



**TUGAS AKHIR - EE 184801**

**STUDI KARAKTERISTIK DAMPAK PARAMETER SISTEM  
TERHADAP INRUSH CURRENT BERBASIS TRANSFORMASI  
WAVELET**

Vito Rahmaditya  
NRP 07111740000067

Dosen Pembimbing  
Dr. I Gusti Ngurah Satriyadi Hernanda, S.T., M.T.  
Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2022

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



TUGAS AKHIR - EE 184801

**STUDI KARAKTERISTIK DAMPAK PARAMETER SISTEM  
TERHADAP INRUSH CURRENT BERBASIS TRANSFORMASI  
WAVELET**

Vito Rahmaditya  
NRP 0711174000067

Dosen Pembimbing  
Dr. I Gusti Ngurah Satriyadi Hernanda, S.T., M.T.  
Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2022

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



FINAL PROJECT - EE 184801

**STUDY OF THE IMPACT CHARACTERISTICS OF SYSTEM  
PARAMETERS ON WAVELET TRANSFORM BASED INRUSH  
CURRENT**

Vito Rahmaditya  
NRP 0711174000067

Supervisor(s)  
Dr. I Gusti Ngurah Satriyadi Hernanda, S.T., M.T.  
Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty of Intelligent Electrical and Informatics Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2022

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Studi Karakteristik Dampak Parameter Sistem Terhadap *Inrush Current* Berbasis Transformasi *Wavelet***” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diizinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

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

Surabaya, Januari 2022

Vito Rahmaditya  
NRP. 0711174000067

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**STUDI KARAKTERISTIK DAMPAK PARAMETER  
SISTEM TERHADAP INRUSH CURRENT BERBASIS  
TRANSFORMASI WAVELET**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan Untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik

Pada

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

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I



Dosen Pembimbing II



Dr. I Gusti Ngurah Satriyadi H., S.T., M.T.  
NIP. 197301232002121001

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

**SURABAYA  
JANUARI, 2022**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **STUDI KARAKTERISTIK DAMPAK PARAMETER SISTEM TERHADAP INRUSH CURRENT BERBASIS TRANSFORMASI WAVELET**

Nama : Vito Rahmaditya  
NRP : 0711174000067  
Pembimbing I : Dr. I Gusti Ngurah Satriyadi Hernanda, ST., MT.  
Pembimbing II : Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D.

## **ABSTRAK**

*Inrush current* merupakan arus yang muncul ketika transformator daya pertama kali di-*energize* dan bernilai sangat tinggi. Dalam waktu yang lama dan frekuensi yang tinggi, suatu transformator dapat memendek umurnya karena *inrush current* menimbulkan suhu mekanis dan elektrik yang tinggi terhadap transformator. Untuk itu, diperlukan kondisi yang tepat agar *inrush current* tidak bernilai terlalu tinggi. Penelitian ini akan menganalisis parameter apa saja pada transformator yang mengakibatkan tingginya nilai *inrush current*. Analisis dimulai dengan pemodelan transformator pada perangkat lunak ATP Draw dan dilanjutkan dengan analisis transformasi *wavelet* pada perangkat lunak MATLAB. Setelah disimulasikan dan dianalisis dengan transformasi *wavelet*, didapatkan bahwa parameter yang memengaruhi nilai dari *inrush current* adalah impedansi saluran dan sudut mula sinyal saat di-*energize*. Ketika impedansi saluran semakin kecil, maka nilai *inrush current* yang muncul semakin besar. Dan untuk sudut mula sinyal, ketika sudut  $0^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $360^\circ$ , dan kelipatannya akan bernilai minimum. Maka, desain sistem yang efektif dapat disesuaikan dengan cara mengkombinasikan besaran parameter-parameter dengan memperhatikan pengaruhnya terhadap *inrush current*, yaitu dengan memaksimalkan nilai impedansi saluran dan menggeser sudut mula hingga bernilai  $0^\circ$  atau  $180^\circ$  atau kelipatannya.

**Kata kunci : *Inrush current*, *wavelet*, transformator daya**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **STUDY OF THE IMPACT CHARACTERISTICS OF SYSTEMS PARAMETERS ON WAVELET TRANSFORM BASED INRUSH CURRENT**

Name : Vito Rahmaditya  
Student Number : 07111740000067  
Supervisor I : Dr. I Gusti Ngurah Satriyadi Hernanda, ST., MT.  
Supervisor II : Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D.

## **ABSTRACT**

*Inrush current is the current that appears when the power transformer is first energized and has a very high value. In a long time and high frequency, a transformer can shorten its life because the inrush current causes high mechanical and electrical temperatures to the transformer. For this reason, proper design is needed so that the inrush current is not too high. This study will analyze any parameters in the transformer that result in high inrush current values. The analysis begins with transformer modeling on ATP Draw software and continues with wavelet transformation analysis on MATLAB software. After being simulated and analyzed by wavelet transformation, it is found that the parameters that affect the value of the inrush current are the line impedance and the starting angle of the signal when energized. When the line impedance is getting smaller, the inrush current value that appears is getting bigger. And for the initial angle of the wave, when the angle is  $0^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $360^\circ$ , and their multiples will be the minimum value. Thus, the effective system design can be adjusted by combining the magnitude of the parameters by considering their effect on the inrush current, namely by maximizing the line impedance and shifting the starting angle to  $0^\circ$  or  $180^\circ$  or multiples thereof.*

**Keywords** : *Inrush current, wavelet, power transformer*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT dimana atas segala rahmat dan hidayat-Nya sehingga tugas akhir dapat terselesaikan. Shalawat serta salam tak lupa senantiasa tercurah kepada baginda kita Nabi Muhammad SAW.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan jenjang Sarjana pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, dengan judul:

### **STUDI KARAKTERISTIK DAMPAK PARAMETER SISTEM TERHADAP INRUSH CURRENT BERBASIS TRANSFORMASI WAVELET**

Tak lupa pula penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya
2. Mama Dyah Setyorini, Papa Suko Hadiwiyono, Uti Soesetijati, Mbak Zalza Lola R, Mas Gerry Eka Y, Adik Ayesha Verna P, dan Adik Kalila Zahia M yang selalu mendukung saya hingga saat ini
3. Bapak Dr. I Gusti Ngurah Satriyadi Hernanda, S.T., M.T. dan Bapak Dimas Anton Asfani, S.T., M.T., Ph.D. yang telah membimbing, membantu, serta memberikan ilmunya selama proses penyusunan tugas akhir ini.
4. Seluruh dosen dan karyawan Departemen Teknik Elektro ITS yang telah memberikan banyak ilmunya serta menciptakan suasana belajar yang nyaman.
5. Siska Brilliant Ramadhanty yang banyak membantu saya selama proses penyelesaian buku ini.
6. Teman-Teman seperjuangan angkatan e-57.

Penulis telah berusaha maksimal dalam penyusunan tugas akhir ini. Namun tetap besar harapan penulis untuk menerima kritik dan saran untuk perbaikan dan pengembangan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembacanya.

Surabaya, Januari 2022

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	1
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Metodologi Penelitian .....	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
1.7 Relevansi .....	3
<b>BAB II INRUSH CURRENT PADA TRANSFORMATOR DAYA DAN TRANSFORMASI WAVELET</b> .....	<b>5</b>
2.1 Transformator Daya .....	5
2.2 <i>Inrush Current</i> pada Transformator Daya.....	6
2.2.1 Proses Terjadinya <i>Inrush Current</i> .....	6
2.2.2 Nilai <i>Inrush Current</i> .....	8
2.2.3 Faktor-faktor yang Memengaruhi <i>Inrush Current</i> .....	9
2.2.4 Efek yang Ditimbulkan <i>Inrush Current</i> .....	10
2.3 Transformasi <i>Wavelet</i> .....	11
<b>BAB III PEMODELAN TRANSFORMATOR DAYA 150 kV ....</b>	<b>13</b>
3.1 Profil Transformator Daya 150 kV [9].....	13
3.2 Gardu Induk Kenjeran .....	14
3.3 Pemodelan Menggunakan ATP Draw .....	14
3.3.1 Pemodelan Sumber Tegangan .....	15
3.3.2 Pemodelan Saluran Antara Sumber Tegangan dan <i>Circuit Breaker</i> .....	15
3.3.3 Pemodelan <i>Circuit Breaker</i> .....	15
3.3.4 Pemodelan Transformator Daya [9] .....	15
3.3.5 Simulasi Gardu Induk dan <i>Inrush Current</i> .....	16
3.4 Pemodelan Transformasi <i>Wavelet</i> Menggunakan MATLAB .....	17
3.5 Metodologi Simulasi .....	17
<b>BAB IV ANALISIS HASIL SIMULASI DAN DESAIN</b>	

