



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**ANALISIS DETEKSI BUSUR API LISTRIK PADA  
TEGANGAN RENDAH BERBASIS TRANSFORMASI  
DISKRIT WAVELET**

Akhmad Sudaryono  
NRP 2211 100 007

Dosen Pembimbing  
Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.  
Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**ANALISIS DETEKSI BUSUR API LISTRIK PADA  
TEGANGAN RENDAH BERBASIS TRANSFORMASI  
DISKRIT WAVELET**

Akhmad Sudaryono  
NRP 2211 100 007

Dosen Pembimbing  
Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.  
Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - TE 141599**

**DETECTION ANALYSIS OF ARC FLASH IN LOW  
VOLTAGE ELECTRICAL POWER BASED ON DISCRETE  
WAVELET TRANSFORMATION**

Akhmad Sudaryono  
NRP 2211 100 007

Advisor

Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.  
Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTEMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**ANALISIS DETEKSI BUSUR API LISTRIK PADA TEGANGAH  
RENDAH BERBASIS TRANSFORMASI DISKRIT WAVELET**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

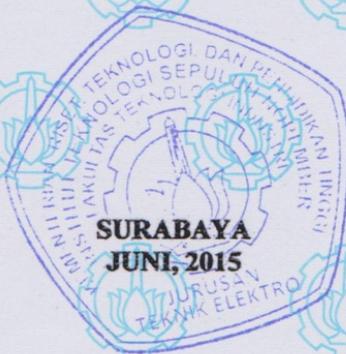
**Menyetujui:**

**Dosen Pembimbing I,**

**Dosen Pembimbing II,**

**Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.**  
NIP. 198109052005011002

**Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.**  
NIP. 1970071219980211001



# ANALISIS DETEKSI BUSUR API LISTRIK PADA TEGANGAN RENDAH BERBASIS TRANSFORMASI DISKRIT WAVELET

Nama : Akhmad Sudaryono  
Pembimbing I : Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.  
Pembimbing II : Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

## ABSTRAK

Pada penelitian ini, karakteristik amplitudo sinyal arus gangguan dan tegangan saat terjadi *arc fault* pada tegangan rendah akan dianalisis menggunakan transformasi diskrit wavelet dengan membandingkan keadaan normal dan keadaan saat terjadi gangguan. *Arc fault* pada tegangan rendah tergolong gangguan yang arusnya memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan dengan arus gangguan lain.

Analisa deteksi ini menggunakan variasi frekuensi sampling dan transformasi diskrit wavelet *haar*. Dari hasil analisa didapatkan bahwa *haar wavelet* level 1 sudah sangat efektif digunakan untuk analisa deteksi. Keluaran dari transformasi wavelet digunakan untuk melakukan perbandingan nilai HF antara kondisi normal, *switching*, dan *arcing*. Maka dengan metode perbandingan ini akan dapat diklarifikasi dan dideteksi antara kondisi *switching transient* saat penambahan beban dan kondisi *arcing* terjadi.

**Kata Kunci :** Normal, *Switching*, *Arc fault*, Transformasi Diskrit Wavelet, Perbandingan, Deteksi.



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DETECTION ANALYSIS OF ARC FLASH IN LOW VOLTAGE ELECTRICAL POWER BASED ON DISCRETE WAVELET TRANSFORMATION

Name : Akhmad Sudaryono  
1<sup>st</sup> Advisor : Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.  
2<sup>nd</sup> Advisor : Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

## ABSTRACT

*In this study, characteristics of signal amplitude of the fault current and voltage during occurred arc fault in low voltage will be analyzed using discrete wavelet transformation by comparing the normal state and the current state of disruption. Arc fault in low voltage current is classified as a disorder that has different characteristics compared with other fault current.*

*This detection analysis using a variation of sampling frequency and discrete wavelet transform haar. From the analysis showed that level 1of haar wavelet has been very effective used for detection analysis. The output of wavelet transform is used to perform a comparison value of HF between normal, switching, and arcing. So with this comparison method will be clarified and detected between switching transient and arcing condition.*

**Key Words : Normal, Switching, Arc fault, Discrete Wavelet Transformation, Comparison, Detection.**



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya. Shalawat serta salam selalu tercurah kepada Nabi Besar Muhammad SAW, keluarga, dan sahabat serta kita semua sebagai umatnya. Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir **“Analisis Deteksi Busur Api Listrik Pada Tegangan Rendah Berbasis Transformasi Diskrit Wavelet”** ini tepat waktu.

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan menyelesaikan pendidikan sarjana pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pelaksanaan dan penyelesaian Tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dimas Anton Asfani dan Bapak I Made Yulistya Negara, atas segala pengetahuannya dan waktunya dalam membimbing penulis sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.
2. Kedua Orang tua dan adik penulis yang selalu memberikan nasehat, semangat, dan doa kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini bisa terselesaikan tepat pada waktunya.
3. Mas Daniar F., Mas Teguh, Mas Afif, Mas Bimo, Mas Jentrung, Mas Sandy dan Mas-mas e50, yang telah memberikan inspirasi bagi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh Dosen, dan Staff Karyawan Jurusan Teknik Elektro-FTI, ITS yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.
5. Teman-teman Angkatan 2011 (e51) yang membantu penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir.
6. Teman-teman WP Crew (Aldo (Pilot), Alfian (alay), Anjik (Prince), Dyal, Dylan (Penyok), Arief BHS, Gilang, Kevin (bogang), Gungde, Toshi, Irwin, Sinyo, Lucky, Lukman, Mamet, Alaydrus, Radit, Roy, Satria, Vigor, Yanu, Yosep (Pohon), dan Yosua) yang telah mendukung penulis agar dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini..
7. Teman-teman Laboratorium Tegangan Tinggi yang mengingatkan dan mendukung penulis agar penulis bisa wisuda ke-112.
8. Novia Ayu Irmawati dan Riza Fakhroun Nisa, yang telah membantu dan memberi semangat sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai tepat waktu.

Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini bermanfaat dan berguna bagi penulis khususnya dan juga bagi para pembaca pada umumnya.

Surabaya, Mei 2015

**Penulis**

# DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Sistematika Penulisan	2
<b>BAB 2 ARC FAULT DAN METODE TRANSFORMASI DISKRIT WAVELET</b>	
2.1 <i>Arcing Fault</i> di Tegangan Rendah	3
2.2 Transformasi <i>Wavelet</i>	5
2.2.1 Persamaan Transformasi <i>Wavelet</i>	6
2.2.2 <i>Discrete Wavelet Transform</i>	7
2.2.3 <i>Wavelet Tree</i> dan Level Dekomposisi	7
2.3 Metode Deteksi Gangguan	9
<b>BAB 3 PERANCANGAN EKSPERIMEN DAN METODE</b>	
3.1 Perancangan Alat Eksperimen	11
3.1.1 Kabel NYMHY 2x1,5mm <sup>2</sup>	12
3.1.2 Beban Lampu 100 Watt	12
3.1.3 <i>Chamber</i> Akrilik	12
3.1.4 Fuse dan Fuse Box	13
3.1.5 PXI	13
3.1.6 Probe Arus dan Probe Tegangan	13
3.1.7 Current Transformer (CT)	14
3.1.8 Software LabVIEW	14
3.2 Pengambilan Data	15

3.3 Pengolahan Data	17
3.3.1 Proses Pemotongan Data	18
3.3.2 Proses Filtering Data	18
3.3.3 Proses Plotting dan Analisa Data	19

**BAB 4 HASIL DAN ANALISIS DATA**

4.1 Analisa Bentuk Gelombang <i>Arcing</i>	23
4.1.1 Skema Percobaan dan Pengambilan Data	23
4.2 Reduksi Frekuensi Sampling	25
4.3 Analisa Deteksi <i>Arc Fault</i>	27
4.3.1 Hasil Pengolahan Data dengan <i>DWT</i>	27
4.3.2 Perbandingan Nilai HF	30
4.3.3 Analisa Probabilistik	43
4.3.4 Flowchart Deteksi <i>Arcing</i> pada Sistem Tenaga Listrik Tegangan Rendah	47

**BAB 5 PENUTUP**

5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51

**DAFTAR PUSTAKA  
RIWAYAT HIDUP**

53
55

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 3.1</b> Spesifikasi PXIe-073	13
<b>Tabel 3.2</b> Spesifikasi Probe Arus	14
<b>Tabel 3.3</b> Spesifikasi Probe Tegangan	14
<b>Tabel 3.4</b> Spesifikasi CT	14
<b>Tabel 3.5</b> Parameter <i>Low-pass</i> Filter	19
<b>Tabel 4.1</b> Diskripsi Percobaan	23
<b>Tabel 4.2</b> Perbandingan Nilai HF Data Serabut 1 <i>DWT</i> Level 1 dengan Variasi Frekuensi Sampling	35
<b>Tabel 4.3</b> Perbandingan Nilai HF Data Serabut 1 <i>DWT</i> Level 2 dengan Variasi Frekuensi Sampling	37
<b>Tabel 4.4</b> Perbandingan Nilai HF Data Serabut 1 <i>DWT</i> Level 3 dengan Variasi Frekuensi Sampling	40
<b>Tabel 4.5</b> Tingkat Keberhasilan Deteksi <i>Arcing</i> Serabut 1, 6, dan 18	49



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

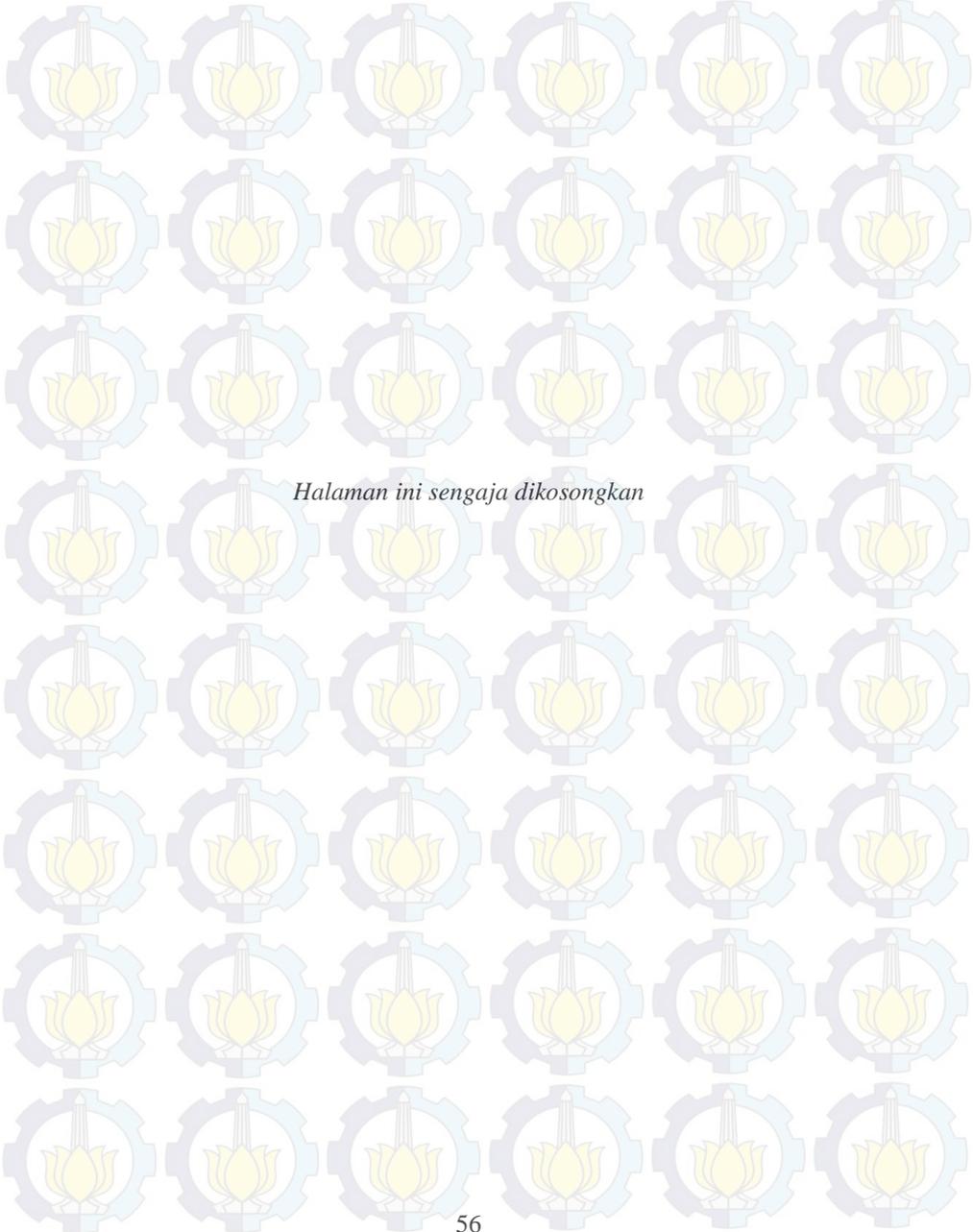
	Halaman
<b>Gambar 2.1</b>	Diagram Dekomposisi <i>DWT</i> 8
<b>Gambar 3.1</b>	Skema Perancangan Alat Eksperimen 11
<b>Gambar 3.2</b>	Alat Eksperimen 12
<b>Gambar 3.3</b>	Kondisi Normal 16
<b>Gambar 3.4</b>	Kondisi <i>Switching</i> Penambahan Beban 16
<b>Gambar 3.5</b>	Kondisi Saat Terjadi <i>Arc Fault</i> 17
<b>Gambar 3.6</b>	Alur Pengolahan Data Eksperimen 17
<b>Gambar 3.7</b>	Skematik <i>Low-pass</i> Filter pada SIMULINK 19
<b>Gambar 3.8</b>	Alur Transformasi <i>Wavelet</i> 20
<b>Gambar 4.1</b>	Plotting Data $\frac{1}{2}$ cycle Kondisi Normal (5A) 24
<b>Gambar 4.2</b>	Plotting Data $\frac{1}{2}$ cycle Kondisi <i>Switching</i> 24
<b>Gambar 4.3</b>	Plotting Data $\frac{1}{2}$ cycle Kondisi <i>Arcing</i> Serabut 1 24
<b>Gambar 4.4</b>	Plotting Data $\frac{1}{2}$ cycle Kondisi <i>Arcing</i> Serabut 6 24
<b>Gambar 4.5</b>	Plotting Data $\frac{1}{2}$ cycle Kondisi <i>Arcing</i> Serabut 18 24
<b>Gambar 4.6</b>	Hasil Reduksi Menjadi 50KSampling/s 26
<b>Gambar 4.7</b>	Hasil Reduksi Menjadi 10KSampling/s 26
<b>Gambar 4.8</b>	Hasil Reduksi Menjadi 5KSampling/s 26
<b>Gambar 4.9</b>	Hasil Reduksi Menjadi 1KSampling/s 26
<b>Gambar 4.10</b>	Low Frequency dengan HAAR Level 1,2, dan 3 28
<b>Gambar 4.11</b>	High Frequency dengan HAAR Level 1,2, dan 3 29
<b>Gambar 4.12</b>	HF Kondisi Normal 5KSampling/s 30
<b>Gambar 4.13</b>	HF Kondisi <i>Switching</i> 5KSampling/s 31
<b>Gambar 4.14</b>	HF Kondisi <i>Arcing</i> Serabut 1 5KSampling/s 31
<b>Gambar 4.15</b>	HF Kondisi <i>Arcing</i> Serabut 6 5KSampling/s 31
<b>Gambar 4.16</b>	HF Kondisi <i>Arcing</i> Serabut 18 5KSampling/s 31
<b>Gambar 4.17</b>	HF Normal dan HF <i>Arcing</i> Serabut 18 1KSampling/s 32
<b>Gambar 4.18</b>	HF Normal dan HF <i>Arcing</i> Serabut 18 5KSampling/s 32
<b>Gambar 4.19</b>	HF Normal dan HF <i>Arcing</i> Serabut 18 10KSampling/s 33
<b>Gambar 4.20</b>	HF Normal dan HF <i>Arcing</i> Serabut 18 50KSampling/s 33
<b>Gambar 4.21</b>	HF Normal dan HF <i>Arcing</i> Serabut 18 100KSampling/s 34

<b>Gambar 4.22</b>	Histogram Distribusi Normal Nilai HF Serabut 1, Serabut 6, dan Serabut 18 Frekuensi 5KSampling/s	43
<b>Gambar 4.23</b>	Histogram Serabut 1 Frekuensi 5KSampling/s	44
<b>Gambar 4.24</b>	Histogram Serabut 6 Frekuensi 5KSampling/s	44
<b>Gambar 4.25</b>	Histogram Serabut 18 Frekuensi 5KSampling/s	45
<b>Gambar 4.26</b>	Scatterplot Serabut 1 Frekuensi 5KSampling/s	46
<b>Gambar 4.27</b>	Scatterplot Serabut 6 Frekuensi 5KSampling/s	46
<b>Gambar 4.28</b>	Scatterplot Serabut 18 Frekuensi 5KSampling/s	47
<b>Gambar 4.29</b>	Flowchart Deteksi <i>Arcing</i>	48

## RIWAYAT HIDUP



**Akhmad Sudaryono**, lahir di Sumenep, 04 Mei 1993. Riwayat pendidikan penulis yaitu, SDN Pangarangan I Sumenep, Madura (lulus 2005) , lulus pendidikan SMP tahun 2008 di SMPN 1 Sumenep. Tahun 2011 lulus dari SMAN 1 Pamekasan. Kemudian melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Elektro di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2011. Selama kuliah, penulis aktif di organisasi HIMA. Selain aktif di organisasi, penulis juga menjadi koordinator praktikum dan menjadi trainer di Laboratorium Tegangan Tinggi Elektro ITS. Penulis mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga dan fokus pada riset mengenai deteksi *arc fault* di low voltage. Penulis dapat dihubungi melalui email [akhmadsudaryono@gmail.com](mailto:akhmadsudaryono@gmail.com).



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

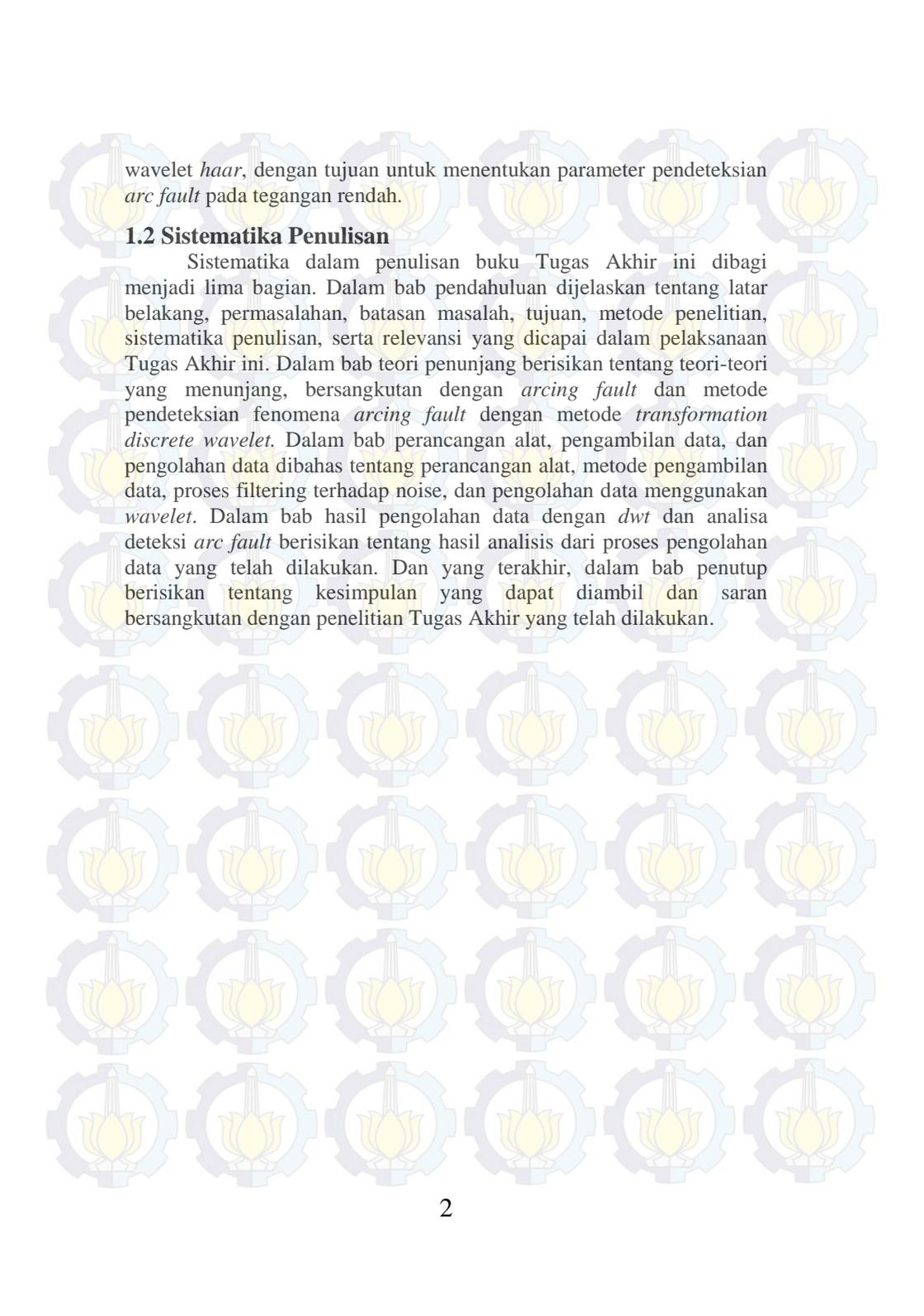
# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Pengguna energi listrik di Indonesia meningkat tiap tahunnya, khususnya pelanggan rumah tangga. Pada umumnya, pelanggan rumah tangga yang berada di permukiman padat penduduk memiliki instalasi listrik yang kurang baik. Di kehidupan sehari-hari banyak terjadi fenomena *arc fault* akibat kegagalan isolasi. Kegagalan isolasi ini dapat ditimbulkan oleh beberapa factor, salah satunya adalah pemasangan instalasi kabel yang kurang baik. Fenomena *arc fault* ini akan memicu terjadinya kebakaran, baik pada instalasi maupun pada rumah. Hal ini diperkuat oleh data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) periode Agustus 2011 sampai dengan Juni 2015 dari 978 kasus kebakaran yang terjadi di permukiman penduduk, 649 diantaranya disebabkan adanya korsleting listrik [1]. Hal ini disebabkan karena ketidak mampuan peralatan pengamanan peralatan listrik, pemilihan kabel yang digunakan kurang tepat, dan instalasi kabel yang kurang baik.

Adanya gangguan hubung singkat yang tidak terdeteksi dan terproteksi akan menyebabkan terjadinya kebakaran pada instalasi tegangan rendah karena adanya *arc fault* yang terus terjadi. Bahaya kebakaran ini sangat merugikan banyak pihak dan memakan kerugian material yang sangat besar. Bahaya kebakaran akibat hubung singkat ini sangatlah rentan terjadi karena ketidak mampuan peralatan proteksi pada level tegangan rendah untuk mendeteksi dan mengatasi gangguan ini. Hubung singkat ini biasanya dapat terdeteksi oleh rele arus lebih karena arusnya cenderung lebih besar daripada overload, namun hal itu hanya berlaku jika gangguan bersifat kontinyu. Pada level tegangan rendah tidak dapat terdeteksi karena memiliki karakteristik arus dan fenomena berbeda dari hubung singkat yang terjadi pada level tegangan lain. Hal ini menyebabkan *arc fault* tidak bisa diatasi secara efektif yang dapat berujung pada kebakaran.

Dalam Tugas Akhir ini, akan dibahas tentang perbandingan arus dan tegangan pada kondisi normal, pada kondisi *switching* (penambahan beban), dan pada kondisi saat terjadi *arcing fault*. Serta untuk menganalisa sinyal arus normal, *switching* dan fenomena *arcing fault* pada tegangan rendah dengan menggunakan metode transformasi diskrit



wavelet *haar*, dengan tujuan untuk menentukan parameter pendeteksian *arc fault* pada tegangan rendah.

## 1.2 Sistematika Penulisan

Sistematika dalam penulisan buku Tugas Akhir ini dibagi menjadi lima bagian. Dalam bab pendahuluan dijelaskan tentang latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika penulisan, serta relevansi yang dicapai dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini. Dalam bab teori penunjang berisikan tentang teori-teori yang menunjang, bersangkutan dengan *arc fault* dan metode pendeteksian fenomena *arc fault* dengan metode *transformation discrete wavelet*. Dalam bab perancangan alat, pengambilan data, dan pengolahan data dibahas tentang perancangan alat, metode pengambilan data, proses filtering terhadap noise, dan pengolahan data menggunakan *wavelet*. Dalam bab hasil pengolahan data dengan *dwt* dan analisa deteksi *arc fault* berisikan tentang hasil analisis dari proses pengolahan data yang telah dilakukan. Dan yang terakhir, dalam bab penutup berisikan tentang kesimpulan yang dapat diambil dan saran bersangkutan dengan penelitian Tugas Akhir yang telah dilakukan.

## BAB 2

# ARC FAULT DAN METODE TRANSFORMASI DISKRIT WAVELET

### 2.1 Arcing Fault di Tegangan Rendah

Listrik sudah merupakan kebutuhan utama dalam kehidupan sehari-hari yang disertai dengan kebutuhan pengamanan peralatan listrik. Pemanfaatan dari energi listrik ini rentan terhadap resiko *overload*, *short circuit* (hubung singkat), arus bocor, *arc fault*, dan potensi kerusakan infrastruktur dan dampak langsung maupun tidak langsung pada keselamatan manusia. Peralatan pengamanan seperti fuse, MCB (Miniatur Circuit Breaker), dan RCD (Residual Current Device) sudah ada selama beberapa dekade untuk meningkatkan sistem pengamanan pada instalasi listrik. Fuse dan MCB didesain untuk memproteksi sistem terhadap *overload* dan *short circuit* yang dapat menyebabkan dampak kerusakan peralatan dan kebakaran. RCD dirancang untuk dapat mendeteksi arus bocor pada tanah yang disebabkan oleh isolasi yang sudah kurang baik atau kontak yang tidak sengaja pada peralatan yang bertegangan. Di banyak kasus, peralatan-peralatan ini mendeteksi terjadinya *fault* dengan membandingkan arus beban dengan arus *fault* atau perbedaan antara arus di fasa dan netral dengan sebuah nilai arus sebagai batas trip. Pada Tugas Akhir ini akan membahas tentang fenomena *arcing fault*. Fenomena *arcing fault* ini baik *arc fault* paralel ataupun seri tidak dapat dideteksi dengan peralatan pengaman konvensional, karena mereka mempunyai karakteristik tertentu. Salah satunya adalah selama terjadinya fenomena *series arc fault*, tidak ada arus bocor pada tanah sehingga RCD tidak bisa mendeteksi gangguan seperti ini. Selain itu arus beban tidak berubah atau menjadi lebih rendah oleh terjadinya fenomena *series arc fault* ini dan peralatan pengamanan terhadap arus lebih seperti MCB dan fuse tidak dapat trip sesuai ekspektasi. Dalam fenomena *parallel arc fault* antar fasa dan netral, arus hanya terbatas terhadap impedansi dari instalasi dan kebanyakan peralatan pengamanan terhadap arus lebih banyak yang menafsirkan bahwa gangguan tersebut sebagai sebuah fenomena *short circuit* dan akan trip. Namun dalam kasus tertentu, dimana impedansi saluran sangat tinggi. Maka *parallel arc fault* terjadi tidak kontinu namun mempunyai arus *fault* yang besar, MCB konvensional atau tidak akan dapat untuk trip dengan cukup cepat [2].

Berdasarkan data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) periode Agustus 2011 sampai dengan Agustus 2014 dari 900 kasus kebakaran yang terjadi di pemukiman penduduk 595 diantaranya disebabkan adanya korsleting listrik. Di luar negeri juga banyak kasus kebakaran yang disebabkan oleh *arc fault* ini. Oleh karena itu sudah ada peralatan proteksi baru yang disebut *AFCI* untuk instalasi tegangan rendah yang sudah digunakan sejak 1990 di Amerika Serikat. Namun alat masih banyak kekurangan, alat ini masih butuh prakondisi sebelum digunakan dengan menggunakan tegangan tinggi karbonisasi.

*Arc* sendiri dapat didefinisikan sebagai sebuah locatan bersinar pada fenomena peluahan listrik pada media isolasi, biasanya disertai oleh penguapan parsial pada elektroda [3]. Pada kasus yang banyak terjadi, peralatan pengaman seperti fuse dan MCB tidak dapat mendeteksi dan memproteksi peralatan dari *arc fault* ini karena arus pada gangguan ini mempunyai karakteristik arus dan fenomena yang berbeda dengan arus akibat gangguan yang terjadi pada level tegangan lain. Dalam kasus pada level tegangan rendah, banyak menggunakan kabel jenis serabut dengan pertimbangan harga yang lebih murah dibandingkan dengan kabel jenis copper atau tunggal. Kabel jenis serabut mempunyai isolasi pada kabel yang kurang baik dibandingkan dengan kabel copper. Pada banyak kasus kebakaran akibat korsleting listrik, apabila menggunakan kabel jenis serabut sulit sekali terdeteksi karena bahan isolasi kabel kurang baik dan mudah terbakar. Hal ini dapat berdampak pada peralatan lain apabila terkena percikan api dari fenomena *arc fault* tersebut. Namun apabila menggunakan kabel jenis copper yang mempunyai isolasi yang lebih baik, maka *arc* tidak akan timbul karena gangguan akan terdeteksi dan trip disebabkan arus gangguan bersifat kontinyu, sehingga mudah terbaca oleh peralatan pengaman. Arus pada kabel jenis copper ini mudah terbaca karena impedansi pada kabel yang tinggi sehingga tahan terhadap panas akibat arus yang besar yang lewat. Lain halnya dengan fenomena pada kabel jenis serabut yang tidak dapat menahan panas akibat arus besar yang lewat sehingga menimbulkan *arc* dan dapat membakar isolasi pada kabel.

Gangguan hubung singkat dan kerusakan isolasi pada sistem distribusi biasanya menimbulkan arcing fault . Arcing fault adalah percikan api/busur api pada sistem listrik yang terjadi diantara dua permukaan konduktor yang saling bersentuhan (terjadi hubung singkat) dan terjadi lompatan arus listrik melewati celah karena adanya tegangan yang mencukupi. Busur api mengionisasi udara yang selanjutnya

berubah menjadi konduktif yang memungkinkan terbentuknya arc . Arcing fault dibagi menjadi dua yaitu seri dan paralel. Konfigurasi seri berarti arus busur tidak lebih besar dari arus beban pada sistem. Sedangkan paralel arcing fault dapat terjadi sebagai short circuit (hubung singkat) atau ground fault. Pada series arcing fault, jika dibandingkan dengan keadaan normal amplitudo dari arus saluran lebih kecil. Inilah yang menyebabkan arc fault tidak dapat dideteksi oleh perangkat proteksi seperti relay arus lebih dan fuse. Berbeda dengan paralel arcing fault yang dapat dideteksi oleh kedua perangkat tersebut. Arcing fault pada sistem distribusi (sistem tegangan rendah) dikategorikan dalam gangguan impedansi tinggi (high impedance fault). Menurut anggota kelompok peneliti yang tergabung dalam IEEE Power System on High Impedance Fault Detection Technology mendefinisikan high impedance fault (HiZ) adalah gangguan (fault) yang tidak memiliki arus yang cukup bisa dideteksi oleh relay arus lebih konvensional atau oleh fuse. Mengingat sistem proteksi konvensional didesain untuk memproteksi sistem tenaga, sedangkan proteksi terhadap HiZ merupakan proteksi yang terfokus pada proteksi orang yang berada di sekitar sistem dan peralatan listrik. Sehingga diperlukan suatu pengaturan (control) yang mampu membaca gangguan arcing fault yang tidak dapat dideteksi oleh relay arus lebih konvensional maupun fuse[4].

## **2.2. 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. Transformasi *Fourier* Berjendela (*Windowed Fourier Transform*) juga secara parsial mencapai tujuan seperti ini, tapi dengan sebuah keterbatasan dalam penggunaan fungsi lebar window yang ditetapkan. Sebagai hasilnya, baik frekuensi maupun resolusi waktu dari transformasi yang dihasilkan akan menjadi sebuah prioritas yang ditetapkan. Pada kasus Transformasi *Wavelet*, analisa fungsi-fungsi, yang disebut *wavelet*, akan menyesuaikan lebar waktunya (time-width) terhadap frekuensinya. Sehingga, *wavelet* dengan frekuensi yang lebih

tinggi akan menjadi sangat sempit dan *wavelet* dengan frekuensi yang lebih rendah akan menjadi lebih luas [5].

Transformasi *Fourier* hanya cocok untuk sinyal stasioner (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 Multi Resolution Analysis (MRA). MRA dirancang untuk memberikan resolusi waktu yang baik dan resolusi frekuensi yang buruk pada frekuensi tinggi suatu sinyal, serta resolusi frekuensi yang baik dan resolusi waktu yang buruk pada frekuensi rendah suatu sinyal. Aturan dari multi resolusi ini sangat berguna untuk menganalisa gangguan transien yang mengandung komponen-komponen frekuensi tinggi yang dilokalisasi pada sinyal-sinyal frekuensi daya [6].

### 2.2.1. Persamaan Transformasi Wavelet

Suatu sinyal atau fungsi  $f(t)$  dapat dianalisa ataupun diproses dengan baik apabila dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$f(t) = \sum_l a_l \Psi_l(t) \quad (2.1)$$

Dimana  $l$  adalah indeks integer untuk penjumlahan yang terbatas maupun tak terbatas. Variabel  $a_l$  adalah nilai riil koefisien perluasan, dan  $\Psi_l$  adalah nilai riil fungsi saat  $t$  sebagai fungsi perluasan. Jika fungsi di atas mempunyai suatu penyelesaian, maka fungsi perluasan ini disebut sebagai fungsi dasar. Jika fungsi dasarnya merupakan fungsi orthogonal maka

$$(\Psi_k(t), \Psi_l(t)) = \int \Psi_k(t) \Psi_l(t) dt, \text{ dimana } k \neq l \quad (2.2)$$

Kemudian koefisien dapat dihitung dengan mengambil perkalian dalam fungsi tersebut

$$a_k = \int f(t) \Psi_k(t) dt \quad (2.3)$$

Jika Persamaan (2.1) disubstitusikan ke Persamaan (2.3) dengan menggunakan Persamaan (2.2) akan didapatkan nilai dari koefisien  $a_k$ .

Untuk *wavelet*, terdapat dua parameter sistem yang didapatkan seperti Persamaan (2.1) sehingga

$$f(t) = \sum_k \sum_j a_{j,k} \Psi_{j,k}(t) \quad (2.4)$$

Dimana  $j$  dan  $k$  keduanya merupakan indeks integer dan  $\Psi_{j,k}(t)$  adalah fungsi *wavelet* yang pada umumnya dalam fungsi orthogonal. Koefisien perluasan  $a_{j,k}$  disebut dengan *Discrete Wavelet Transform* (DWT) dari fungsi  $f(t)$  dan Persamaan (2.4) disebut Transformasi *Invers*.

