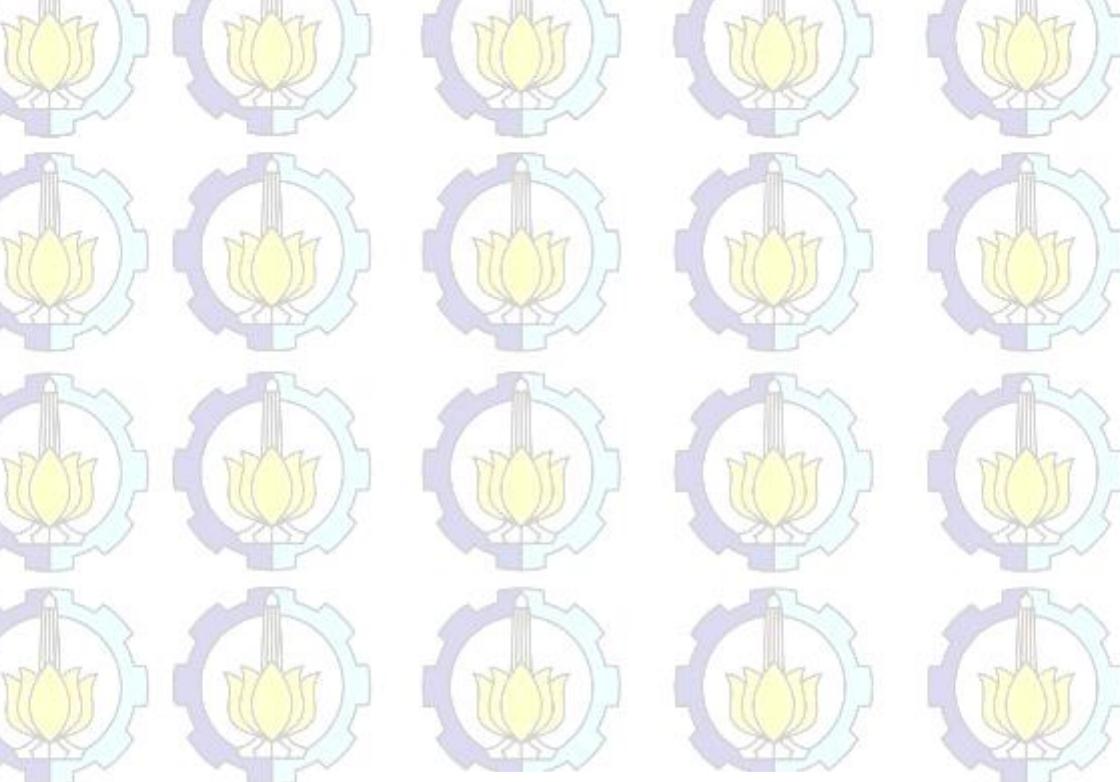
Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D

NIP 19810905 200501 1002

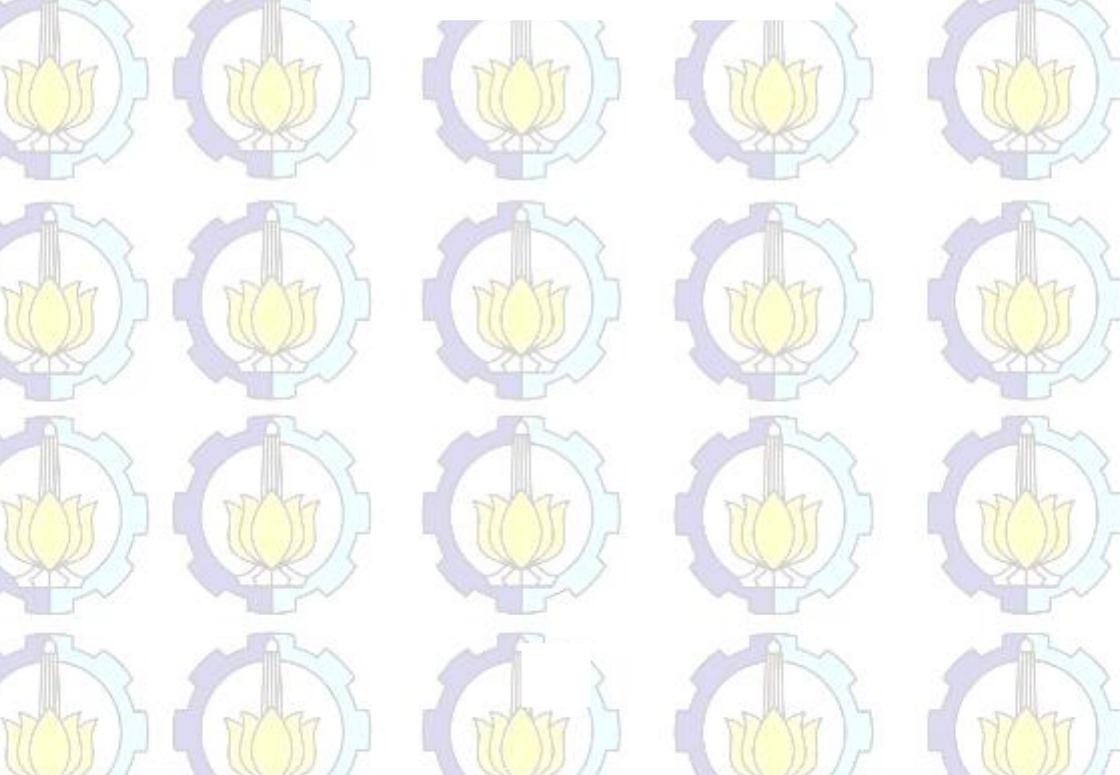
Daniar Fahmi, ST., MT.

NIP 19890925 201404 1002





*---Halaman ini sengaja dikosongkan---*



# DESAIN DAN IMPLEMENTASI MODUL DETEKSI ARCING TEGANGAN RENDAH BERBASIS WAVELET TRANSFORM MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER

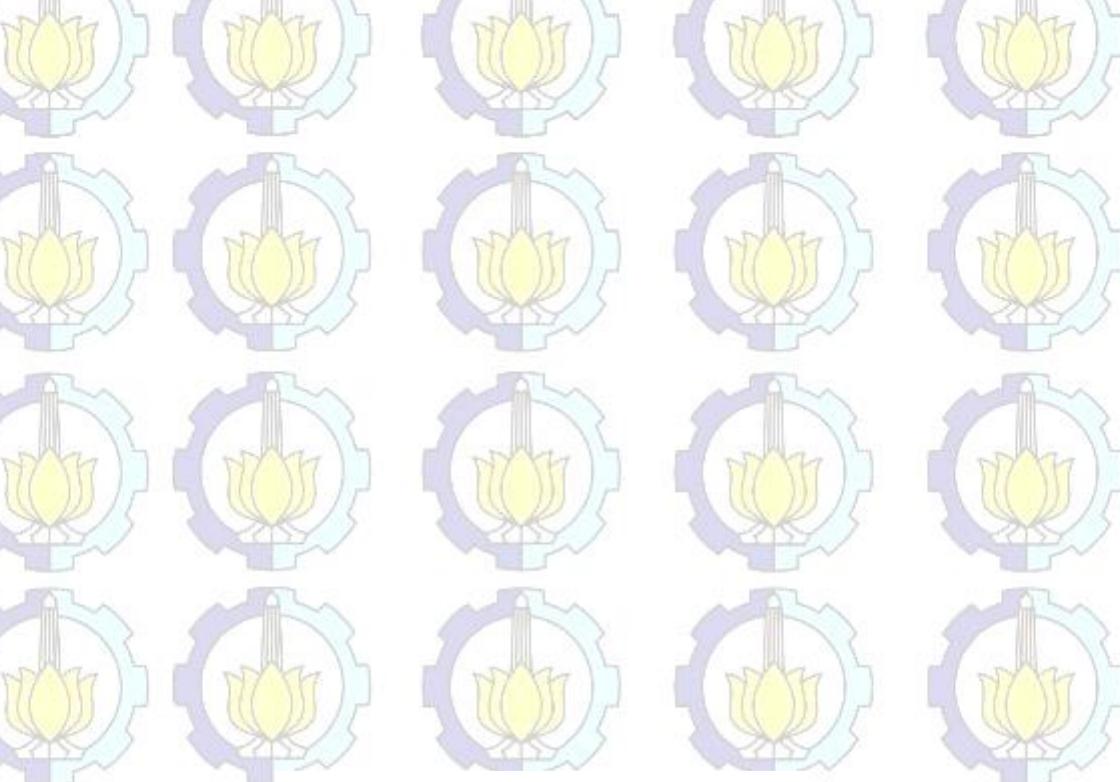
**Nama Mahasiswa** : Dwika Widyantama  
**NRP** : 2213100035  
**Dosen Pembimbing I** : Dr. Dimas Anton Asfani, S.T, M.T.,  
Ph.D.  
**Dosen Pembimbing II** : Daniar Fahmi, ST., MT.

## ABSTRAK

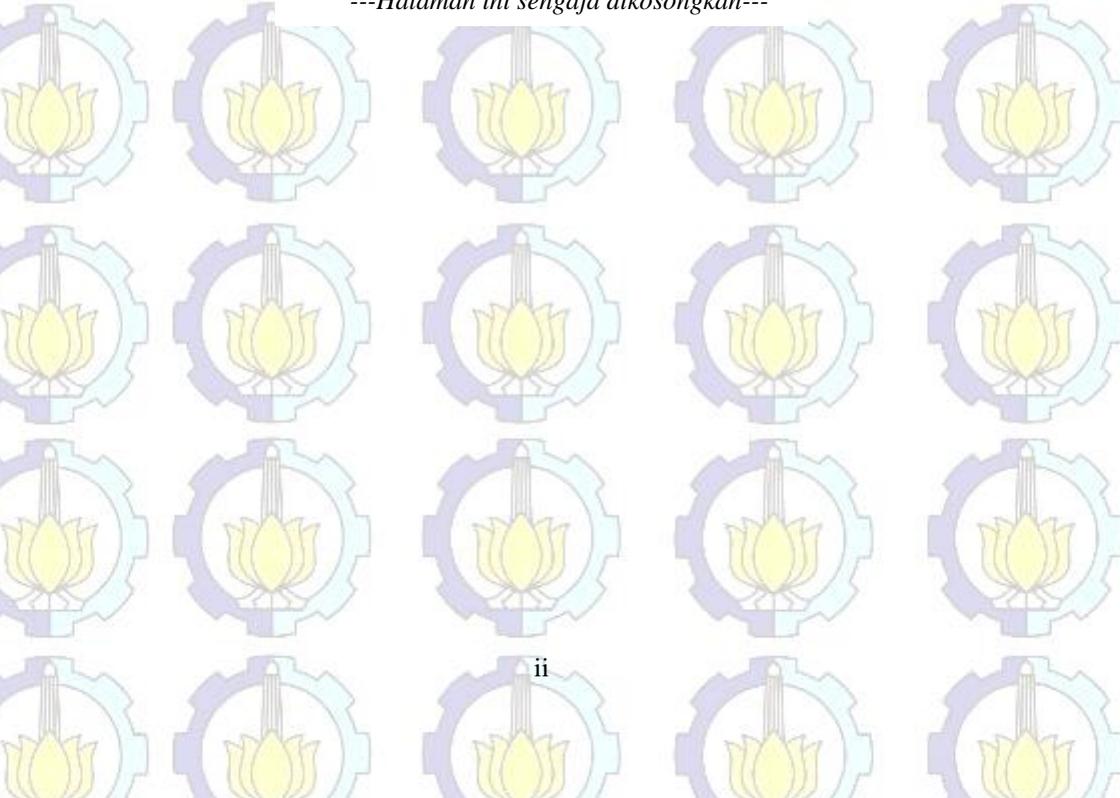
Instalasi kelistrikan pada pemukiman telah menjadi kebutuhan utama setiap lapisan masyarakat. Kegagalan kelistrikan pada instalasi listrik perumahan merupakan penyebab utama bencana kebakaran pada area perumahan. Korsleting listrik yang dapat secara langsung menimbulkan kebakaran adalah peristiwa munculnya busur api (*arc flash*) pada peralatan kelistrikan yang menyebabkan terjadinya percikan api penyulut kebakaran.

Busur api (*arc flash*) merupakan suatu peristiwa lompatan elektron antara gap dari dua buah konduktor berdekatan yang terpapar secara langsung. Busur api terjadi pada saat terjadinya hubung singkat pada sistem kelistrikan yang tidak dapat diamankan oleh peralatan pengaman konvensional seperti fuse dan CB (*Circuit Breaker*). Penyebabnya adalah ketidakmampuan pengaman untuk mendeteksi arus hubung singkat dengan durasi yang sangat singkat. Untuk itu dalam Tugas Akhir ini berusaha membuat sebuah modul deteksi busur api tegangan rendah yang dapat mendeteksi arus hubung singkat dengan durasi yang singkat menggunakan mikrokontroler. Data dari arus saat pengujian terjadi hubung singkat akan dibandingkan dengan arus normal dan akan diproses menggunakan metode *wavelet transform* dan menggunakan sinyal hasil high frequency untuk menganalisa sinyal gangguan. Dari hasil pengujian didapatkan parameter yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi kondisi adalah arus HF dengan *threshold* 1.5 A dan jumlah titik gangguan digunakan untuk mengklasifikasikan gangguan arcing.

**Kata kunci:** *arc-fault*, transformasi wavelet, high frequency, arus, mikrokontroler



*---Halaman ini sengaja dikosongkan---*



# DESIGN AND IMPLEMENTATION OF ARC-FAULT DETECTION MODULE BASED ON WAVELET TRANSFORM USING MICROCONTROLLER

**Name** : Dwika Widyantama  
**NRP** : 2213100035  
**Advisor I** : Dr. Dimas Anton Asfani, S.T, M.T.,  
Ph.D.  
**Advisor II** : Daniar Fahmi, ST., MT.

## **ABSTRACT**

Electrical installation in rural areas have become a necessity for people. Electrical failures in electrical installation is one of the common cause for fire hazard in rural areas. Faulty electricity that directly contributes to fire hazard is arc flash in electrical installation.

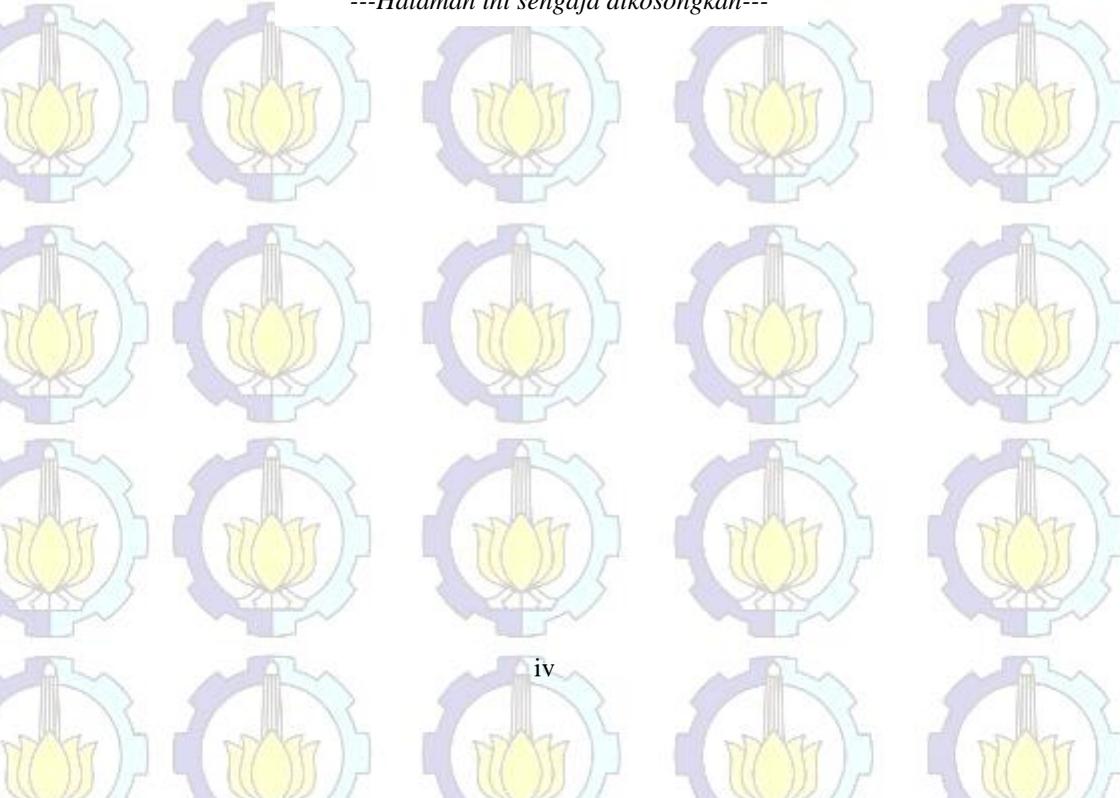
Arc flash an arc flash is a phenomenon where a flashover of electric current leaves its intended path and travels through the air. Arc flash occur when there is short circuit in the electrical system that a conventional protection device such as Miniature Circuit Breaker or Fuse cannot contain the fault. The reason being that the arc fault has a characteristic of really short duration thus conventional protection device cannot interrupt on time. In this Final Assignment we try to design and build a prototype of arc fault detector module using microcontroller.

The current when the fault occurs will be measured and analyzed using wavelet transform signal processing, the high frequency detail current signal will be used as a main parameter to identify arc fault. From the experiments conducted, is concluded that the arcing fault will have the characteristic of: HF Current is higher than 1.5 A and numbers of fault points that exceeded the 1.5 A threshold is  $> 13$ . From then a simple algorithm is developed to classify the arcing fault into three categories, the algorithm then embedded in the microcontroller module. From tests conducted, the arc fault detection prototype has 90% accuracy of defining the fault's categories.

**Keyword:** arc fault, wavlet transform, high frequency, current, microcontroller



*---Halaman ini sengaja dikosongkan---*



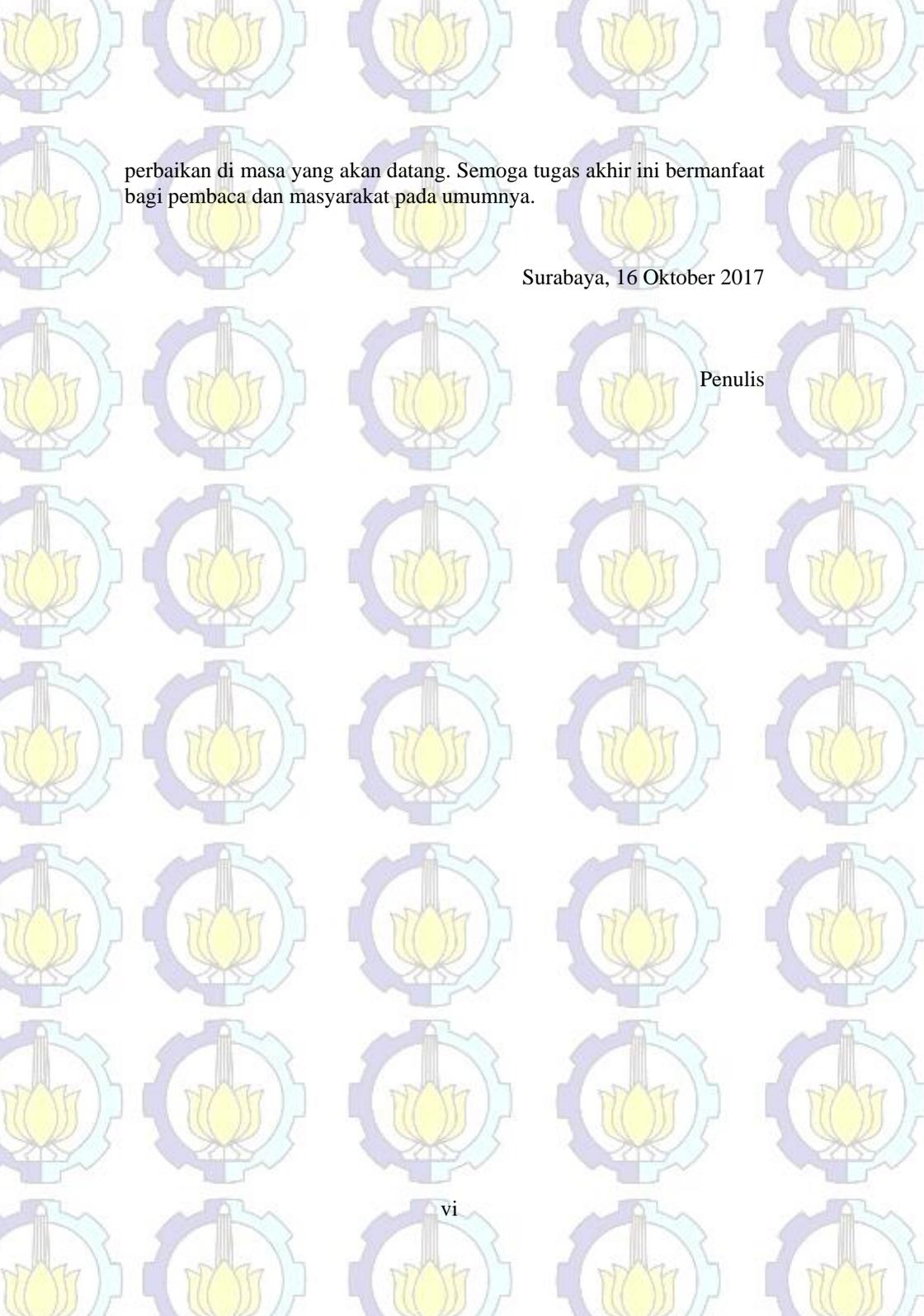
## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan tepat waktu. Shalawat serta salam semoga selalu dilimpahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan umat muslim yang senantiasa meneladani beliau.