	<b>TRANSFORMATOR EFEKTIF TERHADAP INRUSH CURRENT BERBASIS WAVELET .....</b>	<b>19</b>
4.1	Analisis Hasil Simulasi .....	19
4.1.1	Analisis Simulasi <i>Inrush Current</i> .....	19
4.1.2	Analisis Simulasi Transformasi <i>Wavelet</i> .....	22
4.2	Desain Transformator Efektif Terhadap <i>Inrush Current</i> Berbasis <i>Wavelet</i> .....	25
	<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>27</b>
5.1	Kesimpulan .....	27
5.2	Saran .....	27
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>29</b>
	<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>31</b>
	<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>39</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Konstruksi Transformator Daya .....	5
Gambar 2. 2 Konstruksi Inti Transformator .....	5
Gambar 3. 1 Transformator Daya 150 kV di Gardu Induk Kenjeran .....	13
Gambar 3. 2 Single Line Diagram pada Salah Satu Transformator Daya .....	14
Gambar 3. 3 Kurva Magnetisasi Inti Besi Transformator Daya .....	16
Gambar 3. 4 Simulasi Gardu Induk .....	16
Gambar 3. 5 Diagram Alir Simulasi .....	18
Gambar 4. 1 Hasil Simulasi Inrush Current Impedansi Saluran $0,5\Omega$ .....	20
Gambar 4. 2 Grafik Pengaruh Impedansi Saluran Terhadap Inrush Current .....	20
Gambar 4. 3 Hasil Simulasi Inrush Current pada Sudut Mula $0^\circ$ .....	21
Gambar 4. 4 Grafik Pengaruh Sudut Mula Terhadap Inrush Current .....	22
Gambar 4. 5 Hasil Simulasi Transformasi Wavelet .....	23
Gambar 4. 6 Bentuk Details 1 dari Wavelet .....	23
Gambar 4. 7 Grafik Pengaruh Impedansi Saluran Terhadap Energi Wavelet .....	24
Gambar 4. 8 Hasil Transformasi Wavelet .....	24
Gambar 4. 9 Grafik Pengaruh Pergeseran Sudut Fasa Terhadap Energi Wavelet .....	25

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Data Nameplate Transformator .....	15
Tabel 4. 1 Pengaruh Parameter Terhadap Inrush Current Berbasis Wavelet .....	25

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Transformator daya merupakan salah satu komponen utama pada proses pembangkitan, transmisi, dan distribusi tenaga listrik. Sedangkan transformator daya terkadang mengalami gangguan akibat fenomena-fenomena transien dari sistem tenaga listrik. Oleh karena itu, pengoperasian dari proses pembangkitan hingga distribusi haruslah andal dan sebisa mungkin tidak mengalami gangguan.

Gangguan yang dapat terjadi pada transformator daya salah satunya adalah munculnya *inrush current*. Hal ini terjadi ketika transformator daya diberi tenaga untuk pertama kalinya atau disebut dengan *energizing*. Fenomena ini sangat merugikan karena dapat memunculkan arus *starting* yang tinggi, distorsi tegangan, dan *sympathetic inrush current* serta mengurangi umur transformator daya [1].

Untuk menghindari kerusakan yang disebabkan oleh *inrush current*, maka perlu diketahui desain transformator daya yang efektif mengurangi dampak *inrush current*. Parameter yang memengaruhi besar dari *inrush current* adalah pergeseran sudut fasa dari tegangan, fluks sisa pada inti, jenis beban, ukuran transformator, dan impedansi sumber [1].

Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi dari studi kasus *inrush current* beserta pengaruh perubahan parameternya sehingga dapat dianalisis pengaruh-pengaruh yang menyebabkan berubahnya besar dari *inrush current*. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak ATP Draw untuk simulasi studi kasus dan MATLAB untuk analisis hasil simulasi studi kasus.

### 1.2 Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh perubahan parameter sistem terhadap besar *inrush current*.
2. Bagaimana desain sistem yang efektif dalam mengurangi dampak *inrush current*.

### 1.3 Tujuan

Pada penelitian ini memiliki beberapa tujuan, yaitu:

1. Mengetahui pengaruh perubahan parameter sistem terhadap besar *inrush current*.
2. Mengetahui desain sistem yang efektif dalam mengurangi dampak *inrush current*

### 1.4 Batasan Masalah

Untuk memperjelas pembahasan dalam Tugas Akhir ini, maka perlu adanya Batasan masalah, yaitu:

1. Pemodelan dan simulasi menggunakan transformator daya 150/20 kV dengan kapasitas 50 MVA
2. Hasil analisis disimpulkan berdasarkan data *nameplate* transformator dan didukung hasil simulasi serta teori penunjang.

### 1.5 Metodologi Penelitian

Proses pengerjaan penelitian ini memiliki beberapa tahapan yang dilakukan, yaitu:

1. Studi Literatur  
Dimulai dengan studi literatur mengenai transformator daya, *inrush current*, dan transformasi *wavelet*. Selain itu dipelajari bagaimana cara memodelkan setiap komponen yang ada pada perangkat lunak.
2. Pengumpulan Data  
Data yang dibutuhkan yaitu *single line diagram* dari gardu induk tegangan tinggi 150 kV, *nameplate* dan *report test* transformator daya.
3. Pemodelan dan Simulasi  
Pada tahap ini dilakukan pemodelan sistem dengan data *single line diagram* dari gardu induk tegangan tinggi dan simulasi menggunakan perangkat lunak ATP Draw. Simulasi menggambarkan terjadinya *inrush current* pada transformator daya. Kemudian hasil simulasi pada ATP Draw disimulasikan pada perangkat lunak MATLAB.
4. Analisis Data  
Dari hasil simulasi, dilakukan analisis bentuk dan besaran *inrush current* yang terjadi pada terminal transformator sehingga diketahui bagaimana dampak perubahan parameter

terhadap besar *inrush current*.

#### 5. Kesimpulan dan Saran

Dari hasil analisis yang telah disimulasikan, selanjutnya penulis dapat mengambil kesimpulan dan saran.

### 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada tugas akhir dibagi menjadi lima bab dengan uraian sebagai berikut:

#### Bab I: Pendahuluan

Bab ini menguraikan tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, dan relevansi.

#### Bab II: Transformator, *Inrush Current* Pada Transformator, dan Transformasi *Wavelet*

Bab ini menguraikan tentang dasar teori yang menunjang penyusunan tugas akhir ini.

#### Bab III: Pemodelan Gardu Induk 150 kV Dan Perubahan Parameter Sistem

Bab ini menguraikan bagaimana memodelkan gardu induk 150 kV dan perubahan parameter transformator daya yang memengaruhi besar *inrush current*.

#### Bab IV: Hasil Simulasi dan Analisis Dampak Perubahan Parameter Sistem

Bab ini menguraikan hasil simulasi bagaimana bentuk dan besaran *inrush current* yang terjadi serta bagaimana dampak perubahan parameter transformator daya.

#### Bab V: Penutup

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari penelitian yang telah dilakukan.

### 1.7 Relevansi

Hasil dari penelitian diharapkan dapat memberikan manfaat, yaitu:

1. Diperoleh bentuk dan besaran *inrush current* pada jaringan dengan melakukan pemodelan dan simulasi.
2. Diperoleh desain transformator daya yang efektif dalam mengurangi dampak *inrush current*.
3. Dapat memberikan manfaat dan bahan pembelajaran mengenai

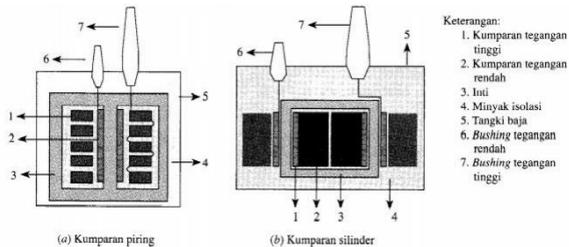
- inrush current* bagi mahasiswa lain.
4. Dapat menambah ilmu pada bidang *inrush current* bagi penulis.

## BAB II

### INRUSH CURRENT PADA TRANSFORMATOR DAYA DAN TRANSFORMASI WAVELET

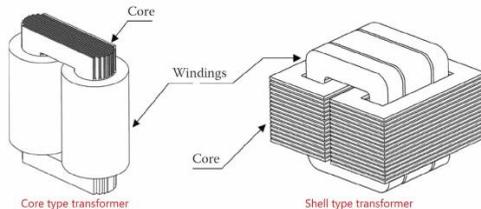
#### 2.1 Transformator Daya

Transformator daya adalah sebuah peralatan listrik yang mampu mengubah suatu tingkat tegangan tertentu ke tingkat tegangan yang lain [2]. Sebuah transformator tersusun dari dua atau lebih belitan dan memiliki inti yang terbuat dari bahan feromagnetik. Belitan pada transformator umumnya tersambung dengan sumber bolak-balik pada sisi primer dan dengan beban pada sisi sekundernya.



Gambar 2. 1 Konstruksi Transformator Daya

Sebuah transformator daya dapat disusun dengan salah satu dari dua tipe inti, yaitu tipe inti (*core type*) dan tipe cangkang (*shell type*). Selain itu berdasarkan letaknya, transformator daya dibagi menjadi tiga, yaitu *unit transformer*, *substation transformer*, dan *distribution transformer*.



Gambar 2. 2 Konstruksi Inti Transformator

*Unit transformer* adalah sebuah transformator yang

terhubung dengan output generator dan digunakan untuk menaikkan tingkat tegangan hingga tegangan transmisi. *Substation transformer* adalah sebuah transformator yang terhubung diujung saluran transmisi dan digunakan untuk menurunkan tingkat tegangan transmisi ke tegangan distribusi. Sedangkan *distribution transformer* adalah transformator yang menghubungkan saluran distribusi dengan pengguna dan digunakan untuk menurunkan tegangan agar dapat digunakan oleh pengguna listrik [3].