### 2.2.2. Discrete Wavelet Transform

Dalam [7], dijelaskan Transformasi *Wavelet* dibagi menjadi dua jenis, yaitu Transformasi *Wavelet* Kontinu dan Transformasi *Wavelet* diskrit. Dengan memberikan fungsi suatu gelombang  $f(t)$ , Transformasi *Wavelet* Kontinu (*Continuous Wavelet Transform/CWT*) menghasilkan terlalu banyak Koefisien Transformasi *Wavelet* (*Wavelet Transform Coefesien/WTC*). Hal ini menyebabkan data yang dihasilkan menjadi berlebihan (redudansi) [8]. Dan masalah redudansi data ini dapat diselesaikan dengan pemakaian Transformasi *Wavelet* Diskrit (*Discrete Wavelet Transform/DWT*). Pada *DWT*, hanya beberapa sampel *WTC* saja yang diambil. Artinya, *DWT* mengurangi kelebihan *WTC* dari *CWT*.

Implementasi *DWT* disusun berdasarkan algoritma dekomposisi *Mallat*. Sinyal gelombang input dipisahkan (didekomposisikan) menjadi dua sinyal. Yaitu, bagian frekuensi rendah (*low frequency*) yang disebut aproksimasi dan bagian frekuensi tinggi (*high frequency*) 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*. Gambar menunjukkan diagram dekomposisi (*decomposition diagram*) dari dekomposisi *DWT* yang berdasarkan algoritma *mallat*. Sinyal input dibagi ke dalam dua sub-sinyal dengan bagian frekuensi rendah  $l(n)$  dan frekuensi tinggi  $h(n)$ . Sub-sinyal bagian frekuensi rendah di bagi lagi menjadi dua sub dengan frekuensi yang berbeda. Proses ini terjadi berulang ulang sesuai dengan jumlah level Transformasi *Wavelet* yang digunakan.

### 2.2.3. Wavelet Tree dan Level Dekomposisi

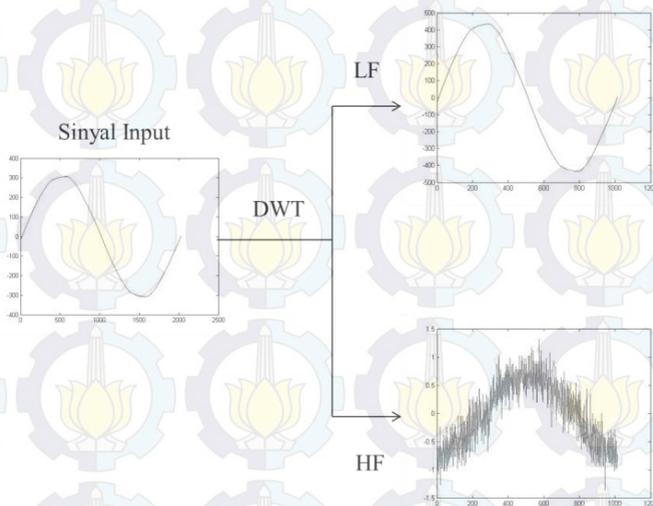
Dalam pemrosesan sinyal digital, *filtering* dari beberapa sinyal masukan didapat dari mengkombinasikan sinyal masukan dengan parameter lain yang disebut koefisien *filter*, sinyal *trigger*, bobot ataupun respon impuls. Untuk rangkaian masukan  $x(n)$  dan sebagai koefisien *filter*  $h(n)$ , maka rangkaian keluaran  $y(n)$  dapat dinyatakan sebagai:

$$y(n) = \sum_{k=0}^{n-1} h(k)x(n-k) \quad (2.5)$$

Sebagai Gambaran bagaimana *filtering* dan *down-sampling* yang dilakukan dalam penurunan koefisien *DWT* dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Berdasarkan struktur pohon tersebut, ketika dua sinyal baru dihasilkan, satu dari sinyal dibuang. Oleh karena itu, panjang dari sinyal yang terdekomposisi akan tetap sama dengan panjang sinyal mula. Transformasi *Wavelet* mempunyai jenis *mother wavelet* yang bermacam-macam. Setiap jenis *mother wavelet* akan menghasilkan koefisien yang berbeda berdasarkan karakteristik dari masing-masing *mother wavelet*.

Pemilihan *mother wavelet* untuk Tugas Akhir ini didasarkan pada beberapa kriteria dan analisis yang telah dilakukan. Setelah berbagai percobaan yang dilakukan, dipilihlah *mother wavelet* yang dianggap memenuhi kriteria yang diperlukan. *Mother wavelet* yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah *Haar-1*, *Haar2*, dan *Haar 3*.



**Gambar 2.1** Diagram Dekomposisi *DWT*

### 2.3. Metode Deteksi Gangguan

*Wavelet* mengembangkan cara untuk mencuplik karakteristik dinamik dari sinyal non-stasioner menggunakan data yang pendek. Keuntungan potensial dari mengaplikasikan Transformasi *wavelet* untuk analisis sinyal gangguan transien pada sistem kelistrikan telah dilakukan beberapa tahun ini [9]. Transformasi *wavelet* hampir sama menyerupai dengan transformasi *fourier* yang merupakan bentuk pengklasifikasian sinyal menjadi bentuk sinusoidal dengan berbagai macam frekuensi. *Discrete Wavelet Transform (DWT)* merupakan salah satu bentuk diskrit dari *wavelet* dan sering sekali digunakan. DWT akan mengubah sinyal sumber menjadi dua klasifikasi sinyal yaitu frekuensi tinggi (*coefficient detail*) dengan resolusi waktu yang tinggi serta frekuensi rendah (*approximation*) dengan resolusi frekuensi yang tinggi. Proses DWT diawali dengan proses *filtering* dengan melewati sinyal pada frekuensi *highpass filter* dan *lowpass filter*. Kemudian dilanjutkan dengan operasi *sub-sampling* dengan mengambil masing-masing setengah keluaran *filter* dari hasil (*coefficient approximation*). Dua proses ini dinamakan proses dekomposisi. Proses dekomposisi ini dapat dilakukan secara berlanjut hingga didapatkan tingkat dekomposisi yang diinginkan.

Sebagian besar algoritma jarak pada sistem tenaga, langkah pertama selalu melibatkan deteksi gangguan dan langkah berikutnya melibatkan klasifikasi gangguan. Informasi tersebut diperlukan dalam algoritma penentuan jarak. Sebagian besar algoritma untuk deteksi dan klasifikasi gangguan pada saluran transmisi yang menggunakan *wavelet Multi Resolution Analysis (MRA)* didasarkan pada pengukuran dan perbandingan variasi yang tajam pada nilai arus ketiga fasa pada level pertama sinyal detail yang di dekomposisi dari sinyal asli [10].

Pada Tugas Akhir ini menggunakan Transformasi *Discrete Wavelet* dan perbandingan hasil transformasi dengan transformasi kondisi normal untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan jenis gangguan berupa fenomena *arc fault*. Arus gangguan akan ditransformasikan ke dalam bentuk *wavelet* sehingga akan menghasilkan koefisien dengan pola tertentu. Lalu koefisien tersebut divariasikan menjadi beberapa variabel. Variabel-variabel tersebut yang akan dijadikan parameter pendeteksian gangguan.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

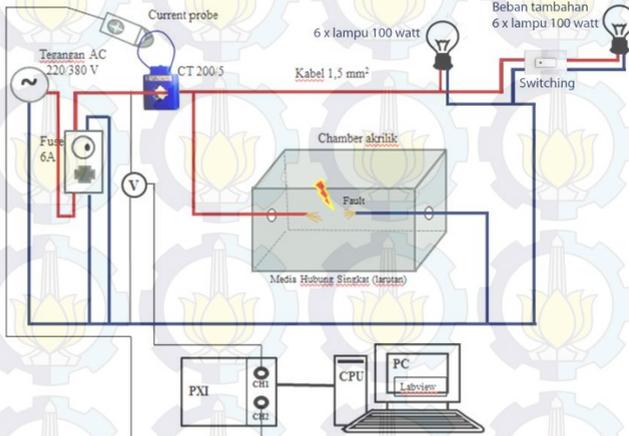
## BAB 3

### PERANCANGAN EKSPERIMEN DAN METODE

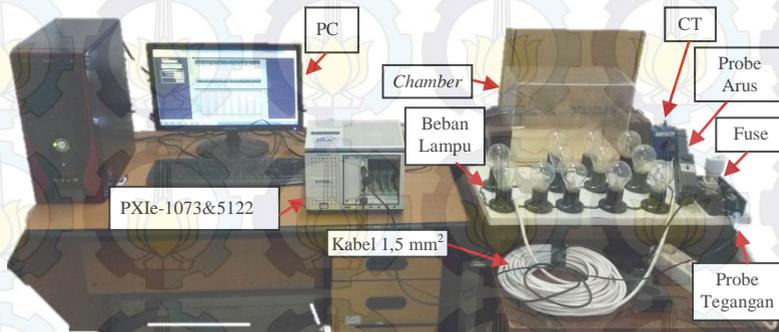
Dalam bab ini akan dijelaskan tentang skema dan proses perancangan alat untuk keperluan eksperimen, pengambilan data, dan pengolahan data *arc fault*.

#### 3.1 Perancangan Alat Eksperimen

Perancangan alat eksperimen ini bertujuan untuk mensimulasikan dan memodelkan keadaan normal, keadaan saat terjadi switching penambahan beban, dan keadaan saat terjadi fenomena *arc fault* (busur api listrik). Skema perancangan alat eksperimen ditunjukkan pada Gambar 3.1, sedangkan alat eksperimen dari skema tersebut ditunjukkan oleh Gambar 3.2. Alat eksperimen busur api listrik ini terdiri dari hardware dan software. Hardware yang digunakan adalah fuse 6A, fuse box, current transformer (CT) 200/5 A, kabel nymhy  $2 \times 1,5 \text{ mm}^2$ , beban resistif berupa lampu 100 watt sebanyak 6 buah (untuk kondisi normal), lampu 100 watt sebanyak 12 buah (untuk kondisi switching penambahan beban), saklar switching, probe arus, probe tegangan, *chamber* akrilik (sebagai *safety* dari loncatan busur api), PXI (modul pengambilan data), Sedangkan software yang mendukung alat eksperimen ini adalah software LabVIEW untuk pengambilan datanya.



Gambar 3.1 Skema perancangan alat eksperimen



**Gambar 3.2** Alat eksperimen

### 1.1.1. Kabel NYMHY 2x1,5 mm<sup>2</sup>

Kabel adalah komponen yang sangat penting dalam dunia kelistrikan, yang berguna sebagai penghantar. Isolasi pada kabel juga sama pentingnya. Fenomena *arc fault* sering terjadi berawal dari kerusakan isolasi pada kabel. Pemilihan kabel dengan kualitas isolasi yang baik merupakan salah satu cara untuk mengurangi peluang terjadinya fenomena *arc fault*. Pada Tugas Akhir ini menggunakan media kabel jenis serabut seperti yang digunakan pada pelanggan rumah tangga pada umumnya. Kabel serabut ini sangat rentan mengalami kegagalan isolasi, karena isolasi yang dimiliki oleh kabel tersebut kurang baik dibandingkan isolasi pada kabel tunggal. Kabel yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah kabel nymhy serabut dengan luas penampang 1,5 mm<sup>2</sup> dan panjang kabel sebesar 20m.

### 1.1.2. Beban Lampu 100 Watt

Dalam melakukan eksperimen untuk pengambilan data busur api listrik menggunakan beban resistif yang terdiri dari bola lampu 100 watt sebanyak 6 buah (keadaan normal) dan 12 buah digunakan untuk mendapatkan data keadaan *switching* penambahan beban. Jika dijumlahkan beban total sebesar 1200 watt. Dipilih beban 1200 watt dengan arus 5A dan langganan PLN 1300 VA, karena dibuat serupa dengan kondisi kehidupan sehari-hari.

### 1.1.3. Chamber Akrilik

*Chamber* adalah suatu wadah yang digunakan sebagai peralatan *safety* pada saat terjadinya busur api listrik agar tidak mengenai pengambil data (*user*) saat eksperimen dilakukan. Chamber yang digunakan terbuat dari bahan akrilik dengan tebal 0,2 mm, berukuran

panjang sebesar 30 cm, lebar sebesar 15 cm, dan tinggi sebesar 20 cm.. Dipilih bahan akrilik karena kemampuan dalam menyerap panas lebih rendah daripada kaca. Sehingga pada saat melakukan eksperimen *arc fault* yang menimbulkan panas berlebih, *chamber* tidak cepat panas.

#### 1.1.4. Fuse dan Fuse Box

*Fuse* adalah salah satu alat pengaman konvensional yang berfungsi sebagai pembatas arus dan pengaman saat pengambilan data dilakukan pada eksperimen ini. *Fuse* yang digunakan dalam eksperimen ini fuse SNI merk bright-G 6A 220/380V, yang dilengkapi dengan *fuse box*

#### 1.1.5. PXI

Proses akuisisi data dalam Tugas Akhir ini dilakukan dengan menggunakan alat dari National Instrument, yaitu PXIe-1073 dan PXIe-5122, yang memiliki frekuensi sampling hingga 1 MS/s. PXI atau *PCI eXtensions for instrument* adalah satu dari banyak modul instrumentasi elektronik yang banyak digunakan saat ini. Pada Tugas Akhir ini menggunakan PXIe-1073 sebagai akuisisi data. Dua slot channel yang ada pada PXIe-1073 dihubungkan ke probe tegangan dan probe arus yang selanjutnya digunakan untuk mengukur tegangan dan arus saat eksperimen dilakukan. PXI dihubungkan dengan *software* LabVIEW untuk pengambilan data.

**Tabel 3.1** Spesifikasi PXIe-1073

Range tegangan input	100-240 VAC
Range tegangan operasi	90-264 VAC
Frekuensi input	50/60 Hz
Range frekuensi operasi	47-63 Hz
Rating arus input	2-4 A
Efisiensi	>70% saat beban penuh

#### 1.1.6. Probe Arus dan Probe Tegangan

Probe arus digunakan untuk mengukur nilai arus saat pengambilan data eksperimen, sedangkan probe tegangan digunakan untuk mengukur tegangannya. Arus yang diukur oleh probe arus adalah arus pada sisi sekunder CT. Hal ini dilakukan untuk menjaga *safety* peralatan probe arus dari arus yang melebihi ratingnya. Berikut ini spesifikasi probe arus dan probe tegangan ditunjukkan oleh Tabel 3.2 dan 3.3.

**Tabel 3.2** Spesifikasi probe arus

Tipe/merk	Tektronix A622
Range frekuensi	DC to 100 kHz
Maksimum arus input	100 A peak
Output	10 mV/A, 100 mV/A
Maksimum diameter konduktor	11,8 ..(0,46 inch)

**Tabel 3.3** Spesifikasi probe tegangan

Tipe/merk	TESTEC TT-HV 150
Frekuensi maksimum	300MHz
Maksimum tegangan input	1,5 kV
Rise time	1,2 ns

### 1.1.7. Current Transformer (CT)

Trafo arus (*current transformer/CT*) adalah salah satu jenis trafo pengukuran yang digunakan untuk menurunkan besar arus listrik dengan perbandingan lilitan agar peralatan pengukuran tidak rusak akibat arus yang terlalu besar. Pada eksperimen ini dibutuhkan skala dalam ampere yang lebih kecil disisi sekunder karena pada saat pengambilan data berlangsung dikhawatirkan arus *arc fault* melebihi batas maksimal arus yang dapat diterima dan dibaca oleh (PXI) dan probe arus. Berikut ini spesifikasi CT yang digunakan dalam eksperimen ini:

**Tabel 3.4** Spesifikasi CT

Jenis CT	CT ICY-3S-1B series CIC
Rasio CT	200/5 A
Class CT	1
Burden CT	2,5
Range frekuensi	50-60 Hz

CT dengan rasio primer/sekunder : 200/5A berarti dengan input 200 A akan keluar output dari sekunder CT akan bernilai 5A. Keluaran sisi sekunder akan keluar dengan perbandingan belitan di atas.

### 1.1.8. Software LabVIEW

Software yang digunakan dalam alat eksperimen busur api listrik adalah LabVIEW versi 2012. LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench*) adalah software yang menggunakan bahasa pemrograman berbasis grafis (non-teks) untuk menciptakan sebuah aplikasi yang diinginkan *user*. LabVIEW

mengeksekusi program dengan menjalankan pemrograman secara data *flow*, eksekusi dijalankan berdasarkan alur yang telah dibuat *user*. Dengan bahasa pemrograman grafis / blok diagram di dalamnya, LabVIEW dapat memperoleh data dari instrumen seperti PXIe, memproses data dan menyimpan data dalam beberapa format, salah satunya yaitu format tdms. Dari penjelasan diatas, pada eksperimen ini LABVIEW digunakan sebagai instrumentasi virtual untuk mengembangkan sistem pengambilan data otomatis dari pengukuran. Instrumentasi visual ini dapat mengendalikan pengukuran (proses pengambilan data) melalui perangkat *hardware* eksternal (PXIe) yang bertindak sebagai akuisisi data, hasil pengukuran selanjutnya akan ditampilkan pada *front panel* LabVIEW melalui layar PC komputer.

Front panel LabVIEW merupakan media tatap muka (*interface*) antara LabVIEW dan *user*. Di dalam LabVIEW digunakan NI-SCOPE sebagai aplikasi pemrograman tatap muka (*Application Programming Interface/API*) dan juga sebagai *driver* yang mengontrol *digitizer*.

### **3.2 Pengambilan Data**

Proses pengambilan data pada Tugas Akhir ini menggunakan 3 kondisi, yaitu kondisi awal (*normal*), kondisi *switching* (penambahan beban), dan kondisi terjadinya *arc fault*. Data yang diambil dan dibutuhkan meliputi arus dan tegangan dari semua kondisi di atas. Agar memperoleh data dengan keelitian sangat akurat, maka data diambil dengan frekuensi *sampling* 100K *Sampling/s* menggunakan LabVIEW.

Kondisi awal (*normal*) disini ialah kondisi dimana sistem atau jaringan listrik berjalan tanpa gangguan dengan tujuan memperoleh data arus dan tegangan *normal*.

Kondisi *switching* ialah kondisi dimana sistem diberi beban tambahan dengan melalui saklar untuk menyalurkan suplai ke beban tambahan. Dalam kondisi ini, data yang dibutuhkan ialah arus dan tegangan transien sesaat (*arus kontak*). Data tersebut akan digunakan untuk mendeteksi antara arus akibat *switching* dan arus akibat *arc fault*.

Kondisi terjadinya *arc fault* ialah kondisi dimana sistem diberi gangguan sehingga muncul *arc fault*. Dalam kondisi ini data yang diambil yaitu arus dan tegangan dengan tujuan untuk memperoleh karakteristik dari kondisi tersebut. Pada kondisi ini dilakukan percobaan dan pengambilan data sebanyak 30 kali dengan tujuan menGambarkan kondisi lapangan yang secara acak terjadinya. Jumlah serabut yang diberi gangguan juga bervariasi, yaitu serabut 1, 3, 6, 12, 18, dan 24. Hal

ini dilakukan juga dengan tujuan untuk menyerupai kejadian secara natural, dimana kejadian *arcing* tidak dapat diprediksi.

Dalam pengambilan data dan percobaan digunakan kabel 220/380 V 1 fasa serabut dengan luas penampang 1,5 mm<sup>2</sup> dengan panjang 20 m.

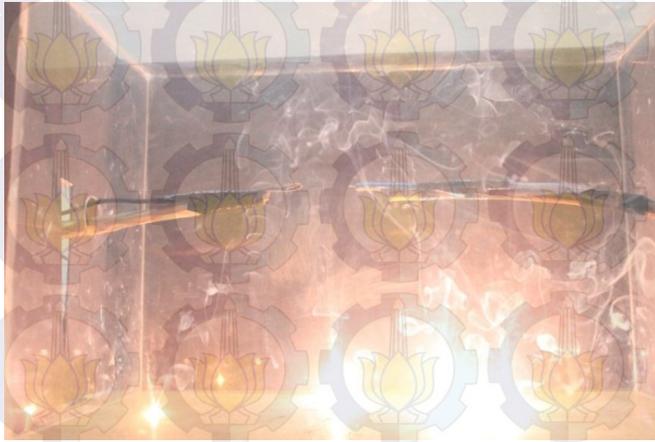
Dalam Gambar 3.3. merupakan Gambaran dari kondisi awal (normal) dimana belum diberi tambahan beban dan diberi gangguan. Sedangkan untuk kondisi *switching* (penambahan beban) dapat dilihat pada Gambar 3.4. Dimana semula hanya 6 buah lampu yang digunakan, bertambah menjadi 12 buah lampu.



**Gambar 3.3.** Kondisi normal



**Gambar 3.4.** Kondisi *switching* penambahan beban

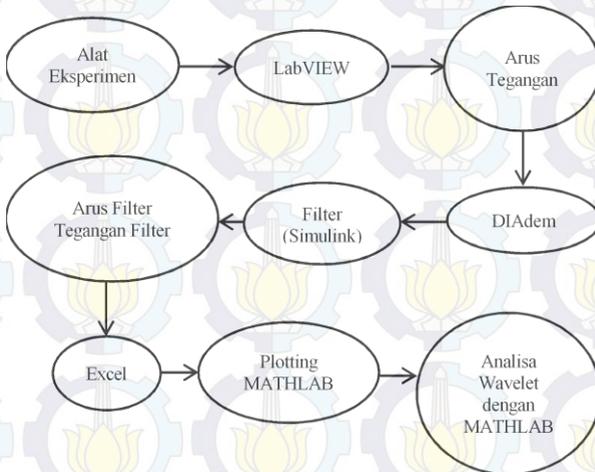


**Gambar 3.5.** Kondisi saat terjadinya *arc fault*

Gambar 3.5. memperlihatkan kondisi saat terjadi gangguan yang menimbulkan *arc fault* yang nantinya dapat mengakibatkan kebakaran pada instalasi lain.

### 3.3 Pengolahan Data

Dari data yang telah diambil dengan metode eksperimen di atas, selanjutnya akan dilakukan proses pengolahan data. Proses pengolahan data yang akan dilakukan akan dibagi menjadi 3, yaitu proses



**Gambar 3.6.** Alur pengolahan data eksperimen

pemotongan data dengan software DIADEM, proses filtering data dengan tujuan menghilangkan noise menggunakan software SIMULINK, dan proses plotting dan analisa data menggunakan software MATLAB. Adapun alur pengolahan data dapat dilihat pada Gambar 3.6.

Pada Tugas Akhir ini, dipilih data *arcing* serabut 1, 6, dan 18 untuk pengolahan data. Hal ini dilakukan karena ketiga kondisi ini merupakan perwakilan yang mencerminkan karakteristik dari data eksperimen yang dilakukan dengan kabel serabut 1, 3, 6, 12, 18, dan 24.

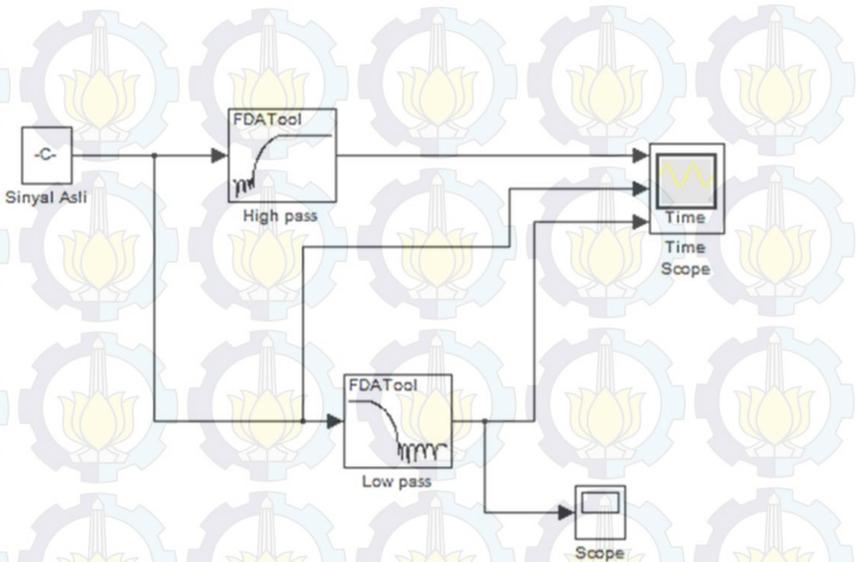
### 3.3.1 Proses Pemotongan Data

Dalam proses pengolahan data hasil eksperimen dilakukan proses pemotongan data. Hal ini dilakukan karena data yang diambil pada saat eksperimen dengan frekuensi sampling 100KSampling/s terlalu banyak dan panjang, serta data yang dihasilkan berbentuk format *tdms*. Sehingga dibutuhkan software khusus untuk pemotongan data ini, yaitu DIADEM. Salah satu tujuan dilakukan pemotongan data, yaitu untuk melihat sinyal arus dan tegangan secara lebih detail. Dalam Tugas Akhir ini dipilih untuk memotong sinyal setiap  $\frac{1}{2}$  cycle, baik data dalam kondisi normal, *switching*, maupun saat terjadi *arcing*.

Pada DIADEM data dalam format '*tdms*' hasil keluaran LabVIEW ditampilkan dalam bentuk sinyal arus (I) dan tegangan (V) yang berisikan nilai amplitude masing-masing sinyal. Pemotongan sinyal dilakukan dengan cara mengambil nilai dari nilai arus dan tegangan pada DIADEM. Setelah dilakukan pemotongan, selanjutnya dimasukkan dalam Excel untuk diproses lebih lanjut.

### 3.3.2 Proses Filtering Data

Dari data output setelah proses pemotongan masih mempunyai kekurangan, yaitu masih terlalu banyak *noise* pada data tersebut. *Noise* ini ditimbulkan oleh alat ukur eksperimen ini. Untuk meredam *noise*, dibutuhkan filter dengan menggunakan software SIMULINK. Karena *noise* yang timbul mempunyai frekuensi yang lebih tinggi dari sinyal aslinya, maka dirancang *low-pass* filter untuk mengatasinya. *Low-pass* filter yang digunakan pada pengolahan data eksperimen ini menggunakan *filter implementation* pada software simulink yang ada di MatLab. *Low-pass* filter pada simulink ditunjukkan oleh Gambar 3.7.



**Gambar 3.7.** Skematik *Low-pass* filter pada SIMULINK

Output dari filter di atas akan dibagi menjadi 3, yaitu sinyal asli, sinyal noise, dan sinyal hasil filter. Output dari filter akan ditampilkan pada *time scope*. Sinyal noise akan difilter dengan *High-pass* filter, sedangkan sinyal keluaran *Low-pass* filter adalah sinyal data murni (tanpa ada noise). Blok *scope* pada keluaran sinyal *low-pass* filter digunakan untuk mengambil data yang sudah difilter dalam bentuk file excel. Sedangkan parameter *low-pass filter* dapat dilihat pada Tabel 3.5.

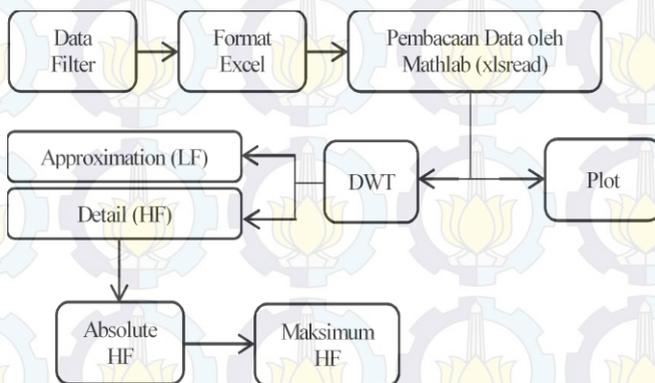
**Tabel 3.5** Parameter *low-pass filter*

Jenis filter	<i>Low-pass filter</i>
Struktur filter	<i>FIR equiripple</i>
Filter order	Minimum order
Frekuensi pass	10 kHz
Frekuensi stop	25 kHz

### 3.3.3 Proses Plotting dan Analisa Data

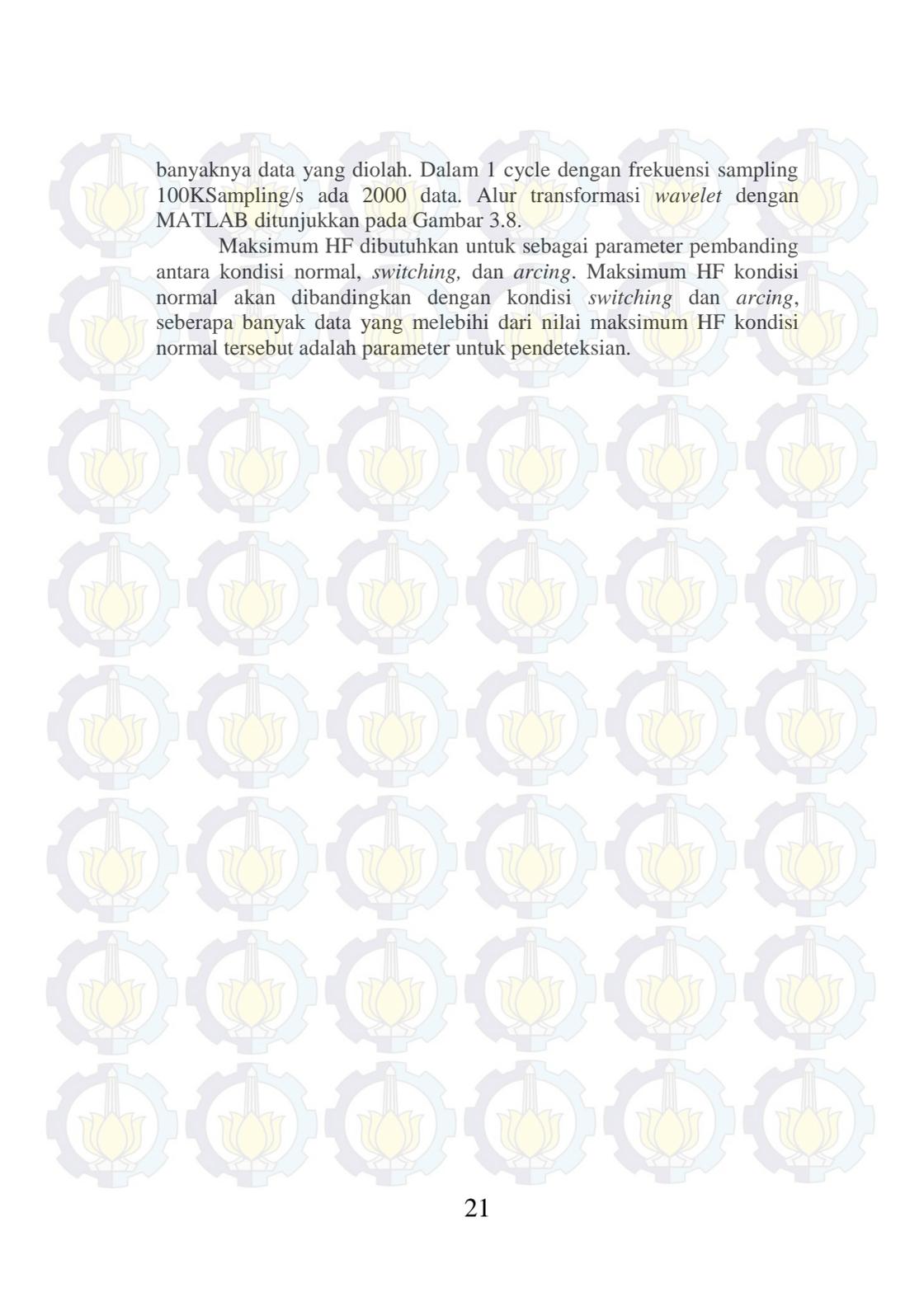
Proses terakhir untuk pengolahan data adalah proses plotting dan analisa data dengan metode *transformation discrete wavelet*. Proses plotting adalah proses menggambarkan data hasil filtering pada grafik

X-Y dengan bantuan software MATLAB dengan tujuan mengetahui hasil filtering. Sedangkan proses analisa data dengan metode *transformation discrete wavelet* adalah proses mentransformasikan data hasil filtering ke dalam bentuk *wavelet*. Hasil dari *wavelet* terdiri dari 2 output, yaitu approximation (low frequency) dan detail (high frequency). Dalam Tugas Akhir ini digunakan *mother wavelet HAAR* dan ditransformasi sampai level 3. Approximation (low frequency) adalah salah satu hasil transformasi *wavelet* yang merupakan hasil rata2 antara data 1 dan data yang lain. Sedangkan detail (high frequency) adalah hasil transformasi *wavelet* yang merupakan selisih antara data 1 dan data yang lain. Pada Tugas Akhir ini juga, data yang digunakan untuk menganalisa pendeteksian adalah data detail, karena pada fenomena *arcng* ada waktu dimana terjadi kenaikan secara drastis. Maka dari itu dengan data detail hasil tranformasi dapat diperoleh nilai yang sangat mencolok nantinya dan dapat dibuat sebagai parameter pendeteksian.