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan guna menyelesaikan pendidikan Sarjana pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang berjudul: “Desain dan Implementasi Modul Deteksi Arcing Tegangan Rendah Berbasis Wavelet Transform Menggunakan Mikrokontroler” Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Kuasa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya.
2. Kedua orang tua saya Bapak Mulyanto, dan Ibu wiwik Widyaningsih yang telah memberikan dukungan yang menjadi semangat utama saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, Kakak Yustiadenta serta seluruh keluarga besar yang tak terlukiskan jasanya dalam mendampingi saya hingga menjadi seorang sarjana.
3. Bapak Dimas Anton Asfani, S.T, M.T., Ph.D. dan Daniar Fahmi, ST., MT., selaku dosen pembimbing yang telah banyak membantu dan berbagi ilmu selama penelitian tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T, M.Eng. selaku Ketua Jurusan serta seluruh dosen dan karyawan yang telah memberikan banyak ilmu dan bantuannya selama proses perkuliahan di Teknik Elektro ITS.
5. SITAPA dan Beta House serta kawan kawan perantauan yang senantiasa membantu memberikan semangat dalam penulisan tugas akhir ini.
6. Teman-teman asisten Laboratorium Tegangan Tinggi yang telah banyak membantu dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
7. Seluruh keluarga besar e-53 atas semangat dan motivasi selama 4 tahun di jurusan teknik elektro.
8. Pihak-pihak lain yang belum bisa penulis sebutkan satu per satu yang ikut membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan masukan sangat diharapkan untuk



perbaiki di masa yang akan datang. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan masyarakat pada umumnya.

Surabaya, 16 Oktober 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b>	
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

1.1	Latar Belakang .....	1
1.2	Rumusan Masalah .....	2
1.3	Tujuan .....	2
1.4	Batasan Masalah .....	3
1.5	Metodologi .....	3
1.6	Relevansi .....	4
1.7	Sistematika Penulisan .....	4

### **BAB 2 KEGAGALAN ARCING, TRANSFORMASI WAVELET DAN KARAKTERISTIK ARCING**

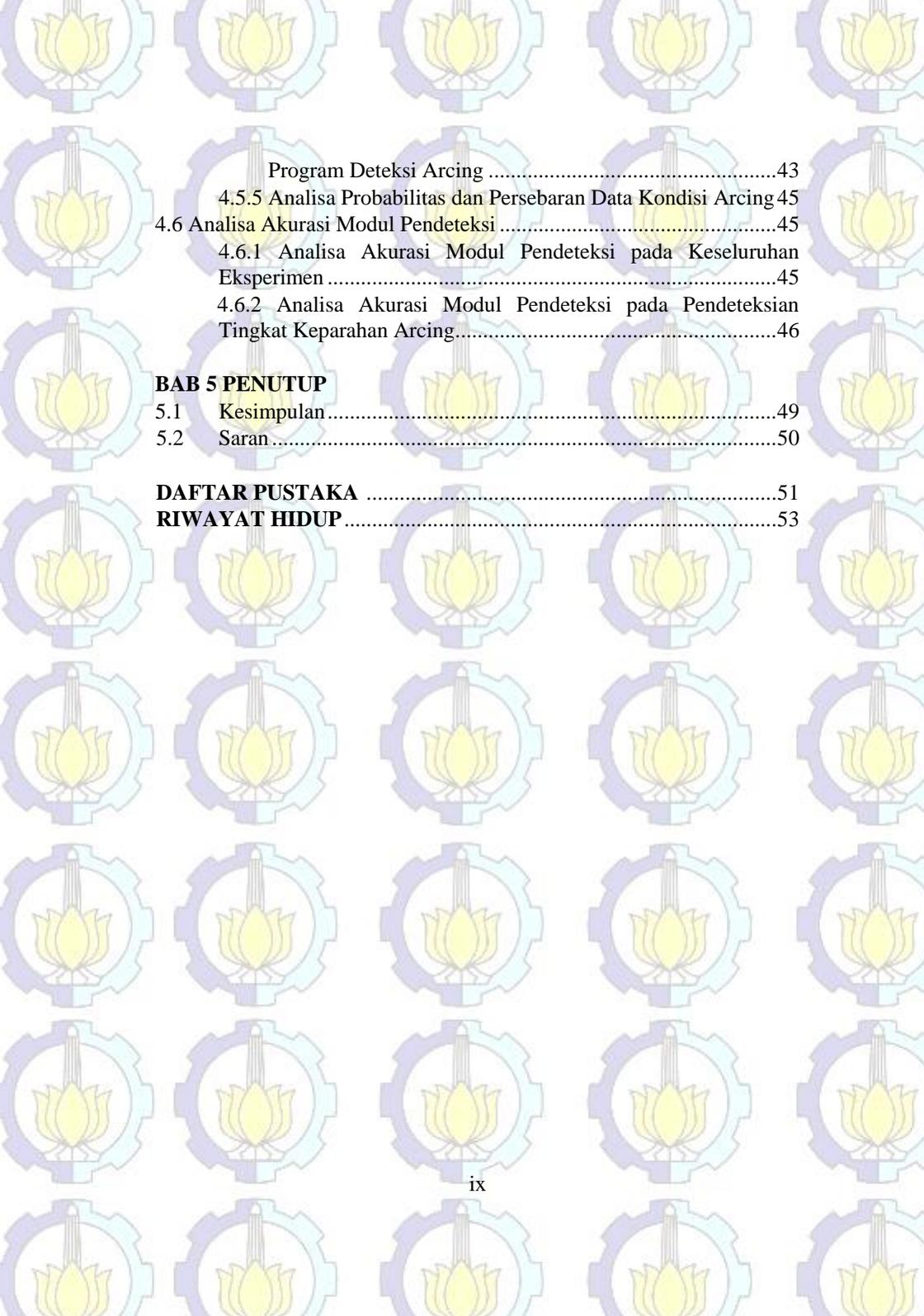
2.1	Kegagalan Arcing .....	6
2.1.1	Kegagalan Arcing pada Tegangan Rendah .....	6
2.1.2	Peristiwa Busur Api Listrik (Arcing) .....	6
2.1.3	Busur Api Listrik Sebagai Penyebab Kebakaran .....	8
2.1.4	Jenis Gelombang Arcing .....	9
2.2	Transformasi Wavelet .....	10
2.2.1	Definisi Transformasi Wavelet .....	10
2.2.2	Transformasi Wavelet Diskrit .....	10
2.3	Karakteristik Busur Api Listrik pada Beban Resistif .....	11
2.4	Metode Pendeteksian Menggunakan Transformasi Wavelet dan Algoritma Pemrograman pada Mikrokontroler .....	12

### **BAB 3 PERANCANGAN ALAT EKSPERIMEN, PENGAMBILAN DAN PENGOLAHAN DATA**

3.1	Perancangan Alat Eksperimen.....	14
3.1.1	Beban Lampu 100 Watt Sebanyak 10 Buah.....	15
3.1.2	Arc Chamber Berbahan Akrilik.....	16
3.1.3	Kabel Konduktor Serabut NYMHY 2x1,5mm <sup>2</sup> .....	16
3.1.4	<i>Current Transformer</i> (CT).....	17
3.1.5	<i>Miniature Circuit Breaker</i> (MCB).....	18
3.1.6	Mikrokontroler STM32F4 Discovery.....	18
3.2	Perancangan Modul Pendeteksi.....	18
3.3	Pengambilan Data.....	20

### **BAB 4 HASIL DAN ANALISA**

4.1	Mekanisme Pengujian Saat Kondisi Normal, Kondisi Switching dan Arcing.....	22
4.2	Skema Percobaan Karakteristik Arus Saat Kondisi Normal, Switching dan Hubung-Singkat Tegangan Rendah.....	26
4.3	Grafik Asli Sinyal Kondisi Normal, <i>Switching</i> dan <i>Arcing</i> .....	25
4.3.1	Grafik Sinyal Asli Kondisi Normal.....	25
4.3.2	Grafik Sinyal Asli Kondisi Switching.....	25
4.3.3	Grafik Sinyal Kondisi Arcing.....	26
4.4	Analisis Data Karakteristik Kondisi Normal dan Switching Pada Tegangan Rendah.....	26
4.4.1	Pengolahan Data Dengan DWT.....	26
4.4.2	Perbandingan Arus Maksimum dan Banyaknya Jumlah Titik Gangguan Kondisi Normal dan Switching.....	27
4.4.3	Analisa Deteksi Kondisi Penambahan Beban ( <i>Switching</i> ) pada Program Deteksi Arcing.....	31
4.4.4	Analisa Probabilitas Persebaran Data.....	32
4.5	Analisis Data Karakteristik Busur Api Listrik ( <i>Arcing</i> ) Tegangan Rendah pada Hubung Singkat Langsung.....	33
4.5.1	Pengolahan Data Dengan DWT.....	33
4.5.2	Arus Maksimum dan Banyaknya Jumlah Titik Gangguan.....	34
4.5.3	Arus Maksimum HF, Durasi dan Energi.....	41
4.5.4	Analisa Deteksi Kondisi Hubung Singkat ( <i>Arcing</i> ) Pada.....	



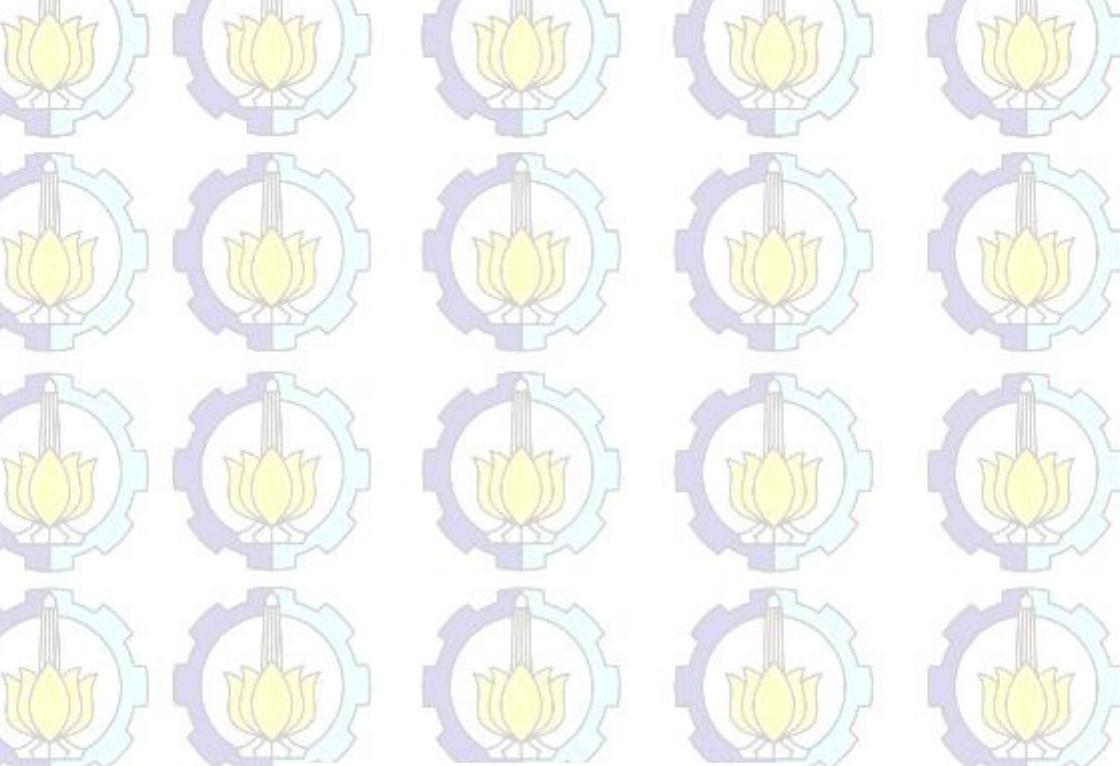
Program Deteksi Arcing .....	43
4.5.5 Analisa Probabilitas dan Persebaran Data Kondisi Arcing	45
4.6 Analisa Akurasi Modul Pendeteksi .....	45
4.6.1 Analisa Akurasi Modul Pendeteksi pada Keseluruhan Eksperimen .....	45
4.6.2 Analisa Akurasi Modul Pendeteksi pada Pendeteksian Tingkat Keperahan Arcing.....	46

**BAB 5 PENUTUP**

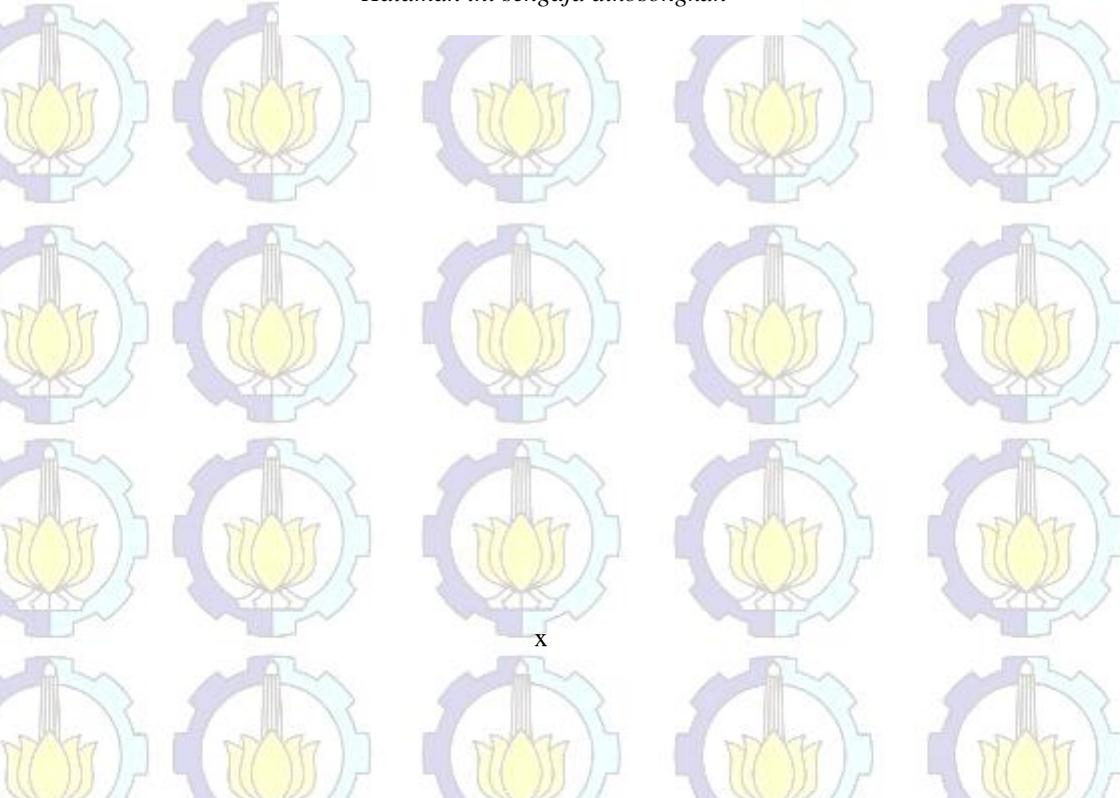
5.1 Kesimpulan .....	49
5.2 Saran .....	50

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	51
-----------------------------	----

<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	53
----------------------------	----