Prinsip kerja transformator adalah sebagai berikut. Ketika belitan primer dihubungkan ke sumber tegangan bolak-balik dan belitan sekunder dalam kondisi tanpa beban, arus yang disebut arus beban nol mengalir melalui belitan primer. Arus ini menciptakan fluks magnet bolak-balik di inti. Fluks magnet bolak-balik ini dikelilingi oleh kumparan primer dan sekunder, sehingga gaya gerak listrik dihasilkan di kedua kumparan.

Ketika beban diterapkan pada kumparan sekunder, arus sekunder mengalir dalam kumparan. Arus sekunder menginduksi fluks magnet di inti transformator yang berlawanan dengan yang dihasilkan pada kumparan primer. Artinya, arus sekunder menyebabkan demagnetisasi inti transformator. Untuk mengimbangi ini, arus pada belitan primer harus ditingkatkan.

## **2.2 *Inrush Current* pada Transformator Daya**

Ketika transformator dihubungkan dengan sumber tegangan AC untuk pertama kalinya, pada mulanya arus yang muncul akan melebihi arus normal saat beban penuh, arus tersebut disebut *inrush current*. Lama munculnya *inrush current* menurut penelitian adalah 5-60 siklus. Namun ada batas toleransi dari besarnya *inrush current* menurut standar ANSI, NEMA, dan standar dunia industri. Berdasarkan standar NEMA besar nilai *inrush current* adalah  $10 \times I_n$ , untuk standar dunia industry adalah  $12 \times I_n$  selama 0.1 detik, sedangkan untuk standar ANSI memiliki dua batas yaitu  $25 \times I_n$  selama 0,01 detik dan  $12 \times I_n$  selama 0,1 detik. Dimana nilai  $I_n$  merupakan nilai arus nominal pada saat beban penuh pada sisi yang terhubung oleh sumber tegangan [4].

### **2.2.1 Proses Terjadinya *Inrush Current***

Jika kumparan primer transformator terhubung dengan sumber tegangan AC secara tiba-tiba saat gelombang tegangannya

berada dipuncak positifnya. Pada kondisi ini, agar transformator mampu menghasilkan drop tegangan lawan untuk mengimbangi tegangan sumber, maka fluks magnetik meningkat dengan cepat. Efek dari meningkatnya fluks magnetik dengan cepat adalah arus belitan naik dengan cepat.

Dalam kondisi lain, yaitu ketika belitan primer transformator dihubungkan ke sumber tegangan AC dengan bentuk gelombang berada di titik nol. Kondisi ini ditunjukkan ketika bentuk gelombang tegangan selama operasi kontinu transformator tepat nol, yaitu ketika fluks magnet dan arus belitan memiliki puncak negatif. Dalam hal ini, laju perubahan fluks magnet sama dengan nol ( $d\Phi / dt = 0$  dan  $dI / dt = 0$ ).

Ketika gelombang tegangan menuju nilai puncak positif, gelombang fluks dan arus akan naik ke nilai kecepatan perubahan fluks maksimum positif, dan kemudian menuju nilai maksimum positif. Ketika gelombang tegangan ke nilai nol. Arus magnetisasi pada transformator ideal akan naik sekitar dua kali arus normal. Hal ini bertujuan untuk membangkitkan mmf yang diperlukan untuk menciptakan fluks yang lebih besar dari normal. Akan tetapi, batas antara puncak fluks normal dan batas saturasi pada sebagian besar transformator masih kurang. Dampak yang terjadi adalah inti transformator akan mencapai kondisi saturasi pada setengah *cycle* pertama. Untuk menghasilkan fluks magnetik selama saturasi, jumlah mmf yang tidak proporsional diperlukan. Hal ini membuat arus pada kumparan yang membangkitkan mmf akan naik melebihi dua kali puncak normalnya.

Karena sifat bahan inti dari bahan magnetik, maka saat diputuskan dari sumber tegangan AC akan meninggalkan sejumlah fluks. Banyaknya fluks sisa berkisar antara 50% hingga 90% dari nilai maksimum fluks saat operasi, dan besarnya fluks sisa dipengaruhi oleh jenis bahan inti yang digunakan. Ketika dihubungkan kembali dengan sumber tegangan AC maka fluks sisa yang sebelumnya sudah ada pada inti akan digunakan. Sehingga untuk mempertahankan nilai fluks pada ini, transformator dapat menarik arus yang nilainya lebih besar dari arus beban penuh.

Berdasarkan desain, besar magnitudo arus inrush dapat mencapai 3,5 – 40 kali dari nilai arus saat beban penuh. Gelombang arus inrush mirip seperti gelombang sinusoida tetapi sebagian besar condong ke arah negatif atau positif [5].

### 2.2.2 Nilai Inrush Current

Jika  $r_p$  dan  $L_p$  merepresentasikan resistansi dan reaktansi pada belitan primer,  $L_m$  menggambarkan induktansi nonlinier dari inti besi sebagai fungsi dari arus magnetisasi. Kemudian  $r_{sp}$  dan  $L_{sp}$  mewakili resistansi dan reaktansi sisi sekunder ditinjau dari sisi primer transformator,  $V_p$  dan  $V_s$  merepresentasikan tegangan fasa ke tanah pada sisi primer dan sisi sekunder. Sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut [6].

$$V_p = V_m \sin(\omega t + \theta_0) = i_\phi r_p + N_1 \frac{d\Phi_L}{dt} \quad (2.1)$$

Dimana:

- $V_p$  : tegangan fasa ke tanah pada sisi primer
- $V_m$  : tegangan maksimal
- $r_p$  : resistansi primer
- $i_\phi$  : arus magnetisasi
- $\Phi_L$  : jumlah fluks dalam inti besi
- $N_1$  : jumlah lilitan pada sisi primer
- $\theta_0$  : beda fasa pada sisi primer ketika  $t = 0$

Oleh karena itu didapatkan:

$$V_m \sin(\omega t + \theta_0) = N_1 \Phi_L \frac{r_p}{L_1} + N_1 \frac{d\Phi_L}{dt} \quad (2.2)$$

Dimana:

- $V_m$  : tegangan maksimal
- $N_1$  : jumlah lilitan pada sisi primer
- $\Phi_L$  : jumlah fluks dalam inti besi
- $r_p$  : resistansi primer
- $L_1$  : induktansi primer
- $\theta_0$  : beda fasa pada sisi primer ketika  $t = 0$

Setelah menyelesaikan persamaan 2.2, maka untuk  $\Phi_L$  didapatkan persamaan 2.3 :

$$\Phi_t = (\Phi_m \cos \theta_0 \pm \Phi_r) e^{\frac{r_p}{L_1} t} - \Phi_m \cos(\omega t + \theta_0) \quad (2.3)$$

Dimana:

- $\Phi_m$  : fluks maksimum
- $\Phi_r$  : fluks sisa
- $\Phi_t$  : fluks transien

- $r_p$  : resistansi primer
- $L_1$  : induktansi primer
- $\theta_0$  : beda fasa pada sisi primer ketika  $t = 0$

Dengan  $\theta_0 = \pi/2$  pada persamaan 2.3, didapatkan:

$$\Phi_t = \pm \Phi_r e^{\frac{r_p t}{L_1}} + \Phi_m \sin \omega t \quad (2.4)$$

Dimana:

- $\Phi_m$  : fluks maksimum
- $\Phi_r$  : fluks sisa
- $\Phi_t$  : fluks transien
- $r_p$  : resistansi primer
- $L_1$  : induktansi primer

Pada kasus ini, keberadaan fluks transient dengan magnitudo fluks sisa  $\Phi_r$  dan time constant  $\tau = L_1/r_p$ , nilai maksimum dari arus magnetisasi didapatkan sebagai berikut:

$$i_{\Phi_m} = \frac{2\Phi_m + \Phi_r - 2.22A_i}{\mu_0 A_t} \quad (2.5)$$

Dimana:

- $i_{\Phi_m}$  : arus magnetisasi maksimum
- $\Phi_m$  : fluks maksimum
- $\Phi_r$  : fluks sisa
- $A_i$  : luas inti
- $A_t$  : luas inti dan belitan
- $\mu_0$  : permeabilitas udara

### 2.2.3 Faktor-faktor yang Memengaruhi *Inrush Current*

Salah satu faktor yang memengaruhi arus inrush adalah posisi gelombang tegangan. Nilai arus inrush ditentukan oleh posisi gelombang tegangan di permukaan sumber tegangan bolak balik yang mana dihubungkan dengan transformator. Apabila pada saat transformator ter-energize, kondisi gelombang tegangan tepat pada nilai nol maka arus inrush akan mencapai nilai paling tinggi diantara kemungkinan kondisi lainnya [7].

Faktor lain yang dapat memengaruhi arus inrush antara lain daya transformator dan kapasitas sumber tegangan bolak balik. Semakin besar kapasitas daya transformator, maka semakin kecil

perbandingan arus normal dan arus inrush. Durasi dari arus inrush pun akan semakin besar untuk transformator dengan kapasitas daya yang lebih besar. Lalu, semakin besar kapasitas sumber tegangan, maka semakin besar pula nilai dari arus inrush [2].