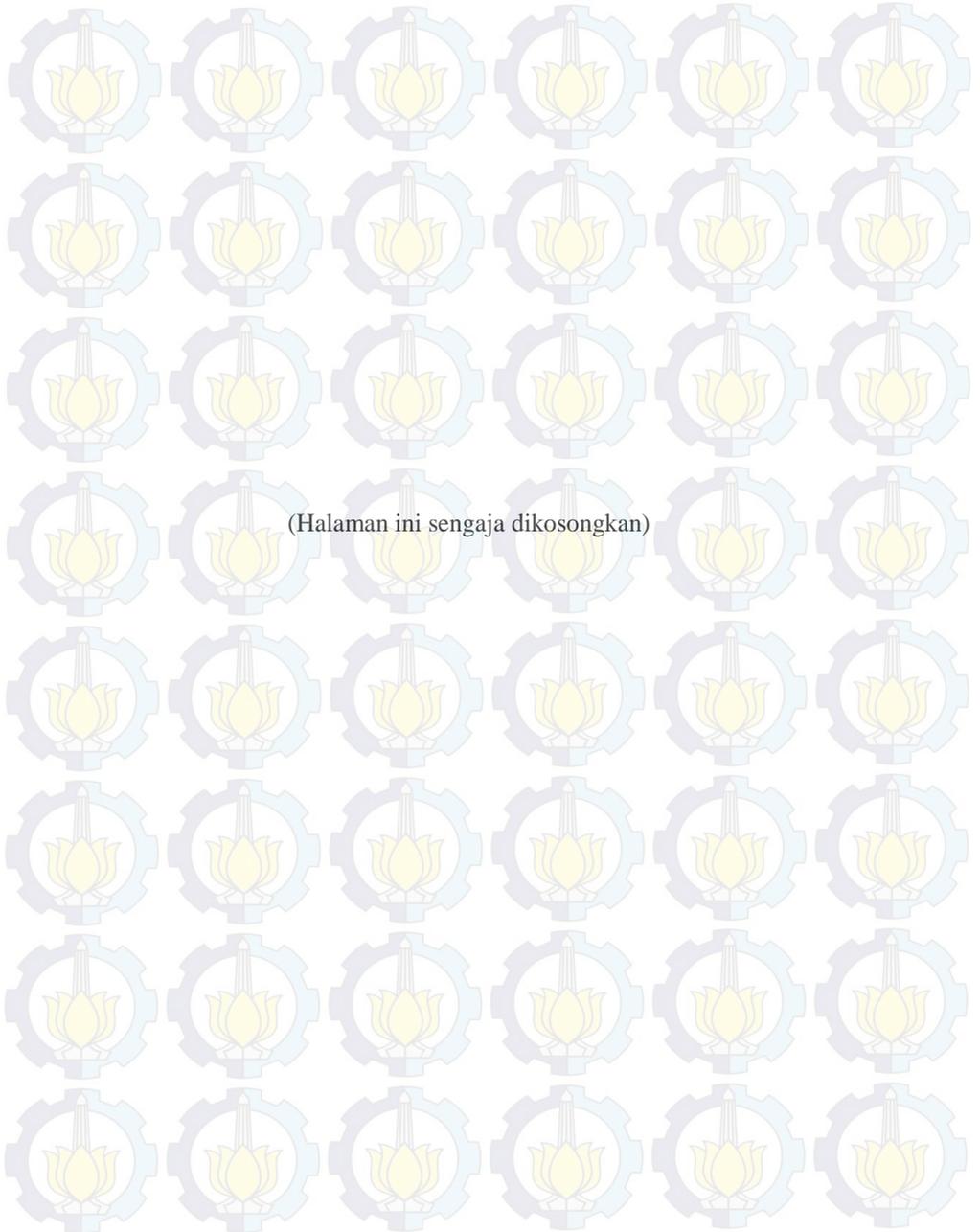
**Gambar 3.8.** Alur transformasi wavelet

Pada Tugas Akhir ini juga menggunakan metode reduksi frekuensi sampling. Reduksi frekuensi sampling adalah metode mereduksi / mengurangi sebagian data dari data asli sesuai keinginan tanpa merusak bentuk sinyal asli dari data tersebut. Hal ini dilakukan karena merujuk pada tujuan akhir Tugas Akhir ini, yaitu menentukan parameter untuk perancangan alat pendeteksian. Maka dari itu dibutuhkan frekuensi sampling yang sesuai dengan kemampuan alat pendeteksi nantinya. Dengan frekuensi sampling 100KSampling/s akan sulit untuk alat pendeteksinya nanti bekerja dengan optimal, karena



banyaknya data yang diolah. Dalam 1 cycle dengan frekuensi sampling 100KSampling/s ada 2000 data. Alur transformasi *wavelet* dengan MATLAB ditunjukkan pada Gambar 3.8.

Maksimum HF dibutuhkan untuk sebagai parameter pembanding antara kondisi normal, *switching*, dan *arcing*. Maksimum HF kondisi normal akan dibandingkan dengan kondisi *switching* dan *arcing*, seberapa banyak data yang melebihi dari nilai maksimum HF kondisi normal tersebut adalah parameter untuk pendeteksian.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**Tabel 4.2** Perbandingan Nilai HF Data Serabut 1 *DWT* Level 1 dengan Variasi Frekuensi Sampling

Kondisi	100KSampling/s		50KSampling/s		10KSampling/s		5KSampling/s		1KSampling/s	
	HF Sig	$\Sigma$ HF	HF Sig	$\Sigma$ HF	HF Sig	$\Sigma$ HF	HF Sig	$\Sigma$ HF	HF Sig	$\Sigma$ HF
Normal (5A)	0,55	1	0,95	1	1,02	1	1,17	1	2,32	1
Switching 1	6,47	6	10,50	4	1,71	6	20,76	4	11,11	2
Switching 2	3,69	4	7,21	1	13,58	6	2,46	4	4,52	1
Switching 3	4,78	5	5,89	3	17,60	4	17,37	3	14,12	2
Switching 4	3,14	5	4,14	3	1,05	1	7,73	2	8,26	2
Switching 5	5,78	5	6,81	3	19,16	5	18,46	4	16,83	3
Arcing sampel 1	12,78	4	19,11	7	49,91	15	48,55	11	14,76	2
Arcing sampel 2	1,33	1	2,65	6	3,95	26	4,59	19	15,86	4
Arcing sampel 3	8,43	3	14,81	6	3,25	20	5,22	14	39,99	4
Arcing sampel 4	3,55	4	6,45	6	13,93	28	6,03	18	14,79	4
Arcing sampel 5	15,81	5	29,10	7	9,44	18	3,52	9	14,77	2
Arcing sampel 6	11,90	4	18,52	6	6,92	15	39,48	11	13,94	2
Arcing sampel 7	8,02	4	16,58	3	19,23	8	25,27	5	14,46	1
Arcing sampel 8	5,46	3	6,64	7	20,70	21	3,89	15	14,08	3
Arcing sampel 9	13,34	5	27,62	5	52,12	13	3,58	12	14,52	2
Arcing sampel 10	15,02	5	18,94	6	46,42	15	43,58	9	43,89	3

**Tabel 4.2** Perbandingan Nilai HF Data Serabut 1 DWT Level 1 dengan Variasi Frekuensi Sampling (Lanjutan)

Kondisi	100KSampling/s		50KSampling/s		10KSampling/s		5KSampling/s		1KSampling/s	
	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF
Arcing sampel 11	10,63	5	12,00	6	39,07	9	3,59	8	14,29	2
Arcing sampel 12	13,87	6	21,84	8	53,87	16	10,87	10	15,18	2
Arcing sampel 13	9,03	3	16,45	9	34,34	17	4,78	13	35,92	3
Arcing sampel 14	12,06	4	18,01	5	48,61	16	44,95	10	36,80	2
Arcing sampel 15	8,26	4	16,82	5	21,01	23	30,28	14	34,96	3
Arcing sampel 16	5,95	4	10,03	10	27,52	19	5,26	15	16,38	4
Arcing sampel 17	0,94	0	1,19	6	3,02	30	3,77	15	15,91	4
Arcing sampel 18	16,81	5	27,96	11	74,98	19	6,53	10	26,53	2
Arcing sampel 19	14,42	5	25,18	8	7,52	18	72,74	10	67,46	2
Arcing sampel 20	16,95	5	22,42	8	4,77	19	5,76	9	24,70	2
Arcing sampel 21	14,03	7	29,12	13	72,22	20	79,04	11	25,13	3
Arcing sampel 22	13,40	5	26,72	8	65,00	15	67,86	8	63,76	2
Arcing sampel 23	12,49	5	22,17	8	63,12	14	61,03	8	27,19	1
Arcing sampel 24	16,41	5	30,26	7	57,74	18	77,02	12	83,31	3
Arcing sampel 25	16,79	6	23,22	9	69,07	15	69,84	8	65,26	2
Arcing sampel 26	11,25	7	21,11	7	53,45	25	54,00	16	70,64	3

**Tabel 4.2** Perbandingan Nilai HF Data Serabut 1 DWT Level 1 dengan Variasi Frekuensi Sampling (Lanjutan)

Kondisi	100KSampling/s		50KSampling/s		10KSampling/s		5KSampling/s		1KSampling/s	
	HF Sig	$\sum$ HF	HF Sig	$\sum$ HF	HF Sig	$\sum$ HF	HF Sig	$\sum$ HF	HF Sig	$\sum$ HF
Arcing sampel 27	6,07	4	11,60	9	19,28	31	5,97	17	26,01	4
Arcing sampel 28	12,74	7	20,32	10	30,76	23	33,04	13	33,97	3
Arcing sampel 29	13,35	5	25,87	10	9,15	23	57,16	12	57,76	3
Arcing sampel 30	1,50	2	2,53	14	3,75	35	6,77	21	25,64	4

**Tabel 4.3** Perbandingan Nilai HF Data Serabut 1 DWT Level 2 dengan Variasi Frekuensi Sampling

Kondisi	100KSampling/s		50KSampling/s		10KSampling/s		5KSampling/s		1KSampling/s	
	HF Sig	$\sum$ HF	HF Sig	$\sum$ HF	HF Sig	$\sum$ HF	HF Sig	$\sum$ HF	HF Sig	$\sum$ HF
Normal (5A)	1.04	1	1.73	1	1.24	1	1.51	1	4.55	1
Switching 1	11.07	7	28.18	2	27.52	7	15.02	5	7.38	2
Switching 2	9.28	3	9.15	2	8.29	4	13.90	2	1.75	0
Switching 3	8.60	7	21.18	2	11.94	3	10.47	5	11.91	3
Switching 4	7.08	4	11.71	1	10.15	2	8.32	1	12.15	3
Switching 5	12.09	5	23.69	1	12.20	4	10.93	6	13.72	3
Arcing sampel 1	30.68	3	53.44	4	33.03	11	31.82	7	56.76	2
Arcing sampel 2	3.53	5	3.66	7	5.11	21	10.35	10	39.07	3

**Tabel 4.3** Perbandingan Nilai HF Data Serabut 1 DWT Level 2 dengan Variasi Frekuensi Sampling (Lanjutan)

Kondisi	100KSampling/s		50KSampling/s		10KSampling/s		5KSampling/s		1KSampling/s	
	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF
Arcing sampel 3	22.46	6	13.57	7	6.19	14	9.02	8	29.48	3
Arcing sampel 4	9.66	4	6.42	5	10.69	21	24.06	10	48.99	3
Arcing sampel 5	35.38	5	33.30	6	6.98	11	65.80	5	57.89	1
Arcing sampel 6	29.32	4	49.14	4	60.72	11	27.09	7	57.70	2
Arcing sampel 7	22.49	2	26.34	5	22.02	5	13.32	3	11.08	1
Arcing sampel 8	11.61	5	23.36	4	15.21	17	8.25	8	43.12	3
Arcing sampel 9	37.46	4	43.02	3	33.71	12	9.30	7	58.44	2
Arcing sampel 10	32.89	3	4.03	3	29.58	10	31.57	6	26.41	2
Arcing sampel 11	21.69	4	5.11	5	22.47	8	8.53	5	28.72	1
Arcing sampel 12	22.69	6	16.25	6	22.83	10	65.86	5	6.74	1
Arcing sampel 13	19.91	5	18.91	7	20.24	14	8.77	9	26.18	3
Arcing sampel 14	28.93	4	14.35	2	29.06	10	30.63	6	26.99	2
Arcing sampel 15	22.53	4	26.06	4	29.72	13	27.10	6	26.67	2
Arcing sampel 16	11.29	9	9.13	7	16.80	14	40.78	9	42.72	3
Arcing sampel 17	2.08	2	2.31	2	4.48	17	8.89	10	33.49	2
Arcing sampel 18	43.05	6	73.01	19	50.16	10	17.18	5	101.46	1

**Tabel 4.3** Perbandingan Nilai HF Data Serabut 1 DWT Level 2 dengan Variasi Frekuensi Sampling (Lanjutan)

Kondisi	100KSampling/s		50KSampling/s		10KSampling/s		5KSampling/s		1KSampling/s	
	HF Sig	$\Sigma$ HF	HF Sig	$\Sigma$ HF	HF Sig	$\Sigma$ HF	HF Sig	$\Sigma$ HF	HF Sig	$\Sigma$ HF
Arcing sampel 19	29.95	5	67.69	13	100.32	10	51.26	6	47.39	2
Arcing sampel 20	36.14	7	78.53	15	7.74	10	15.00	5	100.16	2
Arcing sampel 21	41.48	7	37.20	19	60.28	13	51.75	6	13.89	1
Arcing sampel 22	35.77	7	42.69	9	48.16	8	42.74	4	44.44	1
Arcing sampel 23	26.70	4	54.28	9	40.99	7	35.36	3	2.27	0
Arcing sampel 24	37.76	7	43.05	12	70.95	13	54.13	7	45.85	2
Arcing sampel 25	38.51	5	71.64	11	48.86	8	43.21	4	45.88	1
Arcing sampel 26	26.80	7	40.26	14	40.41	17	32.56	10	46.36	2
Arcing sampel 27	14.98	5	20.89	17	14.03	19	44.29	10	77.65	3
Arcing sampel 28	23.15	9	60.66	16	68.79	13	24.01	9	43.60	3
Arcing sampel 29	33.81	9	42.23	17	88.12	12	41.09	8	42.39	3
Arcing sampel 30	2.92	7	3.01	20	9.12	20	16.54	11	61.54	3

**Tabel 4.4** Perbandingan Nilai HF Data Serabut 1 DWT Level 3 dengan Variasi Frekuensi Sampling

Kondisi	100KSampling/s		50KSampling/s		10KSampling/s		5KSampling/s		1KSampling/s	
	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF
Normal (5A)	2.20	1	1.45	1	2.05	1	3.49	1	4.77	1
Switching 1	40.54	3	25.63	8	20.09	5	11.98	3	8.03	1
Switching 2	9.40	2	21.00	4	12.18	2	1.28	0	1.66	0
Switching 3	29.02	2	16.99	4	6.43	5	21.44	3	9.62	1
Switching 4	14.65	2	6.69	3	12.02	1	13.63	1	0.52	0
Switching 5	30.86	1	21.64	4	24.76	6	8.10	4	9.99	1
Arcing sampel 1	68.70	2	56.18	21	69.87	7	67.33	3	42.34	1
Arcing sampel 2	6.24	2	8.10	35	14.46	10	24.49	6	40.09	1
Arcing sampel 3	26.93	4	5.50	28	11.80	7	70.73	3	61.31	1
Arcing sampel 4	12.03	3	25.10	36	28.62	10	23.27	5	49.30	1
Arcing sampel 5	34.76	3	17.58	20	94.66	5	46.17	3	43.19	1
Arcing sampel 6	62.57	4	53.98	21	42.24	7	71.18	3	42.91	1
Arcing sampel 7	29.94	2	43.89	14	13.51	3	8.34	1	2.53	0
Arcing sampel 8	31.01	1	21.17	24	12.14	8	23.19	4	49.23	1
Arcing sampel 9	48.37	2	26.76	22	23.30	7	92.20	3	42.85	1
Arcing sampel 10	19.29	1	3.61	21	67.99	5	22.81	3	62.56	1

**Tabel 4.4** Perbandingan Nilai HF Data Serabut 1 DWT Level 3 dengan Variasi Frekuensi Sampling (Lanjutan)

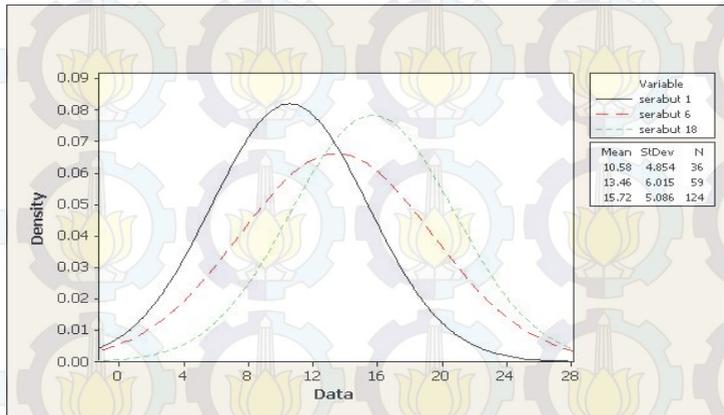
Kondisi	100KSampling/s		50KSampling/s		10KSampling/s		5KSampling/s		1KSampling/s	
	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF
Arcing sampel 11	15.76	1	3.37	15	15.82	5	66.42	2	0.10	0
Arcing sampel 12	14.18	2	84.93	20	67.11	5	49.07	3	81.93	1
Arcing sampel 13	19.66	4	11.93	22	14.04	8	68.93	5	58.82	1
Arcing sampel 14	30.73	1	5.87	21	67.48.24	6	22.82	3	20.24	1
Arcing sampel 15	29.51	4	46.46	24	27.86	6	50.19	5	60.50	1
Arcing sampel 16	8.46	3	46.17	26	44.60	8	38.90	4	44.32	1
Arcing sampel 17	3.49	0	3.68	31	13.27	10	25.45	6	39.39	1
Arcing sampel 18	94.45	3	74.24	24	35.58	6	160.19	3	72.84	1
Arcing sampel 19	97.63	3	94.50	21	78.28	6	39.04	3	35.55	1
Arcing sampel 20	107.87	3	72.19	26	21.39	6	158.77	3	73.24	1
Arcing sampel 21	65.42	5	18.93	28	109.23	6	120.90	4	149.11	1
Arcing sampel 22	69.82	2	23.46	19	91.45	4	78.65	2	34.84	1
Arcing sampel 23	79.92	2	79.43	18	22.65	3	78.06	2	2.23	0
Arcing sampel 24	48.98	3	37.06	25	107.33	6	42.43	4	116.59	1
Arcing sampel 25	94.19	3	67.94	19	94.65	4	82.11	2	34.46	1
Arcing sampel 26	62.87	3	23.86	37	74.58	10	99.39	4	114.90	1

**Tabel 4.4** Perbandingan Nilai HF Data Serabut 1 DWT Level 3 dengan Variasi Frekuensi Sampling (Lanjutan)

Kondisi	100KSampling/s		50KSampling/s		10KSampling/s		5KSampling/s		1KSampling/s	
	HF Sig	$\sum$ HF	HF Sig	$\sum$ HF	HF Sig	$\sum$ HF	HF Sig	$\sum$ HF	HF Sig	$\sum$ HF
Arcing sampel 27	33.13	3	12.69	37	54.80	10	39.74	6	91.06	1
Arcing sampel 28	85.97	5	45.92	30	49.41	8	41.57	4	131.33	1
Arcing sampel 29	49.96	3	91.88	30	61.90	8	41.53	5	118.35	1
Arcing sampel 30	3.69	1	6.93	40	26.35	10	43.27	5	80.51	1

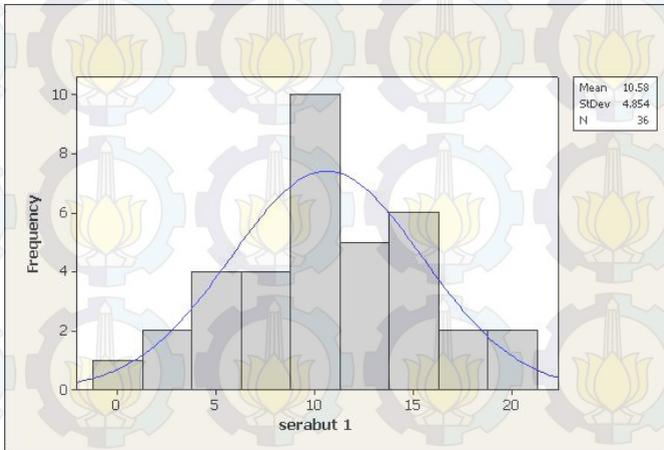
### 4.3.3 Analisa Probabilistik

Pada Tugas Akhir ini melibatkan banyak sekali data dalam proses pengolahannya. Untuk mempermudah menganalisa data tersebut, dibutuhkan analisa probalistik. Analisa probabilistik ini digunakan untuk mencari nilai mean dan modulus dari data yang telah dikelola, sehingga dapat ditarik kesimpulan yang dapat mewakili semua data tersebut. Dalam hal ini untuk melakukan metode tersebut dapat menggunakan software Minitab. Minitab adalah salah satu software untuk mengolah data probalistik.

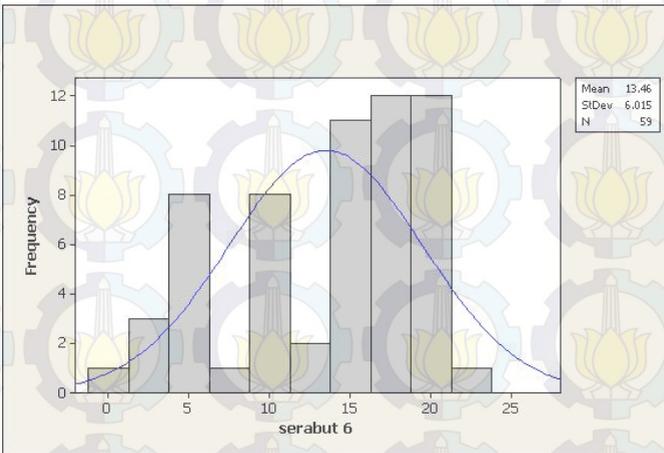


**Gambar 4.22.** Histogram Distribusi Normal Nilai HF Serabut 1, Serabut 6, dan Serabut 18 Frekuensi 5KSampling/s

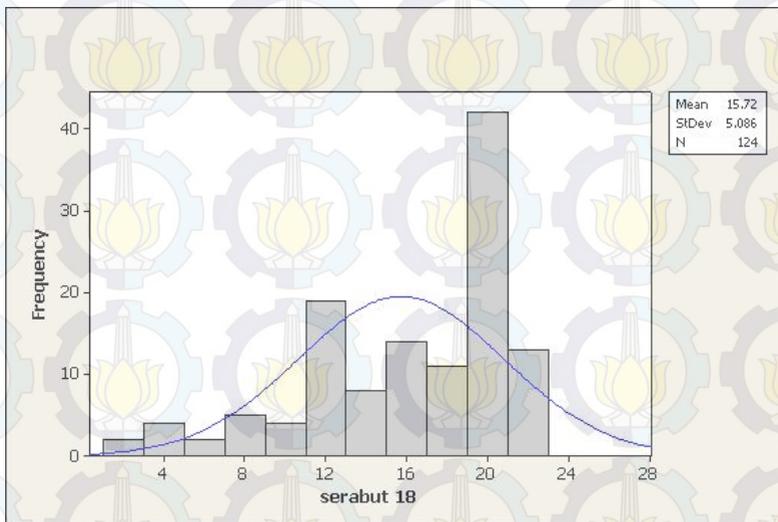
Pada Gambar 4.22. menunjukkan kurva distribusi normal nilai HF untuk serabut 1, serabut 6, dan serabut 18. Jika dilihat nilai mean (rata-rata), jumlah HF serabut 1 < serabut 6 < serabut 18. Atau dilihat dari angka adalah  $10,58 < 13,46 < 15,72$ . Density merupakan kerapatan antar tiap data, dalam hal ini dapat dimisalkan waktu antar data 1 dan yang lain. Karena datanya ini diambil  $\frac{1}{2}$  cycle maka densitynya 0,01.



**Gambar 4.23.** Histogram Serabut 1 Frekuensi 5KSampling/s



**Gambar 4.24.** Histogram Serabut 6 Frekuensi 5KSampling/s

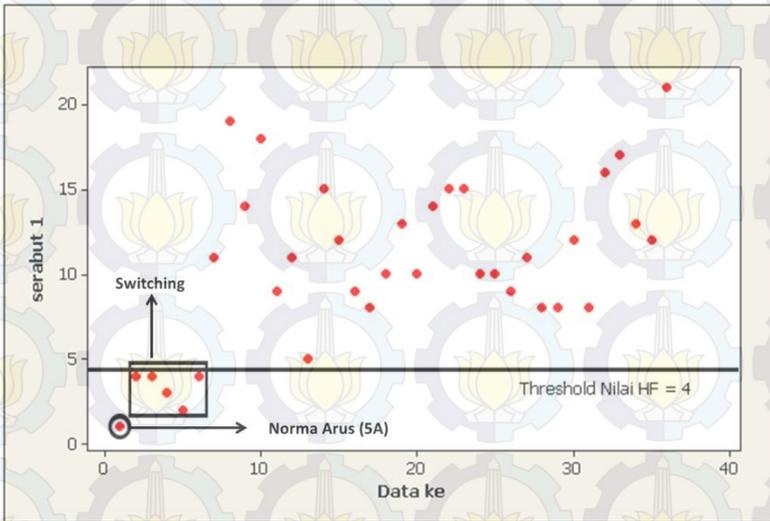


**Gambar 4.25.** Histogram Serabut 18 Frekuensi 5KSampling/s

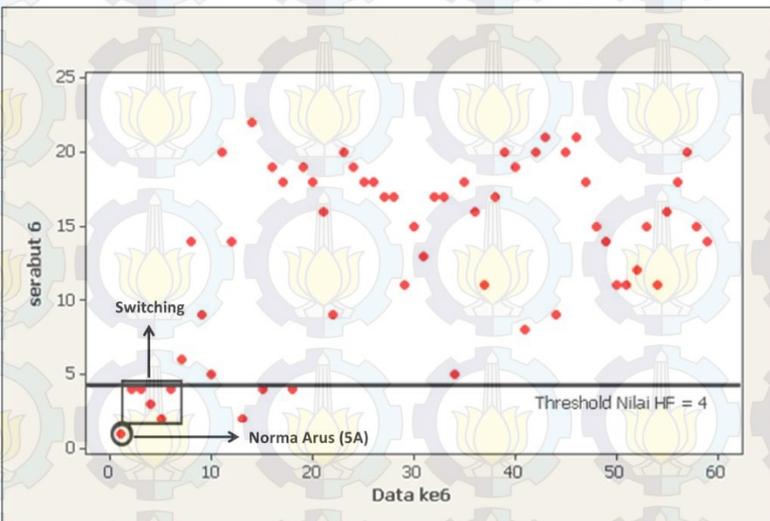
Pada Gambar 4.23, Gambar 4.24, dan Gambar 4.25 menunjukkan kurva antara nilai HF serabut 1, 6, dan 18 dengan jumlah HFnya. Dari kurva ini dapat ditentukan jumlah HF > HF normal yang sering muncul (modulus)nya adalah 10 untuk serabut 1. Modulus dari jumlah HF > HF normal untuk serabut 6 adalah 18. Dan modulus dari jumlah HF > HF normal untuk serabut 18 adalah 21.

Dari data yang telah didapat tersebut menunjukkan bahwa untuk fenomena *arc fault* dengan serabut 1 memperoleh jumlah HF > HF normal sebanyak 10 buah. Untuk fenomena *arc fault* dengan serabut 6 memperoleh 18 buah. Dan untuk fenomena *arc fault* dengan serabut 18 memperoleh 21 buah. Dari data ini pendeteksian untuk fenomena *arc fault* dapat dilakukan menggunakan perbandingan nilai HF. Dan dari data ini juga dapat membedakan antara arus *switching* penambahan beban dan arus fenomena *arc fault*.

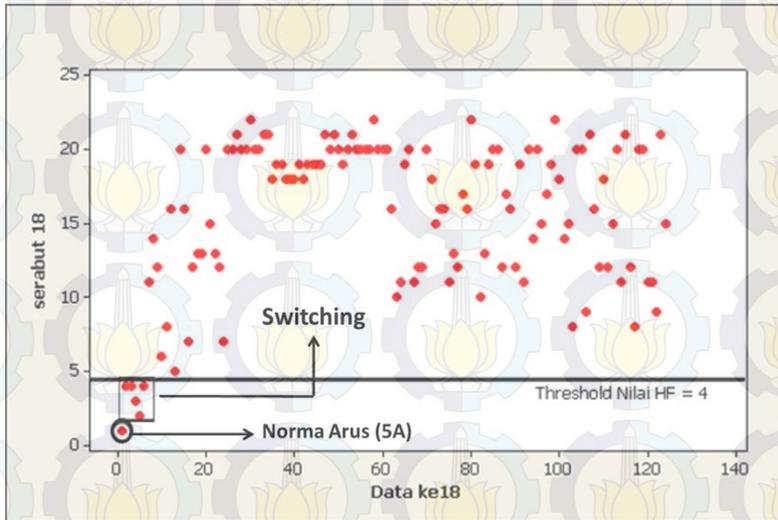
Untuk lebih melihat jelas perbandingan dari 3 kondisi (normal, *switching*, dan *arc*) ini akan dilakukan plotting dengan metode scatterplot untuk melihat pesebarannya. Scatterplot untuk serabut 1, 6, dan 18 akan ditunjukkan pada Gambar 4.26, Gambar 4.27, dan Gambar 4.28 berikut.



**Gambar 4.26.** Scatterplot Serabut 1 Frekuensi 5KSampling/s



**Gambar 4.27.** Scatterplot Serabut 6 Frekuensi 5KSampling/s



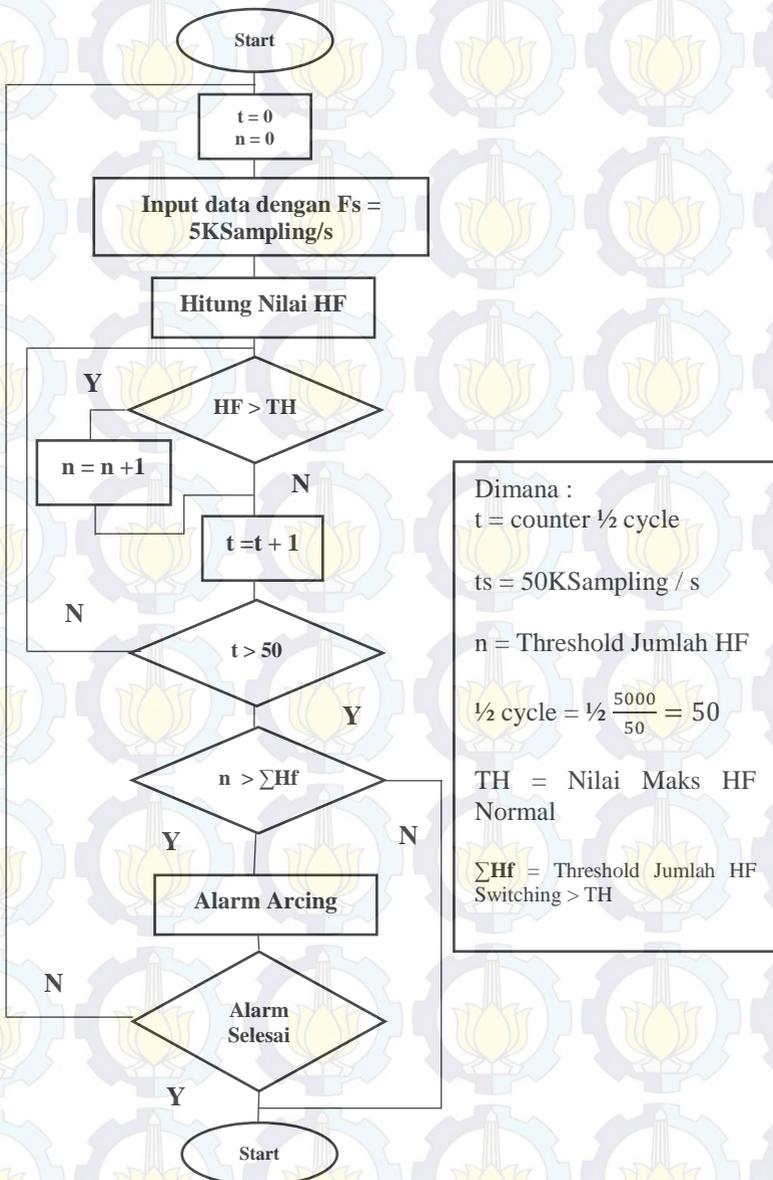
**Gambar 4.28.** Scatterplot Serabut 18 Frekuensi 5KSampling/s

Pada Gambar-Gambar di atas, dapat dilihat dengan jelas perbandingan antara nilai HF kondisi normal, kondisi *switching*, dan kondisi *arcing*. Pada Gambar-Gambar di atas dapat dilihat bahwa threshold (batas) jumlah HF adalah 4, dan itu untuk batas maksimal kondisi *switching*.

Pada Gambar-Gambar tersebut juga dapat dilihat bahwa semakin banyak serabut yang terkena fenomena *arc fault* ini maka akan mempunyai banyak nilai HF. Hal ini disebabkan oleh panjang durasi arus *arcing*nya panjang.

#### 4.3.4 Flowchart Deteksi *Arcing* Pada Sistem Tenaga Listrik Tegangan Rendah

Untuk mempermudah tercapainya tujuan untuk merancang alat pendeteksi kedepannya, maka dibutuhkan flowchart pendeteksian *arcing* pada sistem tenaga listrik tegangan rendah. Flowchart pendeteksian akan dibuat dengan menggunakan parameter-parameter yang telah dijelaskan sebelumnya. Flowchart pendeteksian *arcing* akan ditampilkan pada Gambar 4.29 sebagai berikut.



Gambar 4.29. Flowchart Deteksi Arcing Online

Pada Tabel 4.5 akan ditampilkan tingkat keberhasilan deteksi *arcing*. Pada tabel tersebut akan menghitung prosentase tingkat keberhasilan deteksi dengan metode *DWT haar* level 1, 2, dan 3 dan variasi frekuensi sampling. Prosentase akan dihitung dari  $\sum HF$  *arcing* yang melebihi  $\sum HF$  *switching*.

**Tabel 4.5** Tingkat Keberhasilan Deteksi *Arcing* Serabut 1, 6, dan 18

<i>DWT</i> Level	Sampling/s	Prosentase Keberhasilan Serabut 1	Prosentase Keberhasilan Serabut 6	Prosentase Keberhasilan Serabut 18
Level 1	1K	23,33%	47,17%	69,49%
	5K	100%	94,34%	100%
	10K	100%	98,11%	100%
	50K	96,67%	90,57%	94,92%
	100K	10%	81,13%	78,81%
Level 2	1K	0%	0%	0%
	5K	50%	75,47%	85,59%
	10K	93,33%	88,68%	97,46%
	50K	93,33%	100%	100%
	100K	10%	98,11%	100%
Level 3	1K	0%	0%	0%
	5K	26,67%	50,94%	61,86%
	10K	50%	75,47%	85,59%
	50K	100%	98,11%	100%
	100K	20%	100%	100%

Dari Tabel 4.5 menunjukkan tingkat keberhasilan pendeteksian fenomena *arcing* menggunakan metode *DWT* dengan 3 level dekomposisi dan variasi frekuensi sampling. Pada *DWT* level 1 terdapat 2 hasil yang sangat baik yaitu pada hasil frekuensi sampling 5K dan 10K. Pada *DWT* level 2 juga terdapat 2 hasil yang sangat baik, yaitu pada frekuensi sampling 10K dan 50K. Dan pada *DWT* level 3 juga terdapat 2 hasil yang sangat baik, yaitu pada frekuensi sampling 10K dan 50K. Dari hasil analisa, maka hasil yang akan dijadikan sebagai metode deteksi *arcing* adalah *DWT* level 1 dengan frekuensi sampling 5K. Hal ini dilakukan untuk mempermudah pengimplementasian alat pada penelitian selanjutnya, karena dengan *DWT* level 1 dan ferkuensi sampling 5K proses pengolahan datanya sederhana.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## BAB 4 HASIL DAN ANALISA DATA

### 4.1 Analisa Bentuk Gelombang Arcing

Pada subbab ini dijelaskan tentang data hasil pemotongan dan hasil filtering dari *noise*. Pemotongan data dilakukan setiap  $\frac{1}{2}$  cycle, karena dengan tujuan untuk mempermudah dalam menganalisa pendeteksian. Sedangkan Filtering dilakukan dengan tujuan untuk meredam *noise* yang bercampur dengan data asli.

#### 1.1.1. Skema Percobaan dan Pengambilan Data

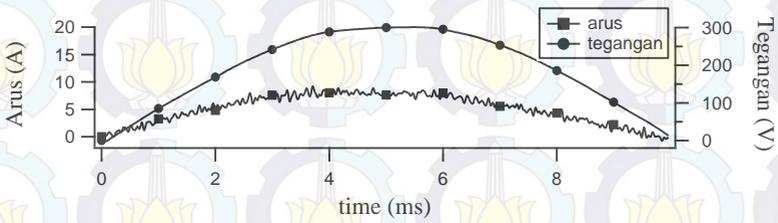
Pada proses plotting ini bertujuan untuk menggambarkan hasil pemotongan data menjadi  $\frac{1}{2}$  cycle seperti yang telah dilakukan. Dalam plotting ini akan digambarkan dalam 3 kondisi data, yaitu kondisi awal (normal), *switching* (penambahan beban), dan *arcing*. Banyaknya data yang diolah pada Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Tabel 4.1. Namun pada bab ini akan ditampilkan beberapa sampel saja.