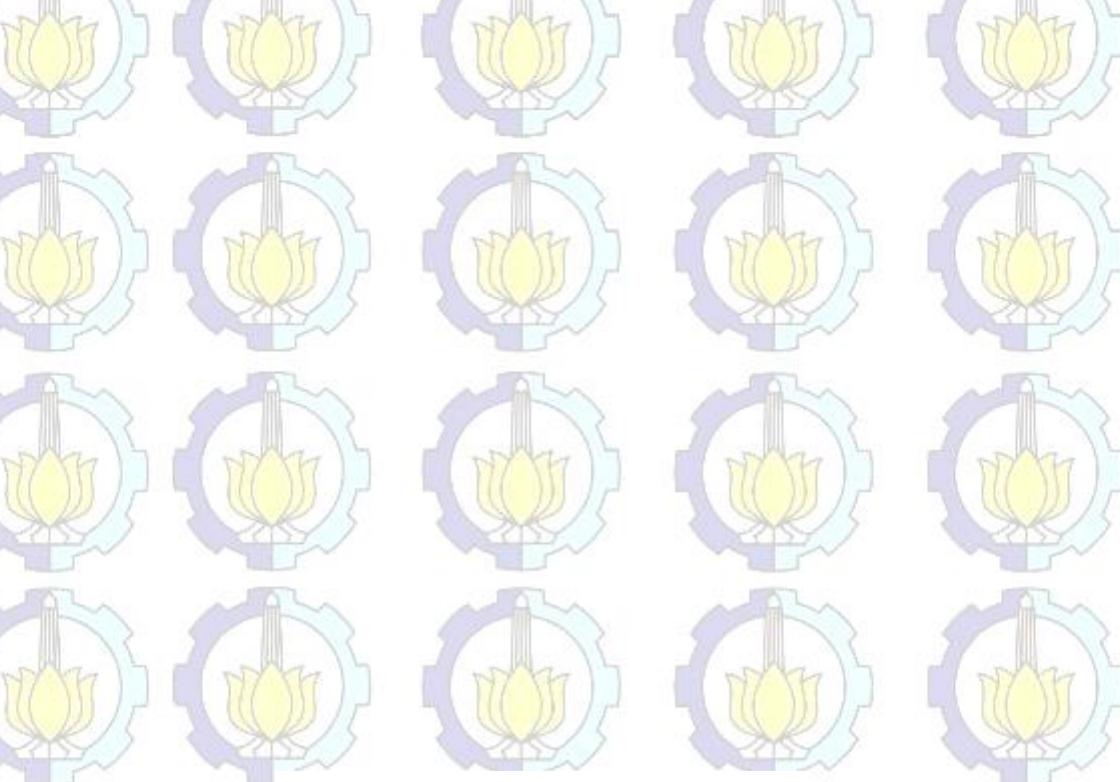


*---Halaman ini sengaja dikosongkan---*

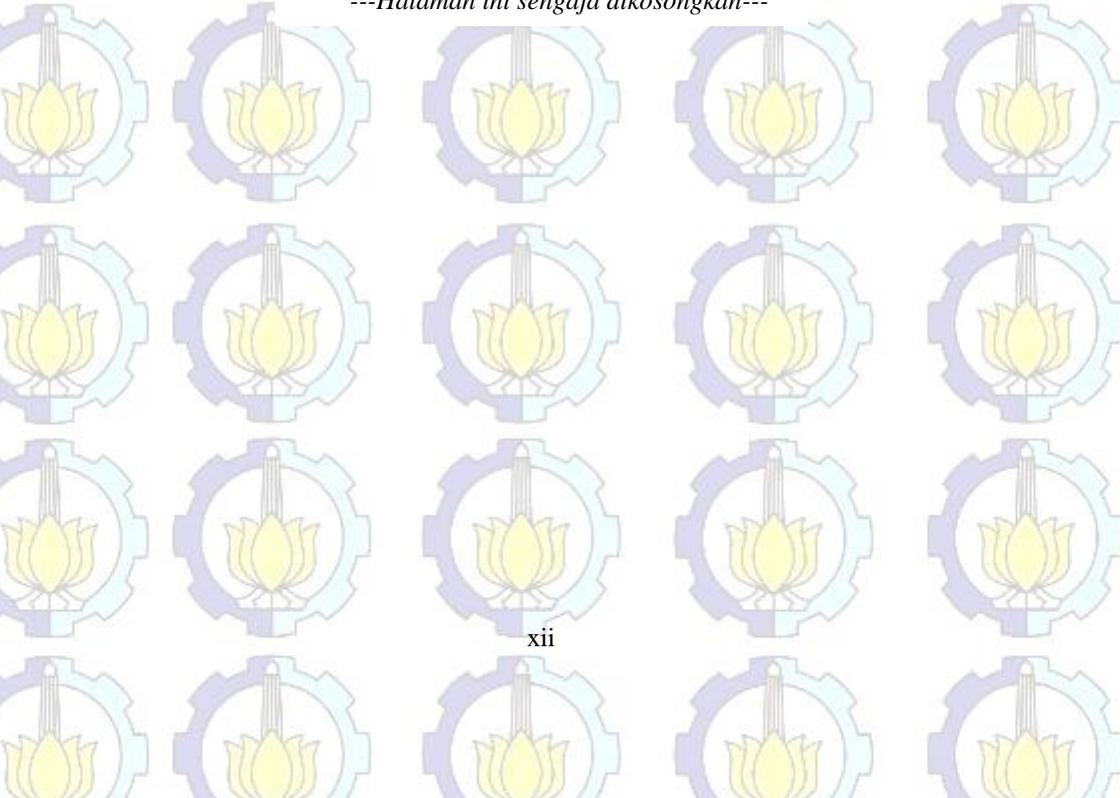


## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Busur api akibat kegagalan arcng .....	7
Gambar 2.2.	Ilustrasi Pengolahan Sinyal dengan DWT .....	11
Gambar 3.1.	Skema Rangkaian Pengujian .....	14
Gambar 3.2.	Alat Eksperimen Busur Api Listrik pada Tegangan Rendah.....	15
Gambar 3.3.	Rangkaian Beban Lampu.....	16
Gambar 3.4	Rangkaian Modul Pendeteksi .....	19
Gambar 3.5	Flowchart program Pendeteksi .....	20
Gambar 3.6	Tampilan Hasil Pengambilan Data Arus dari Modul.....	21
Gambar 4.1.	Mekanisme Pengujian Hubung Singkat.....	23
Gambar 4.2.	Grafik Sinyal Asli Kondisi Normal .....	25
Gambar 4.3.	Grafik Sinyal Asli Kondisi Switching .....	25
Gambar 4.4.	Grafik Sinyal Asli Kondisi Switching .....	26
Gambar 4.5.	Sinyal Kondisi Normal Diproses Menggunakan DWT.....	30
Gambar 4.6.	Indikator Modul Saat Switching .....	32
Gambar 4.7.	Persebaran Data Kondisi Switching.....	32
Gambar 4.8.	Sinyal Hasil Pengolahan DWT .....	33
Gambar 4.9.	Grafik Arcng 1 Serabut.....	38
Gambar 4.10.	Grafik Arcng 3 Serabut.....	38
Gambar 4.11.	Grafik Arcng 6 Serabut.....	39
Gambar 4.12.	Grafik Arcng 12 Serabut.....	39
Gambar 4.13.	Grafik Arcng 24 Serabut.....	39
Gambar 4.14.	Indikator Modul Pendeteksi saat Kondisi Arcng Kategori “Medium” .....	39
Gambar 4.15.	Grafik Persebaran Data Kondisi Arcng.....	41



*---Halaman ini sengaja dikosongkan---*

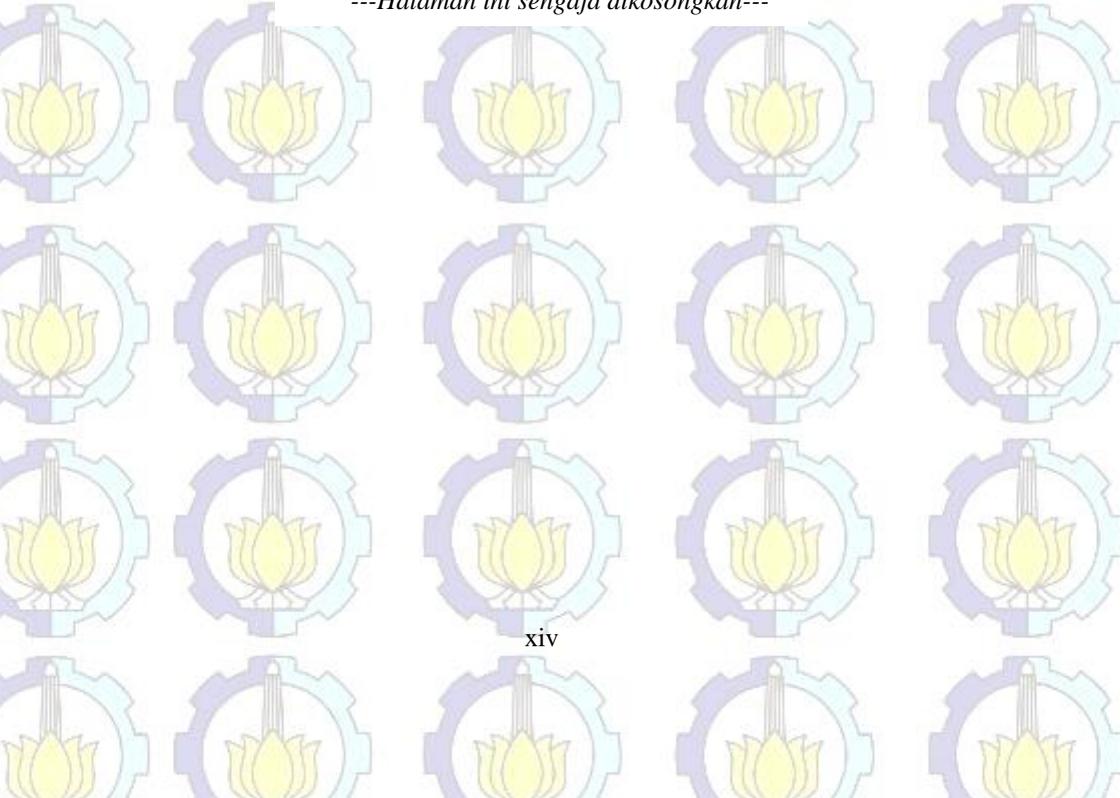


## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.	Spesifikasi CT.....	17
Tabel 4.1.	Deskripsi Jumlah Percobaan.....	24
Tabel 4.2.	Perbandingan HF Maksimum kondisi Normal dan Switching.....	28
Tabel 4.3.	Data Arus HF Maksimum dan Jumlah Titik Gangguan Eksperimen Arcing.....	34
Tabel 4.4	Data Percobaan Pelepasan Energi Arcing.....	41
Tabel 4.5	Kategori Arcing Berdasarkan Energi.....	43
Tabel 4.6.	Tabel Logika Pendeteksian Kondisi Arcing.....	40
Tabel 4.7	Jumlah Percobaan dan Tingkat Akurasi.....	42
Tabel 4.8	Percobaan Pengkalsifikasian dan Tingkat Akurasi.....	43



*---Halaman ini sengaja dikosongkan---*



# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Energi listrik telah menjadi kebutuhan utama bagi seluruh masyarakat. Kebutuhan listrik di Indonesia terus meningkat dari tahun ke tahun, ditunjukkan dengan jumlah rumah yang telah dilayani PLN pada tahun 2010 adalah sejumlah 39.111 meningkat menjadi 56.311 pelanggan pada tahun 2015 [1]. Penyediaan listrik ini berkembang seiring dengan jasa instalasi listrik pada pemukiman. Namun dengan bertambahnya instalasi listrik resiko terjadinya bencana yang disebabkan oleh masalah kelistrikan juga turut meningkat. Kualitas instalasi listrik yang kurang baik dapat menyebabkan gangguan-gangguan

Masalah utama yang sering terjadi pada instalasi listrik pemukiman adalah korsleting listrik. Korsleting listrik menjadi masalah yang perlu diperhatikan karena potensinya untuk menjadi pemicu kebakaran. Berdasarkan data BNPB (Badan Penanggulangan Bencana Nasional) dari tahun 2011 hingga 2015 terjadi 431 kasus dari 979 kasus kebakaran yang disebabkan oleh masalah kelistrikan [2]. Kebakaran karena korsleting listrik disebabkan oleh busur api yang terjadi pada saat hubung singkat. Kebakaran yang terjadi

Busur api (arc flash) merupakan suatu peristiwa lompatan electron antara gap dari dua buah konduktor berdekatan yang terpapar secara langsung [3]. Busur api terjadi pada saat terjadinya hubung singkat pada sistem kelistrikan yang tidak dapat diamankan oleh peralatan pengaman yang konvensional seperti fuse dan CB (Circuit Breaker). Penyebab kegagalan alat pengaman konvensional adalah ketidakmampuan pengaman untuk mendeteksi gangguan tersebut. Gangguan hubung singkat arus hubung singkat dengan durasi yang sangat singkat.

Dari permasalahan tersebut akan didesain modul deteksi arc flash menggunakan mikrokontroler. Media pemrosesan mikrokontroler dipilih karena keunggulannya dalam kecepatan memproses data [4]. Akan dilakukan pengujian menggunakan modul arcing dengan kondisi normal, switching dan arc fault. Sinyal arus rangkaian kemudian diproses menggunakan metode transformasi wavelet untuk mendeteksi apakah terjadi arc fault atau tidak. Dari paparan tersebut maka dapat dirumuskan

beberapa permasalahan yang harus dipecahkan yaitu bagaimana perbandingan arus saat kondisi normal, switching dan hubung singkat. Serta bagaimana cara mengolah data sinyal saat arus normal dan arus saat hubung singkat untuk menentukan terjadinya hubung singkat menggunakan mikrokontroler.

Dalam menyelesaikan permasalahan pada eksperimen ini diperlukan batasan permasalahan. Sistem tegangan rendah 220 V dengan tegangan jala-jala dari PLN. Pengambilan data serta pengolahan data akan dilakukan secara langsung pada mikrokontroler sehingga data output yang digunakan untuk menganalisa berupa data apakah rangkaian tersebut mengalami gangguan atau tidak. Eksperimen ini berfokus pada tingkat keberhasilan atau akurasi dari modul deteksi arcing dalam mendeteksi adanya gangguan arcing.

Pengambilan data akan dilakukan secara online dan langsung diproses didalam mikrokontroler menggunakan program yang didesain, dimana modul tersebut nantinya akan memberikan output berupa text yang ditampilkan pada

Hasil dari percobaan ini adalah terciptanya modul deteksi arcing yang dapat digunakan secara online serta mengklasifikasikan kedalam kategori keparahan gangguan berdasarkan jumlah serabut kabel yang erhubung singkat dan dapat mendeteksi terjadinya gangguan arcing pada suatu rangkaian serta membedakannya dari kondisi normal maupun switching.

## **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana merancang modul pendeteksi yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi dan menentukan kategori keparahan arcing?
2. Seberapa efektif modul pendeteksi yang telah dirancang

## **1.3 Tujuan**

Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Perancangan modul pendeteksi arcing tegangan rendah yang dapat memberikan output pendeteksian saat rangkaian uji mengalami kondisi normal, switching dan arcing. Dalam pendeteksian arcing modul pendeteksi diharapkan dapat memberikan output kategori

- tingkat keparahan gangguan arcing berdasarkan jumlah serabut kabel.
2. Mengetahui akurasi pendeteksian modul yang telah dirancang.

#### **1.4 Batasan Masalah**

1. Busur api listrik (arcing) yang diteliti hanya busur api tegangan rendah
2. Penentuan parameter dan pengklasifikasian gangguan berdasarkan pada percobaan yang dilakukan pada rangkaian modul pengujian
3. Menggunakan mikrokontroler sebagai media pemroses sinyal menggunakan transformasi wavelet

#### **1.5 Metodologi**

Penulisan Tugas Akhir ini menggunakan metodologi:

1. Studi Literatur  
Terdapat beberapa kegiatan yaitu pengumpulan referensi berupa buku ataupun jurnal untuk mencari pengertian, tahapan-tahapan yang mendukung dan berhubungan dengan eksperimen tugas akhir ini. Berikut kata kunci yang penting dalam eksperimen ini adalah fenomena arcfash, arus hubung singkat, pemrograman mikrokontroler, dan transformasi wavelet. Literatur-literatur yang sesuai dengan kata kunci akan dikutip sebagian isinya sebagai pendukung dalam eksperimen ini.
2. Perancangan Modul Pendeteksi  
Perangkat modul pendeteksi dirancang untuk dapat membaca serta memroses sinyal arus yang terdapat pada rangkaian pengujian saat terjadi ketiga kondisi pengujian yaitu normal, swiching dan arcing.
3. Pengumpulan Parameter-Parameter Arcing Hubung Singkat yang Terdeksi  
Pada tahapan ini dilakukan pengujian kondisi yang telah dirancang pada rangkaian pengujian. Hasil dari pengujian ini berupa data-data karakteristik dan parameter arus saat ketiga kondisi terjadi. Dari data-data yang dikumpulkan tersebut dapat dirancang parameter yang nantinya digunakan sebagai dasar algoritma pendeteksian.

4. Perancangan dan Implementasi Algoritma Pendeteksian pada Modul Pendeteksi  
Dari data yang diperoleh pada percobaan pengumpulan data, maka dirancang algoritma pendeteksian berdasarkan data tersebut, kemudian diterapkan parameter-parameter nilai seperti threshold arus dan threshold titik gangguan. Serta klasifikasi gangguan arcing kedalam kategori tingkat keparahan berdasarkan jumlah serabut kanel yang diujikan.
5. Pengujian Modul Pendeteksi  
Pada tahap ini dilakukan pengujian pada modul pendeteksi. Pengujian dilakukan dalam beberapa tahap yaitu pada tahap pertama modul pendeteksi diuji apakah dapat memberikan output sesuai dengan membedakan antara kondisi normal, swiching dan arcing. Kemudian pengujian dilanjutkan dengan menguji akurasi modul pendeteksi dalam mengkategorikan tingkat keparahan gangguan arcing
6. Analisa dan Evaluasi Hasil Pengujian Modul Pendeteksi  
Dalam tahap ini dilakukan analisa pada tingkat keberhasilan dan data yang telah diperoleh dari percobaan..

## **1.6 Relevansi**

Penelitian ini bermanfaat untuk membuat desain dan implementasi modul pendeteksi besaran arcing pada hubung singkat tegangan rendah sehingga dapat digunakan untuk mendeteksi saat terjadinya arcing serta mengklasifikasikan gangguan arcing sesuai tingkat keparahan, agar dapat menjadi dasar desain peralatan pengamanan arcing tegangan rendah

## **1.7 Sistematika Penulisan**

Untuk memudahkan dalam pembahasan yang akan dilakukan, studi ini dibagi menjadi lima bab.

Bab pertama merupakan pendahuluan yang meliputi pembahasan latar belakang, perumusan masalah, tujuan, metodologi, sistematika pembahasan dan relevansi dari penulisan.

Bab kedua akan membahas tentang teori yang digunakan dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, yaitu kabel tegangan rendah, fenomena busur api listrik, transformasi wavelet, dan penggunaan mikrokontroler.



Bab ketiga akan dibahas mengenai metodologi yang digunakan dalam pengerjaan studi ini. Antara lain, perancangan alat, metode pengambilan data, metode pengolahan data dan metode penampilan data.

Bab keempat akan memaparkan hasil percobaan yang telah dilakukan dan menganalisis hasil percobaan tersebut sehingga dapat diketahui bagaimana karakteristik arus yang dapat dideteksi secara online oleh modul deteksi.

Bab kelima berisi kesimpulan dari hasil Analisa data yang didapat dari percobaan dan saran dari studi yang telah dilakukan.



*---Halaman ini sengaja dikosongkan---*

## BAB 2

# KEGAGALAN ARCING, TRANSFORMASI WAVELET DAN KARAKTERISTIK ARCING

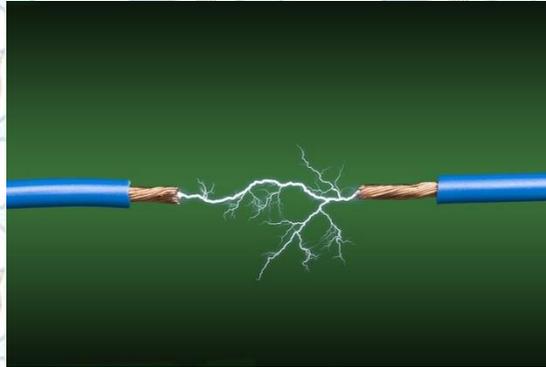
### 2.1 Kegagalan Arcing

#### 2.1.1 Kegagalan Arcing pada Tegangan Rendah

Sebagai sumber energi utama pada pengguna/konsumen perumahan, ketersediaan listrik dan peralatannya menjadi bagian penting dalam kehidupan masyarakat sehari-hari. Instalasi kelistrikan tidak lepas dari resiko kerusakan atau kegagalan yang selalu ada, sehingga dalam aplikasinya dibutuhkan peralatan pengaman.

Kegagalan yang sering terjadi dalam penggunaan kelistrikan contohnya adalah overload, hubung singkat, dan arus bocor. Kegagalan-kegagalan tersebut dicegah menggunakan peralatan pengaman MCB (Miniature Circuit Breaker). Peralatan – peralatan pengaman bekerja mendeteksi gangguan (overload dan short-circuit) dengan membandingkan perbedaan arus yang diukur pada konduktor fasa dan konduktor netral dengan suatu nilai batas atau treshold.

Busur api (*arc flash*) merupakan suatu peristiwa lompatan electron antara *gap* dari dua buah konduktor berdekatan yang terpapar secara langsung sehingga menimbulkan fenomena pelepasan energi yang berbentuk panas dan cahaya dari proses ionisasi (perbanyak elektron) yang terjadi di udara dari sebuah bahan atau material. Gap konduktor dapat berupa dua buah kabel terkupas yang saling berdekatan, atau pemasangan stop kontak yang terlalu banyak dan tidak sesuai ukuran. Busur api muncul pada saat terjadinya hubung singkat pada sistem kelistrikan yang tidak dapat diamankan oleh peralatan pengaman yang konvensional seperti fuse dan CB (*Circuit Breaker*). Penyebab kegagalan alat pengaman konvensional adalah ketidakmampuan pengaman untuk mendeteksi arus hubung singkat dengan durasi yang sangat singkat.