Impedansi dalam arus inrush terdiri dari saluran transmisi, transformator, serta impedansi internal sumber tegangan. Apabila impedansi rangkaian semakin kecil, maka nilai arus inrush akan semakin besar. Selain itu fluks sisa pada inti transformator juga menentukan nilai arus inrush. Apabila fluks sisa pada inti semakin besar serta polaritasnya sama dengan posisi gelombang tegangan di permukaan sumber tegangan yang terhubung dengan transformator, maka arus inrush akan semakin besar. Namun, bila polaritas dari fluks sisa berlawanan dengan posisi gelombang tegangan sumber, maka fluks magnetik yang ditimbulkan akan berkurang oleh fluks sisa [2].

#### **2.2.4 Efek yang Ditimbulkan *Inrush Current***

Arus inrush yang dihasilkan pada transformator daya dapat menimbulkan beberapa dampak, antara lain:

- a. Besar nilai *inrush current* mungkin saja mendekati nilai arus hubung singkat. Sehingga ketika sistem proteksi tidak dapat mengantisipasi kondisi tersebut, maka *inrush current* akan dianggap sebagai arus hubung singkat dan akan membuat rangkaian trip. Oleh sebab itu, perlu diperhatikan dalam pengaturan sistem proteksi [6].
- b. Transformator akan mengalami tekanan suhu, mekanis dan elektrik yang cukup tinggi ketika sering dilewati *inrush current*. Ketika hal tersebut tidak segera diatasi maka isolasi belitan akan mengalami penurunan kualitas. Akibatnya umur transformator akan memendek [2].
- c. Ketika transformator telah berbeban dan *inrush current* timbul ketika ada beban tersebut, *inrush current* dapat membuat beban mengalami gangguan. Karena *inrush current* memiliki harmonisa yang tinggi. Dampak yang dapat ditimbulkan dengan adanya harmonisa ialah timbulnya distorsi tegangan dan resonansi [2].

### 2.3 Transformasi *Wavelet*

Transformasi *Wavelet* adalah alternatif dari transformasi matematika yang lahir sebelumnya seperti *Fourier Transform* dan *Short-Time Fourier Transform* [8]. Transformasi *Wavelet* diperkenalkan oleh Morlet dan Grossman pada tahun 1980-an sebagai fungsi matematis untuk merepresentasikan data atau fungsi yang digunakan untuk menangani masalah resolusi. *Wavelet* merupakan gelombang singkat (*small wave*) yang energinya terkonsentrasi dalam interval waktu untuk memberikan kemampuan analisis transien, ketidakstasioneran, atau fenomena berubah terhadap waktu (*time varying*). Ciri-ciri dari *Wavelet* antara lain adalah beresolusi singkat, translasi (pergeseran), dan dilatasi (skala).

Bentuk gelombang sinus dan skala *Wavelet* (dilatasi) dalam sebuah *Wavelet* berarti pelebaran atau penyempitan *Wavelet*. Hubungan antara skala *Wavelet* dengan frekuensi yang dihasilkan oleh analisis *Wavelet* adalah sebagai berikut nilai skala kecil (*compressed Wavelet*) menyebabkan perubahan koefisien yang menyatakan frekuensi tinggi dan nilai skala besar (*stretched Wavelet*) menyebabkan perubahan koefisien yang menyatakan frekuensi rendah.

Tahap pertama analisis *Wavelet* adalah menentukan tipe *Wavelet* atau *mother Wavelet* yang akan digunakan. Hal ini perlu dilakukan karena fungsi *Wavelet* sangat bervariasi. Beberapa contoh *mother Wavelet* adalah *Haar*, *Daubechies*, *Biorthogonal*, *Coiflets*, *Synlets*, *Morlet*, *Mexican Hat*, dan *Meyer*. Setelah pemilihan *mother Wavelet*, tahap selanjutnya adalah membentuk basis *Wavelet* yang akan digunakan untuk mentransformasikan sinyal.

Transformasi *Wavelet* memiliki kemampuan untuk menganalisis suatu data dalam domain waktu dan domain frekuensi secara simultan. Analisis data pada transformasi *Wavelet* dilakukan dengan mendekomposisikan suatu sinyal ke dalam komponen-komponen frekuensi yang berbeda-beda dan selanjutnya masing-masing komponen frekuensi tersebut dapat dianalisis sesuai dengan skala resolusinya atau level dekomposisinya. Hal ini seperti proses filtering, dimana sinyal dalam domain waktu dilewatkan ke dalam *High Pass Filter* dan *Low Pass Filter* untuk memisahkan komponen frekuensi tinggi dan frekuensi rendah.

*Wavelet* merupakan sebuah fungsi variable *real*  $t$ , diberi notasi  $\psi_t$  dalam ruang fungsi  $L^2(\mathbb{R})$ . fungsi ini dihasilkan oleh

parameter dilatasi dan translasi, yang dinyatakan dalam persamaan:

$$\psi_{a,b}(t) = a^{-1/2}\psi\frac{t-b}{a}; a > 0, b \in R \quad (2.6)$$

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{j/2}\psi(2^j t - k); j, k \in R \quad (2.7)$$

dimana:

- a : parameter dilatasi
- b : parameter translasi
- R : mengkondisikan nilai a dan b dalam nilai integer
- 2j : parameter dilatasi (parameter frekuensi atau skala)
- K : parameter waktu atau lokasi ruang
- Z : mengkondisikan nilai j dan k dalam nilai integer

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(x)dx = 0 \quad (2.8)$$

Kedua fungsi dapat dipandang sebagai *mother Wavelet*, dan harus memenuhi kondisi persamaan kedua, yang menjamin terpenuhinya sifat ortogonalitas vector. Pada dasarnya, transformasi *Wavelet* dapat dibedakan menjadi dua tipe berdasarkan nilai parameter translasi dan dilatasinya, yaitu *Continuous Wavelet Transform (CWT)* dan *Discrete Wavelet Transform (DWT)*.

Transformasi *Wavelet* kontinyu ditentukan oleh nilai parameter dilatasi (a) dan translasi (b) yang bervariasi secara kontinyu, dimana a, b ∈ R dan a ≠ 0. CWT menganalisis sinyal dengan perubahan skala pada *window* yang dianalisis, pergeseran *window* dalam waktu dan perkalian sinyal serta mengintegrasikan semuanya sepanjang waktu. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$CWT(a, b) = \int f(t)\psi_{a,b} * (t)dt \quad (2.9)$$

Transformasi *Wavelet* diskrit bertujuan untuk mengurangi redundansi yang terjadi pada transformasi *Wavelet* kontinyu dengan cara mengambil nilai diskrit dari parameter a dan b. Transformasi *Wavelet* diskrit menganalisis suatu sinyal dengan skala yang berbeda dan merepresentasikannya ke dalam skala waktu dengan menggunakan Teknik filtering, yakni menggunakan filter yang berbeda frekuensi *cut-off*-nya. DWT dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu DWT maju dan DWT balik.

## **BAB III**

### **PEMODELAN TRANSFORMATOR DAYA 150 kV**

#### **3.1 Profil Transformator Daya 150 kV [9]**

Transformator daya 150 kV yang digunakan adalah transformator yang ada di Gardu Induk Kenjeran. Transformator tersebut memiliki nilai parameter yang identik. Berikut adalah data *nameplate* transformator tersebut:

Merk	: ALSTOM
Tipe	: TTH
Nomor Seri	: 51146/004
Daya	: 50 MVA
Tahun Operasi	: 1998
Rating Tegangan	: 150 / 20 kV
Arus Output Nominal	: 192 / 1443 A
Impedansi	: 9,3%
Vektor Group	: YynO(d)
Jenis Pendingin	: ONAN / ONAF / OFAF



Gambar 3. 1 Transformator Daya 150 kV di Gardu Induk Kenjeran



Pemodelan mencakup komponen-komponen yang ada pada Gardu Induk Kenjeran beserta parameter-parameternya.

### 3.3.1 Pemodelan Sumber Tegangan

Besar nilai sumber tegangan 3 fasa yang digunakan pada pemodelan ini adalah tegangan *line-to-line* sebesar 150 kV dengan frekuensi 50 Hz.

### 3.3.2 Pemodelan Saluran Antara Sumber Tegangan dan *Circuit Breaker*

Pemodelan saluran menggunakan komponen RLC 3 fasa pada aplikasi ATP Draw. Untuk menentukan nilai impedansi menggunakan rumus  $P = V^2/Z$  dengan  $S = V \times I$  dan  $P = V \times I \times \cos\phi$ . Dari rumus tersebut dengan nilai  $S = 50$  MVA dan  $\cos\phi = 0,85$ , didapatkan nilai  $P$  sebesar 42,5 MVA dan nilai  $Z$  sebesar  $0,53\Omega$ .