**Tabel 4.1.** Diskripsi Percobaan

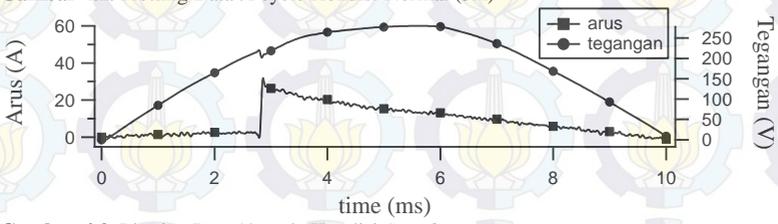
Jenis Kondisi	Banyak Data
Kondisi Awal (Normal)	1
<i>Switching</i>	5
<i>Arcing</i> (serabut 1, 6, 18)	30 (masing2 eksperimen)

Pada proses plotting ini akan ditampilkan grafik x-y yang berisi besaran arus dan tegangan  $\frac{1}{2}$  cycle terhadap waktu (ms). Data memiliki frekuensi sampling 100KSampling/s dengan 1000 data setiap  $\frac{1}{2}$  cycle nya.

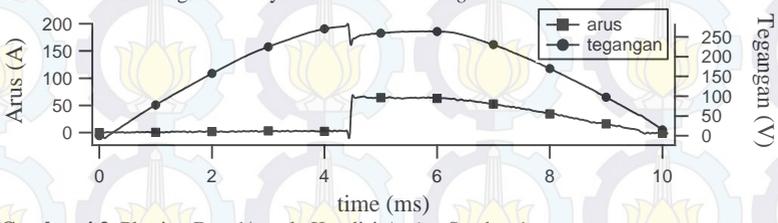
Data kondisi awal (normal) memiliki arus maksimum 5 A dan tegangan maksimum 311 V. Hal ini dipilih sesuai dengan keadaan lapangan yang kebanyak berlangganan 1300 VA dengan arus maksimum sekitar 5 A dan tegangan rendah 220 Vrms. Pada Gambar 4.1 ditunjukkan hasil plotting data pemotongan  $\frac{1}{2}$  cycle pada kondisi awal (normal) dengan arus 5 A.



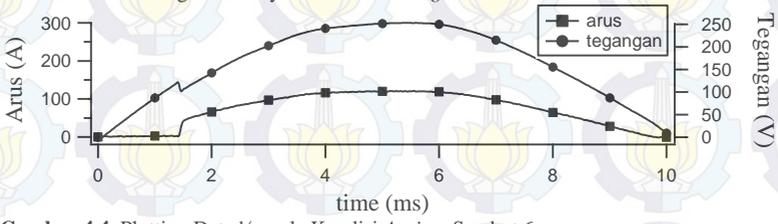
Gambar 4.1. Plotting Data 1/2 cycle Kondisi Normal (5A)



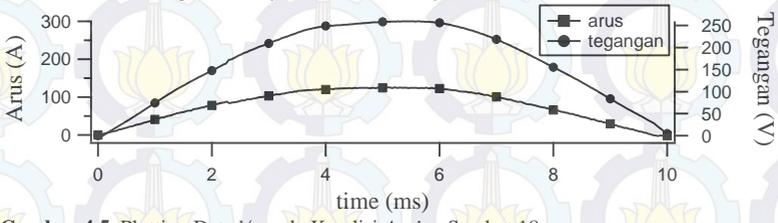
Gambar 4.2. Plotting Data 1/2 cycle Kondisi Switching



Gambar 4.3. Plotting Data 1/2 cycle Kondisi Arcing Serabut 1



Gambar 4.4. Plotting Data 1/2 cycle Kondisi Arcing Serabut 6



Gambar 4.5. Plotting Data 1/2 cycle Kondisi Arcing Serabut 18

Selanjutnya akan ditampilkan plotting data hasil pemotongan  $\frac{1}{2}$  cycle pada kondisi *switching* akibat penambahan beban. Data *switching* dibutuhkan dengan tujuan sebagai pembanding alat pendeteksi agar dapat membedakan antara transien arus *switching* dan arus *arcing*.

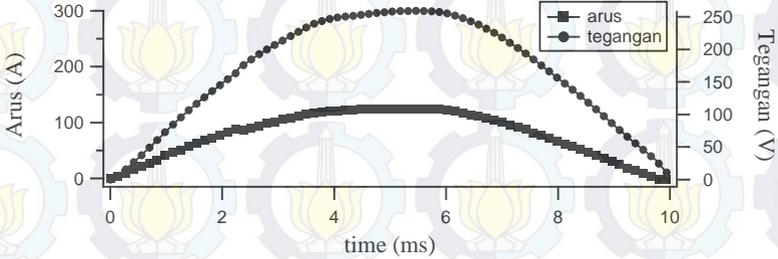
Untuk data pada kondisi *arcing* akan ditampilkan beberapa fenomena saja, karena fenomena ini sudah mewakili semua kondisi *arcing*. Data yang akan ditampilkan adalah data kondisi *arcing* serabut 1, serabut 6, dan serabut 18. Hasil plotting pemotongan data ditunjukkan oleh Gambar 4.3, Gambar 4.4, dan Gambar 4.5.

## 4.2 Reduksi Frekuensi Sampling

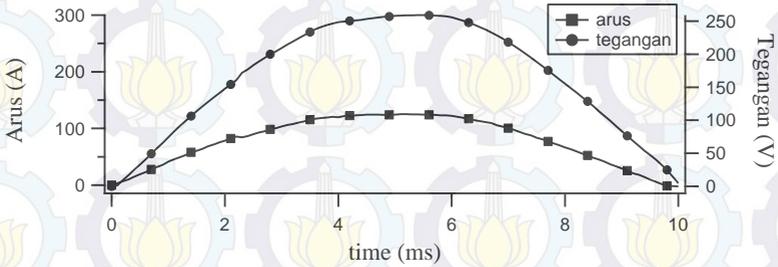
Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa reduksi frekuensi sampling adalah proses mengurangi beberapa data dari data asli tanpa merusak struktur sinyal aslinya. Reduksi frekuensi sampling ini dilakukan agar mempermudah pembuatan alat pendeteksian kedepannya. Dengan frekuensi sampling yang lebih rendah akan membantu alat pendeteksi lebih akurat dalam membaca dan mengolah data. Karena kapasitas dari frekuensi sampling yang dapat disediakan pada alat pendeteksi, maka dibutuhkan frekuensi sampling yang rendah untuk mendukung pembuatan alat pendeteksi tersebut.

Pada Tugas Akhir ini dilakukan reduksi frekuensi sampling dari frekuensi sampling 100KSampling/s sebagai frekuensi awal, menjadi beberapa reduksi. Reduksi frekuensi sampling yang dilakukan, yaitu reduksi menjadi 50KSampling/s, 10KSampling/s, 5KSampling/s, dan 1KSampling/s. Dari hasil reduksi ini nanti akan ditentukan frekuensi sampling yang sesuai untuk pembuatan alat pendeteksi kedepannya. Pada subbab ini akan ditampilkan sampel data arcing serabut 18 dengan reduksi frekuensi sampling di atas.

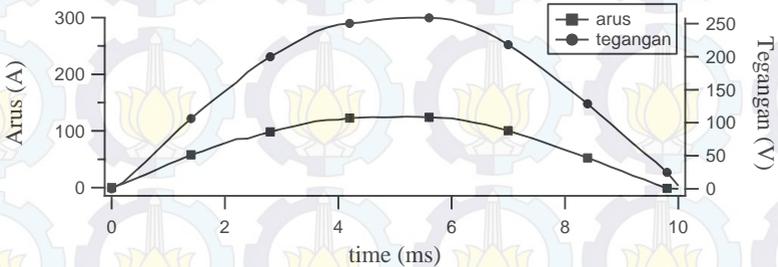
Pada Gambar 4.6. menunjukkan plotting data hasil reduksi frekuensi sampling menjadi 50KSampling/s. Dan juga panjang data yang semula dengan frekuensi sampling 100KSampling/s mempunyai 1.002 data, setelah reduksi menjadi 501 data. Pada Gambar 4.7. menunjukkan plotting data hasil reduksi frekuensi sampling menjadi 10KSampling/s. Dan juga panjang data yang semula dengan frekuensi sampling 100KSampling/s mempunyai 1.002 data, setelah reduksi menjadi 101 data. Pada Gambar 4.8. menunjukkan plotting data hasil reduksi frekuensi sampling menjadi 5KSampling/s. Dan juga panjang data yang semula dengan frekuensi sampling 100KSampling/s mempunyai 1.002 data, setelah reduksi menjadi 51 data.



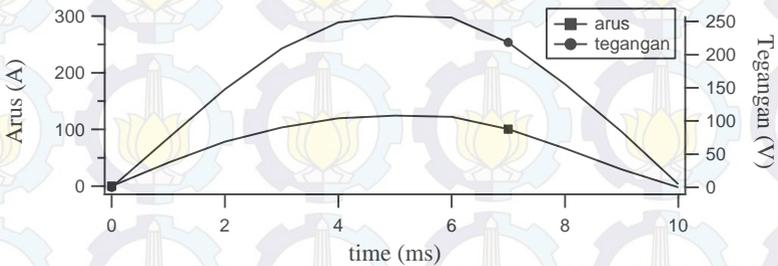
Gambar 4.6. Hasil Reduksi Menjadi 50KSampling/s



Gambar 4.7. Hasil Reduksi Menjadi 10KSampling/s



Gambar 4.8. Hasil Reduksi Menjadi 5KSampling/s



Gambar 4.9. Hasil Reduksi Menjadi 1KSampling/s

Pada Gambar 4.9. menunjukkan plotting data hasil reduksi frekuensi sampling menjadi 1KSampling/s. Dan juga panjang data yang semula dengan frekuensi sampling 100KSampling/s mempunyai 1.002 data, setelah reduksi menjadi 11 data.

Berdasarkan metode evaluasi, pada Tugas Akhir ini dipilih frekuensi sampling 5KSampling/s. Frekuensi sampling ini dipilih karena memiliki nilai yang stabil dibandingkan dengan frekuensi sampling lainnya. Metode evaluasi dilakukan dengan mencoba semua frekuensi sampling diterapkan pada algoritma pendeteksian. Dan hasil yang diberikan menunjukkan bahwa frekuensi sampling 5KSampling/s lebih akurat dan stabil.

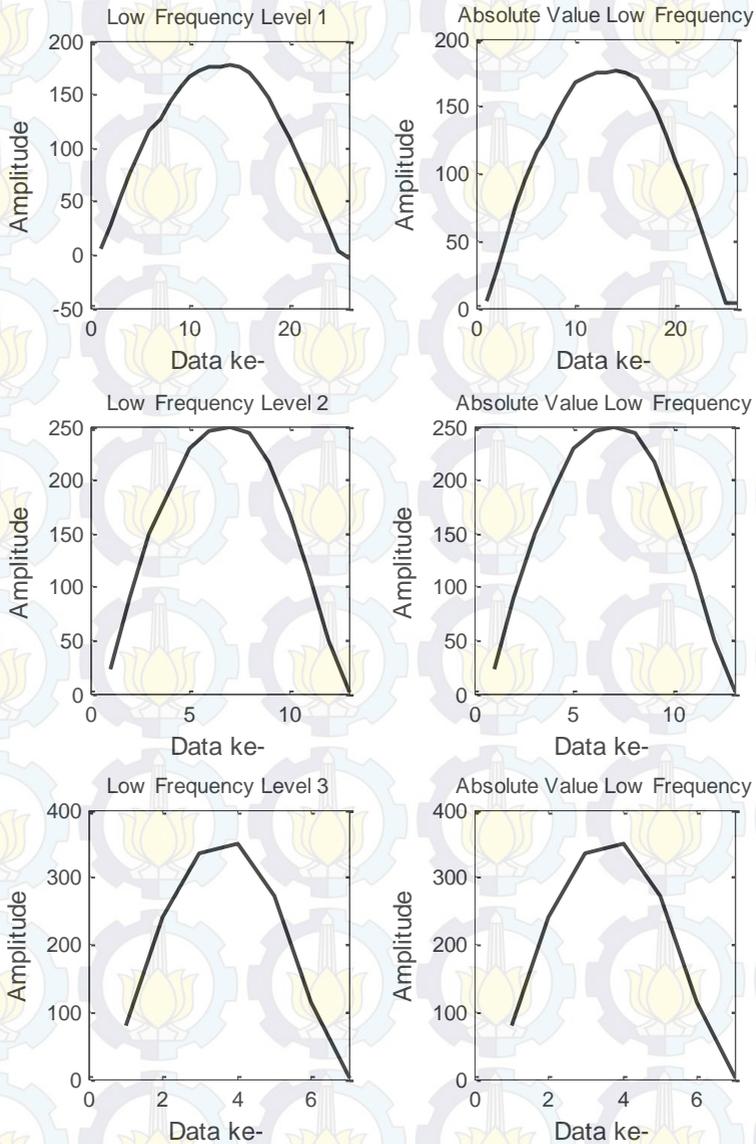
### 4.3 Analisa Deteksi Arc Fault

Pada subbab ini akan dijelaskan analisa deteksi *arc fault* dengan menggunakan metode *DWT* sebagai transformasi sinyalnya, dan metode perbandingan untuk mendapatkan parameter deteksi *arc fault*. Dengan menggunakan *DWT* outputnya ada 2, yaitu approximation (low frequency) dan detail (high frequency). Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pada Tugas Akhir ini akan menggunakan data detail (high frequency). Data HF ini akan digunakan pada metode perbandingan untuk memperoleh parameter deteksi *arc fault*.

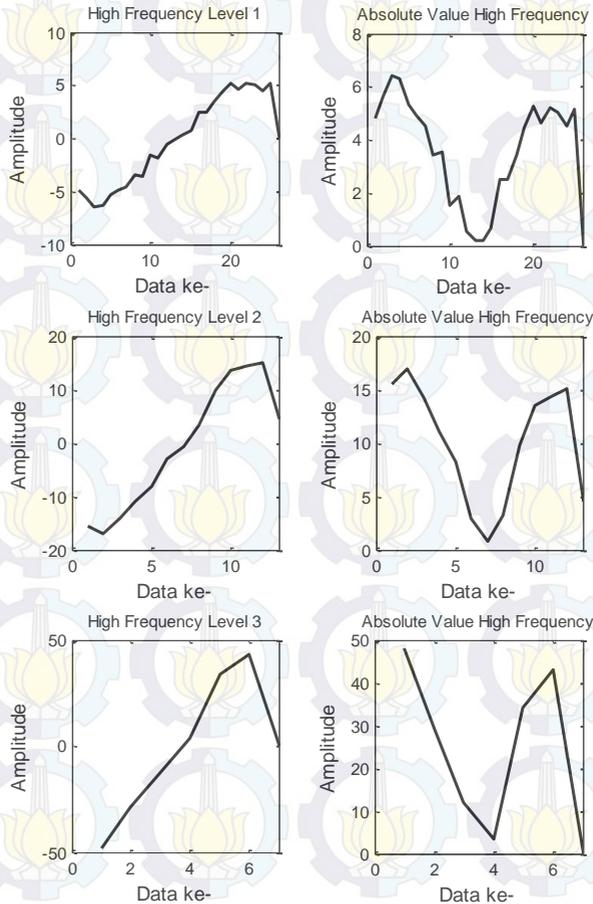
#### 4.3.1 Hasil Pengolahan Data dengan DWT

*DWT (Discrete Wavelet Transform)* adalah metode transformasi sinyal menjadi sinyal diskrit dengan tujuan memperoleh variable atau nilai tertentu sesuai keinginan. Pada Tugas Akhir ini menggunakan *mother wavelet HAAR* dan dengan level dekomposisi mencapai 3 level. Pengolahan data dengan *DWT* menggunakan software MATLAB. Data yang digunakan berupa data kondisi normal, *switching*, dan *arcing* dengan frekuensi sampling 5KSampling/s dan telah difilter. Pada subbab ini akan ditampilkan hasil dari *DWT* dengan menggunakan sampel data *arcing* serabut 18.

Gambar 4.10. menunjukka approximation (low frequency) dan nilai absolutnya dari transformasi *wavelet haar* level 1, 2, dan 3. Sedangkan untuk detail (high frequency) dan nilai absolutnya dari transformasi *wavelet haar* level 1, 2, dan 3 akan ditampilkan pada gamba 4.11.



Gambar 4.10. Low Frequency dengan HAAR Level 1, 2, dan 3



**Gambar 4.11.** High Frequency dengan HAAR Level 1, 2, dan 3

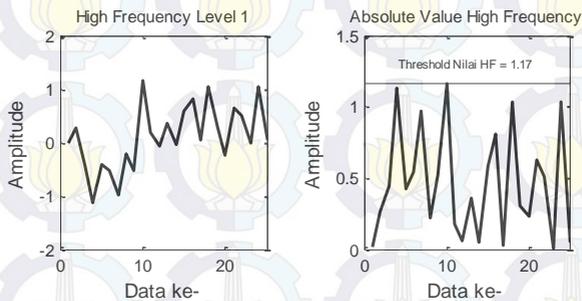
Berdasarkan data yang telah diolah dengan *DWT*, pada Tugas Akhir ini dipilih transformasi level 1 untuk melakukan analisa deteksi. Hal ini karena transformasi level 1 sudah cukup jelas untuk melakukan analisa deteksi. Dengan data yang sudah difilter memudahkan untuk analisa deteksi, karena sudah tidak ada *noise* yang dapat mempengaruhi perhitungan. Maka dari itu, transformasi level 1 sudah mampu melakukan analisa deteksi *arcing*.

### 4.3.2 Perbandingan Nilai HF

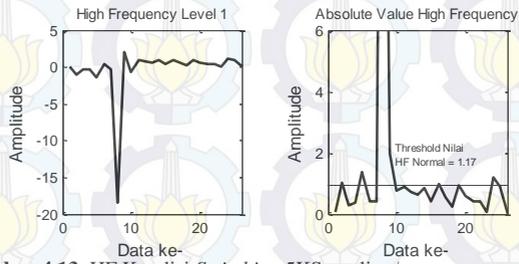
Pada subbab ini akan dijelaskan tentang analisa deteksi *arcing* dengan metode perbandingan nilai HF. Nilai HF pada kondisi normal akan menjadi acuan pada proses ini. Nilai HF pada kondisi *switching* dan *arcing* akan dibandingkan dengan nilai HF pada kondisi normal. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui berapa banyak data yang melebihi nilai HF kondisi normal. Sehingga akan didapat karakteristik masing-masing kondisi, baik *switching* ataupun *arcing*. Karakteristik ini yang nantinya akan dijadikan parameter untuk perancangan alat pendeteksi. Perbandingan nilai HF akan ditunjukkan menggunakan data sampel serabut 1. Untuk perbandingan nilai HF data serabut 6 dan 18 dapat dilihat pada lampiran.

Pada Gambar 4.12 sampai Gambar 4.16 ditunjukkan hasil perbandingan nilai HF antara HF kondisi normal dengan HF kondisi *switching* maupun HF kondisi *arcing*. Dapat dilihat pada Gambar di atas, Kondisi *arcing* memiliki banyak nilai HF yang lebih dari maksimum HF normal dibandingkan dengan kondisi *switching*. Dengan demikian dapat dibedakan dalam pendeteksian antara arus akibat *switching* dan arus akibat fenomena *arc fault*.

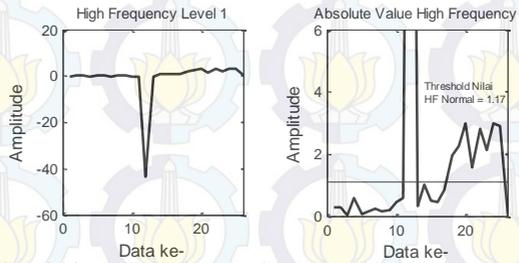
Pada Tugas Akhir ini metode deteksi dilakukan dengan membandingkan nilai maksimum dari HF kondisi normal dengan nilai HF pada kondisi *switching* dan *arcing*. Nilai maksimum HF kondisi normal dijadikan sebagai *threshold* / batas nilai yang diperbolehkan. Jika melebihi nilai tersebut, maka akan dilakukan perhitungan jumlah data yang melebihinya. Jumlah data HF kondisi *switching* dan *arcing* yang melebihi nilai maksimum HF normal akan menjadi acuan parameter pendeteksian.



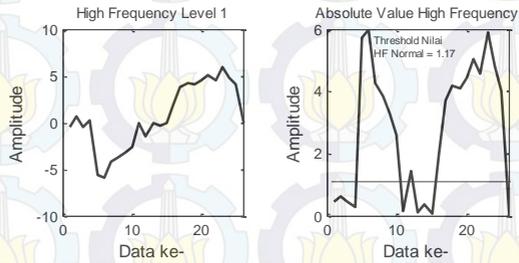
Gambar 4.12. HF Kondisi Normal 5KSampling/s



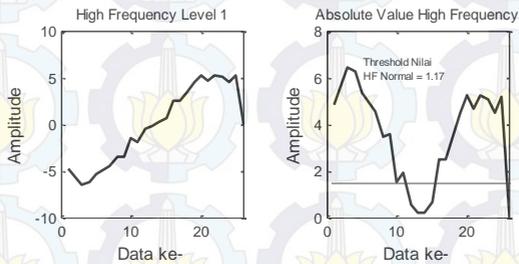
**Gambar 4.13.** HF Kondisi *Switching* 5KSampling/s



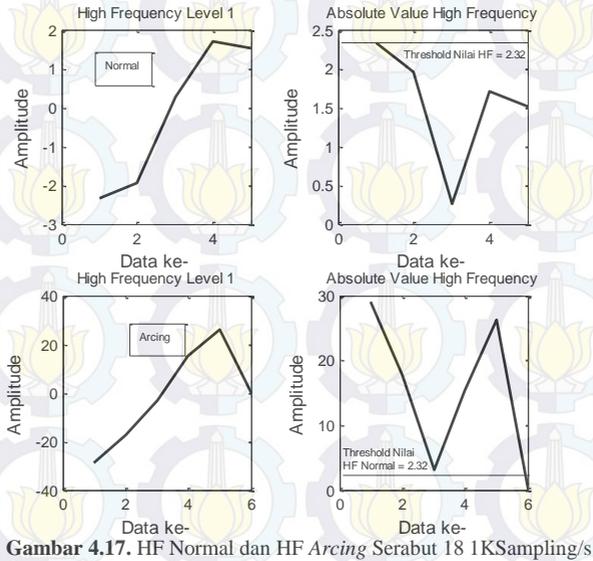
**Gambar 4.14.** HF Kondisi *Arcing Serabut 1* 5KSampling/s



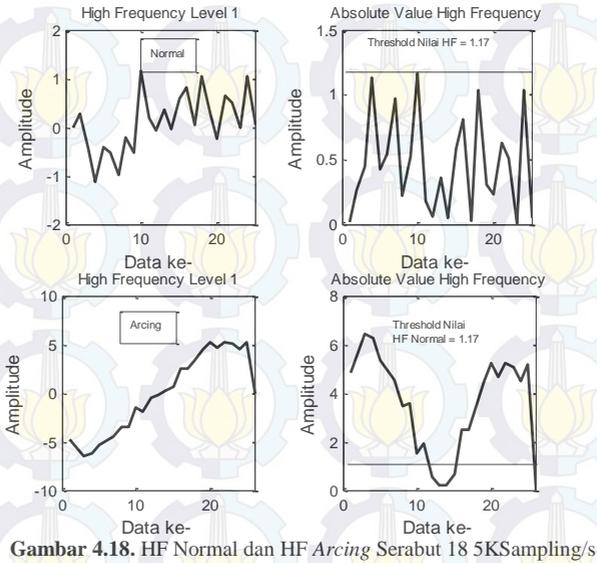
**Gambar 4.15.** HF Kondisi *Arcing Serabut 6* 5KSampling/s



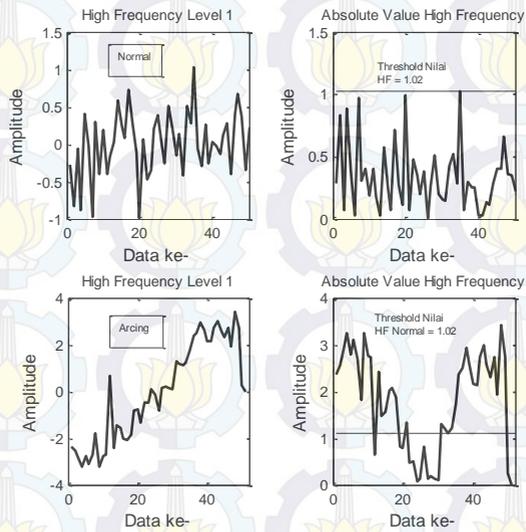
**Gambar 4.16.** HF Kondisi *Arcing Serabut 18* 5KSampling/s



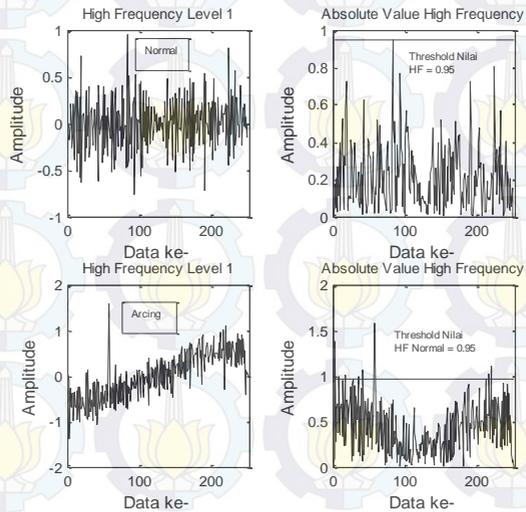
**Gambar 4.17.** HF Normal dan HF Arcing Serabut 18 KSampling/s



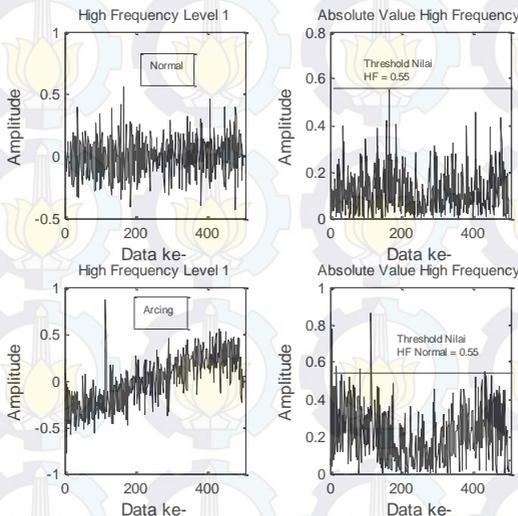
**Gambar 4.18.** HF Normal dan HF Arcing Serabut 18.5 KSampling/s



**Gambar 4.19.** HF Normal dan HF Arcing Serabut 18 10KSampling/s



**Gambar 4.20.** HF Normal dan HF Arcing Serabut 18 50KSampling/s



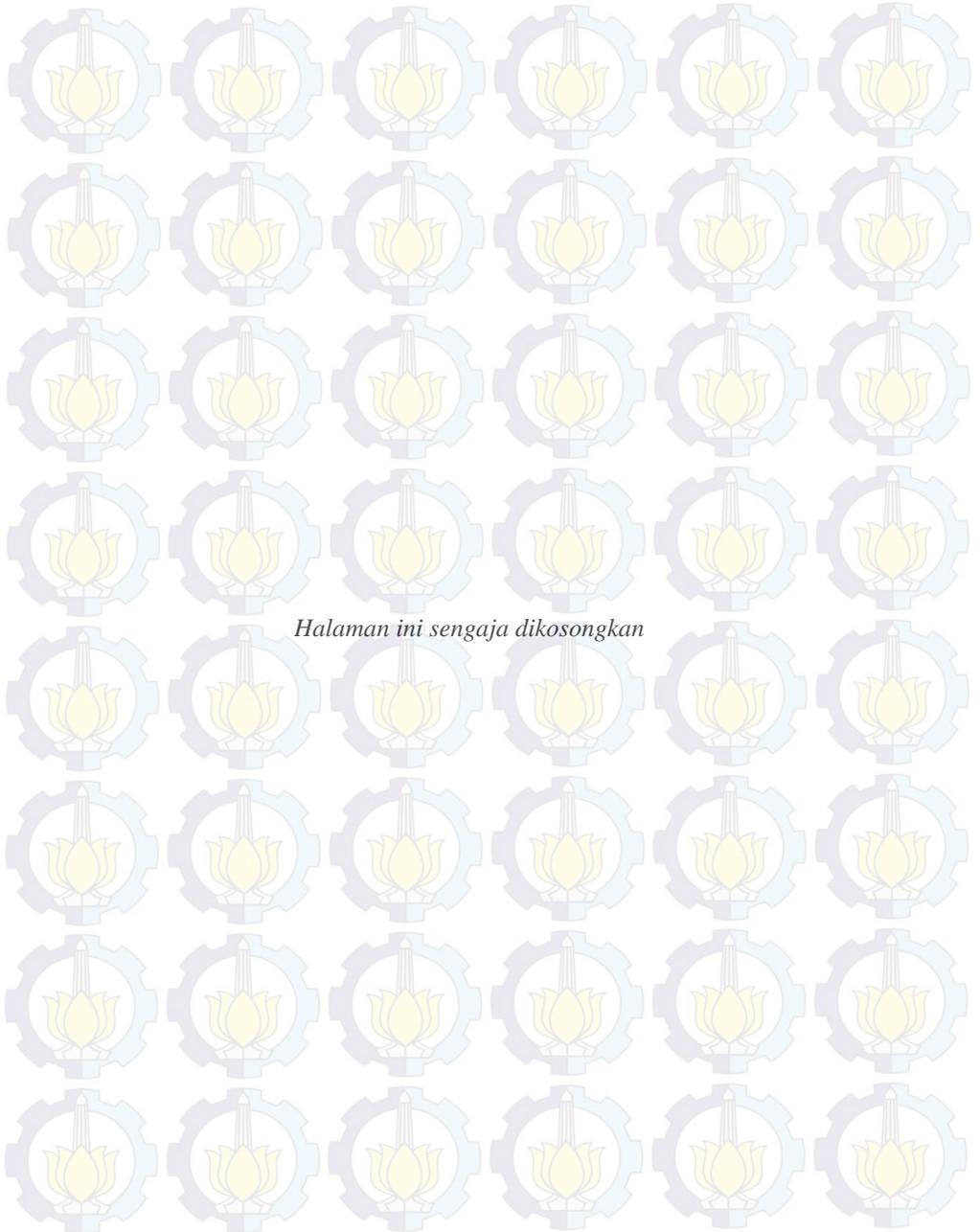
**Gambar 4.21.** HF Normal dan HF Arcing Serabut 18 100KSampling/s

Pada Gambar 4.17. sampai Gambar 4.21. ditampilkan perbandingan Nilai HF kondisi *arcing* dengan Nilai HF Maksimum kondisi normal dengan variasi frekuensi sampling. Dengan menggunakan variasi frekuensi sampling ini, dapat diperoleh frekuensi sampling yang paling sesuai dengan hasil yang paling stabil untuk diimplementasikan pada alat deteksi.

Pada Tabel 4.2 sampai Tabel 4.4 ditunjukkan hasil perbandingan nilai HF antara HF kondisi normal dengan HF kondisi *switching* maupun HF kondisi *arcing*, yang merupakan hasil *DWT haar* level 1, 2, dan 3. Pada tabel tersebut, nilai HF maksimum kondisi normal dijadikan sebagai parameter pembandingan terhadap nilai HF kondisi lainnya. Pada tabel terdapat symbol “*HF Sig*” dan “ $\sum HF$ ”. *HF Sig* merupakan nilai maksimum dari Sinyal HF masing-masing kondisi. Sedangkan  $\sum HF$  merupakan jumlah nilai HF yang lebih besar dari nilai *HF Signal* kondisi normal. Pada tabel tersebut juga ditampilkan dengan variasi frekuensi sampling agar dapat dibandingkan dan diketahui frekuensi sampling yang mempunyai hasil yang paling stabil dan benar.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), “*Data Kebakaran Permukiman*”, Agustus 2011 – Juni 2015.
- [2] J-M. Martel, M. Anheuser, F. Berger, “*A Study of Arcing Fault in Low Voltage Electrical Installation*”, IEEE, Oct 2010.
- [3] Nosh K Medora and Alexander Kusko, “*Arcing Faults In Low and Medium Voltage Electrical Systems*”, IEEE, Oct 2011.
- [4] Jarkov V, Mark A, Craig W, Ashish K, “*High Impedance Fault Detection On Rural Electric Distributin Systems*”, IEEE, 2010
- [5] James S. Walker, “*A Primer on WAVELETS and Their Scientific Applications*”, Second Edition 2008 Hal 41.
- [6] Weiyan Zheng and Weilin Wu, “*Detecting LowVoltage Arc Fault Based on Listing Multiwavelet*”, IEEE, Nov 2009.
- [7] Haoying Gu, Feng Zhang, Ziun Wang, Qing Ning, and Shiwen Zhang, “*Identification Method for Low-Voltage Arc Fault Based on the Loose Combination of Wavelet Transformation and Neural Network*”, IEEE, Sept 2012.
- [8] Peiyong Duan, Liping Xu, Xudong Ding, Chenguang Ning, Chenxu Duan. “*An Arc Fault Diagnostic Method for Low Voltage Lines Using the Difference of Wavelet Coefficients*”, IEEE Conference on Industrial Electronics and Application (ICIEA), Hangzhou, China. Pp.9-11 June 2014.
- [9] Rosa M. de Castro F and Horacio Nelson D. R, “*An Overview of Wavelet Transforms Application In Power Systems*”, IEEE-14<sup>th</sup> PSCC, Sevilla, 24-28 June 2002.
- [10] Liang J, Elangovan S, Devotta JBX. “*A Wavelet Multiresolution Analysis Approach to Fault Detection and Classification in Transmission Lines*”. Electr Power Energ Sys 1998;20 (5):327–32.



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB 5 PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Pada Tugas Akhir ini menggunakan variasi frekuensi sampling untuk mengetahui frekuensi sampling yang sesuai untuk analisa deteksi dan implementasi alat. Berdasarkan hasil analisa, pada Tugas Akhir ini didapatkan bahwa frekuensi sampling  $5K\text{Sampling/s}$  cukup baik digunakan untuk analisa deteksi.

Dalam Tugas Akhir ini, transformasi diskrit wavelet dengan menggunakan *haar wavelet* level 1, 2, dan 3. *Haar wavelet* merupakan salah satu transformasi *wavelet* dengan proses konvolusi yang sangat sederhana. Dari hasil analisa didapatkan bahwa *haar wavelet* level 1 sudah sangat efektif digunakan untuk analisa deteksi.

Untuk metode deteksi dalam Tugas Akhir ini menggunakan variabel output dari *DWT*. Variabel deteksi yang digunakan adalah *High Frequency Signal* dari kondisi normal, *switching transient*, dan *arcing*.