**Gambar 2.1.** Busur api akibat kegagalan arcing

*Arc fault* merupakan salah satu penyebab kebakaran yang merugikan setiap tahunnya, ini terjadi karena peralatan pengaman tradisional (MCB) tidak dapat dengan sempurna memutuskan rangkaian pada setiap saat karena durasi yang sangat cepat ketika terjadi *arcving* [4]. Jika terjadi gangguan tanpa arus yang besar atau durasi yang terlalu pendek untuk dideteksi oleh peralatan pengaman yang biasa digunakan pada sistem tegangan rendah dan dapat berpotensi munculnya api. MCB hanya dapat mendeteksi gangguan seperti arus sisa, arus hubung singkat dan arus lebih namun tidak dapat melindungi dari gangguan *arc flash* [4]. Sehingga dari ketiga pengertian dan penyebab *arcving* dibutuhkan metode serta alat yang dapat mendeteksi arus gangguan dan *arcfault* yang sangat tinggi dengan frekuensi yang tinggi.

### **2.1.2 Peristiwa Busur Api Listrik (*Arcing*)**

Penyebab utama dalam terjadinya busur api adalah 2 konduktor yang berbeda potensial bersentuhan satu antara lainnya. Pada instalasi kelistrikan, untuk mencegah terjadinya hubung singkat antar kabel maka dalam pengaplikasiannya dilindungi oleh isolator berupa pembungkus plastic yang melindungi kabel. Namun pada keadaan tertentu seperti misalnya kerusakan isolator akibat gesekan ataupun factor lain misal tergigit oleh hewan pengerat, maka kegagalan isolator dapat terjadi. Apabila kegagalan isolator yang terjadi dan dua konduktor bertegangan bersentuhan maka akan dapat menyebabkan timbulnya *arc flash* [3].

Kegagalan pada isolator dapat juga terjadi karena factor internal seperti contohnya penuaan bahan isolator yang menyebabkannya menjadi rapuh dan tidak dapat melindungi kabel dengan baik. Jika dua konduktor berbeda potensial seperti kabel fasa dan netral bersentuhan maka akan menimbulkan peristiwa busur api yang menghasilkan semacam ledakan kecil berupa panas dan kilatan cahaya.

Untuk instalasi kelistrikan pada tegangan rendah, jenis kabel yang umum digunakan terbagi menjadi dua jenis yaitu kabel serabut dan kabel konduktor tunggal. Perbedaan kedua jenis kabel ini terletak pada kemampuan tahanan arus yang melewatinya. Kabel konduktor serabut lebih tidak tahan panas dari arus besar yang melewatinya, sehingga pada saat arus yang melewatinya terlalu besar isolatornya dapat terlepas dan meningkatkan resiko terjadinya busur api. Namun kabel konduktor serabut lebih sering digunakan dalam instalasi karena factor ekonomis yaitu harganya yang lebih murah dibandingkan kabel konduktor tunggal.

Faktor lain yang mempengaruhi ketahanan kabel konduktor adalah diameter kabel itu sendiri. Dalam penggunaannya pada tegangan rendah ukuran diameter kabel yang sering digunakan adalah 0,75 mm; 1,5 mm; serta 2,5 mm tergantung dari kebutuhan desain instalasinya. Ketahanan arus yang dipengaruhi diameternya berhubungan dengan nilai impedansi dari konduktor [4].

Arus yang dapat ditahan adalah arus nominal beban yang dapat melewati kabel tersebut. Kabel serabut dengan diameter penampang 1,5 mm<sup>2</sup> merupakan kabel yang sering digunakan pada jaringan instalasi tegangan rendah 220V/380V. Kabel dengan ukuran ini memiliki ketahanan arus nominal sebesar 10 A. Sehingga saat terjadi peristiwa hubung singkat atau *arcflash*, dimana arus yang melewati kabel sangat tinggi, dapat menyebabkan kerusakan isolasi dan pelelehan bahan konduktor dengan panas sangat tinggi yang dapat menjadi penyebab terjadinya kebakaran.

### **2.1.3 Busur Api Listrik Sebagai Penyebab Kebakaran**

Hubung singkat atau yang sering disebut sebagai korsleting pada pembeitan di Indonesia merupakan salah satu penyebab utama kebakaran. Fenomena busur api atau arc flash menjadi dasar timbulnya peristiwa kebakaran. Dalam hal ini peralatan pengaman konvensional seperti

MCB (Miniatur Circuit Breaker) dan fuse tidak dapat mencegah terjadinya kebakaran karena peralatan tersebut tidak dapat mendeteksi dan tidak dapat trip saat terjadi hubung singkat. Penyebabnya adalah durasi arcflash yang terjadi pada saat peristiwa hubung singkat sangatlah cepat dan peralatan tersebut tidak dapat mendeteksi secara tepat waktu [5-7].

Dalam kurun waktu 2011 sampai dengan 2015, lebih dari 65% kasus kebakaran terjadi karena adanya hubung singkat listrik yang diikuti dengan peristiwa busur api listrik [8]. Secara umum, penyebab kebakaran adalah instalasi listrik yang tidak tertata dengan rapi, instalasi rumit dan sambungan antar kabel yang kurang rapat pada pemukiman atau pasar dengan tegangan rendah 220V/380V. Instalasi kelistrikan yang tidak didesain dengan baik menjadi faktor yang memicu terjadinya kebakaran setelah fenomena hubung-singkat dan *arcflash* terjadi.

#### 2.1.4 Jenis Gelombang Arcing

Gelombang *arcing* yang dihasilkan dari sebuah percobaan atau *fault* pada suatu sistem dapat dikategorikan menjadi 3 yaitu :

- *Spike* yaitu peristiwa busur api yang hanya terjadi kurang dari setengah cycle dinamakan *spike*. Peristiwa busur api *spike* dapat dilihat dari gelombang arus dan tegangannya yang mengalami perbedaan nilai dari gelombang saat sistem bekerja normal, dimana perbedaan nilai tersebut terjadi kurang dari setengah cycle.
- Peristiwa busur api listrik yang lebih dari satu *spike* maksudnya adalah peristiwa *spike* yang terjadi lebih dari satu kali dalam waktu yang berdekatan.
- Busur api listrik kontinyu adalah fenomena busur api yang diawali dengan *glowing* pada konduktor. *Glowing* terjadi karena adanya kenaikan suhu pada konduktor yang mengalami hubung singkat sehingga konduktor tersebut memerah [4].

Ketiga jenis gelombang ini sangat berbahaya dalam menimbulkan kegagalan dan busur api, seperti pada *spike* yang terjadi sangat singkat sehingga jika tidak bisa dideteksi oleh alat proteksi maka kemungkinan sistem tidak akan melakukan trip, karena arus gangguan sangat cepat. Namun jika durasinya tidak cukup lama maka peralatan pengaman tidak mampu mendeteksi adanya gangguan. Sehingga dari hasil ketiga

gelombang ini sebenarnya dibutuhkan alat deteksi *arcing* dengan frekuensi yang sangat tinggi atau waktu sampling yang cukup cepat.

## 2.2 Transformasi Wavelet

### 2.2.1 Definisi Transformasi Wavelet

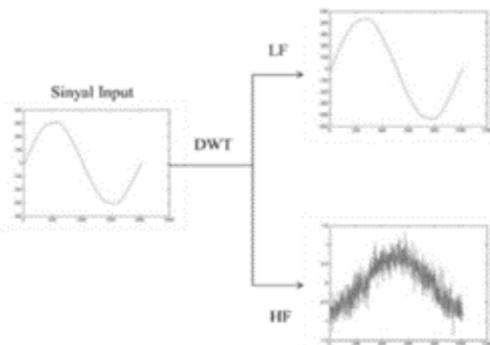
Transformasi Wavelet merupakan suatu transformasi linear yang hampir mirip dengan Transformasi Fourier, dengan satu perbedaan penting, Analisa Fourier dilakukan dengan cara memecah sinyal menjadi gelombang dengan frekuensi yang berbeda. Sama halnya dengan wavelet, memecah sinyal dengan cara penskalaan dan pergeseran. Transformasi Wavelet membolehkan penempatan waktu dalam komponen-komponen frekuensi yang berbeda dari sinyal yang diberikan [5]. Metode penggunaan transformasi wavelet untuk menganalisa karakteristik frekuensi dari sebuah sinyal arus yang digunakan untuk mendeteksi arcing adalah transformasi wavelet diskrit.

Transformasi wavelet merupakan konsep baru yang dikembangkan dalam memproses sebuah sinyal. Transformasi wavelet dibagi menjadi dua jenis utama, yaitu transformasi wavelet kontinu (TWK) dan transformasi wavelet diskrit (TWD). Transformasi fourier sebenarnya masih memegang peran penting dalam transformasi sinyal yang paling umum dan populer pada pemrosesan sinyal digital. Transformasi Fourier memberitahu kita informasi frekuensi dari sebuah sinyal, tapi tidak informasi waktu (kita tidak dapat tahu di mana frekuensi itu terjadi). Karena itulah transformasi Fourier hanya cocok untuk sinyal stationari (sinyal yang informasi frekuensinya tidak berubah menurut waktu). Untuk menganalisa sinyal yang frekuensinya bervariasi di dalam waktu, diperlukan suatu transformasi yang dapat memberikan resolusi frekuensi dan waktu disaat yang bersamaan, biasa disebut analisis multi resolusi (AMR). [6]

### 2.2.2 Transformasi Wavelet Diskrit

Sinyal gelombang input pada metode *discrete wavelet transform* (DWT) dipisahkan (didekomposisikan) menjadi dua sinyal. Yaitu, bagian frekuensi rendah (*low frequency*) yang disebut aproksimasi dan bagian frekuensi tinggi (*high frequency (HF)*) yang dinamakan detail. Dalam

penggunaan suatu mother wavelet, DWT melakukan analisis detail melalui bagian frekuensi tinggi dari mother wavelet tersebut. Sedangkan analisis aproksimasi dilakukan melalui bagian frekuensi rendah dari mother wavelet. Sebuah sinyal A akan didekomposisi menjadi 2 sinyal yaitu sinyal A  $j+1$  yang merupakan sinyal pendekatan dan sinyal D  $j+1$  yang merupakan sinyal detail [7]. Sinyal pendekatan tersebut dihasilkan melalui filter low-frequency sedangkan untuk menghasilkan detail, sinyal input masuk ke filter high-frequency. Setelah sinyal input diolah dan didekomposisi maka dihasilkan sinyal baru yang mengandung karakter dari lebar frekuensi yang berbeda dalam domain waktu. Ini sangat memungkinkan untuk mendeteksi dan membedakan antara arus gangguan dan arus normal pada setiap frekuensi.



**Gambar 2.2** Ilustrasi Pengolahan Sinyal dengan DWT

### **2.3 Karakteristik Busur Api Listrik pada Beban Resistif**

Karakteristik busur api listrik pada beban resistif telah diteliti sebelumnya. Karakteristik tersebut meliputi arus, tegangan, energi dan durasi. Beberapa karakteristik umum arus busur api listrik pada beban resistif yang telah diidentifikasi antara lain [3]:

1. Di setiap setengah cycle, arus arcing akan bernilai mendekati nol atau padam sebelum terjadi gangguan dan naik kembali setelah melewati titik nol.
2. Laju kenaikan dan puncak dari arus arcing biasanya selalu lebih besar dibanding arus beban normal
3. Busur api listrik bukanlah fenomena dengan bentuk gelombang

- stasioner, sehingga segmen arusnya dapat berdampingan dengan segmen aliran arus normal.
4. Muncul noise frekuensi tinggi pada arus busur api listrik ( dari 10kHz sampai dengan 1GHz).
  5. Banyak metode pendeteksian arcing yang digunakan berbasis monitoring arus, dengan mengidentifikasi karakteristik yang berbeda dari arc fault.
  6. Salah satu metodenya yaitu menggunakan komponen High-frequency (dari 10 kilohertz hingga 1 GHz), dengan menganalisis karakteristik yang signifikan seperti arus maksimum (peaks) dan laju kenaikan dari arus tersebut.

## 2.4 Metode Pendeteksian Menggunakan Transformasi Wavelet dan Algoritma Pemrograman pada Mikrokontroler

Sinyal yang diambil menggunakan sensor arus yang tersambungkan dengan fungsi Analog-to-Digital converter pada modul mikrokontroler diolah dan didekomposisikan menjadi High Frequency pada transformasi *discrete wavelet transform* dan akan digunakan sebagai sinyal utama yang diolah dalam program pendeteksi pada mikrokontroler.

Selanjutnya pembuatan program pendeteksian dibuat sedemikian rupa dengan menggunakan beberapa logika dan algoritma pemrograman. Pada metode pendeteksian ini, menggunakan 3 indikator yang digunakan yaitu indikator keadaan “normal”, “switching”, “arcing”, dimana pada kondisi arcing terbagi menjadi 3 kategori tingkat keparahan yang dilihat dari banyaknya serabut yang dihubung-singkatkan. Ketiga kondisi keparahan ini dibedakan menjadi “Low”, “Medium” dan “High”

Algoritma dasar pendeteksian adalah sebagai berikut: jika arus melebihi threshold 1.5 A maka dikategorikan sebagai “Switching”. Sedangkan untuk algoritma pendeteksian arcing mempunyai dua macam treshold utama yaitu arus HF yang melebihi 1.5 A dan jumlah titik yang melewati threshold > 13. Jika arus HF yang terukur melebihi kedua batas threshold tersebut maka dilanjutkan dengan algoritma pendeteksian tingkat keparahan yang mengidentifikasinya melalui jumlah titik data yang melebihi threshold.

- Jumlah serabut 1,3,6 = “Arcing Low”
- Jumlah serabut 12 = “Arcing Medium”
- Jumlah serabut 24 = “Arcing High”

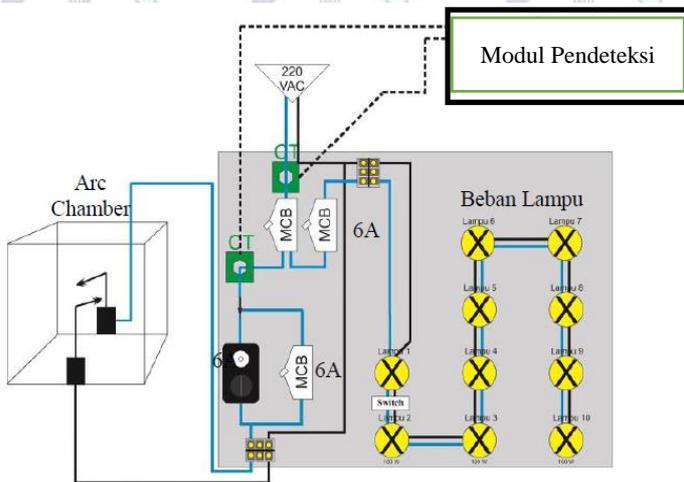


Hasil pendeteksian tersebut akan dilengkapi dengan indicator melalui LCD yang terpasang pada modul pendeteksi.

## BAB 3 PERANCANGAN ALAT EKSPERIMEN, PENGAMBILAN DAN PENGOLAHAN DATA

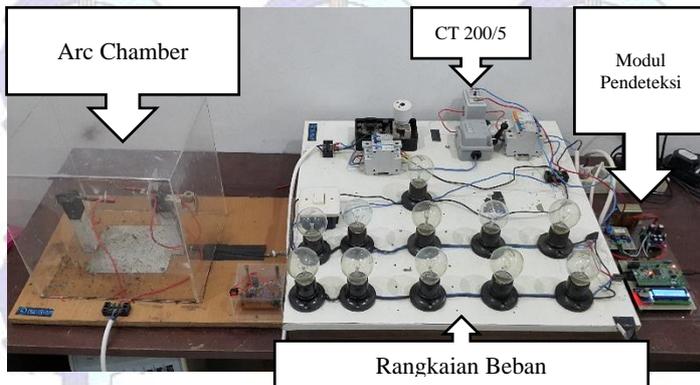
### 3.1 Perancangan Alat Eksperimen

Perancangan alat eksperimen yang akan digunakan untuk mensimulasikan serta memodelkan fenomena 3 kondisi pada rangkaian listrik tegangan rendah yaitu kondisi beban normal, kondisi penambahan beban dengan switching serta kondisi gangguan arcng. Skema rangkaian ditunjukkan oleh Gambar 3.1 dan alat eksperimen ditunjukkan Gambar 3.2.



**Gambar 3.1** Skema Rangkaian Pengujian

Gambar 3.1 menunjukkan bagaimana desain rangkaian yang digunakan untuk melakukan percobaan kondisi normal, switching dan arcng.



**Gambar 3.2** Alat Eksperimen Busur Api Listrik pada Tegangan Rendah

Alat eksperimen untuk mensimulasikan dan memodelkan 3 kondisi tersebut terdiri dari modul arc generator dan modul pendeteksi. Pada modul arc generator digunakan lampu 100Watt sebanyak 10 buah, Current Transformator (CT) sebanyak 2 buah dengan rasio 200/5, sekering otomatis (fuse) 6A, fusebox, kabel konduktor serabut 1 fasa dengan ukuran penampang 1,5 mm<sup>2</sup> (kabel NYMHY 2x1,5mm<sup>2</sup>), miniatur circuit breaker (MCB), chamber arkilik, dan saklar switching.

Sedangkan modul pendeteksi yang didesain untuk mendeteksi terjadinya arcing pada rangkaian terdiri dari mikrokontroler STM32F4 Discovery yang dilengkapi dengan, LCD 16x2 sebagai indicator output. Modul pendeteksi ini yang akan diuji untuk mendeteksi arcing dan membedakannya dari kondisi normal atau switching.

### 3.1.1 Beban Lampu 100 Watt Sebanyak 10 Buah

Alat eksperimen menggunakan beban resistif yaitu bola lampu pijar 100 Watt sebanyak 10 lampu yang disusun secara seri serta switch yang diletakkan antara lampu pertama dan lampu kedua. Beban lampu tersebut akan digunakan sebagai alat simulasi beban normal serta eksperimen penambahan beban switching dengan jumlah lampu yang bervariasi.



**Gambar 3.3** Rangkaian Beban Lampu

Pada keadaan normal dipilih 10 lampu dengan beban total 1000 Watt, Karena eksperimen dibuat mendekati kondisi nyata pada penggunaan listrik tegangan rendah di daerah pemukiman yang rata rata menggunakan daya 900 VA dan 1300 VA.

### **3.1.2 Arc Chamber Berbahan Akrilik**

Arc Chamber digunakan sebagai alat penunjang eksperimen, dengan tujuan agar saat terjadi hubung singkat yang menimbulkan spark atau loncatan busur api tidak menyebar ke peralatan di sekitar modul arc generator yang dapat beresiko menyebabkan kebakaran.

Arc Chamber yang digunakan terbuat dari bahan akrilik yang dapat menyerap panas berlebih sehingga saat eksperimen busur api listrik, chamber tidak panas dan spark tidak menyebar. Dimensi dari chamber yang digunakan berukuran lebar 15 cm, tinggi 20 cm serta panjang 30 cm serta tebal 2 mm.

### **3.1.3 Kabel Konduktor Serabut NYMHY 2x1,5mm<sup>2</sup>**

Kabel merupakan salah satu komponen utama pada instalasi listrik tegangan rendah, yang berguna untuk mengalirkan arus dari sumber ke beban. Kabel pada tegangan rendah sangat riskan terhadap bahaya hubung singkat Karena kerusakan isolasi kabel yang disebabkan

oleh gigitan binatang pengerat (tikus) atau factor lainnya. Pada eksperimen ini, kabel merupakan komponen penting yang diamati dalam percobaan. Pada tugas akhir ini, kabel yang digunakan dalam pengujian adalah jenis NYHMY 2x1,5mm<sup>2</sup> yang merupakan kabel konduktor serabut 1 fasa dengan luas penampang 1,5 mm<sup>2</sup>.