### 3.3.3 Pemodelan *Circuit Breaker*

Data *circuit breaker* yang digunakan hanyalah data waktu *open* dan *close* dari *circuit breaker* itu sendiri. *Circuit breaker* yang digunakan dalam pemodelan ATPDraw adalah *switch time controlled three-phase*. Waktu *open* dan *close* dari *circuit breaker* diatur serempak pada semua fasa. Untuk waktu *close circuit breaker* adalah pada 0,01 detik.

### 3.3.4 Pemodelan Transformator Daya [9]

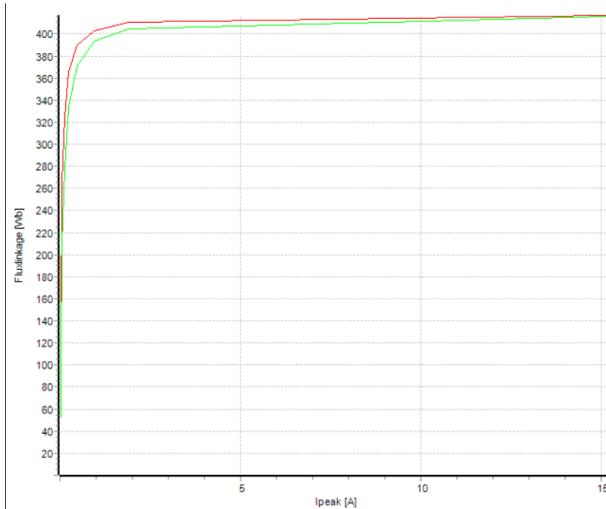
Transformator daya yang digunakan pada simulasi ini adalah jenis XFMR. Data parameter dari transformator yang digunakan dalam tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Data *Nameplate* Transformator

Primer	L-L Voltage (kV)	150
	Power (MVA)	50
Sekunder	L-L Voltage (kV)	20
	Power (MVA)	50

Tersier	L-L Voltage (kV)	10
	Power (MVA)	16

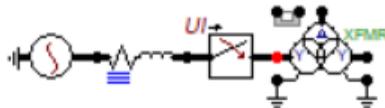
Inti besi yang digunakan pada pemodelan merupakan jenis *three-legged stacked* dengan kurva magnetisasi inti besi transformator daya dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Kurva Magnetisasi Inti Besi Transformator Daya

### 3.3.5 Simulasi Gardu Induk dan *Inrush Current*

Dari single line diagram yang telah ditampilkan dan komponen-komponen di dalam gardu induk yang telah dimodelkan maka disusun pada perangkat lunak ATP Draw sehingga tampak rangkaian total pada gambar 3.4.



Gambar 3. 4 Simulasi Gardu Induk

Untuk simulasi *inrush current*, nilai dari parameter

saluran dan sudut mula energize diubah-ubah untuk diperhatikan dampak perubahan parameternya.

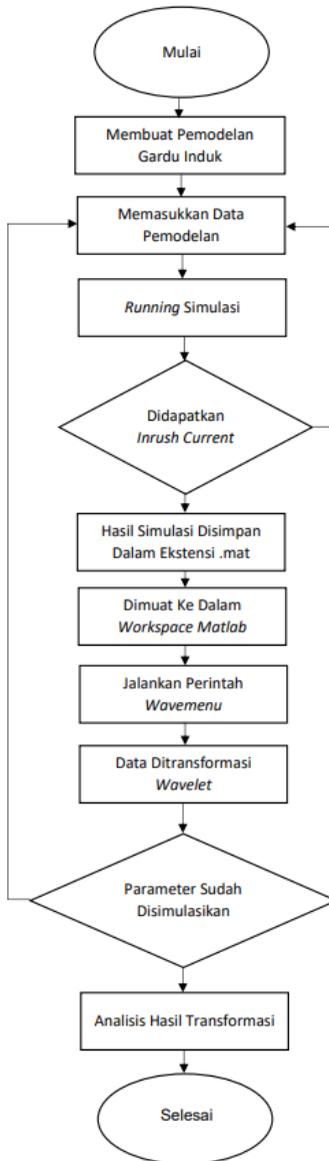
### **3.4 Pemodelan Transformasi *Wavelet* Menggunakan MATLAB**

MATLAB adalah platform pemrograman yang menggunakan bahasa berbasis matriks sehingga umumnya digunakan untuk menganalisis data, membuat algoritma, serta menciptakan pemodelan dan aplikasi. Secara umum MATLAB dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah *engineering*, mengolah masalah aljabar linear, analisis numerik, mengolah data riset, dan simulasi.

Transformasi *Wavelet* pada penelitian ini dimulai dengan mengekstrak data sinyal keluaran dari simulasi ATP Draw. Data dapat langsung dimuat ke dalam *workspace* MATLAB dengan menggunakan *function Load* ('*namafile.mat*'). Setelah itu masukkan *function wavemenu* pada *command window* MATLAB dan pilih mode *Wavelet 1-D*. Kemudian *load signal* dari data yang ada di *workspace*.

### **3.5 Metodologi Simulasi**

Diagram alir prosedur yang dilakukan untuk simulasi ditunjukkan pada gambar 3.5.



Gambar 3. 5 Diagram Alir Simulasi

## **BAB IV**

# **ANALISIS HASIL SIMULASI DAN DESAIN TRANSFORMATOR EFEKTIF TERHADAP INRUSH CURRENT BERBASIS WAVELET**

Pada bab ini, akan dibahas hasil simulasi *inrush current* dengan menggunakan metode yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, lalu dilakukan analisis dari besar dan bentuk *inrush current* yang terjadi apabila parameter transformator diubah dengan tujuan mengurangi dampak *inrush current*.

Simulasi berfokus pada besar dan bentuk *inrush current* yang terjadi pada transformator daya. Simulasi juga menggunakan transformasi *Wavelet* untuk memudahkan perbandingan.

### **4.1 Analisis Hasil Simulasi**

Simulasi yang dilakukan terdiri dari dua tahap yaitu dilakukan pada perangkat lunak ATP Draw dan MATLAB. Pada simulasi pertama yaitu memodelkan rangkaian gardu induk serta memunculkan *inrush current* dengan menggunakan perangkat lunak ATP Draw. Dilanjutkan pada simulasi kedua yaitu melakukan transformasi *Wavelet* pada sinyal hasil simulasi pertama dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB.

Berikut hasil simulasi *inrush current* dan transformasi *Wavelet* yang telah dilakukan.

#### **4.1.1 Analisis Simulasi *Inrush Current***

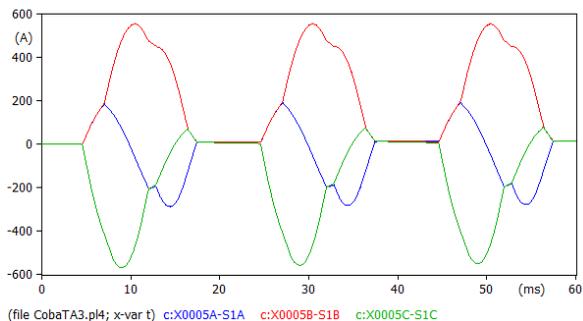
Setelah pemodelan gardu induk dilakukan, langkah selanjutnya adalah menjalankan simulasi untuk mendapatkan sinyal *inrush current*. Dilakukan perubahan pada parameter sesuai faktor-faktor yang memengaruhi besar *inrush current*. Parameter-parameter yang diubah adalah besarnya impedansi saluran antara sumber dan *circuit breaker* dan sudut mula *energize*.

Berikut adalah hasil simulasi *inrush current* ketika diubah parameternya.

##### **a. Simulasi Perubahan Impedansi Saluran Antara Sumber dan *Circuit Breaker***

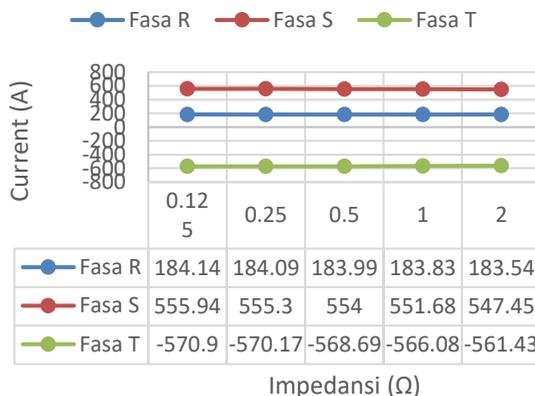
Impedansi saluran diubah sebanyak 4 kali dengan impedansi mulanya sebesar  $0,5\Omega$ . Besarnya impedansi diubah menjadi  $0,125\Omega$ ,  $0,25\Omega$ ,  $1\Omega$ , dan  $2\Omega$ . Sedangkan untuk besar parameter sumber, transformator, dan tanpa beban. Untuk simulasi ini dilakukan tanpa pembebanan dan dengan sudut mula sebesar  $18^0$ .

Hasil dari simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Hasil Simulasi *Inrush Current* Impedansi Saluran  $0,5\Omega$

Dari hasil simulasi, dapat dituliskan dalam gambar 4.2 bahwa semakin besar nilai resistansi yang diberikan maka besar dari *inrush current* akan mengecil. Sehingga kondisi tersebut dapat mengurangi dampak dari *inrush current* kepada transformator.