Nilai maksimum dari *High Frequency Signal* pada kondisi normal dijadikan sebagai pembandingan dengan nilai *High Frequency Signal* pada kondisi *switching transient* dan *arcing*. Maka dengan metode perbandingan ini akan dapat diklarifikasi dan dideteksi antara kondisi *switching transient* saat penambahan beban dan kondisi *arcing* terjadi.

Dari hasil keluaran Tugas Akhir ini dapat dengan mudah diimplementasikan dalam perancangan alat deteksi berbasis mikrokontroller. Hal ini didukung dengan proses konvolusi data yang sederhana menggunakan *haar wavelet* level 1 dan frekuensi sampling yang rendah, yaitu  $5K\text{Sampling/s}$ .

### 5.2 Saran

Analisa deteksi dengan menggunakan metode *DWT* pada Tugas Akhir ini sudah cukup baik dan jelas, akan lebih baik lagi jika dapat diimplementasikan dalam berupa alat deteksi.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**FINAL PROJECT - TE 141599**

**DETECTION ANALYSIS OF ARC FLASH IN LOW  
VOLTAGE ELECTRICAL POWER BASED ON DISCRETE  
WAVELET TRANSFORMATION**

Akhmad Sudaryono  
NRP 2211 100 007

Advisor

Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.  
Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTEMENT  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015

# ANALISIS DETEKSI BUSUR API LISTRIK PADA TEGANGAN RENDAH BERBASIS TRANSFORMASI DISKRIT WAVELET

**Nama** : Akhmad Sudaryono  
**Pembimbing I** : Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.  
**Pembimbing II** : Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

## ABSTRAK

Pada penelitian ini, karakteristik amplitudo sinyal arus gangguan dan tegangan saat terjadi *arc fault* pada tegangan rendah akan dianalisis menggunakan transformasi diskrit wavelet dengan membandingkan keadaan normal dan keadaan saat terjadi gangguan. *Arc fault* pada tegangan rendah tergolong gangguan yang arusnya memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan dengan arus gangguan lain .

Analisa deteksi ini menggunakan variasi frekuensi sampling dan transformasi diskrit wavelet *haar*. Dari hasil analisa didapatkan bahwa *haar wavelet* level 1 sudah sangat efektif digunakan untuk analisa deteksi. Keluaran dari transformasi wavelet digunakan untuk melakukan perbandingan nilai HF antara kondisi normal, *switching*, dan *arcing*. Maka dengan metode perbandingan ini akan dapat diklarifikasi dan dideteksi antara kondisi *switching transient* saat penambahan beban dan kondisi *arcing* terjadi.

**Kata Kunci** : Normal, *Switching*, *Arc fault*, Transformasi Diskrit Wavelet, Perbandingan, Deteksi.



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DETECTION ANALYSIS OF ARC FLASH IN LOW VOLTAGE ELECTRICAL POWER BASED ON DISCRETE WAVELET TRANSFORMATION

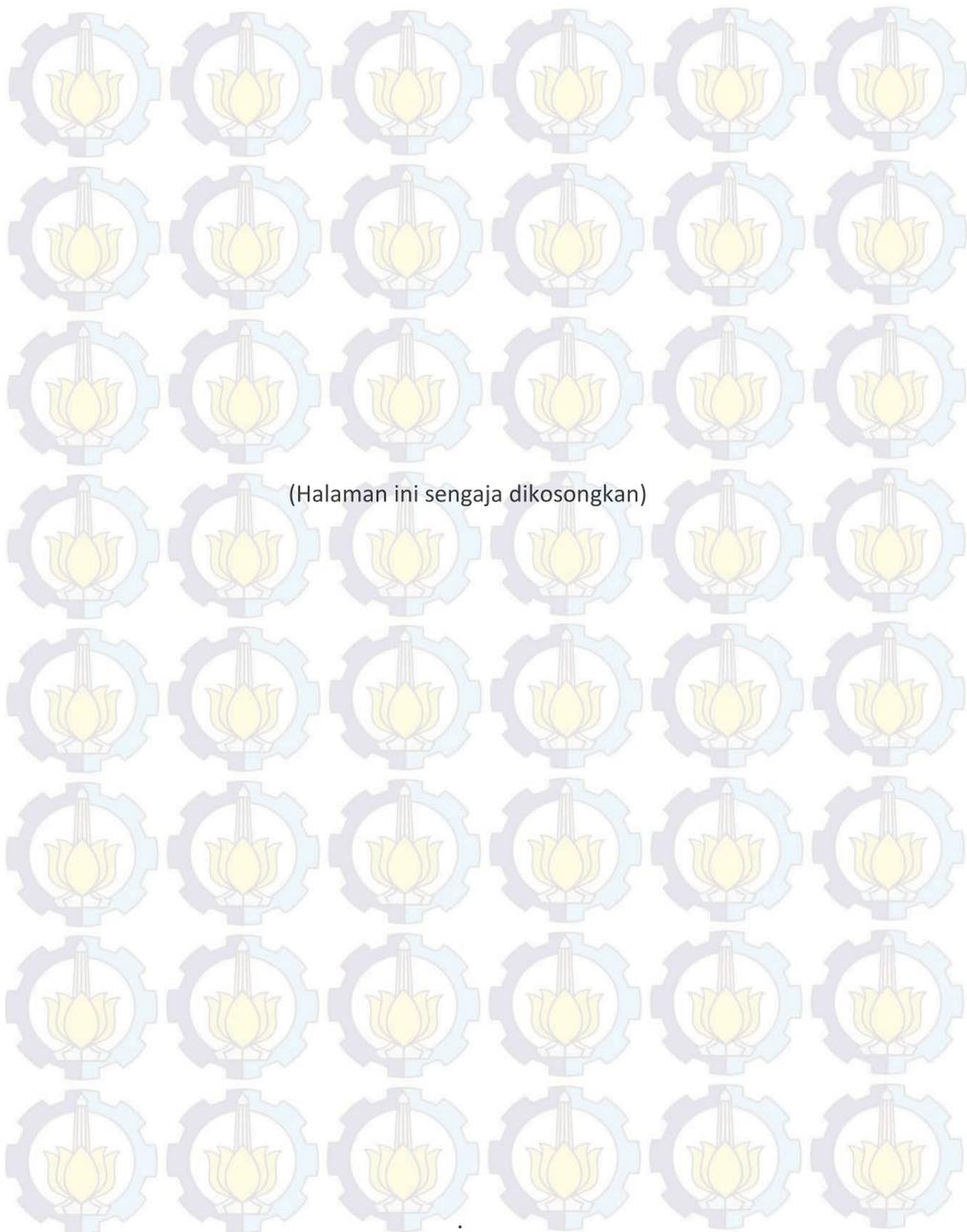
Name : Akhmad Sudaryono  
1<sup>st</sup> Advisor : Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.  
2<sup>nd</sup> Advisor : Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc.

## ABSTRACT

*In this study, characteristics of signal amplitude of the fault current and voltage during occurred arc fault in low voltage will be analyzed using discrete wavelet transformation by comparing the normal state and the current state of disruption. Arc fault in low voltage current is classified as a disorder that has different characteristics compared with other fault current.*

*This detection analysis using a variation of sampling frequency and discrete wavelet transform haar. From the analysis showed that level 1of haar wavelet has been very effective used for detection analysis. The output of wavelet transform is used to perform a comparison value of HF between normal, switching, and arcing. So with this comparison method will be clarified and detected between switching transient and arcing condition.*

**Key Words : Normal, Switching, Arc fault, Discrete Wavelet Transformation, Comparison, Detection.**



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya. Shalawat serta salam selalu tercurah kepada Nabi Besar Muhammad SAW, keluarga, dan sahabat serta kita semua sebagai umatnya. Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan tugas akhir **“Analisis Deteksi Busur Api Listrik Pada Tegangan Rendah Berbasis Transformasi Diskrit Wavelet”** ini tepat waktu.

Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan menyelesaikan pendidikan sarjana pada Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pelaksanaan dan penyelesaian Tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dimas Anton Asfani dan Bapak I Made Yulistya Negara, atas segala pengetahuannya dan waktunya dalam membimbing penulis sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.
2. Kedua Orang tua dan adik penulis yang selalu memberikan nasehat, semangat, dan doa kepada penulis sehingga Tugas Akhir ini bisa terselesaikan tepat pada waktunya.
3. Mas Daniar F., Mas Teguh, Mas Afif, Mas Bimo, Mas Jentrung, Mas Sandy dan Mas-mas e50, yang telah memberikan inspirasi bagi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh Dosen, dan Staff Karyawan Jurusan Teknik Elektro-FTI, ITS yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.
5. Teman-teman Angkatan 2011 (e51) yang membantu penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir.
6. Teman-teman WP Crew (Aldo (Pilot), Alfian (alay), Anjik (Prince), Dyal, Dylan (Penyok), Arief BHS, Gilang, Kevin (bogang), Gungde, Toshi, Irwin, Sinyo, Lucky, Lukman, Mamet, Alaydrus, Radit, Roy, Satria, Vigor, Yanu, Yosep (Pohon), dan Yosua) yang telah mendukung penulis agar dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini..
7. Teman-teman Laboratorium Tegangan Tinggi yang mengingatkan dan mendukung penulis agar penulis bisa wisuda ke-112.
8. Novia Ayu Irmawati dan Riza Fakhroun Nisa, yang telah membantu dan memberi semangat sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai tepat waktu.

Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini bermanfaat dan berguna bagi penulis khususnya dan juga bagi para pembaca pada umumnya.

Surabaya, Mei 2015

**Penulis**

# DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Sistematika Penulisan	2
<b>BAB 2 <i>ARC FAULT</i> DAN METODE TRANSFORMASI DISKRIT WAVELET</b>	
2.1 <i>Arcing Fault</i> di Tegangan Rendah	3
2.2 Transformasi <i>Wavelet</i>	5
2.2.1 Persamaan Transformasi <i>Wavelet</i>	6
2.2.2 <i>Discrete Wavelet Transform</i>	7
2.2.3 <i>Wavelet Tree</i> dan Level Dekomposisi	7
2.3 Metode Deteksi Gangguan	9
<b>BAB 3 PERANCANGAN EKSPERIMEN DAN METODE</b>	
3.1 Perancangan Alat Eksperimen	11
3.1.1 Kabel NYMHY 2x1,5mm <sup>2</sup>	12
3.1.2 Beban Lampu 100 Watt	12
3.1.3 <i>Chamber</i> Akrilik	12
3.1.4 Fuse dan Fuse Box	13
3.1.5 PXI	13
3.1.6 Probe Arus dan Probe Tegangan	13
3.1.7 Current Transformer (CT)	14
3.1.8 Software LabVIEW	14
3.2 Pengambilan Data	15

3.3 Pengolahan Data	17
3.3.1 Proses Pemotongan Data	18
3.3.2 Proses Filtering Data	18
3.3.3 Proses Plotting dan Analisa Data	19

## BAB 4 HASIL DAN ANALISIS DATA

4.1 Analisa Bentuk Gelombang <i>Arcing</i>	23
4.1.1 Skema Percobaan dan Pengambilan Data	23
4.2 Reduksi Frekuensi Sampling	25
4.3 Analisa Deteksi <i>Arc Fault</i>	27
4.3.1 Hasil Pengolahan Data dengan <i>DWT</i>	27
4.3.2 Perbandingan Nilai HF	30
4.3.3 Analisa Probabilistik	43
4.3.4 Flowchart Deteksi <i>Arcing</i> pada Sistem Tenaga Listrik Tegangan Rendah	47

## BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51

## DAFTAR PUSTAKA RIWAYAT HIDUP

53
55

## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 3.1</b> Spesifikasi PXIe-073	13
<b>Tabel 3.2</b> Spesifikasi Probe Arus	14
<b>Tabel 3.3</b> Spesifikasi Probe Tegangan	14
<b>Tabel 3.4</b> Spesifikasi CT	14
<b>Tabel 3.5</b> Parameter <i>Low-pass</i> Filter	19
<b>Tabel 4.1</b> Diskripsi Percobaan	23
<b>Tabel 4.2</b> Perbandingan Nilai HF Data Serabut 1 <i>DWT</i> Level 1 dengan Variasi Frekuensi Sampling	35
<b>Tabel 4.3</b> Perbandingan Nilai HF Data Serabut 1 <i>DWT</i> Level 2 dengan Variasi Frekuensi Sampling	37
<b>Tabel 4.4</b> Perbandingan Nilai HF Data Serabut 1 <i>DWT</i> Level 3 dengan Variasi Frekuensi Sampling	40
<b>Tabel 4.5</b> Tingkat Keberhasilan Deteksi <i>Arcing</i> Serabut 1, 6, dan 18	49



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

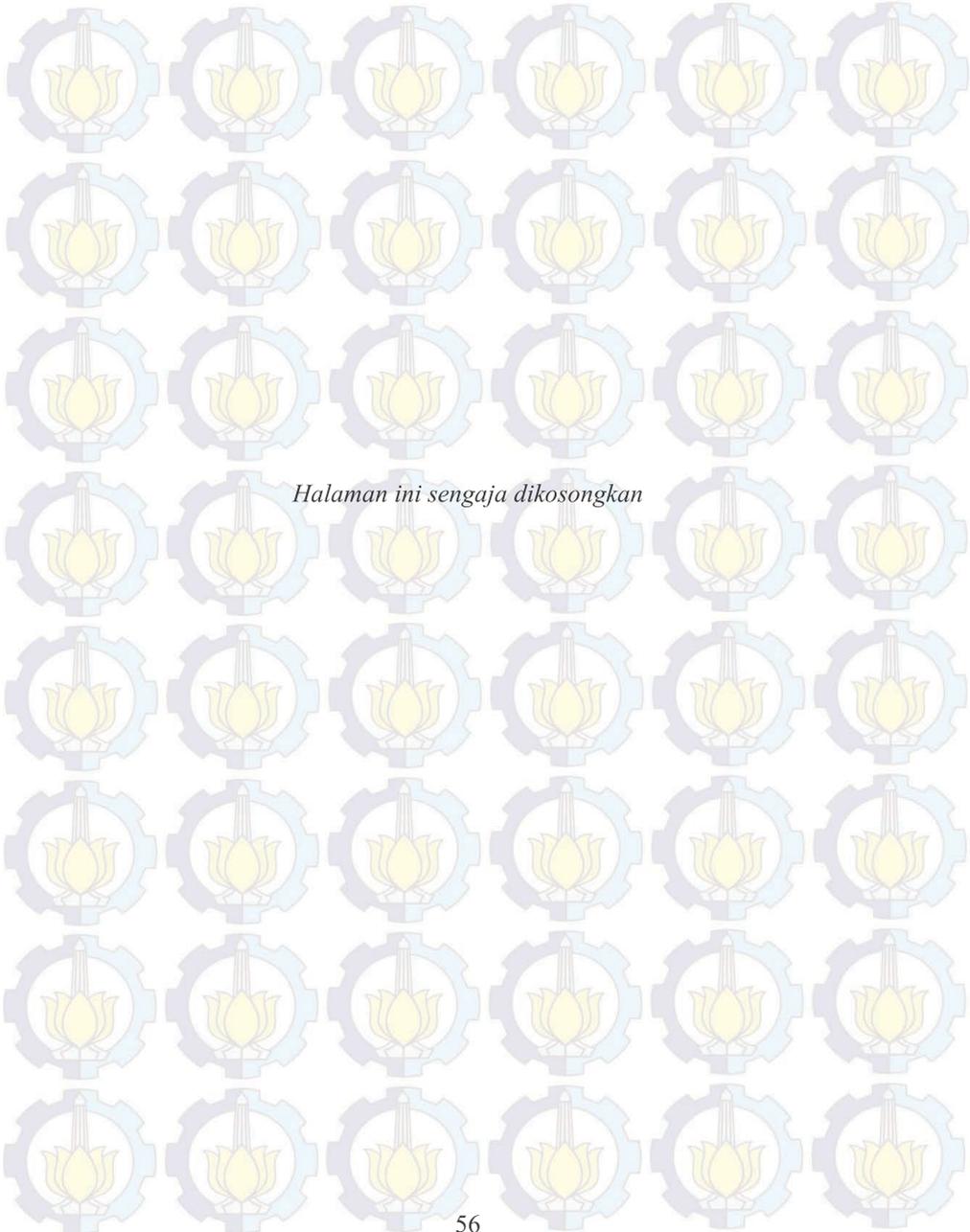
	Halaman
<b>Gambar 2.1</b>	Diagram Dekomposisi <i>DWT</i> 8
<b>Gambar 3.1</b>	Skema Perancangan Alat Eksperimen 11
<b>Gambar 3.2</b>	Alat Eksperimen 12
<b>Gambar 3.3</b>	Kondisi Normal 16
<b>Gambar 3.4</b>	Kondisi <i>Switching</i> Penambahan Beban 16
<b>Gambar 3.5</b>	Kondisi Saat Terjadi <i>Arc Fault</i> 17
<b>Gambar 3.6</b>	Alur Pengolahan Data Eksperimen 17
<b>Gambar 3.7</b>	Skematik <i>Low-pass</i> Filter pada SIMULINK 19
<b>Gambar 3.8</b>	Alur Transformasi <i>Wavelet</i> 20
<b>Gambar 4.1</b>	Plotting Data $\frac{1}{2}$ cycle Kondisi Normal (5A) 24
<b>Gambar 4.2</b>	Plotting Data $\frac{1}{2}$ cycle Kondisi <i>Switching</i> 24
<b>Gambar 4.3</b>	Plotting Data $\frac{1}{2}$ cycle Kondisi <i>Arcing</i> Serabut 1 24
<b>Gambar 4.4</b>	Plotting Data $\frac{1}{2}$ cycle Kondisi <i>Arcing</i> Serabut 6 24
<b>Gambar 4.5</b>	Plotting Data $\frac{1}{2}$ cycle Kondisi <i>Arcing</i> Serabut 18 24
<b>Gambar 4.6</b>	Hasil Reduksi Menjadi 50KSampling/s 26
<b>Gambar 4.7</b>	Hasil Reduksi Menjadi 10KSampling/s 26
<b>Gambar 4.8</b>	Hasil Reduksi Menjadi 5KSampling/s 26
<b>Gambar 4.9</b>	Hasil Reduksi Menjadi 1KSampling/s 26
<b>Gambar 4.10</b>	Low Frequency dengan HAAR Level 1,2, dan 3 28
<b>Gambar 4.11</b>	High Frequency dengan HAAR Level 1,2, dan 3 29
<b>Gambar 4.12</b>	HF Kondisi Normal 5KSampling/s 30
<b>Gambar 4.13</b>	HF Kondisi <i>Switching</i> 5KSampling/s 31
<b>Gambar 4.14</b>	HF Kondisi <i>Arcing</i> Serabut 1 5KSampling/s 31
<b>Gambar 4.15</b>	HF Kondisi <i>Arcing</i> Serabut 6 5KSampling/s 31
<b>Gambar 4.16</b>	HF Kondisi <i>Arcing</i> Serabut 18 5KSampling/s 31
<b>Gambar 4.17</b>	HF Normal dan HF <i>Arcing</i> Serabut 18 1KSampling/s 32
<b>Gambar 4.18</b>	HF Normal dan HF <i>Arcing</i> Serabut 18 5KSampling/s 32
<b>Gambar 4.19</b>	HF Normal dan HF <i>Arcing</i> Serabut 18 10KSampling/s 33
<b>Gambar 4.20</b>	HF Normal dan HF <i>Arcing</i> Serabut 18 50KSampling/s 33
<b>Gambar 4.21</b>	HF Normal dan HF <i>Arcing</i> Serabut 18 100KSampling/s 34

<b>Gambar 4.22</b>	Histogram Distribusi Normal Nilai HF Serabut 1, Serabut 6, dan Serabut 18 Frekuensi 5KSampling/s	43
<b>Gambar 4.23</b>	Histogram Serabut 1 Frekuensi 5KSampling/s	44
<b>Gambar 4.24</b>	Histogram Serabut 6 Frekuensi 5KSampling/s	44
<b>Gambar 4.25</b>	Histogram Serabut 18 Frekuensi 5KSampling/s	45
<b>Gambar 4.26</b>	Scatterplot Serabut 1 Frekuensi 5KSampling/s	46
<b>Gambar 4.27</b>	Scatterplot Serabut 6 Frekuensi 5KSampling/s	46
<b>Gambar 4.28</b>	Scatterplot Serabut 18 Frekuensi 5KSampling/s	47
<b>Gambar 4.29</b>	Flowchart Deteksi <i>Arcing</i>	48

## RIWAYAT HIDUP



**Akhmad Sudaryono**, lahir di Sumenep, 04 Mei 1993. Riwayat pendidikan penulis yaitu, SDN Pangarangan I Sumenep, Madura (lulus 2005) , lulus pendidikan SMP tahun 2008 di SMPN 1 Sumenep. Tahun 2011 lulus dari SMAN 1 Pamekasan. Kemudian melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Elektro di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada tahun 2011. Selama kuliah, penulis aktif di organisasi HIMA. Selain aktif di organisasi, penulis juga menjadi koordinator praktikum dan menjadi trainer di Laboratorium Tegangan Tinggi Elektro ITS. Penulis mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga dan fokus pada riset mengenai deteksi *arc fault* di low voltage. Penulis dapat dihubungi melalui email [akhmadsudaryono@gmail.com](mailto:akhmadsudaryono@gmail.com).



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB 1 PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Pengguna energi listrik di Indonesia meningkat tiap tahunnya, khususnya pelanggan rumah tangga. Pada umumnya, pelanggan rumah tangga yang berada di permukiman padat penduduk memiliki instalasi listrik yang kurang baik. Di kehidupan sehari-hari banyak terjadi fenomena *arc fault* akibat kegagalan isolasi. Kegagalan isolasi ini dapat ditimbulkan oleh beberapa factor, salah satunya adalah pemasangan instalasi kabel yang kurang baik. Fenomena *arc fault* ini akan memicu terjadinya kebakaran, baik pada instalasi maupun pada rumah. Hal ini diperkuat oleh data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) periode Agustus 2011 sampai dengan Juni 2015 dari 978 kasus kebakaran yang terjadi di permukiman penduduk, 649 diantaranya disebabkan adanya korsleting listrik [1]. Hal ini disebabkan karena ketidak mampuan peralatan pengamanan peralatan listrik, pemilihan kabel yang digunakan kurang tepat, dan instalasi kabel yang kurang baik.

Adanya gangguan hubung singkat yang tidak terdeteksi dan terproteksi akan menyebabkan terjadinya kebakaran pada instalasi tegangan rendah karena adanya *arc fault* yang terus terjadi. Bahaya kebakaran ini sangat merugikan banyak pihak dan memakan kerugian material yang sangat besar. Bahaya kebakaran akibat hubung singkat ini sangatlah rentan terjadi karena ketidak mampuan peralatan proteksi pada level tegangan rendah untuk mendeteksi dan mengatasi gangguan ini. Hubung singkat ini biasanya dapat terdeteksi oleh rele arus lebih karena arusnya cenderung lebih besar daripada overload, namun hal itu hanya berlaku jika gangguan bersifat kontinyu. Pada level tegangan rendah tidak dapat terdeteksi karena memiliki karakteristik arus dan fenomena berbeda dari hubung singkat yang terjadi pada level tegangan lain. Hal ini menyebabkan *arc fault* tidak bisa diatasi secara efektif yang dapat berujung pada kebakaran.

Dalam Tugas Akhir ini, akan dibahas tentang perbandingan arus dan tegangan pada kondisi normal, pada kondisi *switching* (penambahan beban), dan pada kondisi saat terjadi *arcing fault*. Serta untuk menganalisa sinyal arus normal, *switching* dan fenomena *arcing fault* pada tegangan rendah dengan menggunakan metode transformasi diskrit



wavelet *haar*, dengan tujuan untuk menentukan parameter pendeteksian *arc fault* pada tegangan rendah.

## **1.2 Sistematika Penulisan**

Sistematika dalam penulisan buku Tugas Akhir ini dibagi menjadi lima bagian. Dalam bab pendahuluan dijelaskan tentang latar belakang, permasalahan, batasan masalah, tujuan, metode penelitian, sistematika penulisan, serta relevansi yang dicapai dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini. Dalam bab teori penunjang berisikan tentang teori-teori yang menunjang, bersangkutan dengan *arcing fault* dan metode pendeteksian fenomena *arcing fault* dengan metode *transformation discrete wavelet*. Dalam bab perancangan alat, pengambilan data, dan pengolahan data dibahas tentang perancangan alat, metode pengambilan data, proses filtering terhadap noise, dan pengolahan data menggunakan *wavelet*. Dalam bab hasil pengolahan data dengan *dwt* dan analisa deteksi *arc fault* berisikan tentang hasil analisis dari proses pengolahan data yang telah dilakukan. Dan yang terakhir, dalam bab penutup berisikan tentang kesimpulan yang dapat diambil dan saran bersangkutan dengan penelitian Tugas Akhir yang telah dilakukan.

## BAB 2

# ARC FAULT DAN METODE TRANSFORMASI DISKRIT WAVELET

### 2.1 Arcing Fault di Tegangan Rendah

Listrik sudah merupakan kebutuhan utama dalam kehidupan sehari-hari yang disertai dengan kebutuhan pengamanan peralatan listrik. Pemanfaatan dari energi listrik ini rentan terhadap resiko *overload*, *short circuit* (hubung singkat), arus bocor, *arc fault*, dan potensi kerusakan infrastruktur dan dampak langsung maupun tidak langsung pada keselamatan manusia. Peralatan pengamanan seperti fuse, MCB (Miniatur Circuit Breaker), dan RCD (Residual Current Device) sudah ada selama beberapa dekade untuk meningkatkan sistem pengamanan pada instalasi listrik. Fuse dan MCB didesain untuk memproteksi sistem terhadap *overload* dan *short circuit* yang dapat menyebabkan dampak kerusakan peralatan dan kebakaran. RCD dirancang untuk dapat mendeteksi arus bocor pada tanah yang disebabkan oleh isolasi yang sudah kurang baik atau kontak yang tidak sengaja pada peralatan yang bertegangan. Di banyak kasus, peralatan-peralatan ini mendeteksi terjadinya *fault* dengan membandingkan arus beban dengan arus *fault* atau perbedaan antara arus di fasa dan netral dengan sebuah nilai arus sebagai batas trip. Pada Tugas Akhir ini akan membahas tentang fenomena *arcing fault*. Fenomena *arcing fault* ini baik *arc fault* paralel ataupun seri tidak dapat dideteksi dengan peralatan pengaman konvensional, karena mereka mempunyai karakteristik tertentu. Salah satunya adalah selama terjadinya fenomena *series arc fault*, tidak ada arus bocor pada tanah sehingga RCD tidak bisa mendeteksi gangguan seperti ini. Selain itu arus beban tidak berubah atau menjadi lebih rendah oleh terjadinya fenomena *series arc fault* ini dan peralatan pengamanan terhadap arus lebih seperti MCB dan fuse tidak dapat trip sesuai ekspektasi. Dalam fenomena *parallel arc fault* antar fasa dan netral, arus hanya terbatas terhadap impedansi dari instalasi dan kebanyakan peralatan pengamanan terhadap arus lebih banyak yang menafsirkan bahwa gangguan tersebut sebagai sebuah fenomena *short circuit* dan akan trip. Namun dalam kasus tertentu, dimana impedansi saluran sangat tinggi. Maka *parallel arc fault* terjadi tidak kontinu namun mempunyai arus *fault* yang besar, MCB konvensional atau tidak akan dapat untuk trip dengan cukup cepat [2].

Berdasarkan data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) periode Agustus 2011 sampai dengan Agustus 2014 dari 900 kasus kebakaran yang terjadi di pemukiman penduduk 595 diantaranya disebabkan adanya korsleting listrik. Di luar negeri juga banyak kasus kebakaran yang disebabkan oleh *arc fault* ini. Oleh karena itu sudah ada peralatan proteksi baru yang disebut *AFCI* untuk instalasi tegangan rendah yang sudah digunakan sejak 1990 di Amerika Serikat. Namun alat masih banyak kekurangan, alat ini masih butuh prakondisi sebelum digunakan dengan menggunakan tegangan tinggi karbonisasi.

*Arc* sendiri dapat didefinisikan sebagai sebuah locatan bersinar pada fenomena peluahan listrik pada media isolasi, biasanya disertai oleh penguapan parsial pada elektroda [3]. Pada kasus yang banyak terjadi, peralatan pengaman seperti fuse dan MCB tidak dapat mendeteksi dan memproteksi peralatan dari *arc fault* ini karena arus pada gangguan ini mempunyai karakteristik arus dan fenomena yang berbeda dengan arus akibat gangguan yang terjadi pada level tegangan lain. Dalam kasus pada level tegangan rendah, banyak menggunakan kabel jenis serabut dengan pertimbangan harga yang lebih murah dibandingkan dengan kabel jenis copper atau tunggal. Kabel jenis serabut mempunyai isolasi pada kabel yang kurang baik dibandingkan dengan kabel copper. Pada banyak kasus kebakaran akibat korsleting listrik, apabila menggunakan kabel jenis serabut sulit sekali terdeteksi karena bahan isolasi kabel kurang baik dan mudah terbakar. Hal ini dapat berdampak pada peralatan lain apabila terkena percikan api dari fenomena *arc fault* tersebut. Namun apabila menggunakan kabel jenis copper yang mempunyai isolasi yang lebih baik, maka *arc* tidak akan timbul karena gangguan akan terdeteksi dan trip disebabkan arus gangguan bersifat kontinyu, sehingga mudah terbaca oleh peralatan pengaman. Arus pada kabel jenis copper ini mudah terbaca karena impedansi pada kabel yang tinggi sehingga tahan terhadap panas akibat arus yang besar yang lewat. Lain halnya dengan fenomena pada kabel jenis serabut yang tidak dapat menahan panas akibat arus besar yang lewat sehingga menimbulkan *arc* dan dapat membakar isolasi pada kabel.

Gangguan hubung singkat dan kerusakan isolasi pada sistem distribusi biasanya menimbulkan arcing fault. Arcing fault adalah percikan api/busur api pada sistem listrik yang terjadi diantara dua permukaan konduktor yang saling bersentuhan (terjadi hubung singkat) dan terjadi lompatan arus listrik melewati celah karena adanya tegangan yang mencukupi. Busur api mengionisasi udara yang selanjutnya

berubah menjadi konduktif yang memungkinkan terbentuknya arc . Arcing fault dibagi menjadi dua yaitu seri dan paralel. Konfigurasi seri berarti arus busur tidak lebih besar dari arus beban pada sistem. Sedangkan paralel arcing fault dapat terjadi sebagai short circuit (hubung singkat) atau ground fault. Pada series arcing fault, jika dibandingkan dengan keadaan normal amplitudo dari arus saluran lebih kecil. Inilah yang menyebabkan arc fault tidak dapat dideteksi oleh perangkat proteksi seperti relay arus lebih dan fuse. Berbeda dengan paralel arcing fault yang dapat dideteksi oleh kedua perangkat tersebut. Arcing fault pada sistem distribusi (sistem tegangan rendah) dikategorikan dalam gangguan impedansi tinggi (high impedance fault). Menurut anggota kelompok peneliti yang tergabung dalam IEEE Power System on High Impedance Fault Detection Technology mendefinisikan high impedance fault (HiZ) adalah gangguan (fault) yang tidak memiliki arus yang cukup bisa dideteksi oleh relay arus lebih konvensional atau oleh fuse. Mengingat sistem proteksi konvensional didesain untuk memproteksi sistem tenaga, sedangkan proteksi terhadap HiZ merupakan proteksi yang terfokus pada proteksi orang yang berada di sekitar sistem dan peralatan listrik. Sehingga diperlukan suatu pengaturan (control) yang mampu membaca gangguan arcing fault yang tidak dapat dideteksi oleh relay arus lebih konvensional maupun fuse[4].

## **2.2. 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. Transformasi *Fourier* Berjendela (*Windowed Fourier Transform*) juga secara parsial mencapai tujuan seperti ini, tapi dengan sebuah keterbatasan dalam penggunaan fungsi lebar window yang ditetapkan. Sebagai hasilnya, baik frekuensi maupun resolusi waktu dari transformasi yang dihasilkan akan menjadi sebuah prioritas yang ditetapkan. Pada kasus Transformasi *Wavelet*, analisa fungsi-fungsi, yang disebut *wavelet*, akan menyesuaikan lebar waktunya (time-width) terhadap frekuensinya. Sehingga, *wavelet* dengan frekuensi yang lebih

tinggi akan menjadi sangat sempit dan *wavelet* dengan frekuensi yang lebih rendah akan menjadi lebih luas [5].

Transformasi *Fourier* hanya cocok untuk sinyal stasioner (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 Multi Resolution Analysis (MRA). MRA dirancang untuk memberikan resolusi waktu yang baik dan resolusi frekuensi yang buruk pada frekuensi tinggi suatu sinyal, serta resolusi frekuensi yang baik dan resolusi waktu yang buruk pada frekuensi rendah suatu sinyal. Aturan dari multi resolusi ini sangat berguna untuk menganalisa gangguan transien yang mengandung komponen-komponen frekuensi tinggi yang dilokalisasi pada sinyal-sinyal frekuensi daya [6].

### 2.2.1. Persamaan Transformasi Wavelet

Suatu sinyal atau fungsi  $f(t)$  dapat dianalisa ataupun diproses dengan baik apabila dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$f(t) = \sum_l a_l \Psi_l(t) \quad (2.1)$$

Dimana  $l$  adalah indeks integer untuk penjumlahan yang terbatas maupun tak terbatas. Variabel  $a_l$  adalah nilai riil koefisien perluasan, dan  $\Psi_l$  adalah nilai riil fungsi saat  $t$  sebagai fungsi perluasan. Jika fungsi di atas mempunyai suatu penyelesaian, maka fungsi perluasan ini disebut sebagai fungsi dasar. Jika fungsi dasarnya merupakan fungsi orthogonal maka

$$(\Psi_k(t), \Psi_l(t)) = \int \Psi_k(t) \Psi_l(t) dt, \text{ dimana } k \neq l \quad (2.2)$$

Kemudian koefisien dapat dihitung dengan mengambil perkalian dalam fungsi tersebut

$$a_k = \int f(t) \Psi_k(t) dt \quad (2.3)$$

Jika Persamaan (2.1) disubstitusikan ke Persamaan (2.3) dengan menggunakan Persamaan (2.2) akan didapatkan nilai dari koefisien  $a_k$ .

Untuk *wavelet*, terdapat dua parameter sistem yang didapatkan seperti Persamaan (2.1) sehingga

$$f(t) = \sum_k \sum_j a_{j,k} \Psi_{j,k}(t) \quad (2.4)$$

Dimana  $j$  dan  $k$  keduanya merupakan indeks integer dan  $\Psi_{j,k}(t)$  adalah fungsi *wavelet* yang pada umumnya dalam fungsi orthogonal. Koefisien perluasan  $a_{j,k}$  disebut dengan *Discrete Wavelet Transform* (DWT) dari fungsi  $f(t)$  dan Persamaan (2.4) disebut Transformasi *Invers*.