Panjang kabel yang digunakan kurang lebih adalah 12 meter dengan tujuan untuk mengurangi panas yang timbul saat simulasi hubung-singkat dilakukan. Pemilihan kabel tersebut dilakukan karena penggunaan kabel NYMHY 1,5mm<sup>2</sup> umum digunakan pada instalasi tegangan rendah seperti pada pasar atau pemukiman. Nominal arus yang dapat ditanggung oleh kabel serabut ini secara terus menerus adalah 10 A, sedangkan daya beban terpasang sebesar 900 VA hingga 1300 VA.

### 3.1.4 Current Transformer

*Current Transformer* (CT) merupakan transformator pengukuran yaitu peralatan sistem tenaga listrik yang berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan arus. Penggunaan CT dalam eksperimen ini dibutuhkan untuk menurunkan nilai arus pada rangkaian yang akan dihubungkan ke modul pendeteksi. Saat terjadi *switching* (penambahan beban) dan hubung-singkat, lonjakan arus yang muncul cukup tinggi sehingga sebelum masuk kedalam sensor, arus harus diturunkan agar tidak merusak peralatan. Spesifikasi CT yang digunakan :

Tabel 3.1 Spesifikasi CT

Jenis CT	Powell MSQ-30
Rasio CT	200/5
Class CT	1
Burden CT	5
Range Frekuensi	50-60 Hz

Dari tabel diatas dapat dijelaskan bahwa CT yang digunakan memiliki rasio CT 200/5, artinya jika pada sisi primer bernilai 200 A maka pada sisi sekunder bernilai 5 A. Nilai *class* CT menunjukkan tingkat akurasi yang dimiliki CT, jika Class CT adalah 1 maka tingkat kesalahan sebesar 1%. Burden CT menunjukkan kemampuan CT terhadap sebuah nilai impedansi tertentu. Standar burden CT memiliki nilai 1,5 VA; 3 VA dan 5 VA.

### **3.1.5 Miniature Circuit Breaker**

Miniature Circuit Breaker (MCB) adalah peralatan pengaman standar pada instalasi PLN untuk membatasi arus sekaligus dalam suatu instalasi listrik. MCB berfungsi sebagai pengaman hubung singkat (konsleting) dan juga berfungsi sebagai pengaman beban lebih. MCB akan secara otomatis mengamankan rangkaian dengan segera memutuskan arus apabila arus yang melewatinya melebihi dari arus nominal yang telah ditentukan pada MCB tersebut.

Pada eksperimen ini, MCB digunakan sebagai pengaman beban lampu yang dimodelkan seperti kondisi pemukiman dan pasar yang banyak menggunakan beban lampu. Pada eksperimen ini, MCB hanya digunakan untuk membatasi arus yang lewat pada beban lampu, sehingga tidak terganggu ketika terjadi hubung singkat.

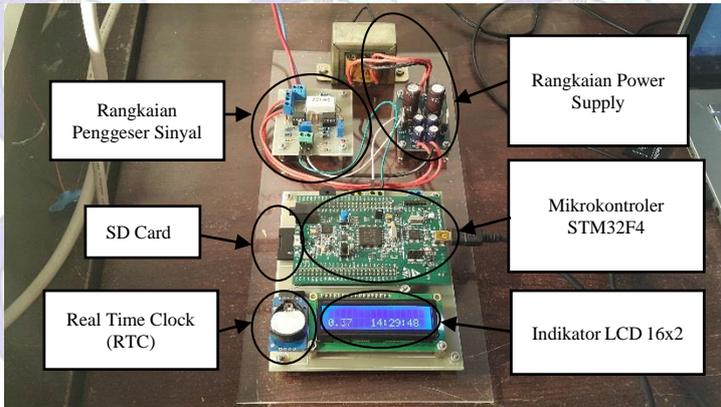
### **3.1.6 Mikrokontroler STM32F4 Discovery**

Mikrokontroler yang digunakan dalam modul pendeteksi adalah jenis STM32F4 Discovery yang merupakan modul mikrokontroler dari ST Electronics dilengkapi dengan system clock mencapai 168 MHz sehingga cukup untuk memproses konversi data arus dengan kecepatan frekuensi sampling 10 kHz yang diperlukan untuk membaca nilai arus pada rangkaian saat terjadi arcing.

Dengan menggunakan fitur ADC (*Analog-to-Digital Converter*). Arus yang terbaca kemudian diproses menggunakan algoritma dan pemrograman didalam mikrokontroler untuk mendapatkan parameter arus yang kemudian digunakan untuk mendeteksi saat terjadinya switching atau arcing.

## **3.2 Perancangan Modul Pendeteksi**

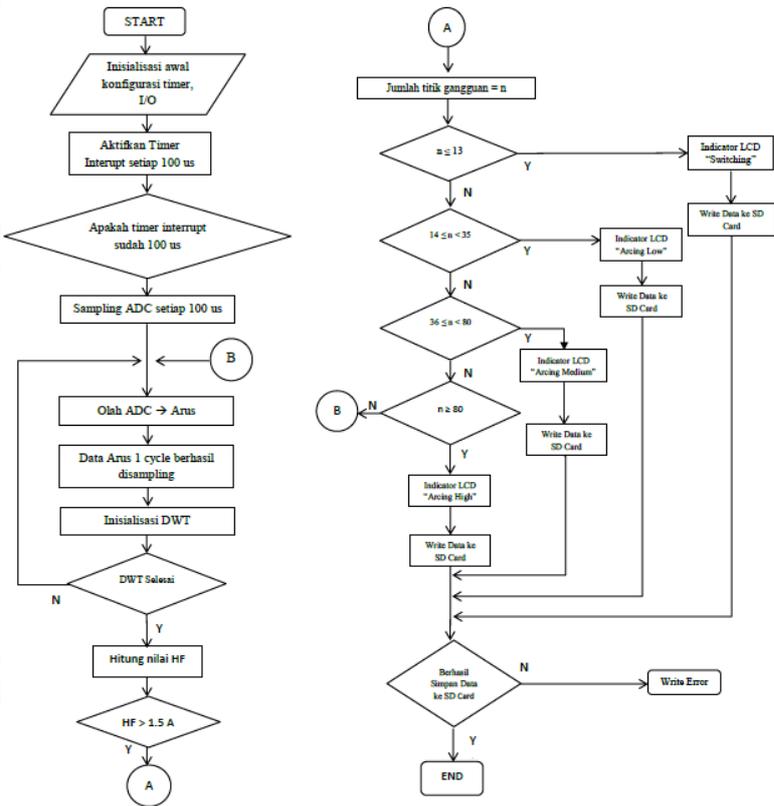
Modul pendeteksi pada penelitian ini menggunakan mikrokontroler sebagai media pengambilan dan pemroses data. Untuk dapat bekerja, mikrokontroler memerlukan pemrograman. Pemrograman inilah yang menjadi bagian utama dalam perancangan modul pendeteksi. Berikut merupakan hasil perancangan modul pendeteksi:



**Gambar 3.4** Rangkaian Modul Pendeteksi

Perangka diatas disusun oleh power supply, rangkaian penggeser sinyal, indicator LCD 16x2, SD Card, modul RTC dan Mikrokontroler STM32F4. Mikrokontroler merupakan bagian utam dalam modul pendeteksi ini karena semua proses pengambilan data, pengolahan sinyal serta indicator ouput dikontrol melalui mikrokontroler tersebut. Rangkaian penggeser arus dibua berdasarkan desain yang telah diimplementasikan pada penelitian sebelumnya [8].

Berikut merupakan flowchart yang menjelaskan tentang cara kerja program yang ditanamkan pada modul pendeteksi:

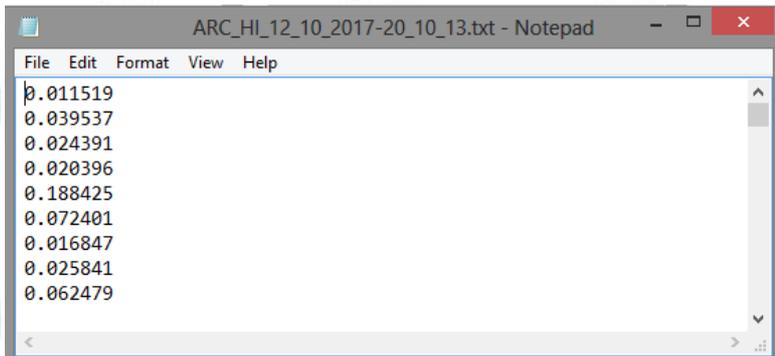


**Gambar 3.5** Flowchart program pendeteksi

### 3.3 Pengambilan Data

Pengambilan data pada eksperimen ini meliputi 3 kondisi yaitu, normal, swiching dan arcing. Data arus yang telah diproses oleh mikokontroler diambil dan disimpan kedalam SD Card, kemudian data percobaan pendeteksian arcing menggunakan modul pendeteksi. Kemudian data pengujian modul pendeteksi untuk menganalisa akurasi modul yang telah dirancang dalam mengklasifikasikan kategori

gangguan arcng. Data dari pengolahan yang dilakukan oleh mikrokontroler disimpan di SD Card dalam bentuk file .txt yang dapat dibuka menggunakan notepad untuk diolah kedalam program lain seperti MATLAB untuk plotting. Berikut merupakan gambar tampilan hasil dari pengambilan data:



**Gambar 3.6** Tampilan Hasil Pengambilan Data Arus dari Modul

Pengambilan data ketiga berupa percobaan pendeteksian arcng dan switching. eskperimen busur api listrik dengan variasi jumlah serabut sebanyak 1 serabut, 3 serabut, 6 serabut, 12 serabut, dan 24 serabut dengan masing-masing percobaan sebanyak 20x. Jika dijumlah keseluruhan, maka akan didapat data sebanyak 100 buah. Dari eksperimen tersebut akan dianalisa tingkat keberhasilan modul pendeteksi pada dua parameter yaitu dalam mendeteksi terjadinya arcng dan dalam mendeteksi kategori keparahan arcng.

Jumlah serabut 1, serabut 3, serabut 6, serabut 12 dan serabut 24 akan digunakan selama percobaan atau eksperimen busur api listrik. Kabel serabut tersebut akan dilakukan hubung-singkat atau kontak, pengambilan data menggunakan 2 kabel konduktor serabut NYHMY 1,5 mm2 dengan 1 kabel statis (diam) yaitu kabel netral dan kabel lainnya bergerak sebagai pemicu menggunakan motor DC. Motor DC akan menggerakkan kabel fasa (biru ) untuk menyentuh atau kontak dengan kabel netral (hitam), sehingga jika eksperimen ini dilakukan maka kedua kabel akan hubung singkat dan menyebabkan arus berubah dengan signifikan dalam durasi yang sangat cepat.

## **BAB 4 HASIL DAN ANALISA**

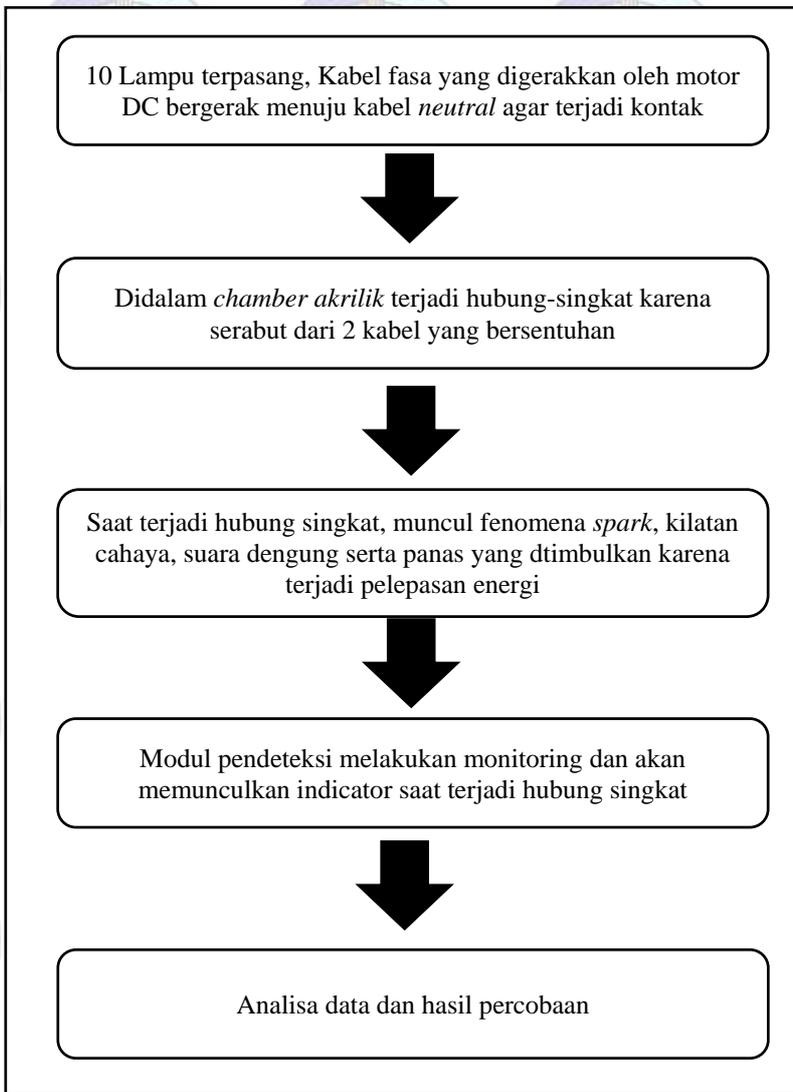
### **4.1 Mekanisme Pengujian Saat Kondisi Normal, Kondisi Switching dan Arcing**

Pada ketiga kondisi eksperimen, mekanisme pengambilan data dilakukan dengan menghubungkan sisi sekunder dari CT 200/5 dengan modul deteksi. Fungsi digunakannya CT adalah untuk menurunkan besar arus yang muncul pada rangkaian saat terjadi switching atau arcing. Untuk pengambilan data kondisi normal dilakukan untuk mendapatkan hasil persebaran dan perubahan data dengan beban yang bervariasi yaitu 1 lampu hingga 10 lampu pijar dengan daya tiap lampu adalah 100 Watt. Penggunaan 10 buah lampu dengan beban 100 Watt diharapkan sesuai dengan kondisi nyata yang ada di daerah pemukiman yang pada umumnya menggunakan beban 900 VA atau 1300 VA.

Mekanisme pengambilan data switching dan penambahan beban dilakukan menggunakan sebuah saklar switch yang diletakkan setelah lampu pertama, sehingga jumlah lampu yang ditambahkan sebanyak 1 buah hingga 10 buah lampu, hasil percobaan penambahan beban ini dilakukan untuk melakukan analisa dan penarikan kesimpulan terhadap pengaruh variasi beban.

Untuk pengujian pada kondisi arcing, dilakukan dengan menghubungkan-singkatkan 2 kabel (fasa-netral), hal ini dilakukan dengan cara menggerakkan kabel fasa menggunakan motor hingga menyentuh atau terjadi kontak dengan kabel netral. Saat kedua serabut kabel tersebut bersentuhan maka peristiwa busur api akan terjadi dan menimbulkan percikan (spark) setiap kali serabut bersentuhan, hal inilah yang akan dideteksi oleh modul pendeteksi. Fenomena busur api listrik juga menghasilkan produk lainnya yang berupa kilatan cahaya (flash) dengan intensitas yang tinggi, lelehan logam (molten metals) atau lelehan serabut konduktor. Proses hubung singkat dilakukan di dalam chamber akrilik dengan tujuan untuk melindungi objek sekitar di luar chamber agar tidak terkena percikan dari busur api.

Setelah didapatkan hasil pengujian pada ketiga kondisi rangkaian, maka akan dipergunakan untuk mendesain parameter pengklasifikasian gangguan. Mekanisme pengujian busur api listrik pada tegangan rendah dijelaskan pada gambar 4.1 dibawah ini



**Gambar 4.1** Mekanisme Pengujian Hubung Singkat

## 4.2 Skema Percobaan Karakteristik Arus Saat Kondisi Normal, Switching dan Hubung-Singkat Tegangan Rendah

Pada subbab ini akan dijelaskan tentang data hasil eksperimen dari ketiga kondisi yaitu kondisi keadaan beban normal, keadaan penambahan beban (*switching*), serta kondisi hubung singkat (*arcing*). Data yang ditampilkan pada tugas akhir ini merupakan hasil pengolahan yang diambil dari program mikrokontroler. Dari hasil yang didapatkan data pengujian ketiga kondisi rangkaian dapat digunakan untuk analisa dasar dan memberikan gambaran tentang proses pengolahan data.

Analisis karakteristik pada saat kondisi normal dan switching meliputi arus pada kondisi berbeban normal, titik arus yang melewati threshold dan arus maksimum. Pada kondisi arcing data yang ditampilkan meliputi arus maksimal dan titik arus yang melewati threshold, serta pengkategorian tingkat keparahan berdasarkan jumlah titik yang melewati threshold. Banyaknya data yang diolah dalam Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Deskripsi Jumlah Percobaan

Jenis Kondisi	Parameter	Jumlah Eksperimen Tiap Percobaan	Jumlah Percobaan
Normal	1 Sampai 10 Lampu	10 Percobaan	100
Switching	1 Sampai 10 Lampu	10 Percobaan	100
Arcing	Serabut 1, 3, 6, 12 dan 24	20 Percobaan	100
Total			300

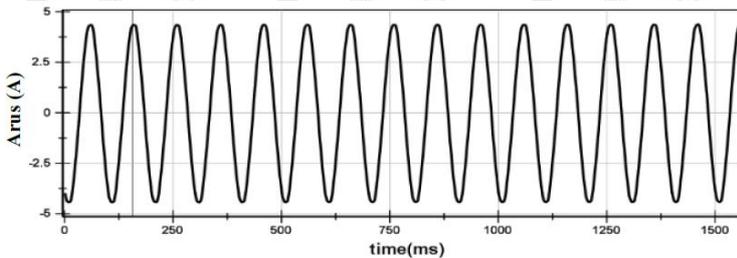
Dari table diatas dapat dilihat jumlah percobaan yang dilakukan alam tugas akhir ini. Jumlah percobaan diatas dianggap telah dapat memberikan gambaran hasil tingkat keberhasilan eksperimen.

### 4.3 Grafik Asli Sinyal Kondisi Normal, *Switching* dan *Arcing*

Pada subbab ini ditunjukkan grafik asli dari sinyal arus pada ketiga kondisi yaitu normal, switching, dan arcing.

#### 4.3.1 Grafik Sinyal Asli Kondisi Normal

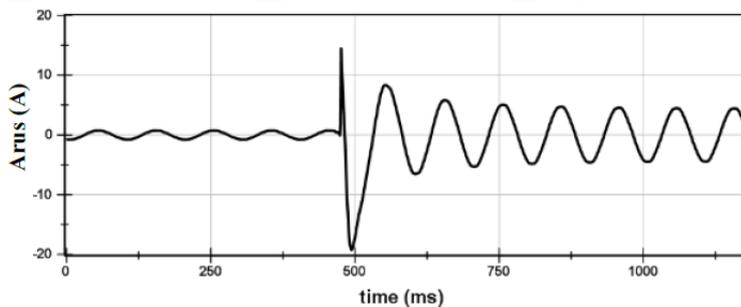
Berikut merupakan grafik sinyal asli kondisi normal dengan beban lampu 100 Watt.