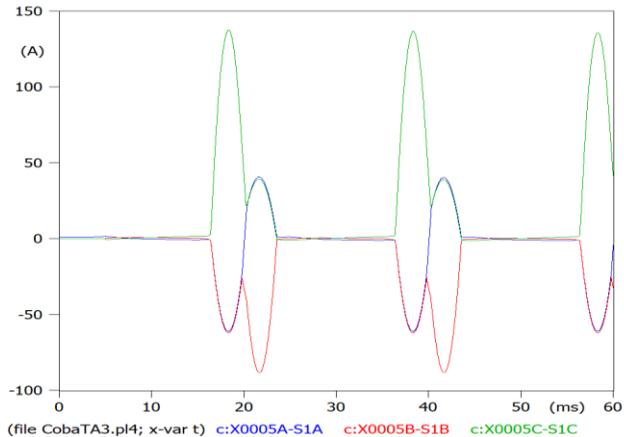


Gambar 4. 2 Grafik Pengaruh Impedansi Saluran Terhadap *Inrush Current*

### b. Simulasi Perubahan Derajat Mula *Energize*

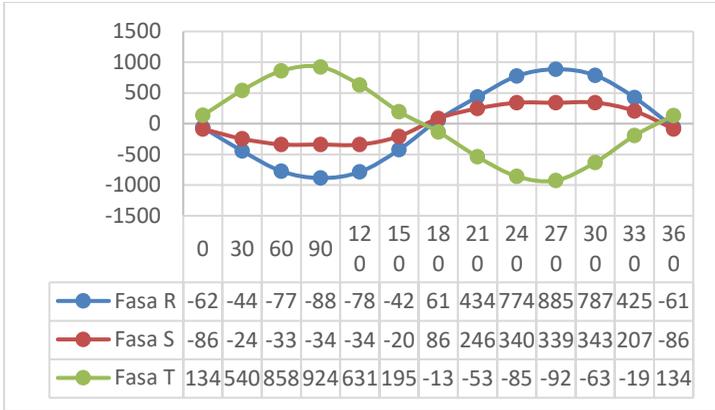
Salah satu faktor yang memengaruhi *inrush current* adalah besarnya derajat mula dari sumber tegangan. Besarnya derajat mula dimulai dari  $0^\circ$  hingga  $360^\circ$ , besarnya sudut fasa S dan T adalah  $\frac{1}{4}$  cycle lebih besar dari fasa R. Sedangkan untuk besar parameter sumber, transformator, dan tanpa beban bernilai tetap.

Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hasil Simulasi *Inrush Current* pada Sudut Mula  $0^\circ$

Dari hasil simulasi di atas, dapat dilihat ketika sudut mula  $0^\circ$  hingga sudut  $360^\circ$ , grafik inrush terus berubah. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik di bawah. Terlihat nilai akan minimum ketika sudut mula  $0^\circ$  dengan kelipatan  $180^\circ$ .



Gambar 4. 4 Grafik Pengaruh Sudut Mula Terhadap *Inrush Current*

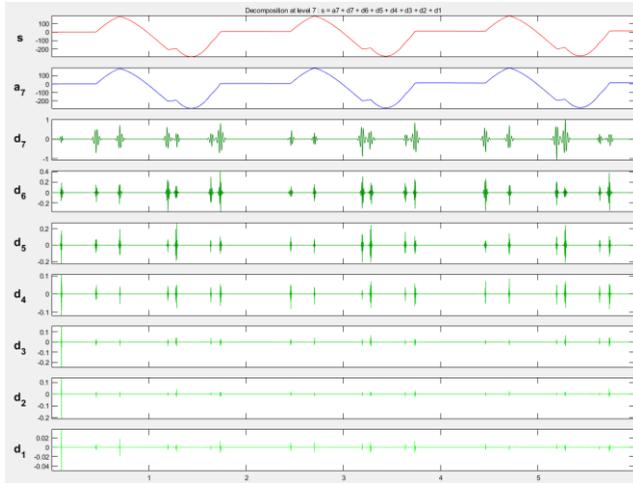
#### 4.1.2 Analisis Simulasi Transformasi Wavelet

Simulasi ini dijalankan dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB. Jenis *Wavelet* yang digunakan merupakan jenis *coiflet* tipe 5 dengan 7 tingkatan. Simulasi ini hanya mentransformasikan sinyal yang telah terbentuk pada simulasi sebelumnya sesuai dengan parameter yang sama. Hasil dari simulasi ini adalah untuk membandingkan besar nilai dari *inrush current* pada tiap perubahan parameter.

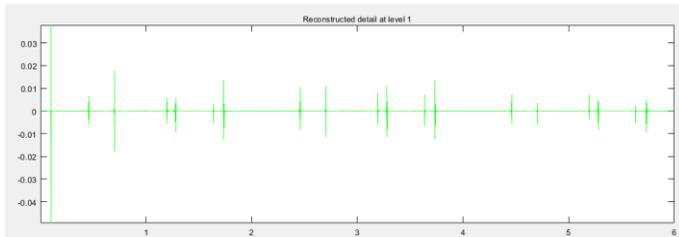
Berikut hasil simulasi transformasi *Wavelet*.

##### a. Perbandingan Perubahan Impedansi Saluran Antara Sumber dan *Circuit Breaker*

Hasil simulasi *inrush current* diimpor datanya dan kemudian ditransformasikan. Hasil transformasi untuk perubahan parameter ini dapat dilihat pada gambar 4.5.

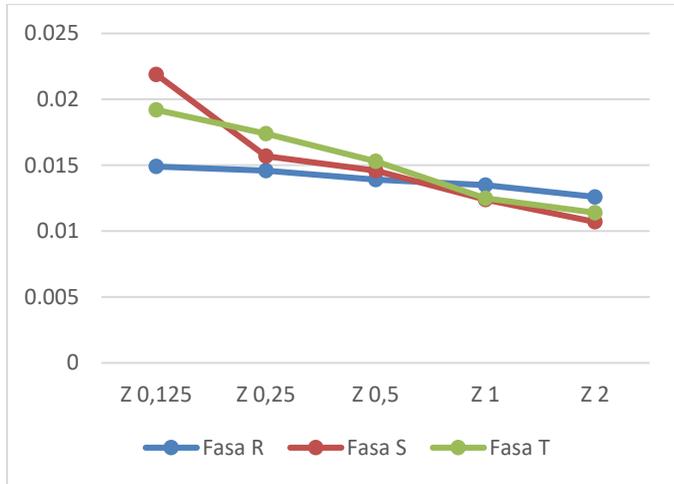


Gambar 4. 5 Hasil Simulasi Transformasi *Wavelet*



Gambar 4. 6 Bentuk *Details 1* dari *Wavelet*

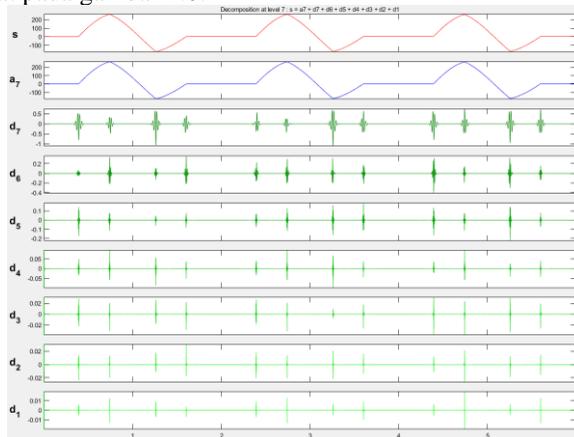
Dari hasil simulasi di atas, dapat dituliskan dalam grafik energi yang terbentuk pada *details 1* bahwa besar nilai *inrush current* akan semakin kecil ketika impedansinya semakin besar. Sehingga untuk mengurangi dampak negatif dari *inrush current* maka besar nilai impedansi harus bernilai besar ketika *inrush current* akan muncul. Data energi yang terbentuk dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4. 7 Grafik Pengaruh Impedansi Saluran Terhadap Energi Wavelet

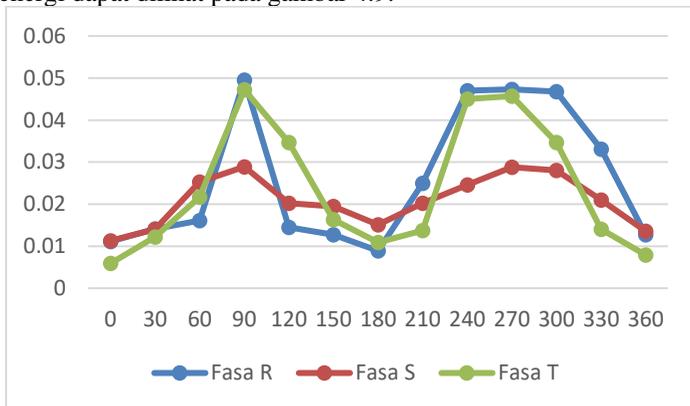
**b. Perbandingan Perubahan Derajat Mula *Energize***

Hasil simulasi *inrush current* diimpor datanya dan kemudian ditransformasikan. Hasil transformasi untuk perubahan parameter ini dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Hasil Transformasi Wavelet

Berdasarkan hasil simulasi di atas, dapat dituliskan dalam grafik energi yang terbentuk pada details 1 bahwa pada sudut mula  $0^\circ$  dengan kelipatan  $180^\circ$ , besar nilai *inrush current* mencapai nilai minimal. Sedangkan pada sudut  $90^\circ$  dengan kelipatan  $180^\circ$ , besar nilai *inrush current* mencapai maksimal. Sehingga untuk mengurangi dampak negatif *inrush current*, maka saat akan melakukan *energizing*, sudut mula dari transformator digeser pada sudut mula  $0^\circ$  atau kelipatan  $180^\circ$  dari  $0^\circ$ . Grafik energi dapat dilihat pada gambar 4.9.