### 2.2.2. Discrete Wavelet Transform

Dalam [7], dijelaskan Transformasi *Wavelet* dibagi menjadi dua jenis, yaitu Transformasi *Wavelet* Kontinu dan Transformasi *Wavelet* diskrit. Dengan memberikan fungsi suatu gelombang  $f(t)$ , Transformasi *Wavelet* Kontinu (*Continuous Wavelet Transform/CWT*) menghasilkan terlalu banyak Koefisien Transformasi *Wavelet* (*Wavelet Transform Coefesien/WTC*). Hal ini menyebabkan data yang dihasilkan menjadi berlebihan (redundansi) [8]. Dan masalah redundansi data ini dapat diselesaikan dengan pemakaian Transformasi *Wavelet* Diskrit (*Discrete Wavelet Transform/DWT*). Pada *DWT*, hanya beberapa sampel *WTC* saja yang diambil. Artinya, *DWT* mengurangi kelebihan *WTC* dari *CWT*.

Implementasi *DWT* disusun berdasarkan algoritma dekomposisi *Mallat*. Sinyal gelombang input dipisahkan (didekomposisikan) menjadi dua sinyal. Yaitu, bagian frekuensi rendah (*low frequency*) yang disebut aproksimasi dan bagian frekuensi tinggi (*high frequency*) 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*. Gambar menunjukkan diagram dekomposisi (*decomposition diagram*) dari dekomposisi *DWT* yang berdasarkan algoritma *mallat*. Sinyal input dibagi ke dalam dua sub-sinyal dengan bagian frekuensi rendah  $l(n)$  dan frekuensi tinggi  $h(n)$ . Sub-sinyal bagian frekuensi rendah di bagi lagi menjadi dua sub dengan frekuensi yang berbeda. Proses ini terjadi berulang ulang sesuai dengan jumlah level Transformasi *Wavelet* yang digunakan.

### 2.2.3. Wavelet Tree dan Level Dekomposisi

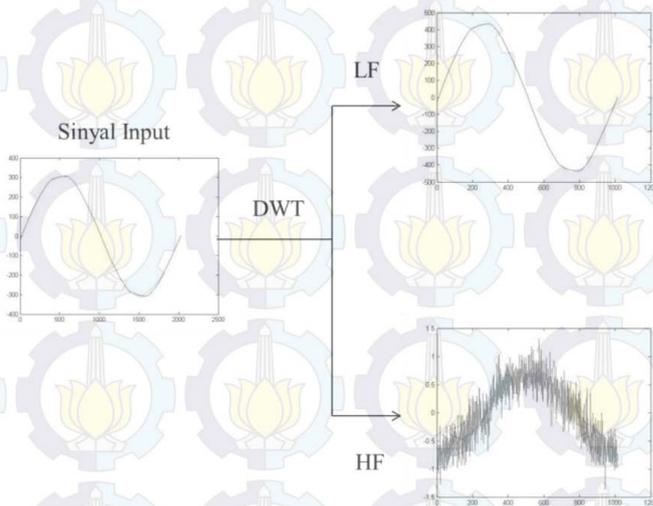
Dalam pemrosesan sinyal digital, *filtering* dari beberapa sinyal masukan didapat dari mengkombinasikan sinyal masukan dengan parameter lain yang disebut koefisien *filter*, sinyal *trigger*, bobot ataupun respon impuls. Untuk rangkaian masukan  $x(n)$  dan sebagai koefisien *filter*  $h(n)$ , maka rangkaian keluaran  $y(n)$  dapat dinyatakan sebagai:

$$y(n) = \sum_{k=0}^{n-1} h(k)x(n-k) \quad (2.5)$$

Sebagai Gambaran bagaimana *filtering* dan *down-sampling* yang dilakukan dalam penurunan koefisien *DWT* dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Berdasarkan struktur pohon tersebut, ketika dua sinyal baru dihasilkan, satu dari sinyal dibuang. Oleh karena itu, panjang dari sinyal yang terdekomposisi akan tetap sama dengan panjang sinyal mula. Transformasi *Wavelet* mempunyai jenis *mother wavelet* yang bermacam-macam. Setiap jenis *mother wavelet* akan menghasilkan koefisien yang berbeda berdasarkan karakteristik dari masing-masing *mother wavelet*.

Pemilihan *mother wavelet* untuk Tugas Akhir ini didasarkan pada beberapa kriteria dan analisis yang telah dilakukan. Setelah berbagai percobaan yang dilakukan, dipilihlah *mother wavelet* yang dianggap memenuhi kriteria yang diperlukan. *Mother wavelet* yang digunakan dalam Tugas Akhir ini adalah *Haar-1*, *Haar2*, dan *Haar 3*.



**Gambar 2.1** Diagram Dekomposisi *DWT*

### 2.3. Metode Deteksi Gangguan

*Wavelet* mengembangkan cara untuk mencuplik karakteristik dinamik dari sinyal non-stasioner menggunakan data yang pendek. Keuntungan potensial dari mengaplikasikan Transformasi *wavelet* untuk analisis sinyal gangguan transien pada sistem kelistrikan telah dilakukan beberapa tahun ini [9]. Transformasi *wavelet* hampir sama menyerupai dengan transformasi *fourier* yang merupakan bentuk pengklasifikasian sinyal menjadi bentuk sinusoidal dengan berbagai macam frekuensi. *Discrete Wavelet Transform (DWT)* merupakan salah satu bentuk diskrit dari *wavelet* dan sering sekali digunakan. DWT akan mengubah sinyal sumber menjadi dua klasifikasi sinyal yaitu frekuensi tinggi (*coefficient detail*) dengan resolusi waktu yang tinggi serta frekuensi rendah (*approximation*) dengan resolusi frekuensi yang tinggi. Proses DWT diawali dengan proses *filtering* dengan melewati sinyal pada frekuensi *highpass filter* dan *lowpass filter*. Kemudian dilanjutkan dengan operasi *sub-sampling* dengan mengambil masing-masing setengah keluaran *filter* dari hasil (*coefficient approximation*). Dua proses ini dinamakan proses dekomposisi. Proses dekomposisi ini dapat dilakukan secara berlanjut hingga didapatkan tingkat dekomposisi yang diinginkan.

Sebagian besar algoritma jarak pada sistem tenaga, langkah pertama selalu melibatkan deteksi gangguan dan langkah berikutnya melibatkan klasifikasi gangguan. Informasi tersebut diperlukan dalam algoritma penentuan jarak. Sebagian besar algoritma untuk deteksi dan klasifikasi gangguan pada saluran transmisi yang menggunakan *wavelet Multi Resolution Analysis (MRA)* didasarkan pada pengukuran dan perbandingan variasi yang tajam pada nilai arus ketiga fasa pada level pertama sinyal detail yang di dekomposisi dari sinyal asli [10].

Pada Tugas Akhir ini menggunakan Transformasi *Discrete Wavelet* dan perbandingan hasil transformasi dengan transformasi kondisi normal untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan jenis gangguan berupa fenomena *arc fault*. Arus gangguan akan ditransformasikan ke dalam bentuk *wavelet* sehingga akan menghasilkan koefisien dengan pola tertentu. Lalu koefisien tersebut divariasikan menjadi beberapa variabel. Variabel-variabel tersebut yang akan dijadikan parameter pendeteksian gangguan.



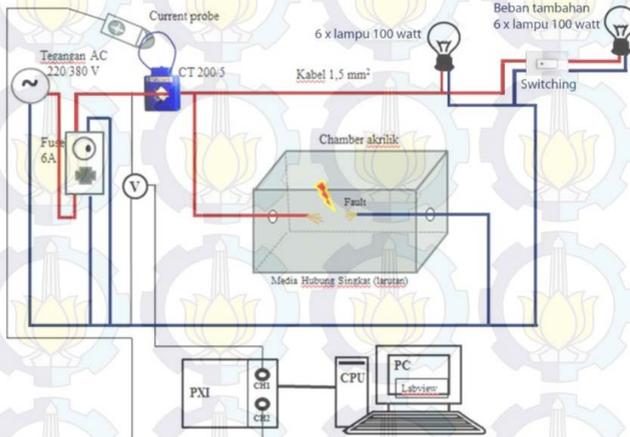
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## BAB 3 PERANCANGAN EKSPERIMEN DAN METODE

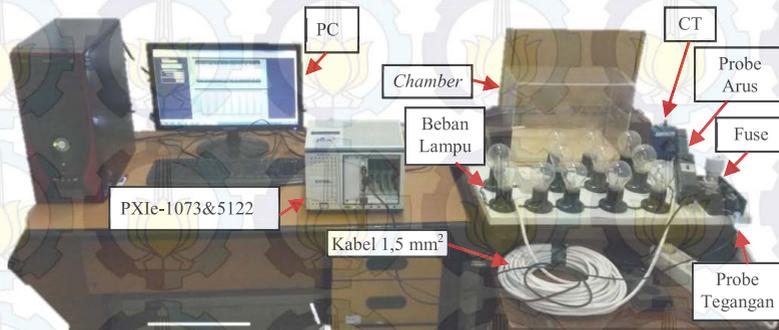
Dalam bab ini akan dijelaskan tentang skema dan proses perancangan alat untuk keperluan eksperimen, pengambilan data, dan pengolahan data *arc fault*.

### 3.1 Perancangan Alat Eksperimen

Perancangan alat eksperimen ini bertujuan untuk mensimulasikan dan memodelkan keadaan normal, keadaan saat terjadi switching penambahan beban, dan keadaan saat terjadi fenomena *arc fault* (busur api listrik). Skema perancangan alat eksperimen ditunjukkan pada Gambar 3.1, sedangkan alat eksperimen dari skema tersebut ditunjukkan oleh Gambar 3.2. Alat eksperimen busur api listrik ini terdiri dari hardware dan software. Hardware yang digunakan adalah fuse 6A, fuse box, current transformer (CT) 200/5 A, kabel nymhy  $2 \times 1,5 \text{ mm}^2$ , beban resistif berupa lampu 100 watt sebanyak 6 buah (untuk kondisi normal), lampu 100 watt sebanyak 12 buah (untuk kondisi switching penambahan beban), saklar switching, probe arus, probe tegangan, *chamber* akrilik (sebagai *safety* dari loncatan busur api), PXI (modul pengambilan data), Sedangkan software yang mendukung alat eksperimen ini adalah software LabVIEW untuk pengambilan datanya.



Gambar 3.1 Skema perancangan alat eksperimen



**Gambar 3.2** Alat eksperimen

### 1.1.1. Kabel NYMHY 2x1,5 mm<sup>2</sup>

Kabel adalah komponen yang sangat penting dalam dunia kelistrikan, yang berguna sebagai penghantar. Isolasi pada kabel juga sama pentingnya. Fenomena *arc fault* sering terjadi berawal dari kerusakan isolasi pada kabel. Pemilihan kabel dengan kualitas isolasi yang baik merupakan salah satu cara untuk mengurangi peluang terjadinya fenomena *arc fault*. Pada Tugas Akhir ini menggunakan media kabel jenis serabut seperti yang digunakan pada pelanggan rumah tangga pada umumnya. Kabel serabut ini sangat rentan mengalami kegagalan isolasi, karena isolasi yang dimiliki oleh kabel tersebut kurang baik dibandingkan isolasi pada kabel tunggal. Kabel yang digunakan pada Tugas Akhir ini adalah kabel nymhy serabut dengan luas penampang 1,5 mm<sup>2</sup> dan panjang kabel sebesar 20m.

### 1.1.2. Beban Lampu 100 Watt

Dalam melakukan eksperimen untuk pengambilan data busur api listrik menggunakan beban resistif yang terdiri dari bola lampu 100 watt sebanyak 6 buah (keadaan normal) dan 12 buah digunakan untuk mendapatkan data keadaan *switching* penambahan beban. Jika dijumlahkan beban total sebesar 1200 watt. Dipilih beban 1200 watt dengan arus 5A dan langganan PLN 1300 VA, karena dibuat serupa dengan kondisi kehidupan sehari-hari.

### 1.1.3. Chamber Akrilik

*Chamber* adalah suatu wadah yang digunakan sebagai peralatan *safety* pada saat terjadinya busur api listrik agar tidak mengenai pengambil data (*user*) saat eksperimen dilakukan. Chamber yang digunakan terbuat dari bahan akrilik dengan tebal 0,2 mm, berukuran

panjang sebesar 30 cm, lebar sebesar 15 cm, dan tinggi sebesar 20 cm.. Dipilih bahan akrilik karena kemampuan dalam menyerap panas lebih rendah daripada kaca. Sehingga pada saat melakukan eksperimen *arc fault* yang menimbulkan panas berlebih, *chamber* tidak cepat panas.

#### 1.1.4. Fuse dan Fuse Box

*Fuse* adalah salah satu alat pengaman konvensional yang berfungsi sebagai pembatas arus dan pengaman saat pengambilan data dilakukan pada eksperimen ini. *Fuse* yang digunakan dalam eksperimen ini fuse SNI merk bright-G 6A 220/380V, yang dilengkapi dengan *fuse box*

#### 1.1.5. PXI

Proses akuisisi data dalam Tugas Akhir ini dilakukan dengan menggunakan alat dari National Instrument, yaitu PXIe-1073 dan PXIe-5122, yang memiliki frekuensi sampling hingga 1 MS/s. PXI atau *PCI eXtensions for instrument* adalah satu dari banyak modul instrumentasi elektronik yang banyak digunakan saat ini. Pada Tugas Akhir ini menggunakan PXIe-1073 sebagai akuisisi data. Dua slot channel yang ada pada PXIe-1073 dihubungkan ke probe tegangan dan probe arus yang selanjutnya digunakan untuk mengukur tegangan dan arus saat eksperimen dilakukan. PXI dihubungkan dengan *software* LabVIEW untuk pengambilan data.

**Tabel 3.1** Spesifikasi PXIe-1073

Range tegangan input	100-240 VAC
Range tegangan operasi	90-264 VAC
Frekuensi input	50/60 Hz
Range frekuensi operasi	47-63 Hz
Rating arus input	2-4 A
Efisiensi	>70% saat beban penuh

#### 1.1.6. Probe Arus dan Probe Tegangan

Probe arus digunakan untuk mengukur nilai arus saat pengambilan data eksperimen, sedangkan probe tegangan digunakan untuk mengukur tegangannya. Arus yang diukur oleh probe arus adalah arus pada sisi sekunder CT. Hal ini dilakukan untuk menjaga *safety* peralatan probe arus dari arus yang melebihi ratingnya. Berikut ini spesifikasi probe arus dan probe tegangan ditunjukkan oleh Tabel 3.2 dan 3.3.

**Tabel 3.2** Spesifikasi probe arus

Tipe/merk	Tektronix A622
Range frekuensi	DC to 100 kHz
Maksimum arus input	100 A peak
Output	10 mV/A, 100 mV/A
Maksimum diameter konduktor	11,8 ..(0,46 inch)

**Tabel 3.3** Spesifikasi probe tegangan

Tipe/merk	TESTEC TT-HV 150
Frekuensi maksimum	300MHz
Maksimum tegangan input	1,5 kV
Rise time	1,2 ns

#### 1.1.7. Current Transformer (CT)

Trafo arus (*current transformer/CT*) adalah salah satu jenis trafo pengukuran yang digunakan untuk menurunkan besar arus listrik dengan perbandingan lilitan agar peralatan pengukuran tidak rusak akibat arus yang terlalu besar. Pada eksperimen ini dibutuhkan skala dalam ampere yang lebih kecil disisi sekunder karena pada saat pengambilan data berlangsung dikhawatirkan arus *arc fault* melebihi batas maksimal arus yang dapat diterima dan dibaca oleh (PXI) dan probe arus. Berikut ini spesifikasi CT yang digunakan dalam eksperimen ini:

**Tabel 3.4** Spesifikasi CT

Jenis CT	CT ICY-3S-1B series CIC
Rasio CT	200/5 A
Class CT	1
Burden CT	2,5
Range frekuensi	50-60 Hz

CT dengan rasio primer/sekunder : 200/5A berarti dengan input 200 A akan keluar output dari sekunder CT akan bernilai 5A. Keluaran sisi sekunder akan keluar dengan perbandingan belitan di atas.

#### 1.1.8. Software LabVIEW

Software yang digunakan dalam alat eksperimen busur api listrik adalah LabVIEW versi 2012. LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench*) adalah software yang menggunakan bahasa pemrograman berbasis grafis (non-teks) untuk menciptakan sebuah aplikasi yang diinginkan *user*. LabVIEW

mengeksekusi program dengan menjalankan pemrograman secara data *flow*, eksekusi dijalankan berdasarkan alur yang telah dibuat *user*. Dengan bahasa pemrograman grafis / blok diagram di dalamnya, LabVIEW dapat memperoleh data dari instrumen seperti PXIe, memproses data dan menyimpan data dalam beberapa format, salah satunya yaitu format *tdms*. Dari penjelasan diatas, pada eksperimen ini LabVIEW digunakan sebagai instrumentasi virtual untuk mengembangkan sistem pengambilan data otomatis dari pengukuran. Instrumentasi visual ini dapat mengendalikan pengukuran (proses pengambilan data) melalui perangkat *hardware* eksternal (PXIe) yang bertindak sebagai akuisisi data, hasil pengukuran selanjutnya akan ditampilkan pada *front panel* LabVIEW melalui layar PC komputer.

Front panel LabVIEW merupakan media tatap muka (*interface*) antara LabVIEW dan *user*. Di dalam LabVIEW digunakan NI-SCOPE sebagai aplikasi pemrograman tatap muka (*Application Programming Interface/API*) dan juga sebagai *driver* yang mengontrol *digitizer*.

### **3.2 Pengambilan Data**

Proses pengambilan data pada Tugas Akhir ini menggunakan 3 kondisi, yaitu kondisi awal (*normal*), kondisi *switching* (penambahan beban), dan kondisi terjadinya *arc fault*. Data yang diambil dan dibutuhkan meliputi arus dan tegangan dari semua kondisi di atas. Agar memperoleh data dengan keelitian sangat akurat, maka data diambil dengan frekuensi *sampling* 100K *Sampling/s* menggunakan LabVIEW.

Kondisi awal (*normal*) disini ialah kondisi dimana sistem atau jaringan listrik berjalan tanpa gangguan dengan tujuan memperoleh data arus dan tegangan *normal*.

Kondisi *switching* ialah kondisi dimana sistem diberi beban tambahan dengan melalui saklar untuk menyalurkan suplai ke beban tambahan. Dalam kondisi ini, data yang dibutuhkan ialah arus dan tegangan transien sesaat (*arus kontak*). Data tersebut akan digunakan untuk mendeteksi antara arus akibat *switching* dan arus akibat *arc fault*.

Kondisi terjadinya *arc fault* ialah kondisi dimana sistem diberi gangguan sehingga muncul *arc fault*. Dalam kondisi ini data yang diambil yaitu arus dan tegangan dengan tujuan untuk memperoleh karakteristik dari kondisi tersebut. Pada kondisi ini dilakukan percobaan dan pengambilan data sebanyak 30 kali dengan tujuan menGambarkan kondisi lapangan yang secara acak terjadinya. Jumlah serabut yang diberi gangguan juga bervariasi, yaitu serabut 1, 3, 6, 12, 18, dan 24. Hal

ini dilakukan juga dengan tujuan untuk menyerupai kejadian secara natural, dimana kejadian *arcing* tidak dapat diprediksi.

Dalam pengambilan data dan percobaan digunakan kabel 220/380 V 1 fasa serabut dengan luas penampang 1,5 mm<sup>2</sup> dengan panjang 20 m.

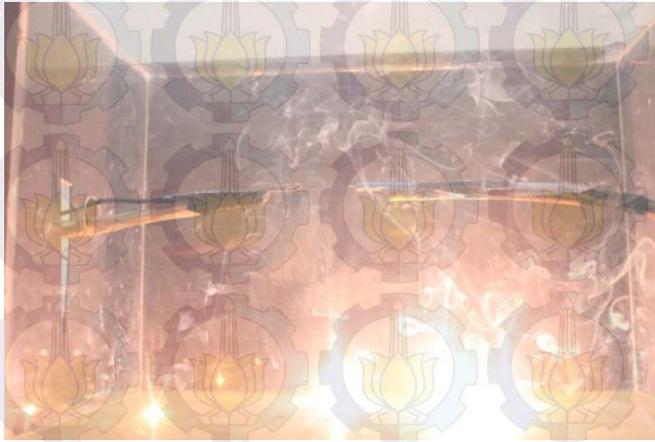
Dalam Gambar 3.3. merupakan Gambaran dari kondisi awal (normal) dimana belum diberi tambahan beban dan diberi gangguan. Sedangkan untuk kondisi *switching* (penambahan beban) dapat dilihat pada Gambar 3.4. Dimana semula hanya 6 buah lampu yang digunakan, bertambah menjadi 12 buah lampu.



**Gambar 3.3.** Kondisi normal



**Gambar 3.4.** Kondisi *switching* penambahan beban

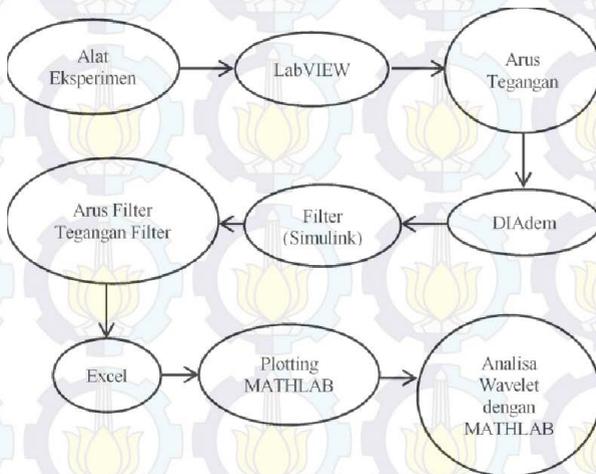


**Gambar 3.5.** Kondisi saat terjadinya *arc fault*

Gambar 3.5. memperlihatkan kondisi saat terjadi gangguan yang menimbulkan *arc fault* yang nantinya dapat mengakibatkan kebakaran pada instalasi lain.

### 3.3 Pengolahan Data

Dari data yang telah diambil dengan metode eksperimen di atas, selanjutnya akan dilakukan proses pengolahan data. Proses pengolahan data yang akan dilakukan akan dibagi menjadi 3, yaitu proses



**Gambar 3.6.** Alur pengolahan data eksperimen

pemotongan data dengan software DIADEM, proses filtering data dengan tujuan menghilangkan noise menggunakan software SIMULINK, dan proses plotting dan analisa data menggunakan software MATLAB. Adapun alur pengolahan data dapat dilihat pada Gambar 3.6.

Pada Tugas Akhir ini, dipilih data *arcing* serabut 1, 6, dan 18 untuk pengolahan data. Hal ini dilakukan karena ketiga kondisi ini merupakan perwakilan yang mencerminkan karakteristik dari data eksperimen yang dilakukan dengan kabel serabut 1, 3, 6, 12, 18, dan 24.

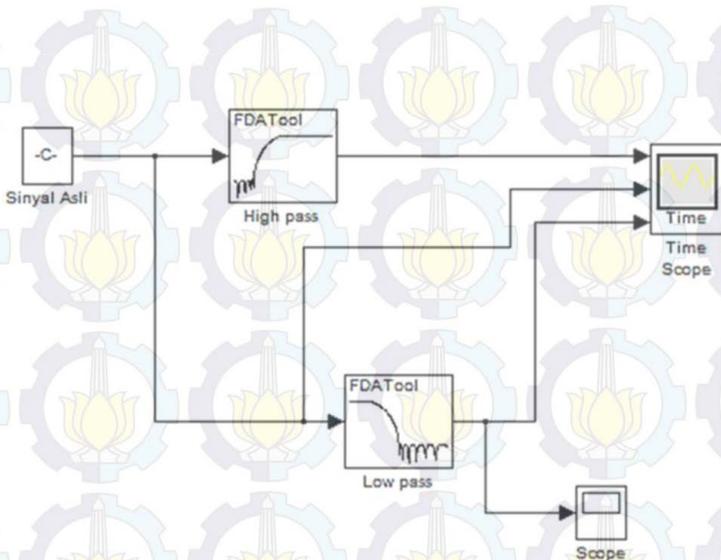
### 3.3.1 Proses Pemotongan Data

Dalam proses pengolahan data hasil eksperimen dilakukan proses pemotongan data. Hal ini dilakukan karena data yang diambil pada saat eksperimen dengan frekuensi sampling 100KSampling/s terlalu banyak dan panjang, serta data yang dihasilkan berbentuk format *tdms*. Sehingga dibutuhkan software khusus untuk pemotongan data ini, yaitu DIADEM. Salah satu tujuan dilakukan pemotongan data, yaitu untuk melihat sinyal arus dan tegangan secara lebih detail. Dalam Tugas Akhir ini dipilih untuk memotong sinyal setiap  $\frac{1}{2}$  cycle, baik data dalam kondisi normal, *switching*, maupun saat terjadi *arcing*.

Pada DIADEM data dalam format *'tdms'* hasil keluaran LabVIEW ditampilkan dalam bentuk sinyal arus (I) dan tegangan (V) yang berisikan nilai amplitude masing-masing sinyal. Pemotongan sinyal dilakukan dengan cara mengambil nilai dari nilai arus dan tegangan pada DIADEM. Setelah dilakukan pemotongan, selanjutnya dimasukkan dalam Excel untuk diproses lebih lanjut.

### 3.3.2 Proses Filtering Data

Dari data output setelah proses pemotongan masih mempunyai kekurangan, yaitu masih terlalu banyak *noise* pada data tersebut. *Noise* ini ditimbulkan oleh alat ukur eksperimen ini. Untuk meredam *noise*, dibutuhkan filter dengan menggunakan software SIMULINK. Karena *noise* yang timbul mempunyai frekuensi yang lebih tinggi dari sinyal aslinya, maka dirancang *low-pass* filter untuk mengatasinya. *Low-pass* filter yang digunakan pada pengolahan data eksperimen ini menggunakan *filter implementation* pada software simulink yang ada di MatLab. *Low-pass* filter pada simulink ditunjukkan oleh Gambar 3.7.



**Gambar 3.7.** Skematik *Low-pass* filter pada SIMULINK

Output dari filter di atas akan dibagi menjadi 3, yaitu sinyal asli, sinyal noise, dan sinyal hasil filter. Output dari filter akan ditampilkan pada *time scope*. Sinyal noise akan difilter dengan *High-pass* filter, sedangkan sinyal keluaran *Low-pass* filter adalah sinyal data murni (tanpa ada noise). Blok *scope* pada keluaran sinyal *low-pass* filter digunakan untuk mengambil data yang sudah difilter dalam bentuk file excel. Sedangkan parameter *low-pass filter* dapat dilihat pada Tabel 3.5.

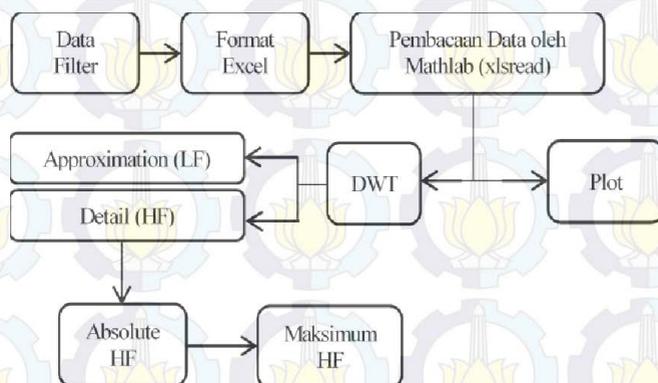
**Tabel 3.5** Parameter *low-pass filter*

Jenis filter	<i>Low-pass filter</i>
Struktur filter	<i>FIR equiripple</i>
Filter order	Minimum order
Frekuensi pass	10 kHz
Frekuensi stop	25 kHz

### 3.3.3 Proses Plotting dan Analisa Data

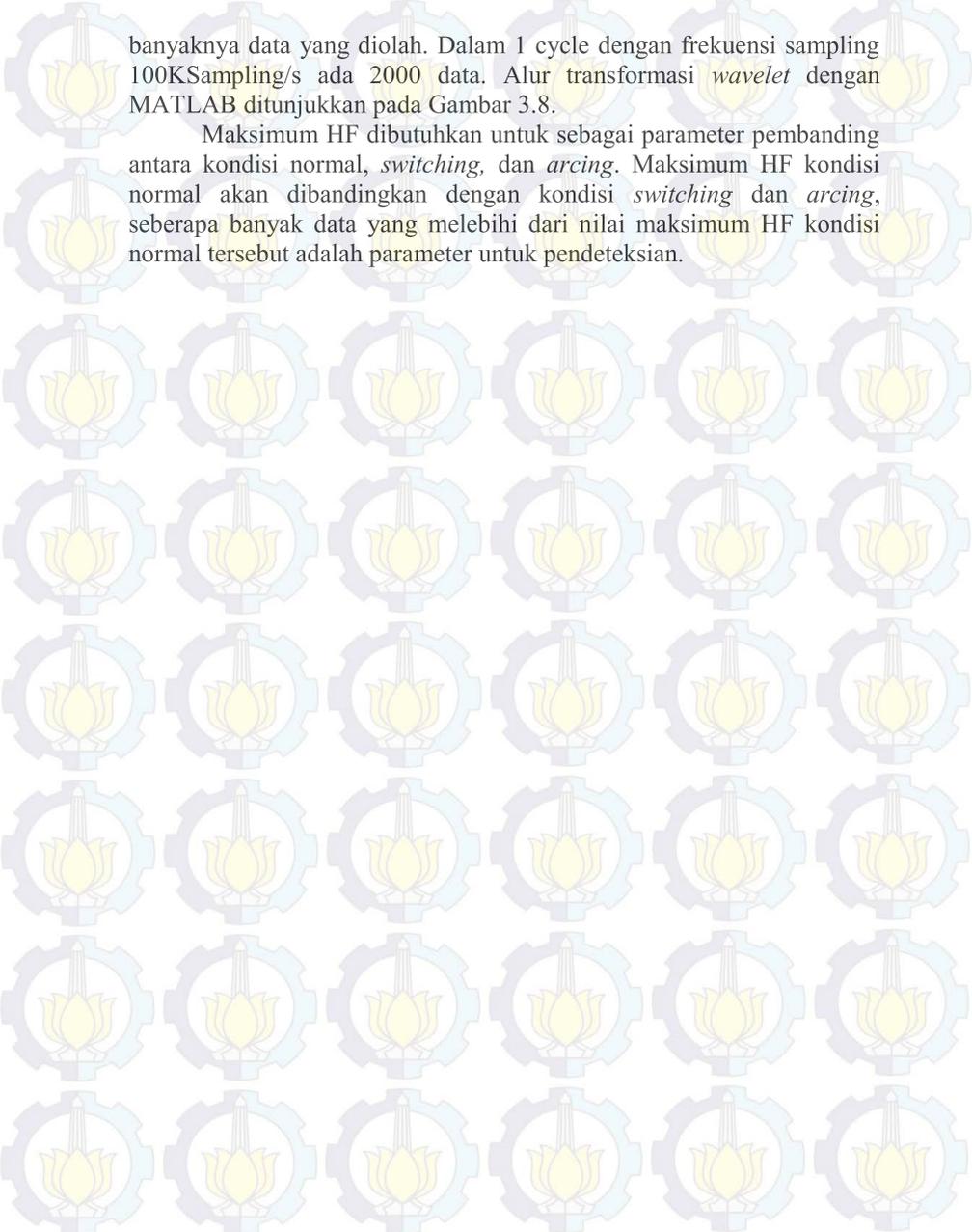
Proses terakhir untuk pengolahan data adalah proses plotting dan analisa data dengan metode *transformation discrete wavelet*. Proses plotting adalah proses menggambarkan data hasil filtering pada grafik

X-Y dengan bantuan software MATLAB dengan tujuan mengetahui hasil filtering. Sedangkan proses analisa data dengan metode *transformation discrete wavelet* adalah proses mentransformasikan data hasil filtering ke dalam bentuk *wavelet*. Hasil dari *wavelet* terdiri dari 2 output, yaitu approximation (low frequency) dan detail (high frequency). Dalam Tugas Akhir ini digunakan *mother wavelet HAAR* dan ditransformasi sampai level 3. Approximation (low frequency) adalah salah satu hasil transformasi *wavelet* yang merupakan hasil rata2 antara data 1 dan data yang lain. Sedangkan detail (high frequency) adalah hasil transformasi *wavelet* yang merupakan selisih antara data 1 dan data yang lain. Pada Tugas Akhir ini juga, data yang digunakan untuk menganalisa pendeteksian adalah data detail, karena pada fenomena *arcing* ada waktu dimana terjadi kenaikan secara drastis. Maka dari itu dengan data detail hasil tranformasi dapat diperoleh nilai yang sangat mencolok nantinya dan dapat dibuat sebagai parameter pendeteksian.



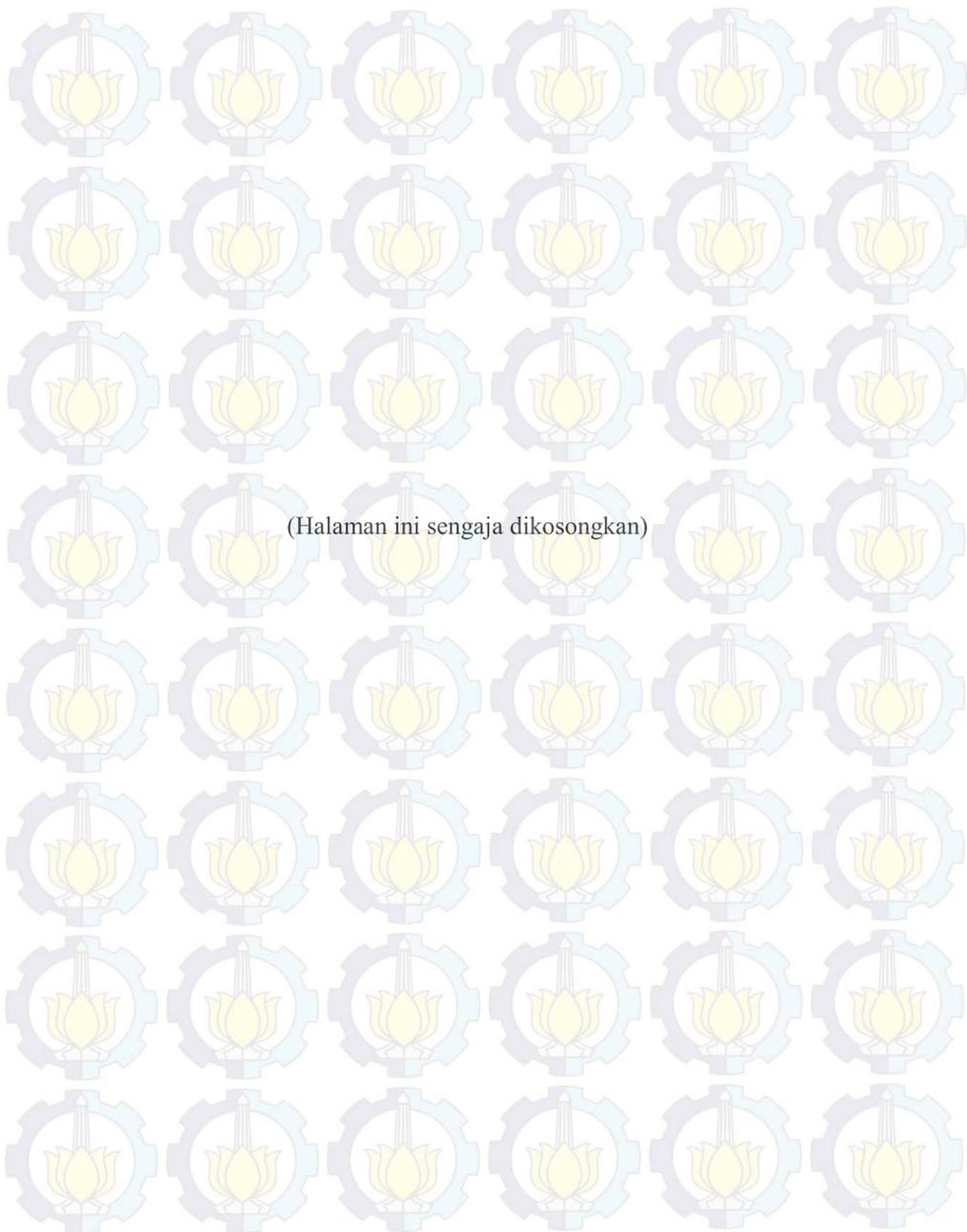
**Gambar 3.8.** Alur transformasi wavelet

Pada Tugas Akhir ini juga menggunakan metode reduksi frekuensi sampling. Reduksi frekuensi sampling adalah metode mereduksi / mengurangi sebagian data dari data asli sesuai keinginan tanpa merusak bentuk sinyal asli dari data tersebut. Hal ini dilakukan karena merujuk pada tujuan akhir Tugas Akhir ini, yaitu menentukan parameter untuk perancangan alat pendeteksian. Maka dari itu dibutuhkan frekuensi sampling yang sesuai dengan kemampuan alat pendeteksi nantinya. Dengan frekuensi sampling 100KSampling/s akan sulit untuk alat pendeteksinya nanti bekerja dengan optimal, karena



banyaknya data yang diolah. Dalam 1 cycle dengan frekuensi sampling 100KSampling/s ada 2000 data. Alur transformasi *wavelet* dengan MATLAB ditunjukkan pada Gambar 3.8.