**Gambar 4.2** Grafik Sinyal Asli Kondisi Normal

#### 4.3.2 Grafik Sinyal Asli Kondisi *Switching*

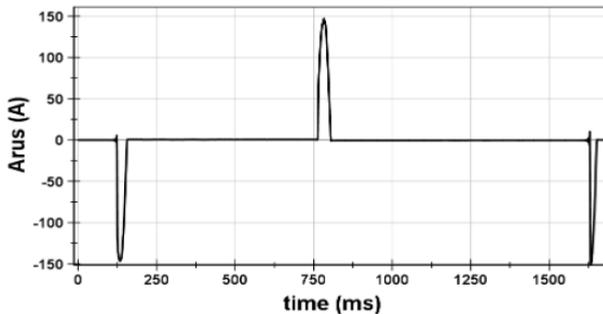
Berikut ini akan ditunjukkan grafik sinyal asli pada saat switching dari beban 1 lampu menjadi 4 lampu



**Gambar 4.3** Grafik Sinyal Asli Kondisi *Switching*

#### 4.3.3 Grafik Sinyal Asli Kondisi *Arcing*

Pada subbab ini akan ditunjukkan grafik sinyal asli pada saat terjadi arcing dengan jumlah serabut konduktor adalah 12 serabut.



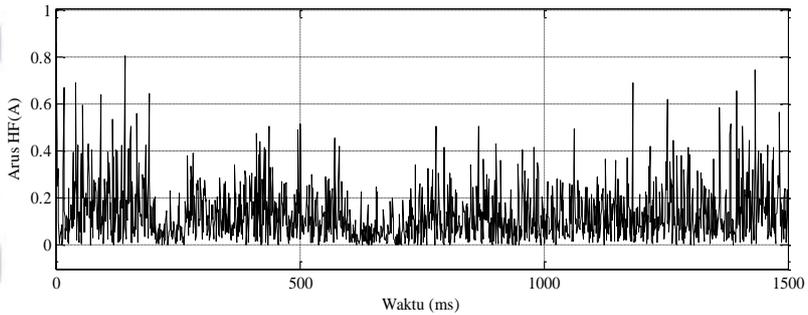
**Gambar 4.4** Grafik Sinyal Asli Kondisi Arcing

#### **4.4 Analisis Data Karakteristik Kondisi Normal dan Switching Pada Tegangan Rendah**

Pada eksperimen kondisi normal dan switching digunakan beban 1 lampu sampai dengan 10 lampu dengan daya masing-masing lampu adalah 100 Watt. Sehingga saat dibebani menggunakan 10 lampu total dayannya adalah 1000 Watt. Sedangkan total beban 1100 watt dipilih karena mendekati keadaan asli yang pada umumnya berlangganan 900 VA maupun 1200 VA dengan arus maksimum sekitar 5 A dan tegangan yang digunakan adalah tegangan jala-jala 220 V.

##### **4.4.1 Pengolahan Data Dengan DWT**

Pengolahan data diolah didalam program mikrokontroler menggunakan library DWT untuk pemrograman pengkondisian sinyal. Transformasi wavelet digunakan untuk transformasi sinyal analog menjadi diskrit dan dapat diperoleh parameter arus yang memudahkan analisa sinyal., transformasi wavelet dilakukan untuk mengubah sinyal asli menjadi sinyal arus High frequency (HF). Dari hasil pemrosesan DWT yang diperoleh didalam mikrokontroler, diambil sinyal detail dengan fekuensi tinggi. Penggunaan DWT untuk membuat sinyal menjadi diskrit sehingga arus yang muncul dapat dianalisa untuk membedakan antara kondisi normal dan switching.



**Gambar 4.5** Sinyal Kondisi Normal Diproses Menggunakan DWT

Gambar diatas merupakan hasil sinyal kondisi normal yang telah diproses menggunakan transformasi wavelet diskrit pada modul pendeteksi. Sinyal tersebut merupakan sinyal detail hasil dari transformasi wavelet, dimana bentuk sinyal detail inilah yang dinamakan Arus High Frekuensi (HF) yang akan digunakan sebagai dasar pendeteksian kondisi rangkaian penguji.

#### **4.4.2 Perbandingan Arus Maksimum dan Banyaknya Jumlah Titik Gangguan Kondisi Normal dan Switching**

Dari sinyal yang didapatkan dari pengolahan data di mikrokontroler maka dapat diperoleh data yang digunakan sebagai parameter untuk analisa data. Arus maksimum adalah arus dengan nilai amplitudo arus HF (*high frequency*) yang paling tinggi saat eksperimen normal dan *switching* dilakukan. Penentuan arus maksimum pada kondisi ini diperoleh dengan pengolahan data secara offline menggunakan fitur perhitungan nilai maksimum pada Microsoft Excel.

Pada tabel 4.2 berikut akan dibandingkan kedua kondisi yaitu kondisi normal dan kondisi *switching*, perbandingan ini bertujuan untuk memberikan kesimpulan tentang bagaimana program pendeteksi dapat membedakan antara kondisi *switching* dengan normal dan arcing.

**Tabel 4.2** Perbandingan HF Maksimum kondisi Normal dan Switching

Jumlah Lampu	Percobaan ke	Normal		Switching	
		Arus HF Maks	Jumlah Titik > Threshold Arus	Arus HF Maks	Jumlah Titik > Threshold Arus
1	1	0.32	0	1.84	2
	2	0.31	0	4.58	4
	3	0.46	0	1.77	2
	4	0.21	0	1.73	2
	5	0.3	0	2.58	2
	6	0.33	0	3.67	3
	7	0.32	0	2.74	3
	8	0.30	0	2.47	2
	9	0.33	0	3.69	3
	10	0.32	0	2.69	4
2	1	0.34	0	3.57	3
	2	0.35	0	2.25	2
	3	0.34	0	1.91	2
	4	0.33	0	2.83	4
	5	0.30	0	3.13	5
	6	1.1	0	4.51	6
	7	0.34	0	2.67	2
	8	0.45	0	7.13	5
	9	0.34	0	6.81	7
	10	0.54	0	5.39	7
3	1	0.36	0	8.36	4
	2	0.33	0	11.02	7
	3	0.32	0	6.91	4
	4	0.31	0	10.52	9
	5	0.37	0	7.22	4
	6	0.36	0	9.35	5
	7	0.33	0	8.09	8
	8	0.36	0	5.21	6
	9	0.37	0	11.88	6
	10	0.33	0	5.63	5
4	1	0.32	0	18.68	8
	2	0.34	0	9.11	4
	3	0.36	0	7.37	5
	4	0.36	0	15.21	7
	5	0.37	0	15.58	8
	6	0.35	0	10.66	6

**Lanjutan Tabel 4.2** Perbandingan HF Maksimum kondisi Normal dan Switching

Jumlah Lampu	Percobaan ke	Normal		Switching	
		Arus HF Maks	Jumlah Titik > Threshold Arus	Arus HF Maks	Jumlah Titik > Threshold Arus
4	7	0.38	0	3.08	6
	8	0.37	0	4.87	5
	9	0.36	0	13.79	7
	10	0.38	0	4.28	5
5	1	0.48	0	16.36	8
	2	0.39	0	13.48	10
	3	0.46	0	6.26	5
	4	0.45	0	18.96	8
	5	0.47	0	4.52	8
	6	0.68	0	14.01	9
	7	0.57	0	20.86	8
	8	0.47	0	9.38	9
	9	0.38	0	13.83	9
	10	0.49	0	19.79	8
6	1	0.48	0	13.01	11
	2	0.59	0	21.88	8
	3	0.55	0	4.70	6
	4	0.46	0	9.44	6
	5	0.52	0	16.53	11
	6	0.53	0	13.41	11
	7	0.52	0	12.76	6
	8	0.44	0	7.12	6
	9	0.79	0	22.05	11
	10	0.66	0	15.31	10
7	1	0.62	0	5.83	10
	2	0.64	0	10.58	8
	3	0.69	0	29.71	9
	4	0.67	0	8.78	5
	5	0.72	0	9.84	8
	6	0.66	0	34.63	9
	7	0.67	0	17.71	8
	8	0.71	0	15.65	7
	9	0.75	0	18.54	9
	10	0.64	0	12.68	9

**Lanjutan Tabel 4.2** Perbandingan HF Maksimum kondisi Normal dan Switching

Jumlah Lampu	Percobaan ke	Normal		Switching	
		Arus HF Maks	Jumlah Titik > Threshold Arus	Arus HF Maks	Jumlah Titik > Threshold Arus
8	1	0.86	0	33.87	9
	2	0.64	0	15.04	8
	3	0.76	0	9.21	10
	4	0.79	0	16.61	13
	5	0.78	0	7.82	5
	6	0.69	0	35.87	10
	7	0.87	0	13.44	11
	8	0.74	0	13.69	8
	9	0.75	0	29.30	11
	10	0.77	0	18.05	11
9	1	0.79	0	18.58	8
	2	0.82	0	15.20	12
	3	0.88	0	18.54	11
	4	0.83	0	18.16	11
	5	0.75	0	14.41	10
	6	0.81	0	37.49	10
	7	0.78	0	35.34	9
	8	0.87	0	25.54	11
	9	0.71	0	6.43	8
	10	0.88	0	18.84	11
10	1	0.72	0	34.96	9
	2	0.83	0	13.51	8
	3	1.05	0	28.72	10
	4	0.84	0	33.30	12
	5	0.96	0	15.18	8
	6	0.84	0	17.43	8
	7	0.93	0	11.04	11
	8	1.14	0	28.35	10
	9	0.86	0	29.79	13
	10	0.83	0	13.53	12

Dari table 4.2 terlihat *trend* dari arus HF maks dari data yang diambil dari modul pendeteksi. Data diatas menunjukkan bahwa nilai

arus HF maks yang terbaca pada saat kondisi normal sangat berbeda dibandingkan dengan kondisi pada saat terjadi switching. Dengan melihat nilai arus HF maks pada saat kondisi normal dengan beban 1 lampu hingga 10 lampu yang dilakukan percobaan sebanyak 10 kali tiap bebannya, didapatkan arus tertinggi kondisi normal dari seluruh percobaan tidak ada yang melebihi 1.5 A. Sedangkan pada saat kondisi switching arus HF maks dari seluruh percobaan melebihi nilai 1.5 A. Sehingga didapatkan threshold arus yang dapat diaplikasikan untuk membedakan antara kondisi normal dan switching yaitu menggunakan nilai batas threshold 1.5 A.

Dapat disimpulkan bahwa kondisi normal dan switching dapat dibedakan berdasarkan nilai arus pada saat percobaan, yaitu jika arus melebihi batas threshold 1.5 A maka akan dikategorikan sebagai switching. Sebaliknya jika arus HF yang terukur tidak melampaui nilai 1.5 A, maka akan diklasifikasikan sebagai kondisi normal atau *steady state*.

Dengan batas tersebut maka dapat dirumuskan logika sederhana untuk pendeteksian kondisi switching yang membedakannya dari kondisi normal. Yaitu, jika arus HF yang terbaca terdapat perubahan melebihi nilai 1.5 A; maka modul pendeteksi akan mendefinisikannya sebagai switching dan akan ditampilkan pada display LCD sebagai "SWITCHING".

#### **4.4.3. Analisa Deteksi Kondisi Penambahan Beban (*Switching*) pada Program Deteksi Arcing**

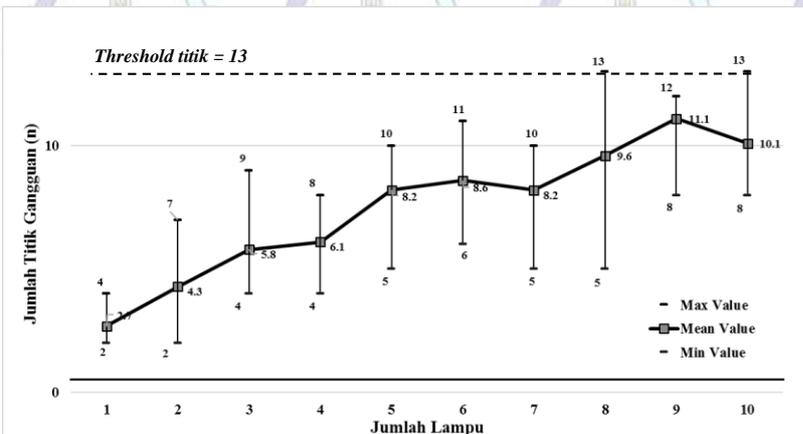
Dari data yang telah didapatkan maka dirumuskan logika untuk pendeteksian switching. Logika sederhana ini memberikan threshold atau batas nilai arus HF yang terlewati jika terjadi switching pada rangkaian. Threshold arus HF ditentukan senilai 1.5 A, sehingga jika pada modul pendeteksian membaca adanya arus HF yang melewati nilai threshold tersebut, maka modul akan memberikan output indikator terjadinya switching.



**Gambar 4.6** Indikator Modul Saat Switching

#### 4.4.4 Analisa Probabilitas dan Persebaran Data

Pada subbab kali ini, akan dibahas mengenai analisis hasil dari keseluruhan eksperimen kondisi normal pada program deteksi *arcing* tegangan rendah melalui *software* microsoft excel. Toolbox ini digunakan untuk melihat persebaran data maksimum, minimum dan rata-rata dari keseluruhan eksperimen.



**Gambar 4.7.** Persebaran Data Kondisi Switching

Gambar diatas menunjukkan grafik persebaran data dengan melihat jumlah titik gangguan yang melebihi threshold arus 1.5 A dan jumlah beban yang digunakan pada saat swiching. Dapat disimpulkan bahwa modul pendeteksi arcing dalam percobaan kondisi penambahan beban hanya akan mendeteksi kondisi rangkaian switching, karena jumlah titik gangguan pada saat kondisi penambahan beban tidak ada yang melebihi threshold titik sebanyak 13. Maka modul pendeteksi akan mengkategorikannya sebagai switching, sesuai dengan desain awal yang diharapkan.

#### **4.5 Analisis Data Karakteristik Busur Api Listrik (*Arcing*) Tegangan Rendah pada Hubung Singkat Langsung**

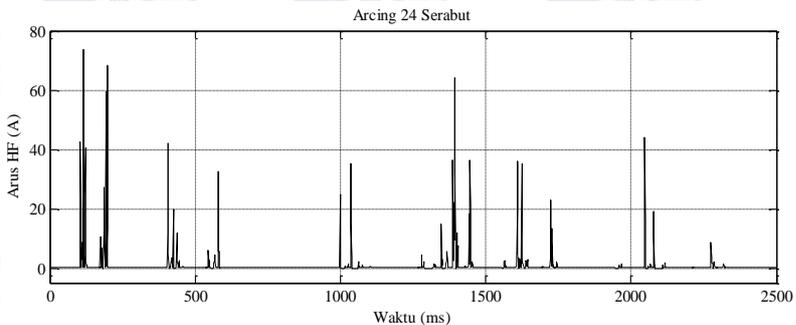
Pada eksperimen busur api listrik (*arcing*) tegangan rendah, dilakukan hubung singkat langsung dengan cara menghubungkan kabel fasa dengan kabel netral. Kabel yang digunakan adalah kabel serabut berjumlah 24 serabut yang sering digunakan pada instalasi tegangan rendah. Parameter yang digunakan adalah 1 serabut, 3 serabut, 6 serabut, 12 serabut dan 24 serabut. Eksperimen dilaksanakan dengan menggunakan beban 10 lampu 100 watt dengan daya total 1000 watt, dengan tujuan simulasi instalasi listrik tegangan rendah yang umumnya menggunakan daya 900 VA atau 1300 VA dengan tegangan 220 V.

Dari hasil eksperimen diharapkan dapat dianalisa besaran arus HF maksimum, dan jumlah titik yang berada diatas threshold yang telah ditentukan yaitu 1.5 A pada tiap serabut yang dapat digunakan sebagai dasar algoritma pendeteksian arcing yang diterapkan kedalam pemrograman modul pendeteksi.

##### **4.5.1 Pengolahan Data Dengan DWT**

Pengolahan data diolah didalam program mikrokontroler menggunakan library DWT untuk pemrograman pengkondisian sinyal. transformasi wavelet dilakukan untuk mengubah sinyal asli menjadi sinyal High frequency. Penggunaan DWT untuk membuat sinyal menjadi diskrit sehingga arus yang muncul dapat dianalisa dengan mudah.

Pada kondisi arcing, sinyal yang muncul pada pembacaan dari modul pendeteksi akan timbul lonjakan nilai arus pada saat terjadinya arcing. Lonjakan arus tersebut berulang seiring dengan jumlah serabut pada kabel yang mengalami hubung singkat.



**Gambar 4.8** Sinyal Hasil Pengolahan DWT

Dari gambar diatas terlihat hasil sinyal dari percobaan hubung singkat menggunakan 24 serabut yang diolah oleh modul mikrokontroler dalam program pendeteksiannya. Dari sinyal tersebut dapat dianalisa titik nilai yang melewati threshold sebagai dasar logika pendeteksian.

#### 4.5.2 Arus Maksimum dan Banyaknya Jumlah Titik Gangguan

Arus maksimum yang ditunjukkan merupakan nilai arus yang telah diproses lewat program didalam mikrokontroler. Pada eksperimen busur api (*arcing*), jumlah titik  $> threshold$  arus menjadi perhatian yang utama dan penting dalam metode pendeteksian. Berdasarkan data dari table 4.2 maka disimpulkan untuk pendeteksian arcing digunakan parameter jika jumlah titik yang melebihi threshold  $> 13$  akan diklasifikasikan sebagai arcing. Saat terjadi *arcing* akan muncul lonjakan arus yang dapat terlihat pada sinyal yang terekam. Hasil dari percobaan yang telah dilakukan dapat terlihat pada table 4.3 berikut:

**Tabel 4.3** Data Arus HF Maksimum dan Jumlah Titik Gangguan Eksperimen Arcing

Jumlah Serabut	Percobaan ke-	Nilai Arus HF Maksimum	Jumlah titik $> threshold$
1 Serabut	1	64.98	13
	2	37.54	22
	3	39.33	18
	4	40.47	18
	5	54.91	17

**Lanjutan Tabel 4.3** Data Arus HF Maksimum dan Jumlah Titik Gangguan Eksperimen Arcing

Jumlah Serabut	Percobaan ke-	Nilai Arus HF Maksimum	Jumlah titik > threshold
1 Serabut	6	32.56	16
	7	54.86	21
	8	69.59	17
	9	16.80	29
	10	77.78	22
	11	38.35	18
	12	44.13	19
	13	45.29	30
	14	62.82	19
	15	27.32	33
	16	39.61	26
	17	15.52	19
	18	27.38	25
3 Serabut	19	43.92	19
	20	75.14	11
	1	54.91	17
	2	28.98	26
	3	56.46	21
	4	18.81	16
	5	12.42	16
	6	50.25	21
	7	44.59	19
	8	76.23	20
	9	8.52	16
	10	23.73	18
	11	53.56	19
12	53.33	19	
13	58.36	28	
14	46.95	24	
15	53.35	30	
16	78.32	18	
17	56.23	18	
18	56.37	23	
19	70.18	32	
20	13.95	19	
6 Serabut	1	56.51	26
	2	35.18	23

**Lanjutan Tabel 4.3** Data Arus HF Maksimum dan Jumlah Titik Gangguan Eksperimen Arcing

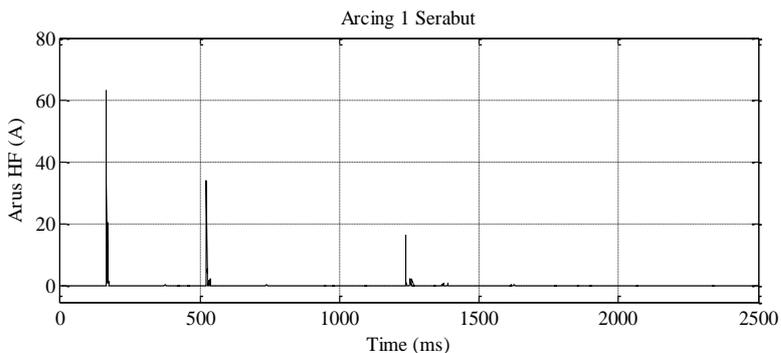
Jumlah Serabut	Percobaan ke-	Nilai Arus HF Maksimum	Jumlah titik > threshold	
	3	45.54	27	
	4	32.88	21	
	5	56.43	23	
	6	53.96	34	
	7	15.91	21	
	8	33.31	14	
	9	33.12	17	
	10	76.67	27	
	11	61.53	28	
	12	44.14	18	
	13	48.60	25	
	14	50.30	42	
	15	57.86	17	
	16	64.62	38	
	17	43.82	21	
	18	18.98	25	
	19	31.21	19	
	20	74.71	34	
	12 Serabut	1	56.45	36
		2	44.21	40
3		70.48	53	
4		83.47	37	
5		75.01	82	
6		40.06	38	
7		67.27	107	
8		75.08	36	
9		44.17	54	
10		64.36	78	
11		75.08	59	
12		65.22	73	
13		59.48	48	
14		75.05	73	
15		53.07	42	
16		42.87	46	
17		62.08	69	
18		53.03	59	