Gambar 4. 9 Grafik Pengaruh Pergeseran Sudut Fasa Terhadap Energi Wavelet

## 4.2 Desain Sistem Efektif Terhadap *Inrush Current* Berbasis Wavelet

Berdasarkan hasil simulasi *inrush current* dan transformasi Wavelet, desain transformator yang efektif terhadap *inrush current* adalah transformator dengan penyesuaian parameter pada simulasi yang telah dilakukan sebelumnya. Parameter yang perlu diperhatikan adalah besar impedansi saluran, beban kapasitif dan induktif, serta sudut mula *energizing*.

Tabel 4. 1 Pengaruh Parameter Terhadap Inrush Current Berbasis Wavelet

No.	Parameter	Pengaruh Terhadap <i>Inrush Current</i>
1.	impedansi saluran	Semakin besar semakin efektif
2.	sudut mula <i>energizing</i>	Sudut mula $0^\circ$ serta dengan kelipatan $180^\circ$ semakin efektif

Berdasarkan Tabel 4.1, dapat diketahui bahwa semakin besar impedansi saluran maka dampak dan besar *inrush current* dapat diredam atau transformator semakin efektif. Parameter selanjutnya yaitu sudut mula dimana saat sudut mula berada di titik  $0^\circ$  serta dengan kelipatan  $180^\circ$  menunjukkan nilai *inrush current* yang semakin kecil atau transformator menjadi semakin efektif. Maka, desain transformator efektif dapat disesuaikan dengan cara mengkombinasikan besaran parameter-parameter dengan memperhatikan pengaruhnya terhadap *inrush current* seperti pada Tabel 4.1.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang dilakukan pada *inrush current* di Gardu Induk, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Faktor-faktor yang dapat memengaruhi besar nilai *inrush current* adalah besar impedansi saluran dan sudut mula dari sinyal.
2. *Wavelet* mampu mendeteksi adanya *inrush current* pada suatu sinyal dengan tepat.
3. Desain sistem yang efektif terhadap *inrush current* yaitu dengan memperbesar impedansi saluran dan menggeser sudut mula transformator ketika di-*energize* hingga  $0^\circ$  atau dengan kelipatan  $180^\circ$ .

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan hasil studi yang telah dilakukan berikut beberapa saran yang dapat penulis berikan:

1. Dibutuhkan studi lebih lanjut terkait besaran nilai parameter untuk transformator daya yang efektif terhadap *inrush current*.
2. Penggunaan perangkat lunak mempermudah penelitian *inrush current*, karena untuk penelitian secara langsung pada transformator tegangan tinggi akan terlalu berisiko.

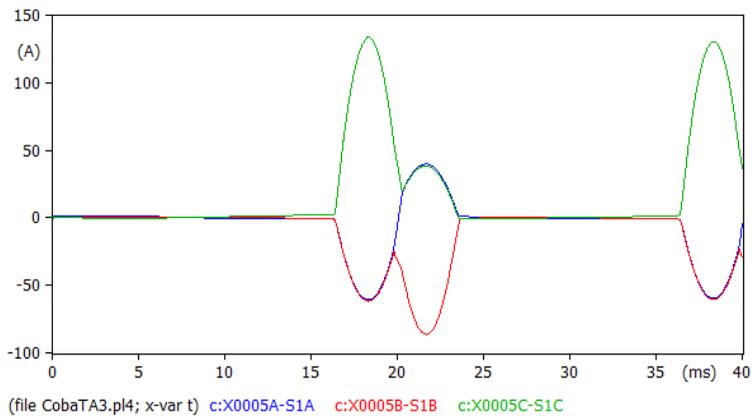
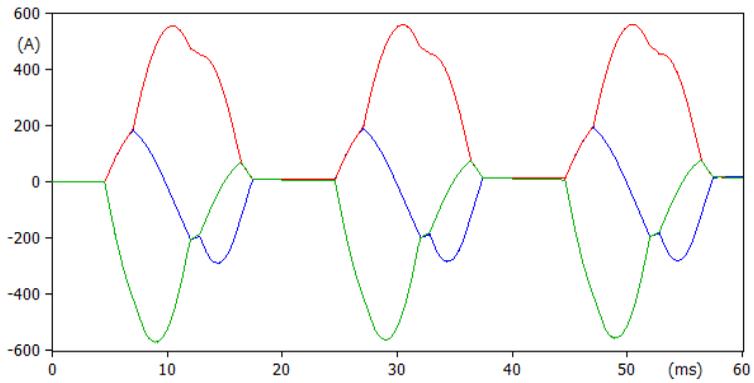
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

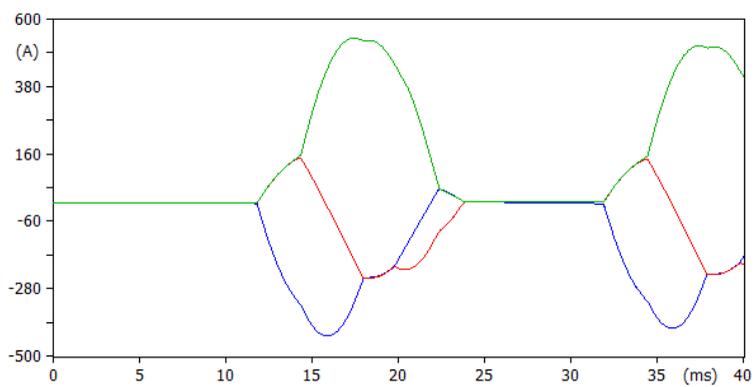
## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Priambodo, N.W, Harsono, B. B. S. D. A, Mangunkusumo, K. G. H, Munir, B. S. (2019). A Case Study of Transformer Inrush Current Analysis in Java-Bali Power System. 2019 5th International Conference on Science and Technology (ICST).
- [2] Tobing, B.L. (2012). Peralatan Tegangan Tinggi, cetakan kedua. Jakarta: Erlangga
- [3] Chapman, S.J. (1999). Electric Machinery Fundamentals. Third Edition Mc Graw Hill Companies.
- [4] C.E., Lin., C.L., Chen., Huang., and J.C., Yeh. 1993. "Investigation Of Magnetising Inrush Current in Transformers. Part II – Harmonic Analysis". IEEE Transaction on Power Delivery 8, 1:255-263.
- [5] Ir. Arif, M. (2018). Perhitungan dan Analisis Inrush Current pada Transformator Berbasis Parameter Transformator. Jurnal STT YUPPENDEK, 9(1), 67-74
- [6] Rahnavard, R., Vilazadeh, M., Sharifian, A.A.B, and Hosseini, S.H. Analytical Analysis of Transformer Inrush Current and Some New Techniques for Its Reduction.
- [7] Kuphaldt, Tony R. 2000-2002. Lesson in Electric Circuit.
- [8] Burrus, C.S., Gopinath, R., Guo, H. 2013. Wavelets and Wavelet Transforms
- [9] Prasetyo, R. 2015. Studi Pengurangan Arus Inrush Pada Transformator Daya Gardu Induk Kenjeran 150 KV Dengan Penambahan VCT-ICL. Institut Teknologi Sepuluh Nopember : Jurusan Teknik Elektro.

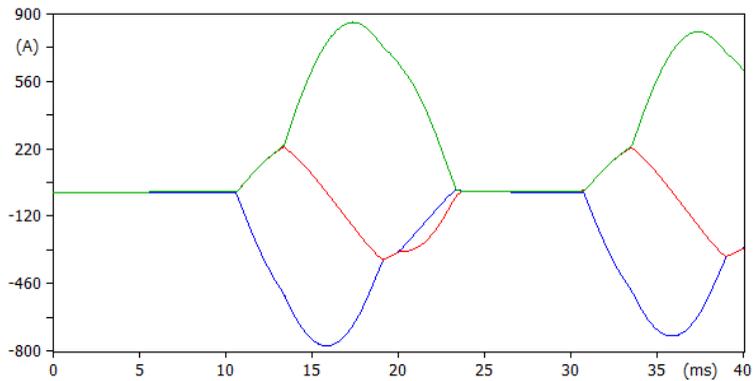
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN

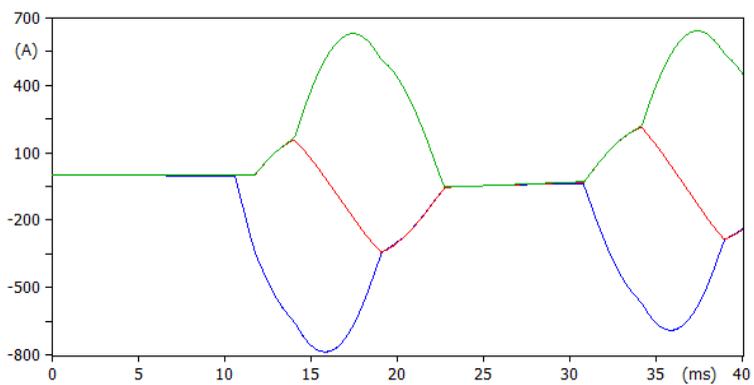
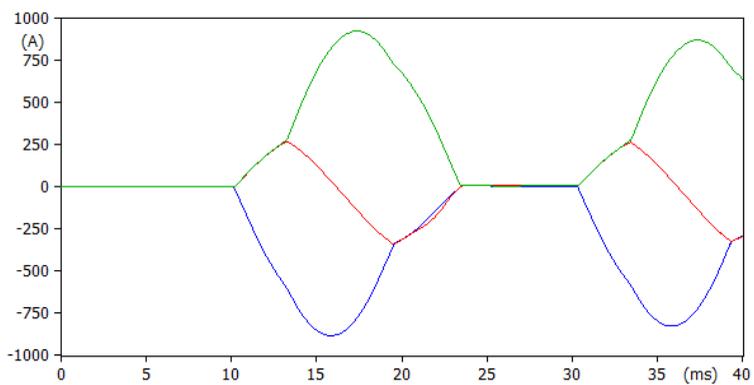


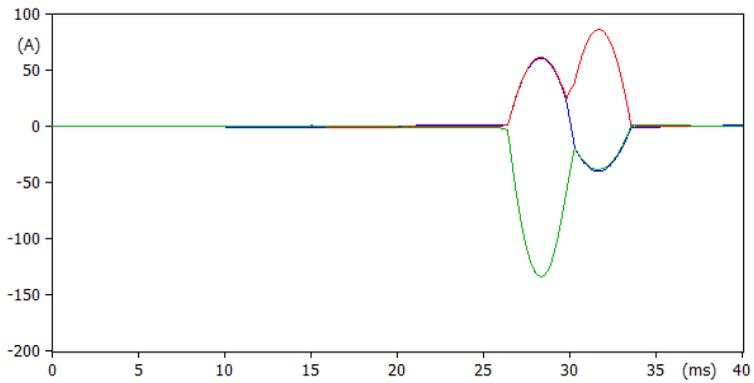
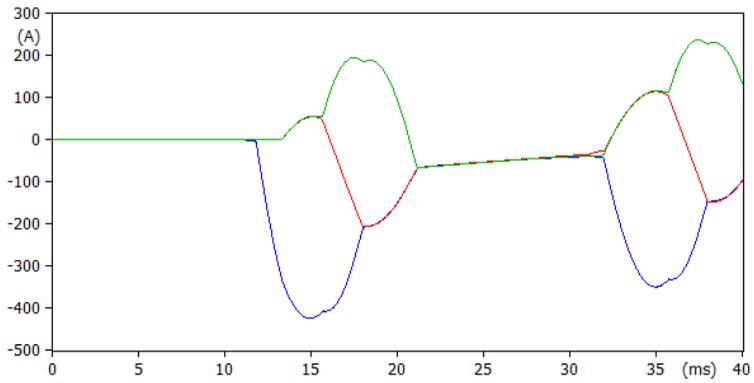


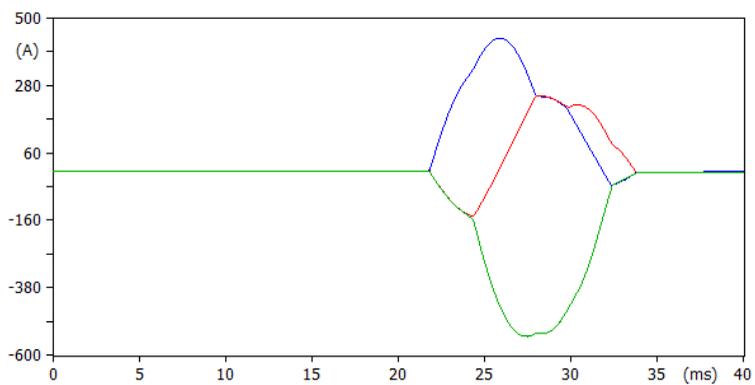
(file CobaTA3.pl4; x-var t) c:X0005A-S1A c:X0005B-S1B c:X0005C-S1C



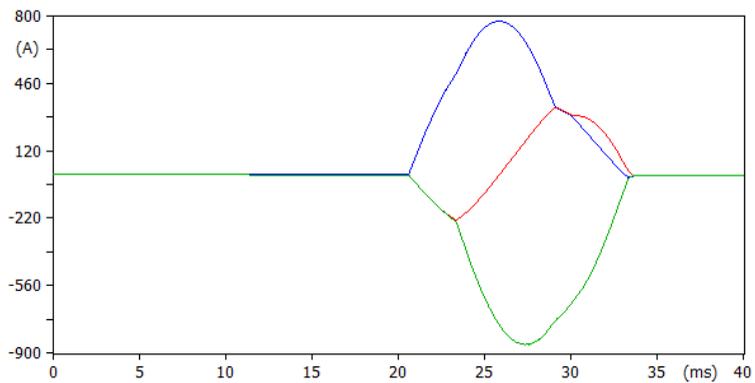
(file CobaTA3.pl4; x-var t) c:X0005A-S1A c:X0005B-S1B c:X0005C-S1C



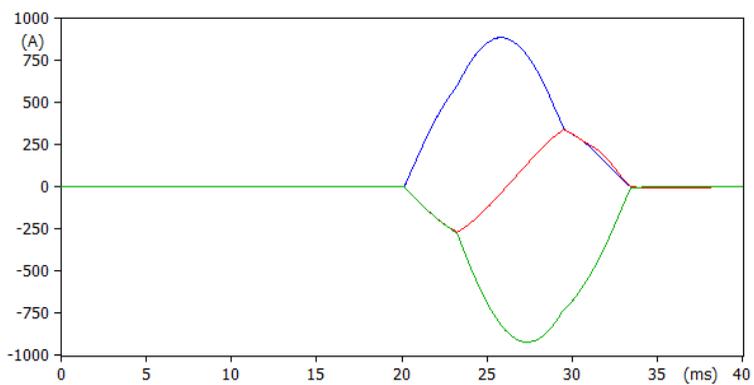




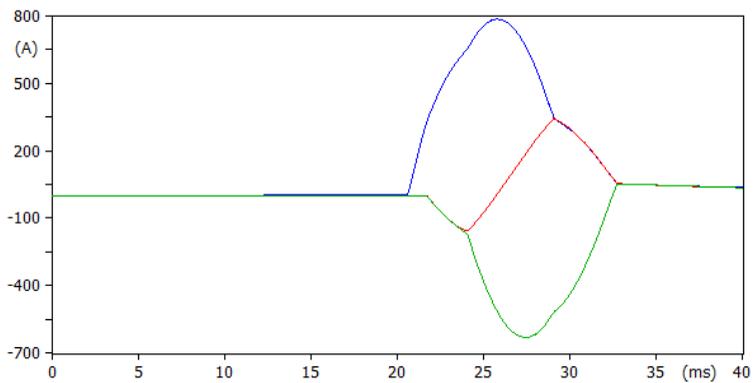
(file CobaTA3.pl4; x-var t) c:X0005A-S1A c:X0005B-S1B c:X0005C-S1C




(file CobaTA3.pl4; x-var t) c:X0005A-S1A c:X0005B-S1B c:X0005C-S1C




(file CobaTA3.pl4; x-var t) c:X0005A-S1A c:X0005B-S1B c:X0005C-S1C



(file CobaTA3.pl4; x-var t) c:X0005A-S1A c:X0005B-S1B c:X0005C-S1C



(file CobaTA3.pl4; x-var t) c:X0005A-S1A c:X0005B-S1B c:X0005C-S1C



(file CobaTA3.pl4; x-var t) c:X0005A-S1A c:X0005B-S1B c:X0005C-S1C

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BIODATA PENULIS**



Penulis bernama lengkap Vito Rahmaditya, lahir di Jember pada 29 Januari 1999. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Negeri Jember Lor 3, SMP Negeri 2 Jember, SMA Negeri 1 Jember dan melanjutkan jenjang S-1 di Teknik Elektro FTEIC ITS Surabaya dengan melalui jalur SBMPTN pada tahun 2017, dengan konsentrasi bidang yang ditempuh adalah teknik sistem tenaga.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di klub basket yang dimiliki oleh HIMATEKTRO dan juga aktif dalam kepanitiaan event tingkat fakultas Evolty 2020 sebagai koordinator lapangan untuk wilayah Kabupaten Jember. Selain itu di ranah pelatihan, penulis aktif mengikuti beberapa pelatihan mulai dari PKTI-TD, LKMM Pra-TD, dan LKMM TD. Penulis pernah mengikuti kerja praktek di PT. Petrokimia Gresik pada Departemen Rancang Bangun selama dua bulan secara daring. Penulis dapat dihubungi melalui surel: [vito.rahmaditya23@gmail.com](mailto:vito.rahmaditya23@gmail.com)