Maksimum HF dibutuhkan untuk sebagai parameter pembandingan antara kondisi normal, *switching*, dan *arcing*. Maksimum HF kondisi normal akan dibandingkan dengan kondisi *switching* dan *arcing*, seberapa banyak data yang melebihi dari nilai maksimum HF kondisi normal tersebut adalah parameter untuk pendeteksian.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**Tabel 4.2** Perbandingan Nilai HF Data Serabut 1 *DWT* Level 1 dengan Variasi Frekuensi Sampling

Kondisi	100KSampling/s		50KSampling/s		10KSampling/s		5KSampling/s		1KSampling/s	
	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF
Normal (5A)	0,55	1	0,95	1	1,02	1	1,17	1	2,32	1
Switching 1	6,47	6	10,50	4	1,71	6	20,76	4	11,11	2
Switching 2	3,69	4	7,21	1	13,58	6	2,46	4	4,52	1
Switching 3	4,78	5	5,89	3	17,60	4	17,37	3	14,12	2
Switching 4	3,14	5	4,14	3	1,05	1	7,73	2	8,26	2
Switching 5	5,78	5	6,81	3	19,16	5	18,46	4	16,83	3
Arcing sampel 1	12,78	4	19,11	7	49,91	15	48,55	11	14,76	2
Arcing sampel 2	1,33	1	2,65	6	3,95	26	4,59	19	15,86	4
Arcing sampel 3	8,43	3	14,81	6	3,25	20	5,22	14	39,99	4
Arcing sampel 4	3,55	4	6,45	6	13,93	28	6,03	18	14,79	4
Arcing sampel 5	15,81	5	29,10	7	9,44	18	3,52	9	14,77	2
Arcing sampel 6	11,90	4	18,52	6	6,92	15	39,48	11	13,94	2
Arcing sampel 7	8,02	4	16,58	3	19,23	8	25,27	5	14,46	1
Arcing sampel 8	5,46	3	6,64	7	20,70	21	3,89	15	14,08	3
Arcing sampel 9	13,34	5	27,62	5	52,12	13	3,58	12	14,52	2
Arcing sampel 10	15,02	5	18,94	6	46,42	15	43,58	9	43,89	3

**Tabel 4.2** Perbandingan Nilai HF Data Serabut 1 *DWT* Level 1 dengan Variasi Frekuensi Sampling (Lanjutan)

Kondisi	100KSampling/s		50KSampling/s		10KSampling/s		5KSampling/s		1KSampling/s	
	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF
Arcing sampel 11	10,63	5	12,00	6	39,07	9	3,59	8	14,29	2
Arcing sampel 12	13,87	6	21,84	8	53,87	16	10,87	10	15,18	2
Arcing sampel 13	9,03	3	16,45	9	34,34	17	4,78	13	35,92	3
Arcing sampel 14	12,06	4	18,01	5	48,61	16	44,95	10	36,80	2
Arcing sampel 15	8,26	4	16,82	5	21,01	23	30,28	14	34,96	3
Arcing sampel 16	5,95	4	10,03	10	27,52	19	5,26	15	16,38	4
Arcing sampel 17	0,94	0	1,19	6	3,02	30	3,77	15	15,91	4
Arcing sampel 18	16,81	5	27,96	11	74,98	19	6,53	10	26,53	2
Arcing sampel 19	14,42	5	25,18	8	7,52	18	72,74	10	67,46	2
Arcing sampel 20	16,95	5	22,42	8	4,77	19	5,76	9	24,70	2
Arcing sampel 21	14,03	7	29,12	13	72,22	20	79,04	11	25,13	3
Arcing sampel 22	13,40	5	26,72	8	65,00	15	67,86	8	63,76	2
Arcing sampel 23	12,49	5	22,17	8	63,12	14	61,03	8	27,19	1
Arcing sampel 24	16,41	5	30,26	7	57,74	18	77,02	12	83,31	3
Arcing sampel 25	16,79	6	23,22	9	69,07	15	69,84	8	65,26	2
Arcing sampel 26	11,25	7	21,11	7	53,45	25	54,00	16	70,64	3

**Tabel 4.2** Perbandingan Nilai HF Data Serabut 1 *DWT* Level 1 dengan Variasi Frekuensi Sampling (Lanjutan)

Kondisi	100KSampling/s		50KSampling/s		10KSampling/s		5KSampling/s		1KSampling/s	
	HF Sig	$\Sigma$ HF	HF Sig	$\Sigma$ HF	HF Sig	$\Sigma$ HF	HF Sig	$\Sigma$ HF	HF Sig	$\Sigma$ HF
Arcing sampel 27	6,07	4	11,60	9	19,28	31	5,97	17	26,01	4
Arcing sampel 28	12,74	7	20,32	10	30,76	23	33,04	13	33,97	3
Arcing sampel 29	13,35	5	25,87	10	9,15	23	57,16	12	57,76	3
Arcing sampel 30	1,50	2	2,53	14	3,75	35	6,77	21	25,64	4

**Tabel 4.3** Perbandingan Nilai HF Data Serabut 1 *DWT* Level 2 dengan Variasi Frekuensi Sampling

Kondisi	100KSampling/s		50KSampling/s		10KSampling/s		5KSampling/s		1KSampling/s	
	HF Sig	$\Sigma$ HF	HF Sig	$\Sigma$ HF	HF Sig	$\Sigma$ HF	HF Sig	$\Sigma$ HF	HF Sig	$\Sigma$ HF
Normal (5A)	1.04	1	1.73	1	1.24	1	1.51	1	4.55	1
Switching 1	11.07	7	28.18	2	27.52	7	15.02	5	7.38	2
Switching 2	9.28	3	9.15	2	8.29	4	13.90	2	1.75	0
Switching 3	8.60	7	21.18	2	11.94	3	10.47	5	11.91	3
Switching 4	7.08	4	11.71	1	10.15	2	8.32	1	12.15	3
Switching 5	12.09	5	23.69	1	12.20	4	10.93	6	13.72	3
Arcing sampel 1	30.68	3	53.44	4	33.03	11	31.82	7	56.76	2
Arcing sampel 2	3.53	5	3.66	7	5.11	21	10.35	10	39.07	3

**Tabel 4.3** Perbandingan Nilai HF Data Serabut 1 *DWT* Level 2 dengan Variasi Frekuensi Sampling (Lanjutan)

Kondisi	100KSampling/s		50KSampling/s		10KSampling/s		5KSampling/s		1KSampling/s	
	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF
Arcing sampel 3	22.46	6	13.57	7	6.19	14	9.02	8	29.48	3
Arcing sampel 4	9.66	4	6.42	5	10.69	21	24.06	10	48.99	3
Arcing sampel 5	35.38	5	33.30	6	6.98	11	65.80	5	57.89	1
Arcing sampel 6	29.32	4	49.14	4	60.72	11	27.09	7	57.70	2
Arcing sampel 7	22.49	2	26.34	5	22.02	5	13.32	3	11.08	1
Arcing sampel 8	11.61	5	23.36	4	15.21	17	8.25	8	43.12	3
Arcing sampel 9	37.46	4	43.02	3	33.71	12	9.30	7	58.44	2
Arcing sampel 10	32.89	3	4.03	3	29.58	10	31.57	6	26.41	2
Arcing sampel 11	21.69	4	5.11	5	22.47	8	8.53	5	28.72	1
Arcing sampel 12	22.69	6	16.25	6	22.83	10	65.86	5	6.74	1
Arcing sampel 13	19.91	5	18.91	7	20.24	14	8.77	9	26.18	3
Arcing sampel 14	28.93	4	14.35	2	29.06	10	30.63	6	26.99	2
Arcing sampel 15	22.53	4	26.06	4	29.72	13	27.10	6	26.67	2
Arcing sampel 16	11.29	9	9.13	7	16.80	14	40.78	9	42.72	3
Arcing sampel 17	2.08	2	2.31	2	4.48	17	8.89	10	33.49	2
Arcing sampel 18	43.05	6	73.01	19	50.16	10	17.18	5	101.46	1

**Tabel 4.3** Perbandingan Nilai HF Data Serabut 1 *DWT* Level 2 dengan Variasi Frekuensi Sampling (Lanjutan)

Kondisi	100KSampling/s		50KSampling/s		10KSampling/s		5KSampling/s		1KSampling/s	
	HF Sig	$\Sigma$ HF	HF Sig	$\Sigma$ HF	HF Sig	$\Sigma$ HF	HF Sig	$\Sigma$ HF	HF Sig	$\Sigma$ HF
Arcing sampel 19	29.95	5	67.69	13	100.32	10	51.26	6	47.39	2
Arcing sampel 20	36.14	7	78.53	15	7.74	10	15.00	5	100.16	2
Arcing sampel 21	41.48	7	37.20	19	60.28	13	51.75	6	13.89	1
Arcing sampel 22	35.77	7	42.69	9	48.16	8	42.74	4	44.44	1
Arcing sampel 23	26.70	4	54.28	9	40.99	7	35.36	3	2.27	0
Arcing sampel 24	37.76	7	43.05	12	70.95	13	54.13	7	45.85	2
Arcing sampel 25	38.51	5	71.64	11	48.86	8	43.21	4	45.88	1
Arcing sampel 26	26.80	7	40.26	14	40.41	17	32.56	10	46.36	2
Arcing sampel 27	14.98	5	20.89	17	14.03	19	44.29	10	77.65	3
Arcing sampel 28	23.15	9	60.66	16	68.79	13	24.01	9	43.60	3
Arcing sampel 29	33.81	9	42.23	17	88.12	12	41.09	8	42.39	3
Arcing sampel 30	2.92	7	3.01	20	9.12	20	16.54	11	61.54	3

**Tabel 4.4** Perbandingan Nilai HF Data Serabut 1 *DWT* Level 3 dengan Variasi Frekuensi Sampling

Kondisi	100KSampling/s		50KSampling/s		10KSampling/s		5KSampling/s		1KSampling/s	
	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF
Normal (5A)	2.20	1	1.45	1	2.05	1	3.49	1	4.77	1
Switching 1	40.54	3	25.63	8	20.09	5	11.98	3	8.03	1
Switching 2	9.40	2	21.00	4	12.18	2	1.28	0	1.66	0
Switching 3	29.02	2	16.99	4	6.43	5	21.44	3	9.62	1
Switching 4	14.65	2	6.69	3	12.02	1	13.63	1	0.52	0
Switching 5	30.86	1	21.64	4	24.76	6	8.10	4	9.99	1
Arcing sampel 1	68.70	2	56.18	21	69.87	7	67.33	3	42.34	1
Arcing sampel 2	6.24	2	8.10	35	14.46	10	24.49	6	40.09	1
Arcing sampel 3	26.93	4	5.50	28	11.80	7	70.73	3	61.31	1
Arcing sampel 4	12.03	3	25.10	36	28.62	10	23.27	5	49.30	1
Arcing sampel 5	34.76	3	17.58	20	94.66	5	46.17	3	43.19	1
Arcing sampel 6	62.57	4	53.98	21	42.24	7	71.18	3	42.91	1
Arcing sampel 7	29.94	2	43.89	14	13.51	3	8.34	1	2.53	0
Arcing sampel 8	31.01	1	21.17	24	12.14	8	23.19	4	49.23	1
Arcing sampel 9	48.37	2	26.76	22	23.30	7	92.20	3	42.85	1
Arcing sampel 10	19.29	1	3.61	21	67.99	5	22.81	3	62.56	1

**Tabel 4.4** Perbandingan Nilai HF Data Serabut 1 *DWT* Level 3 dengan Variasi Frekuensi Sampling (Lanjutan)

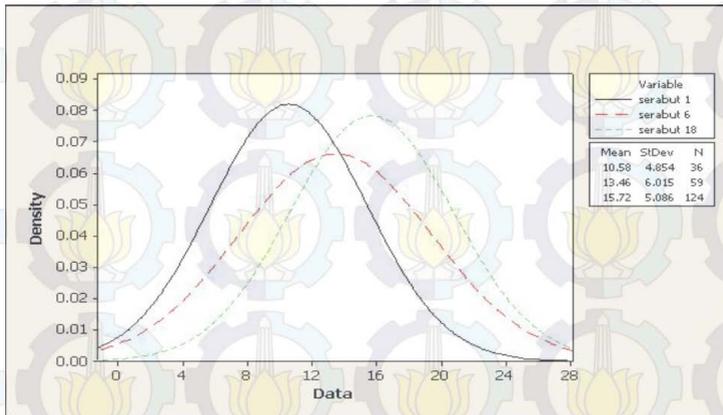
Kondisi	10KSampling/s		50KSampling/s		10KSampling/s		5KSampling/s		1KSampling/s	
	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF	HF Sig	∑HF
Arcing sampel 11	15.76	1	3.37	15	15.82	5	66.42	2	0.10	0
Arcing sampel 12	14.18	2	84.93	20	67.11	5	49.07	3	81.93	1
Arcing sampel 13	19.66	4	11.93	22	14.04	8	68.93	5	58.82	1
Arcing sampel 14	30.73	1	5.87	21	67.48.24	6	22.82	3	20.24	1
Arcing sampel 15	29.51	4	46.46	24	27.86	6	50.19	5	60.50	1
Arcing sampel 16	8.46	3	46.17	26	44.60	8	38.90	4	44.32	1
Arcing sampel 17	3.49	0	3.68	31	13.27	10	25.45	6	39.39	1
Arcing sampel 18	94.45	3	74.24	24	35.58	6	160.19	3	72.84	1
Arcing sampel 19	97.63	3	94.50	21	78.28	6	39.04	3	35.55	1
Arcing sampel 20	107.87	3	72.19	26	21.39	6	158.77	3	73.24	1
Arcing sampel 21	65.42	5	18.93	28	109.23	6	120.90	4	149.11	1
Arcing sampel 22	69.82	2	23.46	19	91.45	4	78.65	2	34.84	1
Arcing sampel 23	79.92	2	79.43	18	22.65	3	78.06	2	2.23	0
Arcing sampel 24	48.98	3	37.06	25	107.33	6	42.43	4	116.59	1
Arcing sampel 25	94.19	3	67.94	19	94.65	4	82.11	2	34.46	1
Arcing sampel 26	62.87	3	23.86	37	74.58	10	99.39	4	114.90	1

**Tabel 4.4** Perbandingan Nilai HF Data Serabut 1 *DWT* Level 3 dengan Variasi Frekuensi Sampling (Lanjutan)

Kondisi	100KSampling/s		50KSampling/s		10KSampling/s		5KSampling/s		1KSampling/s	
	HF Sig	$\sum$ HF	HF Sig	$\sum$ HF	HF Sig	$\sum$ HF	HF Sig	$\sum$ HF	HF Sig	$\sum$ HF
Arcing sampel 27	33.13	3	12.69	37	54.80	10	39.74	6	91.06	1
Arcing sampel 28	85.97	5	45.92	30	49.41	8	41.57	4	131.33	1
Arcing sampel 29	49.96	3	91.88	30	61.90	8	41.53	5	118.35	1
Arcing sampel 30	3.69	1	6.93	40	26.35	10	43.27	5	80.51	1

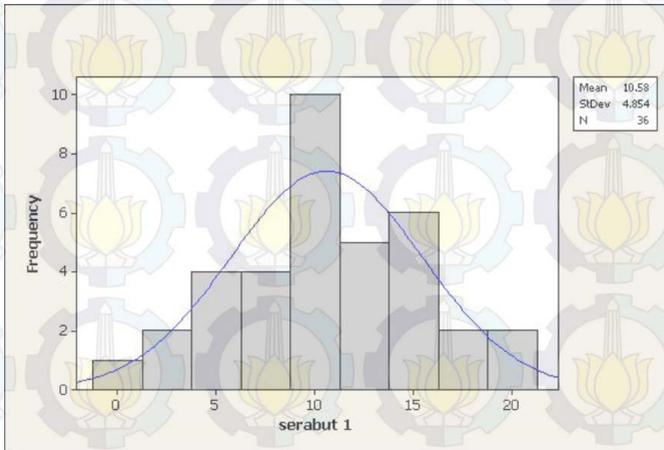
### 4.3.3 Analisa Probabilistik

Pada Tugas Akhir ini melibatkan banyak sekali data dalam proses pengolahannya. Untuk mempermudah menganalisa data tersebut, dibutuhkan analisa probalistik. Analisa probabilistik ini digunakan untuk mencari nilai mean dan modulus dari data yang telah dikelola, sehingga dapat ditarik kesimpulan yang dapat mewakili semua data tersebut. Dalam hal ini untuk melakukan metode tersebut dapat menggunakan software Minitab. Minitab adalah salah satu software untuk mengolah data probalistik.

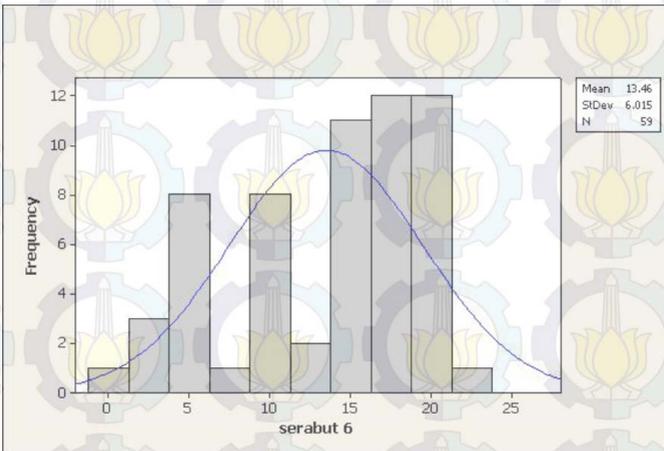


**Gambar 4.22.** Histogram Distribusi Normal Nilai HF Serabut 1, Serabut 6, dan Serabut 18 Frekuensi 5KSampling/s

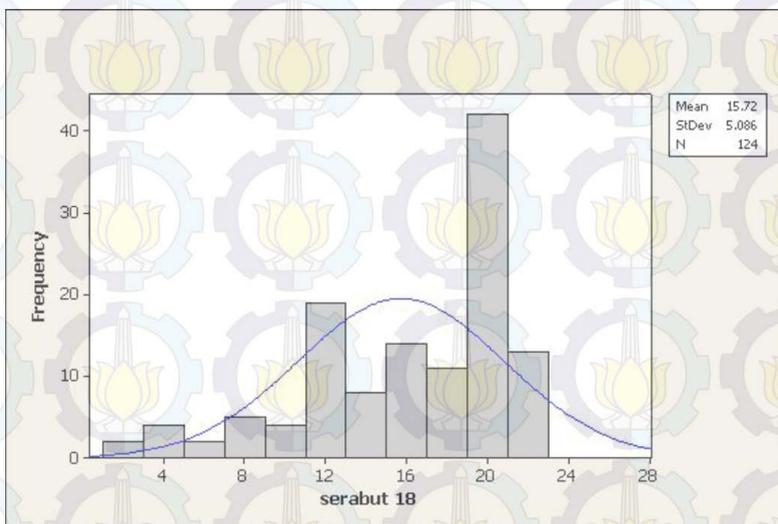
Pada Gambar 4.22. menunjukkan kurva distribusi normal nilai HF untuk serabut 1, serabut 6, dan serabut 18. Jika dilihat nilai mean (rata-rata), jumlah HF serabut 1 < serabut 6 < serabut 18. Atau dilihat dari angka adalah  $10,58 < 13,46 < 15,72$ . Density merupakan kerapatan antar tiap data, dalam hal ini dapat dimisalkan waktu antar data 1 dan yang lain. Karena datanya ini diambil  $\frac{1}{2}$  cycle maka densitynya 0,01.



**Gambar 4.23.** Histogram Serabut 1 Frekuensi 5KSampling/s



**Gambar 4.24.** Histogram Serabut 6 Frekuensi 5KSampling/s

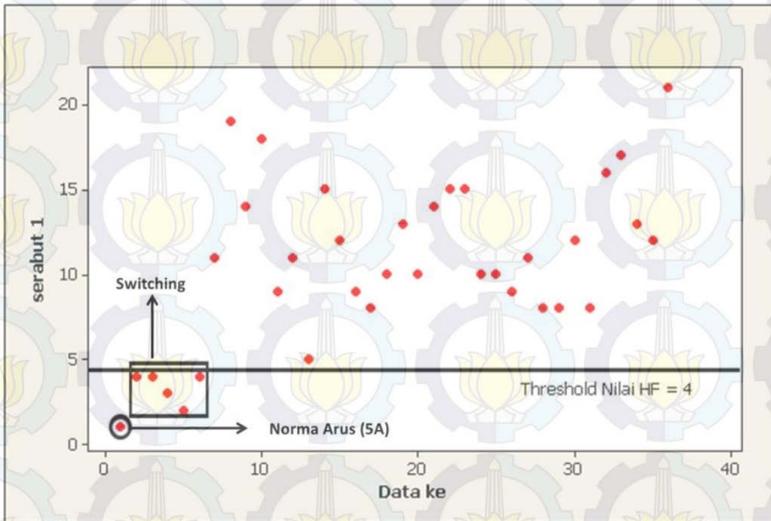


**Gambar 4.25.** Histogram Serabut 18 Frekuensi 5K Sampling/s

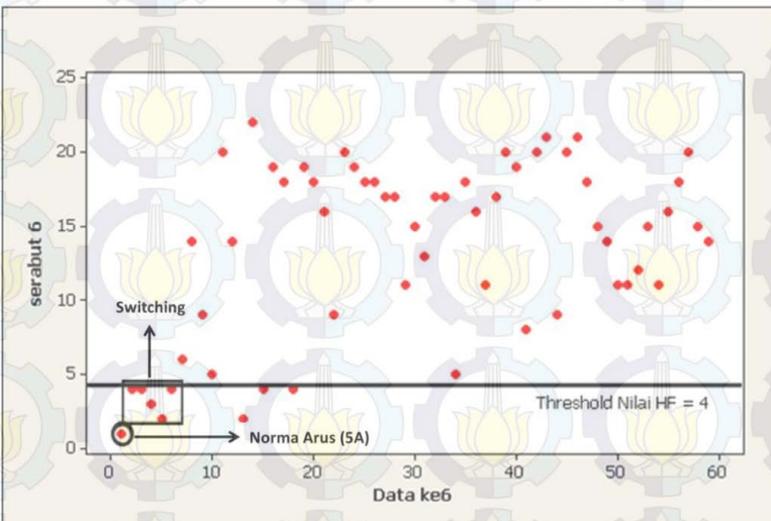
Pada Gambar 4.23, Gambar 4.24, dan Gambar 4.25 menunjukkan kurva antara nilai HF serabut 1, 6, dan 18 dengan jumlah HFnya. Dari kurva ini dapat ditentukan jumlah HF > HF normal yang sering muncul (modulusnya) adalah 10 untuk serabut 1. Modulus dari jumlah HF > HF normal untuk serabut 6 adalah 18. Dan modulus dari jumlah HF > HF normal untuk serabut 18 adalah 21.

Dari data yang telah didapat tersebut menunjukkan bahwa untuk fenomena *arc fault* dengan serabut 1 memperoleh jumlah HF > HF normal sebanyak 10 buah. Untuk fenomena *arc fault* dengan serabut 6 memperoleh 18 buah. Dan untuk fenomena *arc fault* dengan serabut 18 memperoleh 21 buah. Dari data ini pendeteksian untuk fenomena *arc fault* dapat dilakukan menggunakan perbandingan nilai HF. Dan dari data ini juga dapat membedakan antara arus *switching* penambahan beban dan arus fenomena *arc fault*.

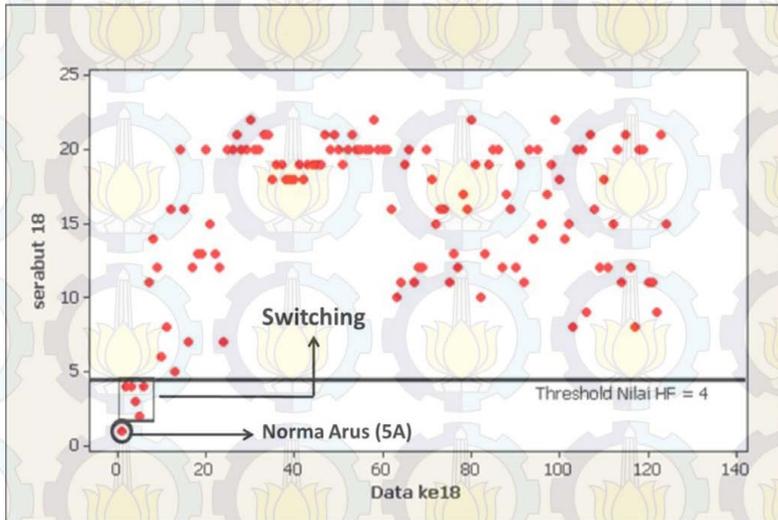
Untuk lebih melihat jelas perbandingan dari 3 kondisi (normal, *switching*, dan *arc*) ini akan dilakukan plotting dengan metode scatterplot untuk melihat pesebarannya. Scatterplot untuk serabut 1, 6, dan 18 akan ditunjukkan pada Gambar 4.26, Gambar 4.27, dan Gambar 4.28 berikut.



Gambar 4.26. Scatterplot Serabut 1 Frekuensi 5K Sampling/s



Gambar 4.27. Scatterplot Serabut 6 Frekuensi 5K Sampling/s



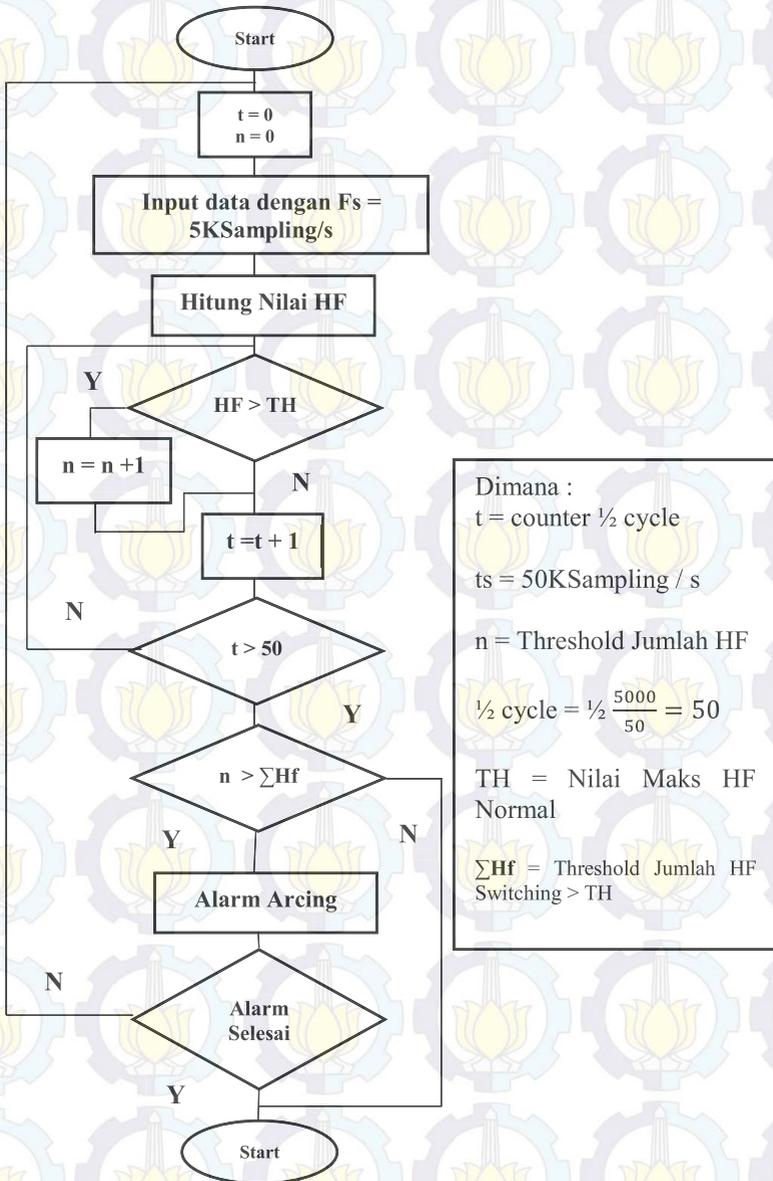
**Gambar 4.28.** Scatterplot Serabut 18 Frekuensi 5KSampling/s

Pada Gambar-Gambar di atas, dapat dilihat dengan jelas perbandingan antara nilai HF kondisi normal, kondisi *switching*, dan kondisi *arcing*. Pada Gambar-Gambar di atas dapat dilihat bahwa threshold (batas) jumlah HF adalah 4, dan itu untuk batas maksimal kondisi *switching*.

Pada Gambar-Gambar tersebut juga dapat dilihat bahwa semakin banyak serabut yang terkena fenomena *arc fault* ini maka akan mempunyai banyak nilai HF. Hal ini disebabkan oleh panjang durasi arus *arcing*nya panjang.

#### 4.3.4 Flowchart Deteksi *Arcing* Pada Sistem Tenaga Listrik Tegangan Rendah

Untuk mempermudah tercapainya tujuan untuk merancang alat pendeteksi kedepannya, maka dibutuhkan flowchart pendeteksian *arcing* pada sistem tenaga listrik tegangan rendah. Flowchart pendeteksian akan dibuat dengan menggunakan parameter-parameter yang telah dijelaskan sebelumnya. Flowchart pendeteksian *arcing* akan ditampilkan pada Gambar 4.29 sebagai berikut.



Gambar 4.29. Flowchart Deteksi Arcing Online

Pada Tabel 4.5 akan ditampilkan tingkat keberhasilan deteksi *arcing*. Pada tabel tersebut akan menghitung prosentase tingkat keberhasilan deteksi dengan metode *DWT haar* level 1, 2, dan 3 dan variasi frekuensi sampling. Prosentase akan dihitung dari  $\sum HF$  *arcing* yang melebihi  $\sum HF$  *switching*.

**Tabel 4.5** Tingkat Keberhasilan Deteksi *Arcing* Serabut 1, 6, dan 18

<i>DWT</i> Level	Sampling/s	Prosentase Keberhasilan Serabut 1	Prosentase Keberhasilan Serabut 6	Prosentase Keberhasilan Serabut 18
Level 1	1K	23,33%	47,17%	69,49%
	5K	100%	94,34%	100%
	10K	100%	98,11%	100%
	50K	96,67%	90,57%	94,92%
	100K	10%	81,13%	78,81%
Level 2	1K	0%	0%	0%
	5K	50%	75,47%	85,59%
	10K	93,33%	88,68%	97,46%
	50K	93,33%	100%	100%
	100K	10%	98,11%	100%
Level 3	1K	0%	0%	0%
	5K	26,67%	50,94%	61,86%
	10K	50%	75,47%	85,59%
	50K	100%	98,11%	100%
	100K	20%	100%	100%

Dari Tabel 4.5 menunjukkan tingkat keberhasilan pendeteksian fenomena *arcing* menggunakan metode *DWT* dengan 3 level dekomposisi dan variasi frekuensi sampling. Pada *DWT* level 1 terdapat 2 hasil yang sangat baik yaitu pada hasil frekuensi sampling 5K dan 10K. Pada *DWT* level 2 juga terdapat 2 hasil yang sangat baik, yaitu pada frekuensi sampling 10K dan 50K. Dan pada *DWT* level 3 juga terdapat 2 hasil yang sangat baik, yaitu pada frekuensi sampling 10K dan 50K. Dari hasil analisa, maka hasil yang akan dijadikan sebagai metode deteksi *arcing* adalah *DWT* level 1 dengan frekuensi sampling 5K. Hal ini dilakukan untuk mempermudah pengimplementasian alat pada penelitian selanjutnya, karena dengan *DWT* level 1 dan ferkuensi sampling 5K proses pengolahan datanya sederhana.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## BAB 4 HASIL DAN ANALISA DATA

### 4.1 Analisa Bentuk Gelombang Arcing

Pada subbab ini dijelaskan tentang data hasil pemotongan dan hasil filtering dari *noise*. Pemotongan data dilakukan setiap  $\frac{1}{2}$  cycle, karena dengan tujuan untuk mempermudah dalam menganalisa pendeteksian. Sedangkan Filtering dilakukan dengan tujuan untuk meredam *noise* yang bercampur dengan data asli.

#### 1.1.1. Skema Percobaan dan Pengambilan Data

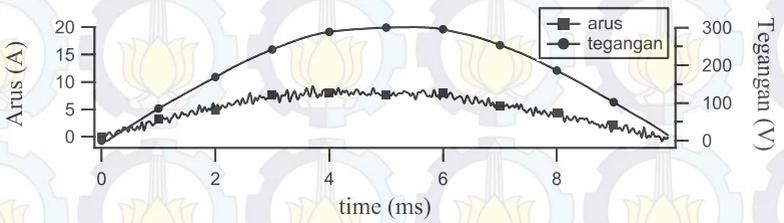
Pada proses plotting ini bertujuan untuk menggambarkan hasil pemotongan data menjadi  $\frac{1}{2}$  cycle seperti yang telah dilakukan. Dalam plotting ini akan digambarkan dalam 3 kondisi data, yaitu kondisi awal (normal), *switching* (penambahan beban), dan *arcing*. Banyaknya data yang diolah pada Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Tabel 4.1. Namun pada bab ini akan ditampilkan beberapa sampel saja.