**Lanjutan Tabel 4.3** Data Arus HF Maksimum dan Jumlah Titik Gangguan Eksperimen Arcing

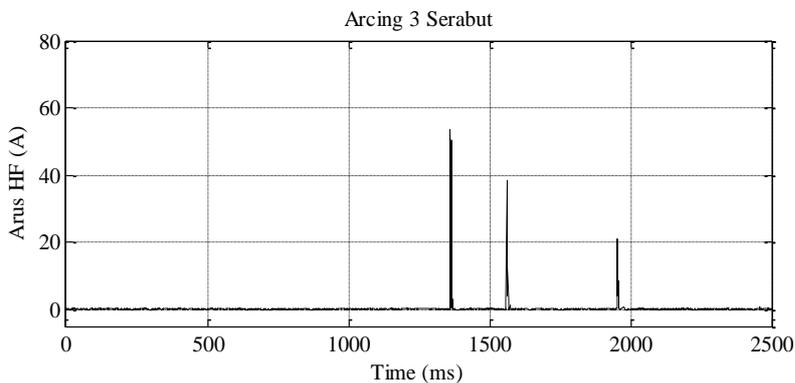
Jumlah Serabut	Percobaan ke-	Nilai Arus HF Maksimum	Jumlah titik > threshold
	19	59.28	61
	20	70.07	36
24 Serabut	1	83.78	171
	2	68.60	90
	3	73.46	140
	4	64.60	157
	5	65.57	81
	6	42.84	144
	7	56.93	88
	8	72.71	106
	9	67.31	143
	10	96.84	82
	11	54.85	113
	12	98.13	116
	13	74.56	175
	14	48.101	139
	15	89.19	130
	16	73.73	97
	17	74.60	106
	18	75.22	154
	19	43.78	105
	20	69.71	100

Dari table diatas dapat disimpulkan bahwa semakin banyak serabut yang kontak maka jumlah titik yang melebihi *threshold* arus juga akan semakin banyak, karena banyaknya jumlah serabut berarti akan menimbulkan *arcing* yang semakin banyak pula. Dengan melihat data yang ditampilkan diatas disimpulkan bahwa pada saat terjadinya arcing, lonjakan arus terekam pada modul. Dapat disimpulkan bahwa jika terjadi hubung singkat sempurna maka saat terjadi lonjakan arus akan terlihat nilai arus yang melewati *threshold* 1.5 A. Sehingga untuk menentukan parameter penentuan klasifikasi tingkat keparahan arcing maka digunakan jumlah titik yang melewati *threshold* sebagai pembeda. Namun ada pun data yang nilainya sangat berbeda dari keseluruhan data yang telah diambil, hal ini dapat dikarenakan oleh factor factor yang belum bisa ditentukan. Faktor dari eksternal juga dapat mempengaruhi

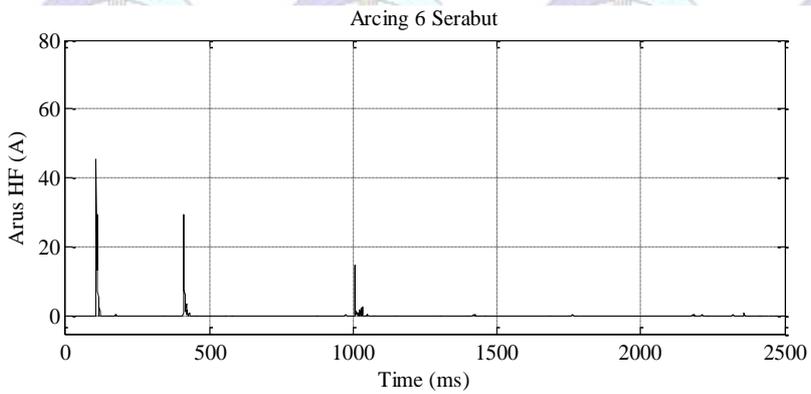
hasil tersebut yaitu kondisi tegangan jala-jala pada saat terjadinya hubung singkat atau jarak antar serabut yang kurang *uniform* pada saat eksperimen dilakukan. Dibawah ini merupakan grafik hasil sinyal pengolahan:



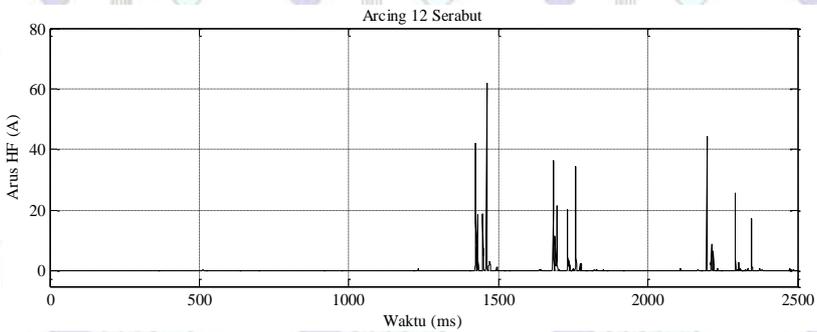
**Gambar 4.9** Grafik Arcing 1 Serabut



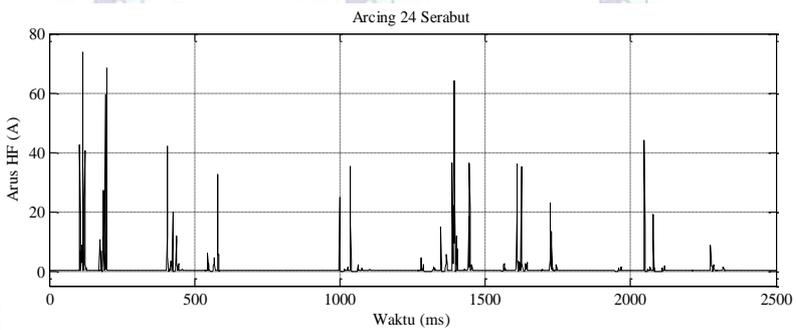
**Gambar 4.10** Grafik 3 Serabut



**Gambar 4.11** Grafik 6 Serabut



**Gambar 4.12** Grafik 12 Serabut



**Gambar 4.13** Grafik Arcing 24 Serabut

#### 4.5.3 Arus Maksimum HF, Durasi dan Energi

Arus maksimum HF adalah nilai amplitudo arus paling tinggi pada sinyal arus *high frequency* ketika terjadi arcing. Arus maksimum dapat dilihat menggunakan pengolahan data offline dari data arus yang telah diambil menggunakan modul pendeteksi. Dari pengambilan data pada table 4.3, telah disimpulkan bahwa saat terjadi arcing jumlah titik gangguan (jumlah titik > *threshold*) harus melebihi jumlah *threshold* titik gangguan yaitu sebanyak 13 titik, apabila jumlah titik gangguan kurang dari 13 titik maka tidak dapat dikategorikan menjadi kondisi arcing. Jumlah titik gangguan dapat dilihat langsung pada indicator LCD saat pendeteksian pada modul pendeteksi secara langsung setelah terjadi arcing hubung singkat (online) atau pada saat analisa secara offline. Durasi pada saat terjadi arcing dapat ditentukan dengan membagi jumlah titik gangguan pada saat arcing dengan frekuensi sampling (10 kHz). Energi pada saat arcing dapat ditentukan dengan mengalikan daya dan durasi pada saat arcing hubung singkat terjadi [9]. Untuk dapat menganalisa hubungan antara jumlah serabut saat terjadi arcing, nilai arus HF, durasi serta Energi, maka dilakukan percobaan dengan hasil seperti berikut:

**Tabel 4.4** Data Percobaan Pelepasan Energi Arcing

Jumlah Serabut	Percobaan ke-	Arus HF Max (A)	Durasi (ms)	Energi (Joule)
1	1	38.59	2.8	10.31
	2	58.06	2.5	11.72
	3	11.93	2.1	6.59
	4	44.07	1.6	12.05
	5	54.87	2.1	17.5
	6	15.52	1.9	6.62
	7	32.56	1.6	10.47
	8	38.35	1.8	11.04
	9	27.39	2.5	15.53
	10	39.61	2.6	17.29
3	1	38.25	2.2	8.48
	2	75.71	2.2	25.93
	3	43.91	1.9	15.84
	4	48.26	2.6	20.10
	5	76.24	2.0	23.27

**Lanjutan Tabel 4.4** Data Percobaan Pelepasan Energi Arcing

Jumlah Serabut	Percobaan ke-	Arus HF Max (A)	Durasi (ms)	Energi (Joule)
3	6	50.25	2.1	14.68
	7	28.98	2.6	16.23
	8	54.91	1.7	20.96
	9	76.23	2.0	9.83
	10	23.73	1.8	9.48
6	1	67.09	3.7	34.55
	2	47.18	1.7	5.86
	3	49.81	3.9	23.96
	4	46.04	2.3	18.55
	5	28.98	2.6	17.65
	6	74.67	3.5	25.57
	7	48.60	2.5	18.75
	8	45.54	2.7	18.62
	9	58.43	4.1	24.58
	10	33.12	1.7	13.04
12	1	42.87	4.6	31.77
	2	62.08	6.9	56.39
	3	64.36	7.8	48.17
	4	62.08	6.9	39.37
	5	59.28	6.1	27.58
	6	53.07	4.2	32.96
	7	70.48	5.3	60.86
	8	56.46	3.4	35.73
	9	75.01	8.2	57.30
	10	44.17	5.4	39.92
24	1	90.49	8.6	163.08
	2	42.84	14.7	97.15
	3	73.46	14.5	84.76
	4	64.61	15.7	133.71
	5	74.56	17.7	129.10
	6	67.31	14.4	157.52
	7	83.78	17.5	115.48
	8	54.85	11.3	98.01
	9	42.63	14.9	141.43
	10	98.14	11.7	71.44

Dari table 4.4 diatas dapat disimpulkan bahwa jumlah serabut yang bersentuhan saat terjadi arcing berbanding lurus dengan energi yang dilepaskan pada saat peristiwa arcing. Sehingga dengan dasar tersebut dapat dikatakan bahwa tingkat keparahan peristiwa hubung singkat arcing sangat bergantung pada jumlah serabut kabel. Sehingga membuat pengklasifikasian tingkat keparahan berdasarkan jumlah serabut menjadi relevan. Oleh karena itu pada table berikut akan disimpulkan kategori tingkat keparahan gangguan arcing:

**Tabel 4.5** Kategori Arcing Berdasarkan Energi

Kategori	Range Energi (Joule)	Jumlah Titik Gangguan (n)	Range Arus HF (A)	Durasi (ms)	Kasus
Arcing Low	0 – 35	16 – 41	11.93 - 76.24	1.6 – 4.1	Jumlah serabut 1,3,6
Arcing Medium	36 – 70	42 - 78	42.87 - 75.01	4.2 7.8	Jumlah Serabut 12
Arcing High	71 – 200	86 - 75	42.63 – 98.14	8.6 – 17.5	Jumlah Serabut 24

Kategori diatas berperan untuk menggambarkan perbedaan tingkat keparahan pada peristiwa arcing yang berdasarkn pada perbedaan jumlah serabut kabel.

#### **4.5.4 Analisa Deteksi Kondisi Hubung Singkat (Arcing) Pada Program Deteksi Arcing**

Dari table 4.3 yang telah dibahas pada subbab sebelumnya dapat terlihat juga bahwa untuk jumlah titik data yang melebihi threshold dapat membedakan antara hubung singkat dengan jumlah serabut yang berbeda. Untuk itu dalam mempermudah pengkategorian dan identifikasi kategori pada modul pendeteksi, logika pengklasifikasian tingkat keparahan arcing akan didasarkan pada jumlah titik gangguan yang melebihi batas arus HF 1.5 A.

**Table 4.6** Tabel Logika Pendeteksian Kondisi Arcing

Threshold yang harus dilewati	Jumlah Titik gangguan (N)	Kategori
1.5 A	$N \leq 35$	Low
	$35 < N \leq 80$	Medium
	$N > 81$	High

Dalam program pendeteksian hubung singkat (arcing), threshold tersebut memiliki peran penting dan merupakan bagian utama dalam program pendeteksian. Program deteksi arcing tegangan rendah hanya dapat mendeteksi kondisi arcing karena kedua batas yang ditentukan sudah terlewati, batas yang dimaksud adalah threshold arus 1.5 A serta titik yang melewati hreshold tersebut > 13 titik.

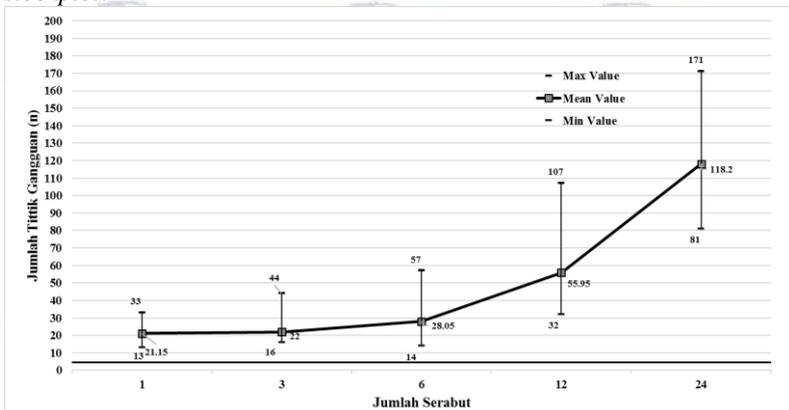
Hasil dari pendeteksian dan kategori tingkat keparahan yang terdeteksi akan ditampilkan dalam bentuk teks pada LCD 16x2 yang terpasang pada modul pendeteksi. Berikut akan ditampilkan foto dari hasil pendeteksian pada eksperimen yang telah dilakukan:



**Gambar 4.14** Indikator Modul Pendeteksi saat Kondisi Arcing Kategori “Medium”

#### 4.5.5 Analisa Probabilitas dan Persebaran Data Kondisi Arcing

Pada subbab kali ini, akan dibahas mengenai analisis hasil dari keseluruhan eksperimen kondisi hubung singkat (*arcing*) pada program deteksi *arcing* tegangan rendah melalui *software* dengan *toolbox stockplot*.



**Gambar 4.15** Grafik Persebaran Data Kondisi Arcing

Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin bertambahnya jumlah serabut nilai rata-rata dari arus yang terbaca pada modul pendeteksi meningkat. Hal ini disebabkan karena pada percobaan dengan serabut yang lebih banyak, lebih sering terjadi arcing sempurna

sehingga nilai dari arus HF yang terbaca akan lebih tinggi dibandingkan dengan jumlah serabut yang lebih sedikit.

#### 4.6 Analisa Akurasi Modul Pendeteksi

##### 4.6.1 Analisa Akurasi Modul Pendeteksi pada Keseluruhan Eksperimen

Pada subbab ini akan ditunjukkan hasil keseluruhan percobaan, dilakukan 250 percobaan dari ketiga kondisi eksperimen yang dilakukan, pada tabel 4.4 ditunjukkan deskripsi percobaan dan keakuratan hasil.

**Table 4. 7** Jumlah Percobaan dan Tingkat Akurasi

Jenis Kondisi	Variabel	Jumlah Eksperimen Tiap Variabel	Jumlah Percobaan	Tingkat Keberhasilan Pendeteksian (%)
Normal	1 lampu – 10 lampu	10 Percobaan	100	100
Switching	1 lampu – 10 lampu	10 Percobaan	100	99
Arcing	1, 3, 6, 12, dan 24 Serabut	20 Percobaan	100	100
Total			300	99.67%

Dari table 4.4 diatas dapat disimpulkan bahwa modul pendeteksi telah dapat mendeteksi ketiga kondisi yang diujikan dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi.

##### 4.6.2 Analisa Akurasi Modul Pendeteksi pada Pendeteksian Tingkat Keperahan Arcing

Pada subbab ini akan ditunjukkan hasil dari 20 percobaan hubung singkat untuk menguji akurasi pada modul pendeteksi. Pada table berikut ditunjukkan jumlah serabut serta kategori yang diharapkan untuk dideteksi serta jumlah percobaan dan jumlah keberhasilan modul dalam mendeteksi tingkat keparahan busur api yang terjadi.

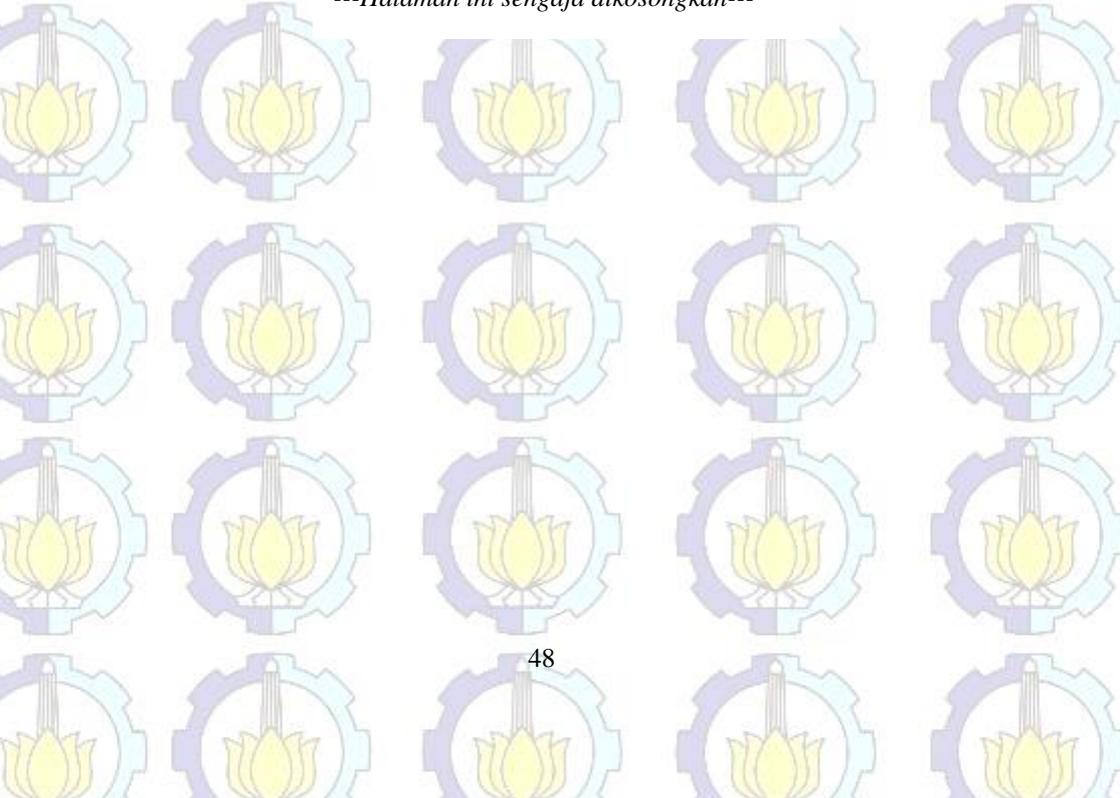
**Table 4.8** Percobaan Pengklasifikasian dan tingkat Akurasi

	Jumlah Serabut	Jumlah titik > threshold	Target Kategori	Target Kategori Hasil
1	1	20	Low	Low
2	1	21	Low	Low
3	3	19	Low	Low
4	3	27	Low	Low
5	3	24	Low	Low
6	6	36	Low	Medium
7	6	26	Low	Low
8	12	42	Medium	Medium
9	12	37	Medium	Medium
10	12	54	Medium	Medium
11	12	69	Medium	Medium
12	12	83	Medium	High
13	12	37	Medium	Medium
14	24	149	High	High
15	24	132	High	High
16	24	112	High	High
17	24	157	High	High
18	24	82	High	High
19	24	128	High	High
20	24	101	High	High

Dari table 4.5 diatas dapat terlihat hasil pengujian modul pendeteksi dalam mengklasifikasikan gangguan arcng yang terjadi. Dari 20 kali pengujian menggunakan beberapa jumlah serabut maka diperoleh bahwa modul pengujian berhasil mengklasifikasikan secara tepat dengan persentasi keberhasilan mencapai 90%. Untuk hasil pengklasifikasian yang belum sesuai dapat disebabkan oleh berbagai macam factor misalkan kondisi tegangan jala-jala maupun pada saat terjadi arcng yang tidak sempurna pada serabut yang bersentuhan.



*---Halaman ini sengaja dikosongkan---*

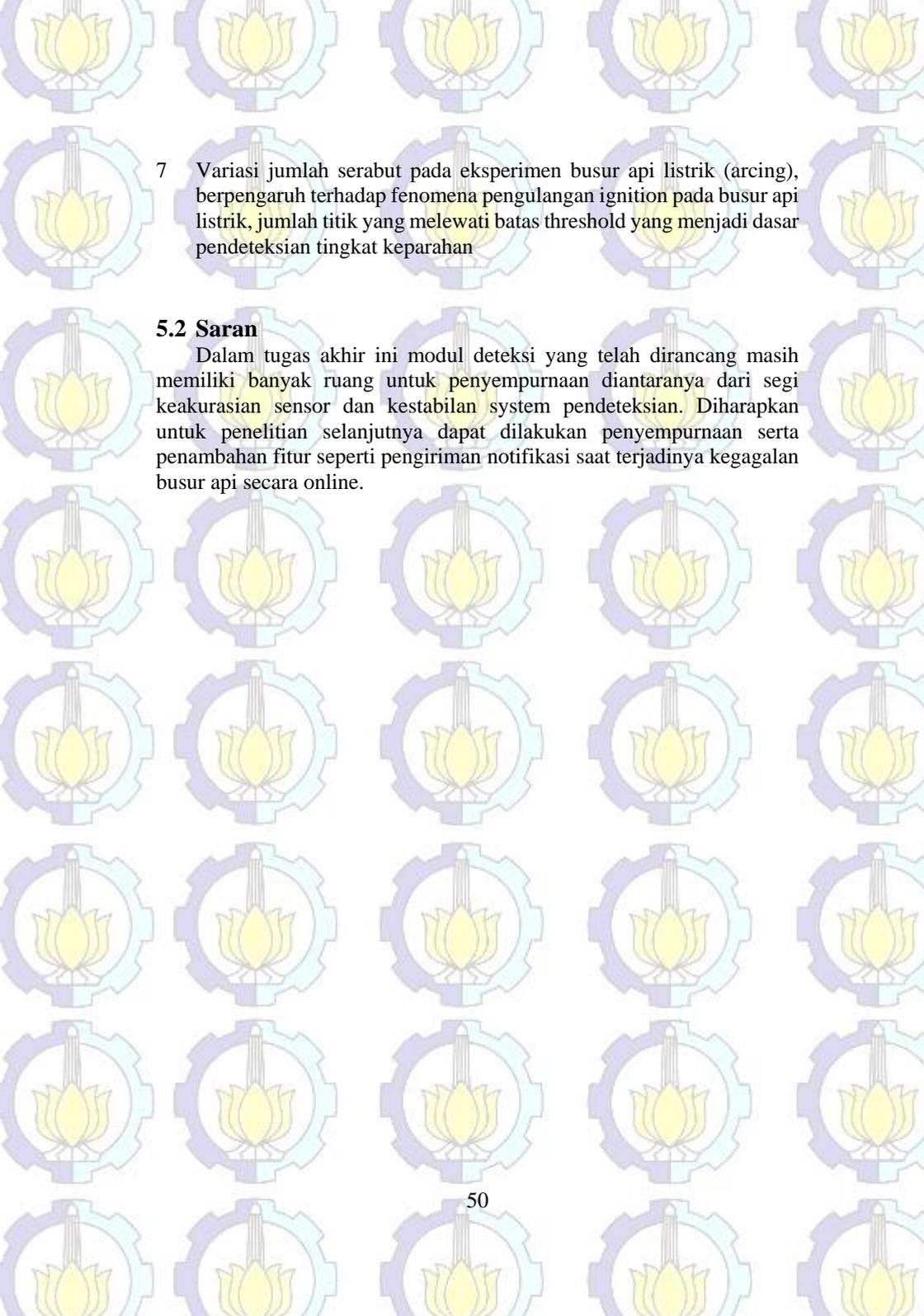


## BAB 5 PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang didapatkan dari eksperimen desain dan implementasi modul deteksi arcng tegangan rendah berbasis wavelet transform menggunakan mikokontroler, dengan tiga kondisi pengujian utama yaitu kondisi normal, kondisi switching dan kondisi arcng adalah sebagai berikut:

- 1 Discrete Wavelete Transform merupakan transformasi yang mentransformasi sinyal menjadi 2 dekomposisi yaitu low frequency (LF) dan High Frequency (HF), yang kemudian digunakan sinyal HF karena dekomposisi ini adalah detail. Sinyal HF akan berbentuk sinyal discrete yang bertujuan untuk memudahkan dalam pendeteksian dan analisa.
- 2 Kondisi switching dideteksi menggunakan dasar threshold yang di-set pada nilai 1.5 A, dan jumlah titik gangguan yang melewati threshold  $< 13$ , pada modul deteksi akan ditunjukkan dengan indicator berupa “Switching”
- 3 Tingkat keparahan gangguan arcng dapat diklasifikasikan sesuai dengan jumlah serabut dan energi yang dilepaskan, diterapkan dalam logika pendeteksian berdasarkan jumlah titik gangguan
- 4 Program pendeteksian arcng menggunakan threshold dasar yaitu arus HF diatas 1.5 A dan jumlah titik gangguan yang melewati threshold (n) dalam range  $13 \leq n < 35$  merupakan hasil dari kondisi arcng, indicator deteksi ditunjukkan dengan teks berupa “Arcing Low”
- 5 Program pendeteksian arcng menggunakan threshold dasar yaitu arus HF diatas 1.5 A dan jumlah titik gangguan yang melewati threshold (n) dalam range  $36 \leq n < 80$  merupakan hasil dari kondisi arcng, indicator deteksi ditunjukkan dengan teks berupa “Arcing Medium”
- 6 Program pendeteksian arcng menggunakan threshold dasar yaitu arus HF diatas 1.5 A dan jumlah titik gangguan yang melewati threshold (n) dalam range  $n > 80$  merupakan hasil dari kondisi arcng, indicator deteksi ditunjukkan dengan teks berupa “Arcing High”

- 
- 7 Variasi jumlah serabut pada eksperimen busur api listrik (arcing), berpengaruh terhadap fenomena pengulangan ignition pada busur api listrik, jumlah titik yang melewati batas threshold yang menjadi dasar pendeteksian tingkat keparahan

## 5.2 Saran

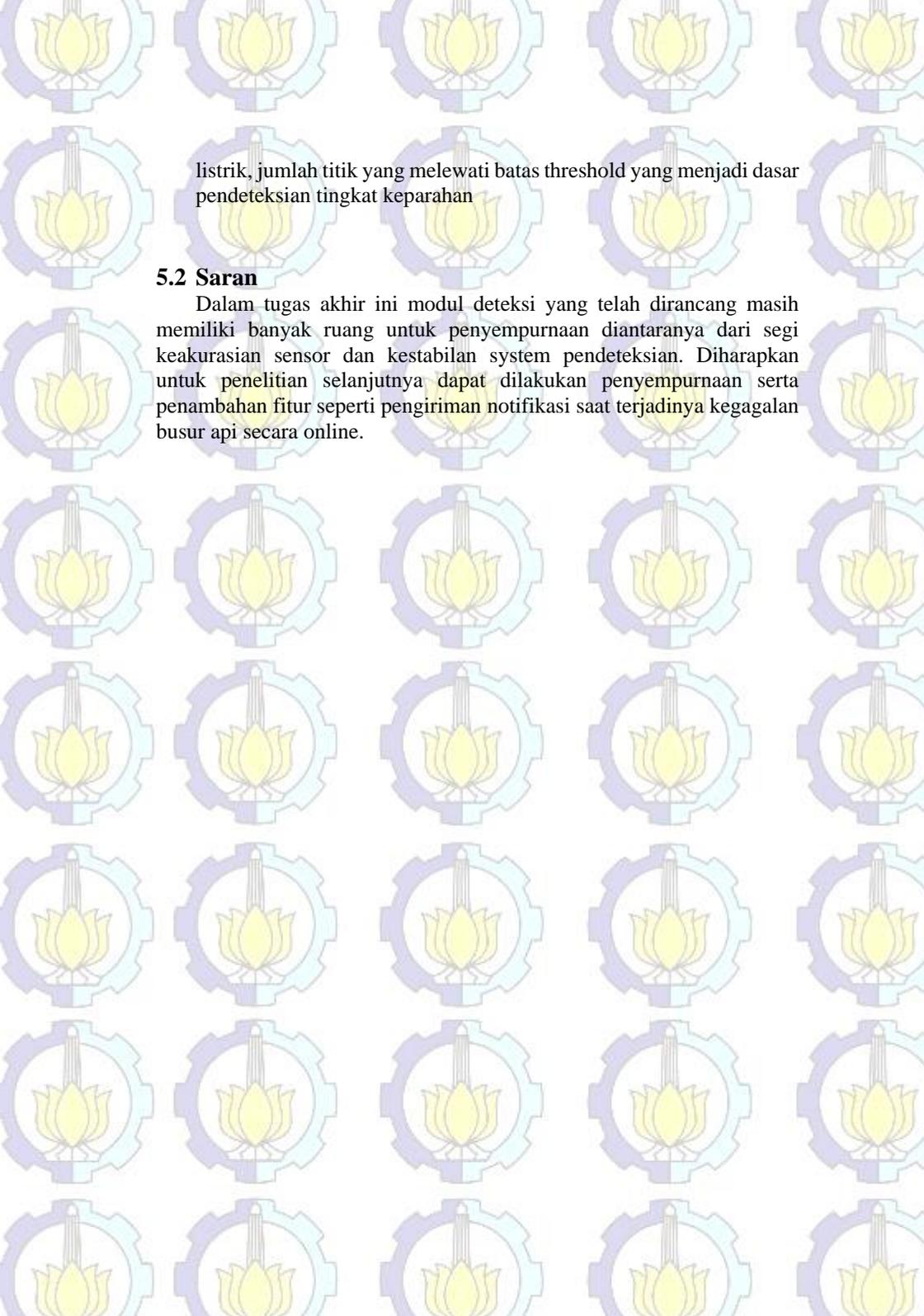
Dalam tugas akhir ini modul deteksi yang telah dirancang masih memiliki banyak ruang untuk penyempurnaan diantaranya dari segi keakurasian sensor dan kestabilan system pendeteksian. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan penyempurnaan serta penambahan fitur seperti pengiriman notifikasi saat terjadinya kegagalan busur api secara online.

## BAB 5 PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang didapatkan dari eksperimen desain dan implementasi modul deteksi arcing tegangan rendah berbasis wavelet transform menggunakan mikokontroler, dengan tiga kondisi pengujian utama yaitu kondisi normal, kondisi switching dan kondisi arcing adalah sebagai berikut:

- 1 Discrete Wavelete Transform merupakan transformasi yang mentransformasi sinyal menjadi 2 dekomposisi yaitu low frequency (LF) dan High Frequency (HF), yang kemudian digunakan sinyal HF karena dekomposisi ini adalah detail. Sinyal HF akan berbentuk sinyal discrete yang bertujuan untuk memudahkan dalam pendeteksian dan analisa.
- 2 Kondisi switching dideteksi menggunakan dasar threshold yang di-set pada nilai 1.5 A, dan jumlah titik gangguan yang melewati threshold  $< 13$ , pada modul deteksi akan ditunjukkan dengan indicator berupa “Switching”
- 3 Program pendeteksian arcing menggunakan threshold dasar yaitu arus HF diatas 1.5 A dan jumlah titik gangguan yang melewati threshold (n) dalam range  $13 \leq n < 35$  merupakan hasil dari kondisi arcing, indicator deteksi ditunjukkan dengan teks berupa “Arcing Low”
- 4 Program pendeteksian arcing menggunakan threshold dasar yaitu arus HF diatas 1.5 A dan jumlah titik gangguan yang melewati threshold (n) dalam range  $36 \leq n < 80$  merupakan hasil dari kondisi arcing, indicator deteksi ditunjukkan dengan teks berupa “Arcing Medium”
- 5 Program pendeteksian arcing menggunakan threshold dasar yaitu arus HF diatas 1.5 A dan jumlah titik gangguan yang melewati threshold (n) dalam range  $n > 80$  merupakan hasil dari kondisi arcing, indicator deteksi ditunjukkan dengan teks berupa “Arcing High”
- 6 Variasi jumlah serabut pada eksperimen busur api listrik (arcing), berpengaruh terhadap fenomena pengulangan ignition pada busur api



listrik, jumlah titik yang melewati batas threshold yang menjadi dasar pendeteksian tingkat keparahan

## 5.2 Saran

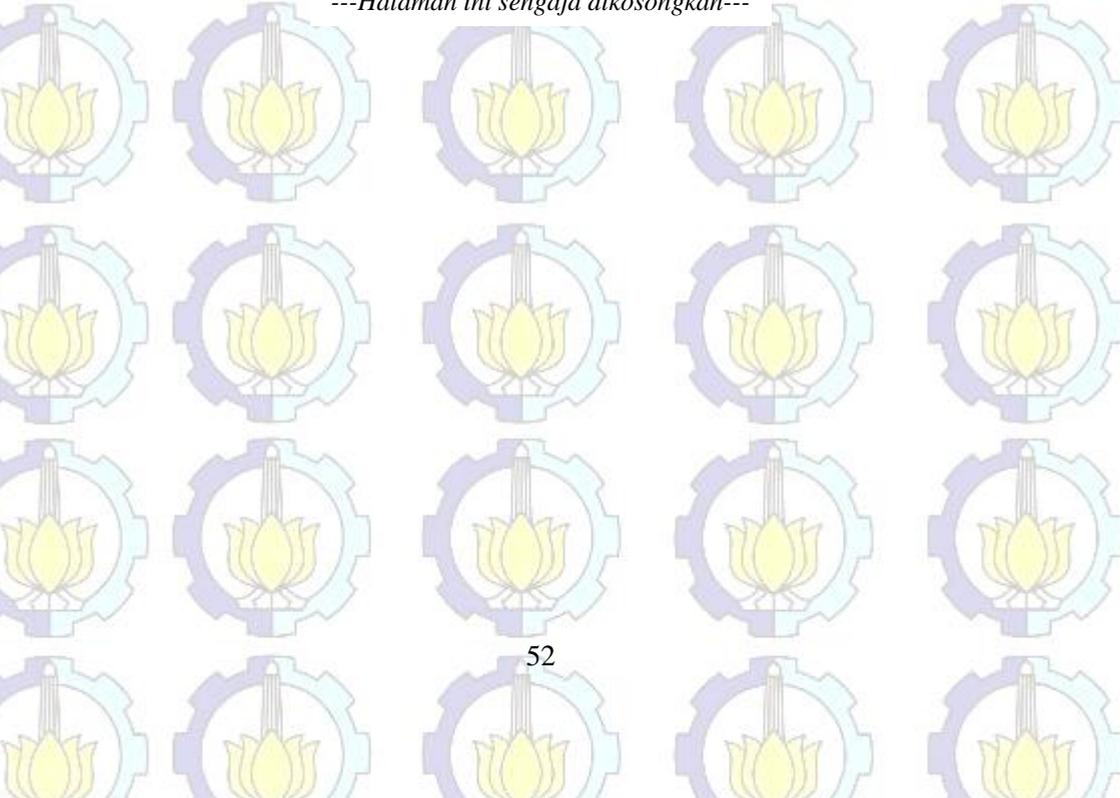
Dalam tugas akhir ini modul deteksi yang telah dirancang masih memiliki banyak ruang untuk penyempurnaan diantaranya dari segi keakurasian sensor dan kestabilan system pendeteksian. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan penyempurnaan serta penambahan fitur seperti pengiriman notifikasi saat terjadinya kegagalan busur api secara online.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Perusahaan Listrik Negara (PLN). “RUPTL PLN Tahun 2016-2025.” PLN.
- [2] Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), “Data Bencana Kebakaran Pemukiman” <URL [http://geospasial.bnpb.go.id/pantauanbencana/data/dataakbmukim\\_all.php](http://geospasial.bnpb.go.id/pantauanbencana/data/dataakbmukim_all.php)>, 2017.
- [3] Riza Fakhroun Nisa', Dimas Anton Asfani, dan I Made Yulistya Negara, “Analisis Karakteristik Busur Api Listrik Pada Tegangan Rendah Karena Pengaruh Impedansi Saluran Menggunakan Transformasi Haar Wavelet”, Jurnal Teknik Pomits Vol. 1, No. 1, 2015.
- [4] K. Yang, R. Zhang, J. Yang, C. Liu, S. Chen, dan F. Zhang, “A Novel Arc Fault Detector for Early Detection of Electrical Fires,” Sensors, vol. 16, no. 4, hal. 500, Apr 2016.
- [5] Cheng H, Chen XJ, Liu FY, et al. “Series arc fault detection and implementation based on the short-time fourier transform”, Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), Chengdu, China. pp.1-4, March 2010
- [6] 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”, IEEE
- [7] A. Wicaksono, D. A. Asfani and I. M. Y. Negara, Desain dan Implementasi Peralatan Deteksi Arcing Tegangan Rendah Berbasis LabView, Surabaya: ITS, 2017.
- [8] Abdillah Fashiha Ilman, , Dimas Anton Asfani, dan I Made Yulistya Negara, “Perancangan Peralatan Identifikasi Arcing Tegangan Rendah Berbasis Transformasi Wavelet”, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017
- [9] Muhammad Wildan Arinal Haq, Dimas Anton Asfani, dan Daniar Fahmi, “Deteksi dan Penentuan Kategori Besaran Arcing pada Hubung Singkat Tegangan Rendah”, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.



*---Halaman ini sengaja dikosongkan---*



## RIWAYAT HIDUP



Dwika Widyantama merupakan anak kedua dari pasangan Bapak Mulyanto dan Ibu Wiwik Widyaningsih. Bertempat lahir di Salatiga, pada tanggal 26 Februari 1995. Mengawali Pendidikan formalnya dari SDN 1 Salatiga, SMPN 1 Salatiga, kemudian melanjutkan jenjang Pendidikan di SMAN 1 Salatiga. Pada tahun 2013 penulis melanjutkan studi ke jenjang perguruan tinggi di Teknik Elektro, Institut Teknologi Novermber. Mengambil bidang studi Teknik sistem tenaga, penulis berusaha mewujudkan cita-cita masa kecilnya untuk menjadi seorang “Insinyur”. Penulis dapat dihubungi di: [dwika.widyantama@gmail.com](mailto:dwika.widyantama@gmail.com)



*---Halaman ini sengaja dikosongkan---*