**Tabel 4.1.** Diskripsi Percobaan

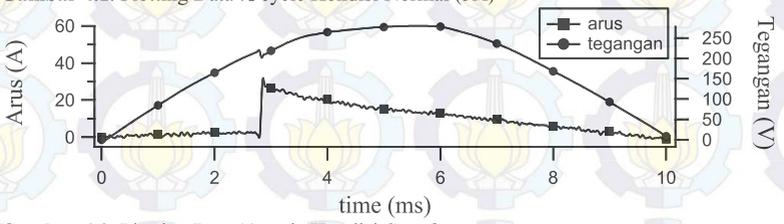
Jenis Kondisi	Banyak Data
Kondisi Awal (Normal)	1
<i>Switching</i>	5
<i>Arcing</i> (serabut 1, 6, 18)	30 (masing2 eksperimen)

Pada proses plotting ini akan ditampilkan grafik x-y yang berisi besaran arus dan tegangan  $\frac{1}{2}$  cycle terhadap waktu (ms). Data memiliki frekuensi sampling 100KSampling/s dengan 1000 data setiap  $\frac{1}{2}$  cycle nya.

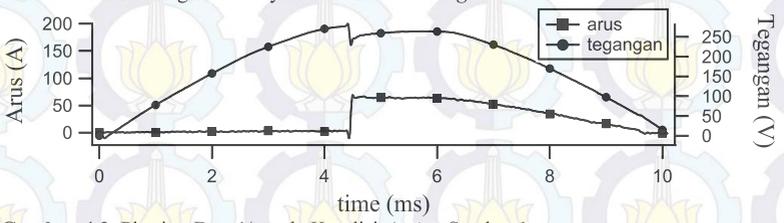
Data kondisi awal (normal) memiliki arus maksimum 5 A dan tegangan maksimum 311 V. Hal ini dipilih sesuai dengan keadaan lapangan yang kebanyakan berlangganan 1300 VA dengan arus maksimum sekitar 5 A dan tegangan rendah 220 Vrms. Pada Gambar 4.1 ditunjukkan hasil plotting data pemotongan  $\frac{1}{2}$  cycle pada kondisi awal (normal) dengan arus 5 A.



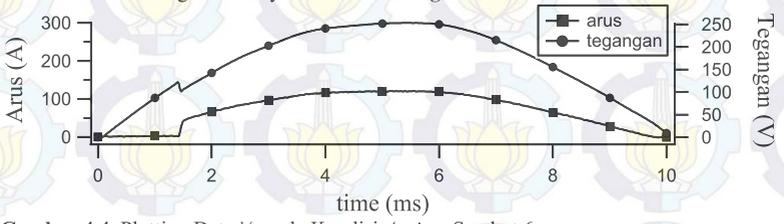
Gambar 4.1. Plotting Data  $\frac{1}{2}$  cycle Kondisi Normal (5A)



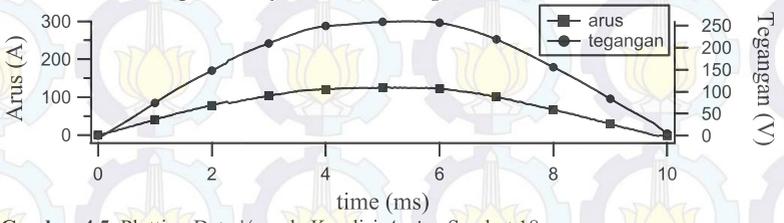
Gambar 4.2. Plotting Data  $\frac{1}{2}$  cycle Kondisi Switching



Gambar 4.3. Plotting Data  $\frac{1}{2}$  cycle Kondisi Arcing Serabut 1



Gambar 4.4. Plotting Data  $\frac{1}{2}$  cycle Kondisi Arcing Serabut 6



Gambar 4.5. Plotting Data  $\frac{1}{2}$  cycle Kondisi Arcing Serabut 18

Selanjutnya akan ditampilkan plotting data hasil pemotongan  $\frac{1}{2}$  cycle pada kondisi *switching* akibat penambahan beban. Data *switching* dibutuhkan dengan tujuan sebagai pembanding alat pendeteksi agar dapat membedakan antara transien arus *switching* dan arus *arcing*.

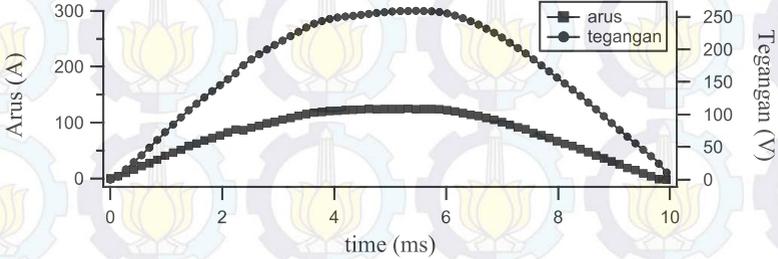
Untuk data pada kondisi *arcing* akan ditampilkan beberapa fenomena saja, karena fenomena ini sudah mewakili semua kondisi *arcing*. Data yang akan ditampilkan adalah data kondisi *arcing* serabut 1, serabut 6, dan serabut 18. Hasil plotting pemotongan data ditunjukkan oleh Gambar 4.3, Gambar 4.4, dan Gambar 4.5.

## 4.2 Reduksi Frekuensi Sampling

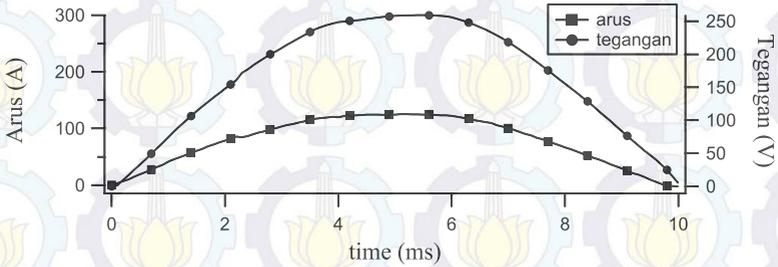
Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa reduksi frekuensi sampling adalah proses mengurangi beberapa data dari data asli tanpa merusak struktur sinyal aslinya. Reduksi frekuensi sampling ini dilakukan agar mempermudah pembuatan alat pendeteksian kedepannya. Dengan frekuensi sampling yang lebih rendah akan membantu alat pendeteksi lebih akurat dalam membaca dan mengolah data. Karena kapasitas dari frekuensi sampling yang dapat disediakan pada alat pendeteksi, maka dibutuhkan frekuensi sampling yang rendah untuk mendukung pembuatan alat pendeteksi tersebut.

Pada Tugas Akhir ini dilakukan reduksi frekuensi sampling dari frekuensi sampling 100KSampling/s sebagai frekuensi awal, menjadi beberapa reduksi. Reduksi frekuensi sampling yang dilakukan, yaitu reduksi menjadi 50KSampling/s, 10KSampling/s, 5KSampling/s, dan 1KSampling/s. Dari hasil reduksi ini nanti akan ditentukan frekuensi sampling yang sesuai untuk pembuatan alat pendeteksi kedepannya. Pada subbab ini akan ditampilkan sampel data arcing serabut 18 dengan reduksi frekuensi sampling di atas.

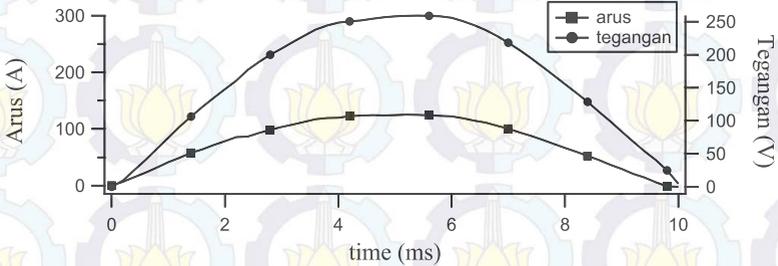
Pada Gambar 4.6. menunjukkan plotting data hasil reduksi frekuensi sampling menjadi 50KSampling/s. Dan juga panjang data yang semula dengan frekuensi sampling 100KSampling/s mempunyai 1.002 data, setelah reduksi menjadi 501 data. Pada Gambar 4.7. menunjukkan plotting data hasil reduksi frekuensi sampling menjadi 10KSampling/s. Dan juga panjang data yang semula dengan frekuensi sampling 100KSampling/s mempunyai 1.002 data, setelah reduksi menjadi 101 data. Pada Gambar 4.8. menunjukkan plotting data hasil reduksi frekuensi sampling menjadi 5KSampling/s. Dan juga panjang data yang semula dengan frekuensi sampling 100KSampling/s mempunyai 1.002 data, setelah reduksi menjadi 51 data.



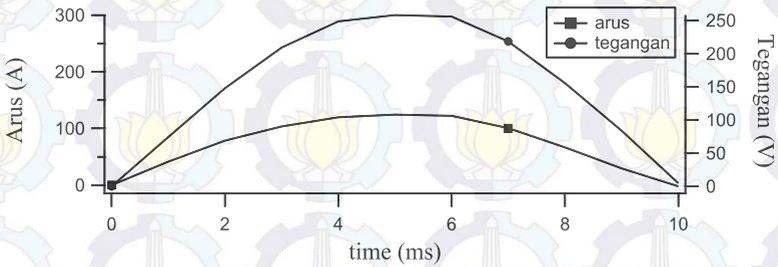
Gambar 4.6. Hasil Reduksi Menjadi 50KSampling/s



Gambar 4.7. Hasil Reduksi Menjadi 10KSampling/s



Gambar 4.8. Hasil Reduksi Menjadi 5KSampling/s



Gambar 4.9. Hasil Reduksi Menjadi 1KSampling/s

Pada Gambar 4.9. menunjukkan plotting data hasil reduksi frekuensi sampling menjadi 1KSampling/s. Dan juga panjang data yang semula dengan frekuensi sampling 100KSampling/s mempunyai 1.002 data, setelah reduksi menjadi 11 data.

Berdasarkan metode evaluasi, pada Tugas Akhir ini dipilih frekuensi sampling 5KSampling/s. Frekuensi sampling ini dipilih karena memiliki nilai yang stabil dibandingkan dengan frekuensi sampling lainnya. Metode evaluasi dilakukan dengan mencoba semua frekuensi sampling diterapkan pada algoritma pendeteksian. Dan hasil yang diberikan menunjukkan bahwa frekuensi sampling 5KSampling/s lebih akurat dan stabil.

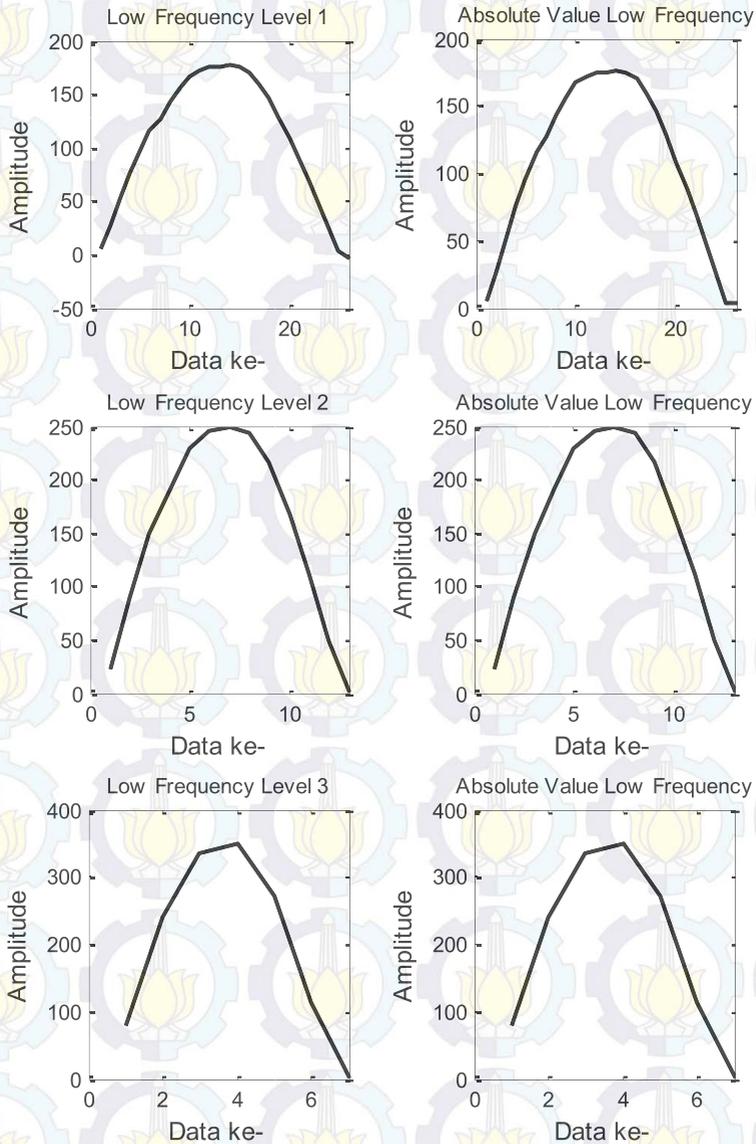
### 4.3 Analisa Deteksi *Arc Fault*

Pada subbab ini akan dijelaskan analisa deteksi *arc fault* dengan menggunakan metode *DWT* sebagai transformasi sinyalnya, dan metode perbandingan untuk mendapatkan parameter deteksi *arc fault*. Dengan menggunakan *DWT* outputnya ada 2, yaitu approximation (low frequency) dan detail (high frequency). Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pada Tugas Akhir ini akan menggunakan data detail (high frequency). Data HF ini akan digunakan pada metode perbandingan untuk memperoleh parameter deteksi *arc fault*.

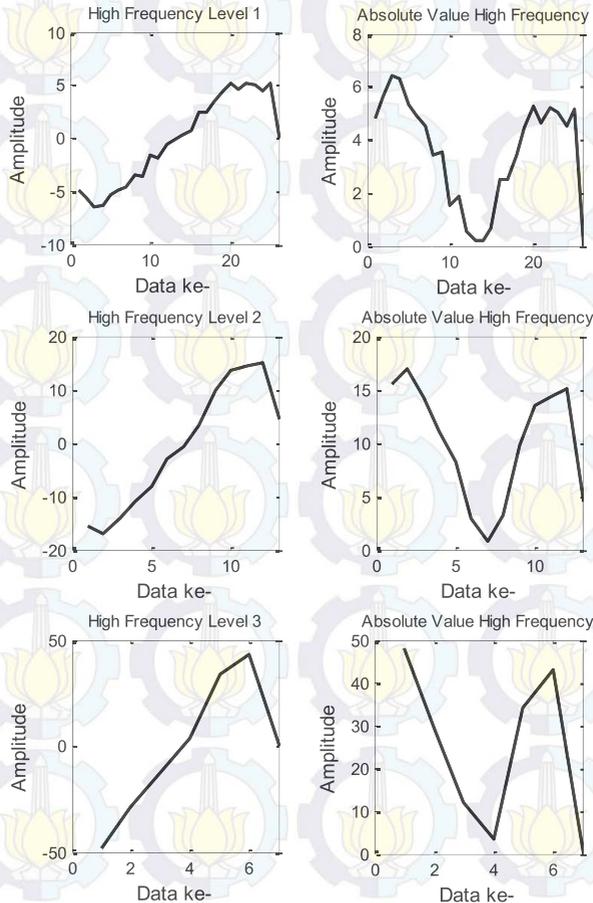
#### 4.3.1 Hasil Pengolahan Data dengan *DWT*

*DWT (Discrete Wavelet Transform)* adalah metode transformasi sinyal menjadi sinyal diskrit dengan tujuan memperoleh variable atau nilai tertentu sesuai keinginan. Pada Tugas Akhir ini menggunakan *mother wavelet HAAR* dan dengan level dekomposisi mencapai 3 level. Pengolahan data dengan *DWT* menggunakan software MATLAB. Data yang digunakan berupa data kondisi normal, *switching*, dan *arcing* dengan frekuensi sampling 5KSampling/s dan telah difilter. Pada subbab ini akan ditampilkan hasil dari *DWT* dengan menggunakan sampel data *arcing* serabut 18.

Gambar 4.10. menunjukka approximation (low frequency) dan nilai absolutnya dari transformasi *wavelet haar* level 1, 2, dan 3. Sedangkan untuk detail (high frequency) dan nilai absolutnya dari transformasi *wavelet haar* level 1, 2, dan 3 akan ditampilkan pada gamba 4.11.



Gambar 4.10. Low Frequency dengan HAAR Level 1, 2, dan 3



**Gambar 4.11.** High Frequency dengan HAAR Level 1, 2, dan 3

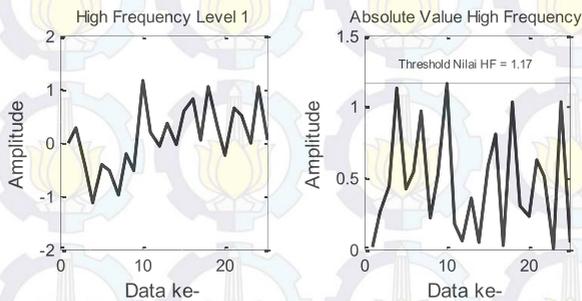
Berdasarkan data yang telah diolah dengan *DWT*, pada Tugas Akhir ini dipilih transformasi level 1 untuk melakukan analisa deteksi. Hal ini karena transformasi level 1 sudah cukup jelas untuk melakukan analisa deteksi. Dengan data yang sudah difilter memudahkan untuk analisa deteksi, karena sudah tidak ada *noise* yang dapat mempengaruhi perhitungan. Maka dari itu, transformasi level 1 sudah mampu melakukan analisa deteksi *arcing*.

### 4.3.2 Perbandingan Nilai HF

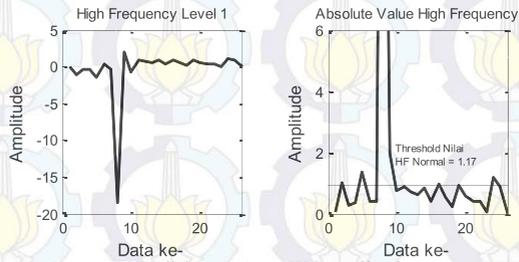
Pada subbab ini akan dijelaskan tentang analisa deteksi *arcing* dengan metode perbandingan nilai HF. Nilai HF pada kondisi normal akan menjadi acuan pada proses ini. Nilai HF pada kondisi *switching* dan *arcing* akan dibandingkan dengan nilai HF pada kondisi normal. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui berapa banyak data yang melebihi nilai HF kondisi normal. Sehingga akan didapat karakteristik masing-masing kondisi, baik *switching* ataupun *arcing*. Karakteristik ini yang nantinya akan dijadikan parameter untuk perancangan alat pendeteksi. Perbandingan nilai HF akan ditunjukkan menggunakan data sampel serabut 1. Untuk perbandingan nilai HF data serabut 6 dan 18 dapat dilihat pada lampiran.

Pada Gambar 4.12 sampai Gambar 4.16 ditunjukkan hasil perbandingan nilai HF antara HF kondisi normal dengan HF kondisi *switching* maupun HF kondisi *arcing*. Dapat dilihat pada Gambar di atas, Kondisi *arcing* memiliki banyak nilai HF yang lebih dari maksimum HF normal dibandingkan dengan kondisi *switching*. Dengan demikian dapat dibedakan dalam pendeteksian antara arus akibat *switching* dan arus akibat fenomena *arc fault*.

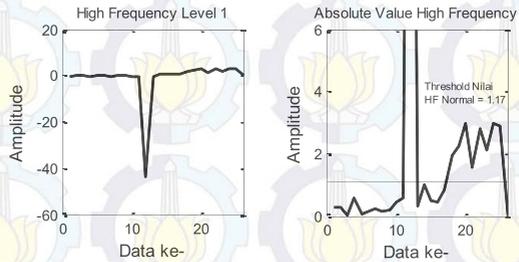
Pada Tugas Akhir ini metode deteksi dilakukan dengan membandingkan nilai maksimum dari HF kondisi normal dengan nilai HF pada kondisi *switching* dan *arcing*. Nilai maksimum HF kondisi normal dijadikan sebagai *threshold* / batas nilai yang diperbolehkan. Jika melebihi nilai tersebut, maka akan dilakukan perhitungan jumlah data yang melebihinya. Jumlah data HF kondisi *switching* dan *arcing* yang melebihi nilai maksimum HF normal akan menjadi acuan parameter pendeteksian.



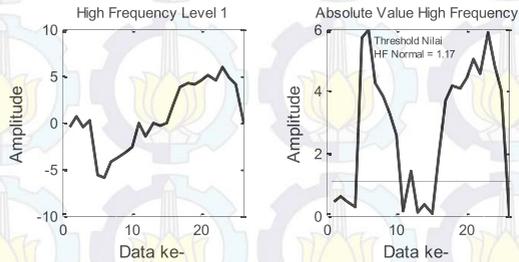
Gambar 4.12. HF Kondisi Normal 5KSampling/s



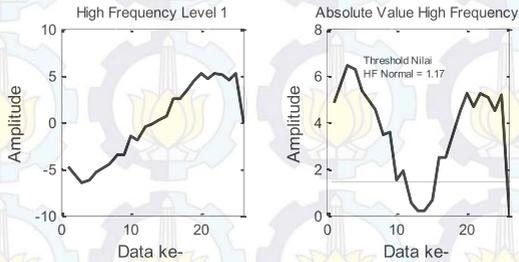
**Gambar 4.13.** HF Kondisi *Switching* 5KSampling/s



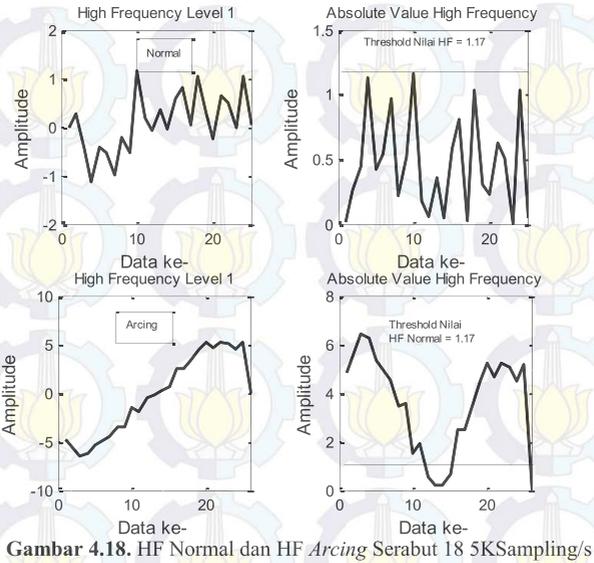
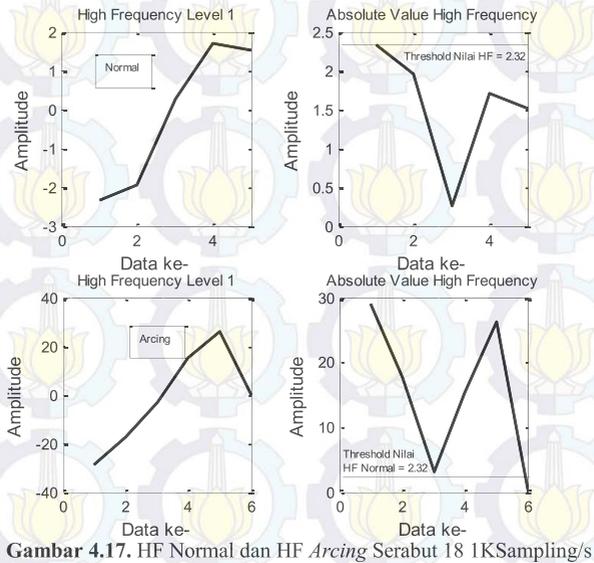
**Gambar 4.14.** HF Kondisi *Arcing Serabut 1* 5KSampling/s

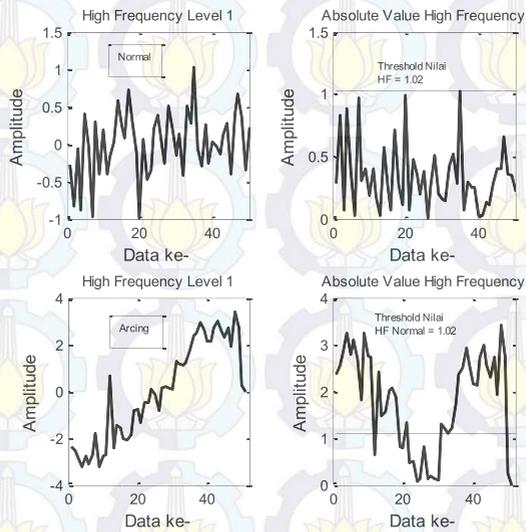


**Gambar 4.15.** HF Kondisi *Arcing Serabut 6* 5KSampling/s

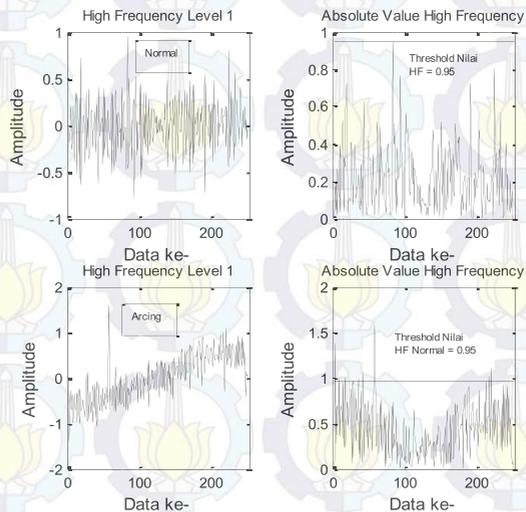


**Gambar 4.16.** HF Kondisi *Arcing Serabut 18* 5KSampling/s

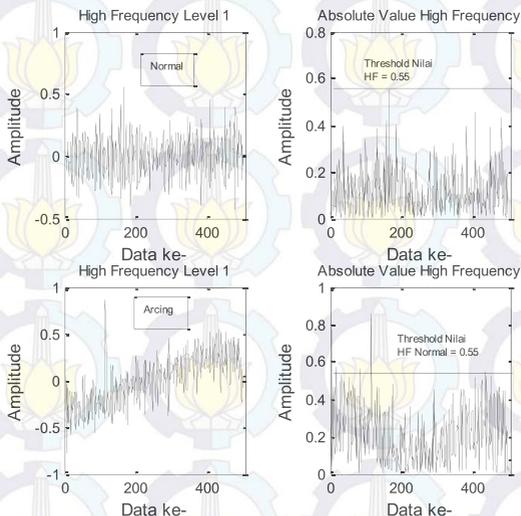




**Gambar 4.19.** HF Normal dan HF Arcing Serabut 18 10KSampling/s



**Gambar 4.20.** HF Normal dan HF Arcing Serabut 18 50KSampling/s



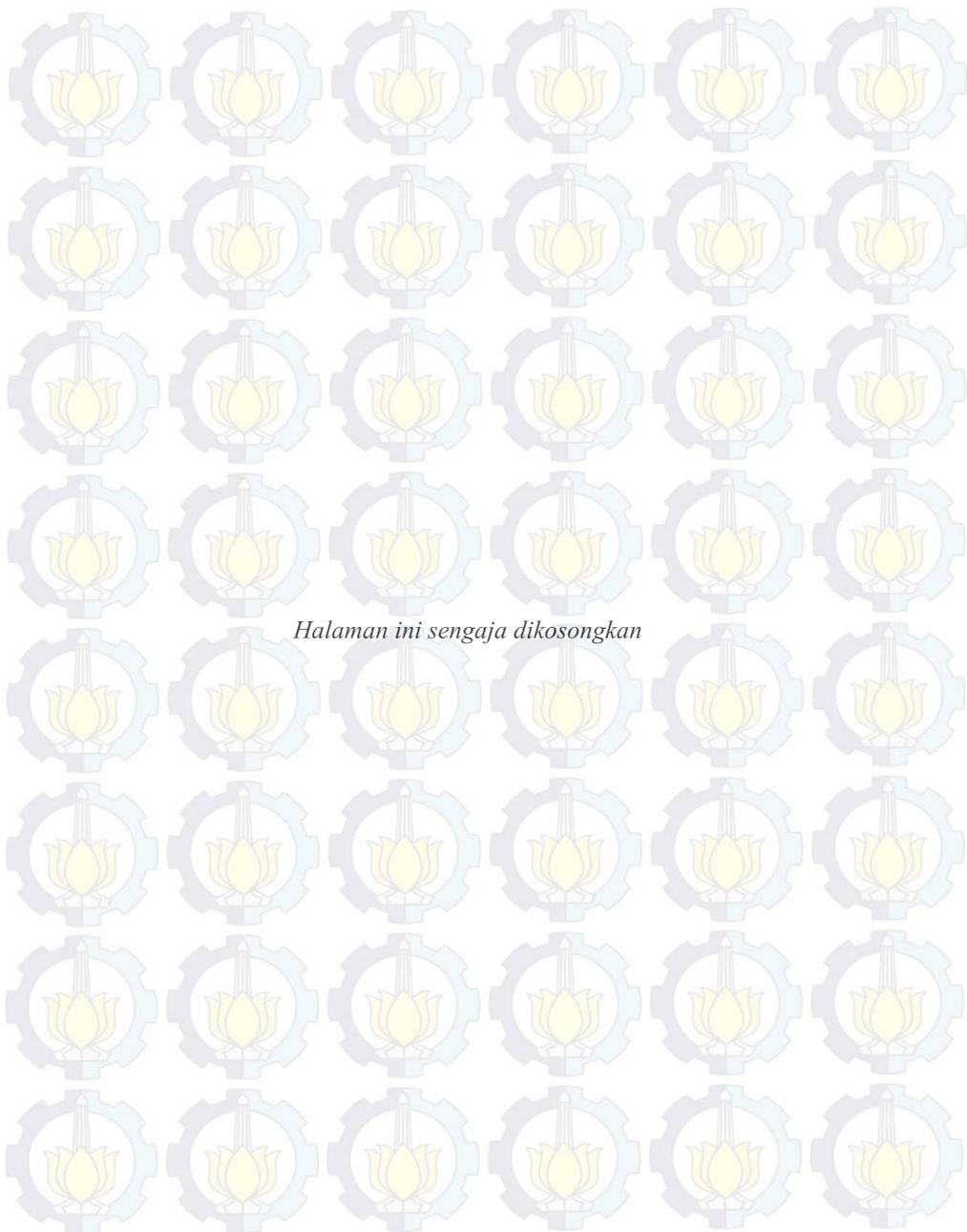
**Gambar 4.21.** HF Normal dan HF *Arcing* Serabut 18 100KSampling/s

Pada Gambar 4.17, sampai Gambar 4.21, ditampilkan perbandingan Nilai HF kondisi *arcing* dengan Nilai HF Maksimum kondisi normal dengan variasi frekuensi sampling. Dengan menggunakan variasi frekuensi sampling ini, dapat diperoleh frekuensi sampling yang paling sesuai dengan hasil yang paling stabil untuk diimplementasikan pada alat deteksi.

Pada Tabel 4.2 sampai Tabel 4.4 ditunjukkan hasil perbandingan nilai HF antara HF kondisi normal dengan HF kondisi *switching* maupun HF kondisi *arcing*, yang merupakan hasil *DWT haar* level 1, 2, dan 3. Pada tabel tersebut, nilai HF maksimum kondisi normal dijadikan sebagai parameter pembandingan terhadap nilai HF kondisi lainnya. Pada tabel terdapat simbol “*HF Sig*” dan “ $\sum HF$ ”. *HF Sig* merupakan nilai maksimum dari Sinyal HF masing-masing kondisi. Sedangkan  $\sum HF$  merupakan jumlah nilai HF yang lebih besar dari nilai *HF Signal* kondisi normal. Pada tabel tersebut juga ditampilkan dengan variasi frekuensi sampling agar dapat dibandingkan dan diketahui frekuensi sampling yang mempunyai hasil yang paling stabil dan benar.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), “*Data Kebakaran Permukiman*”, Agustus 2011 – Juni 2015.
- [2] J-M. Martel, M. Anheuser, F. Berger, “*A Study of Arcing Fault in Low Voltage Electrical Installation*”, IEEE, Oct 2010.
- [3] Nosh K Medora and Alexander Kusko, “*Arcing Faults In Low and Medium Voltage Electrical Systems*”, IEEE, Oct 2011.
- [4] Jarkov V, Mark A, Craig W, Ashish K, “*High Impedance Fault Detection On Rural Electric Distributin Systems*”, IEEE, 2010
- [5] James S. Walker, “*A Primer on WAVELETS and Their Scientific Applications*”, Second Edition 2008 Hal 41.
- [6] Weiyan Zheng and Weilin Wu, “*Detecting LowVoltage Arc Fault Based on Listing Multiwavelet*”, IEEE, Nov 2009.
- [7] Haoying Gu, Feng Zhang, Ziun Wang, Qing Ning, and Shiwen Zhang, “*Identification Method for Low-Voltage Arc Fault Based on the Loose Combination of Wavelet Transformation and Neural Network*”, IEEE, Sept 2012.
- [8] Peiyong Duan, Liping Xu, Xudong Ding, Chenguang Ning, Chenxu Duan. “*An Arc Fault Diagnostic Method for Low Voltage Lines Using the Difference of Wavelet Coefficients*”, IEEE Conference on Industrial Electronics and Application (ICIEA), Hangzhou, China. Pp.9-11 June 2014.
- [9] Rosa M. de Castro F and Horacio Nelson D. R, “*An Overview of Wavelet Transforms Application In Power Systems*”, IEEE-14<sup>th</sup> PSCC, Sevilla, 24-28 June 2002.
- [10] Liang J, Elangovan S, Devotta JBX. “*A Wavelet Multiresolution Analysis Approach to Fault Detection and Classification in Transmission Lines*”. Electr Power Energ Sys 1998;20 (5):327–32.



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB 5 PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Pada Tugas Akhir ini menggunakan variasi frekuensi sampling untuk mengetahui frekuensi sampling yang sesuai untuk analisa deteksi dan implementasi alat. Berdasarkan hasil analisa, pada Tugas Akhir ini didapatkan bahwa frekuensi sampling 5KSampling/s cukup baik digunakan untuk analisa deteksi.

Dalam Tugas Akhir ini, transformasi diskrit wavelet dengan menggunakan *haar wavelet* level 1, 2, dan 3. *Haar wavelet* merupakan salah satu transformasi *wavelet* dengan proses konvolusi yang sangat sederhana. Dari hasil analisa didapatkan bahwa *haar wavelet* level 1 sudah sangat efektif digunakan untuk analisa deteksi.

Untuk metode deteksi dalam Tugas Akhir ini menggunakan variabel output dari *DWT*. Variabel deteksi yang digunakan adalah *High Frequency Signal* dari kondisi normal, *switching transient*, dan *arcing*.

Nilai maksimum dari *High Frequency Signal* pada kondisi normal dijadikan sebagai pembandingan dengan nilai *High Frequency Signal* pada kondisi *switching transient* dan *arcing*. Maka dengan metode perbandingan ini akan dapat diklarifikasi dan dideteksi antara kondisi *switching transient* saat penambahan beban dan kondisi *arcing* terjadi.

Dari hasil keluaran Tugas Akhir ini dapat dengan mudah diimplementasikan dalam perancangan alat deteksi berbasis mikrokontroller. Hal ini didukung dengan proses konvolusi data yang sederhana menggunakan *haar wavelet* level 1 dan frekuensi sampling yang rendah, yaitu 5KSampling/s.

### 5.2 Saran

Analisa deteksi dengan menggunakan metode *DWT* pada Tugas Akhir ini sudah cukup baik dan jelas, akan lebih baik lagi jika dapat diimplementasikan dalam berupa alat deteksi.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)