



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**DESAIN PERALATAN PENGUJI ISOLASI BELITAN MOTOR  
INDUKSI MENGGUNAKAN GELOMBANG SURJA DAN  
METODE *ERROR AREA RATIO***

Wisam Jaya Nugroho  
NRP 2211100149

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

**FINAL PROJECT - TE 141599**

**EQUIPMENT DESIGN FOR TURN TO TURN INSULATION  
TESTING USING SURGE WAVE AND ERROR AREA RATIO  
METHOD**

Wisam Jaya Nugroho  
NRP 2211100149

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

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015



**DESAIN PERALATAN PENGUJI ISOLASI BELITAN  
MOTOR INDUKSI MENGGUNAKAN GELOMBANG  
SURJA DAN METODE *ERROR AREA RATIO***


**TUGAS AKHIR**

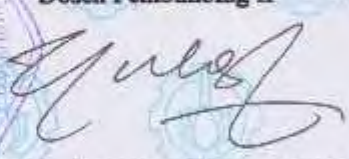
Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada  
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Jurusan Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

  
Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.  
NIP. 1981 09 05 2005 01 1002

  
Dr. Eng. I Made Yulistva Negara, ST., M.Sc.  
NIP. 1970 07 12 1998 02 1001

**SURABAYA  
JUNI, 2015**

# DESAIN PERALATAN PENGUJI ISOLASI BELITAN MOTOR INDUKSI MENGGUNAKAN GELOMBANG SURJA DAN METODE *ERROR AREA RATIO*

**Nama** : Wisam Jaya Nugroho  
**NRP** : 2211100149  
**Pembimbing I** : Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D.  
**Pembimbing II** : Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc

## ABSTRAK

Tugas akhir ini berisikan penelitian untuk mendapatkan peralatan tes surja yang memiliki akurasi tinggi dan memenuhi standar. Untuk mendapatkan peralatan tersebut, maka pada penelitian ini akan dilakukan pengujian variasi komponen pada peralatan tes surja. Nilai-nilai komponen yang ada pada peralatan tes surja tersebut akan divariasikan dan diujikan pada beberapa belitan motor induksi dengan kondisi yang berbeda-beda. Lalu hasil tersebut akan dianalisis menggunakan metode *error area ratio* dan dibandingkan dengan standar. Setelah dilakukan pengujian ternyata didapatkan hasil bahwa nilai-nilai komponen pada peralatan tes surja memiliki dampak yang cukup besar terhadap hasil pengujian. Contohnya pada pengujian dengan variasi tegangan uji, semakin besar tegangan uji yang digunakan maka kerusakan isolasi antar belitan semakin mudah terdeteksi. Selain itu dari penelitian ini juga didapatkan nilai-nilai komponen yang paling ideal untuk memenuhi standar yang ada.

**Kata kunci** : Kegagalan isolasi antar belitan, metode *error area ratio*, pengaruh komponen pada peralatan, pengujian dengan variasi nilai komponen, tes surja.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **EQUIPMENT DESIGN FOR TURN TO TURN INSULATION TESTING USING SURGE WAVE AND ERROR AREA RATIO METHOD**

**Name** : Wisam Jaya Nugroho  
**NRP** : 2211100149  
**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**

This final project contains a research to get a surge test equipment that has high accuracy and fulfill the standards. To get it, so this research will be testing components on the surge test equipment with varying component values. The values of the components on the surge test equipment will be varied and tested in several induction motor winding with different conditions. Then the results will be analyzed using the error area ratio method and compared to a standard. After testing it was found that the results of the component values in the surge test equipment have big impact on the results of testing. For example in the test with a test voltage variation, the greater value of the test voltage make the turn to turn insulation fault more easily detected. Besides from this research also found the component values that most ideal to fulfill the standards.

**Keywords:** effect of components on equipment, test with a variation value component, the standard for industrial level, turn to turn insulation failure, surge tests.



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penyusunan laporan tugas akhir yang berjudul “**Desain Peralatan Penguji Isolasi Belitan Motor Induksi Menggunakan Gelombang Surja dan Metode *Error Area Ratio***” dapat diselesaikan dengan baik. Laporan tugas akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Studi Strata-1 di Jurusan Teknik Elektro ITS.

Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian laporan tugas akhir ini tentunya juga tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan yang penuh kebanggaan dan kebahagiaan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Ayah, ibu, kakak, dan adik tercinta yang selalu memberikan doa dan semangat yang tak ternilai harganya.
2. Bapak Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph.D dan Bapak Dr. Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.sc selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu berharga demi memberikan bimbingan dan saran yang sangat membantu dan bermanfaat.
3. Seluruh dosen Jurusan Teknik Elektro yang telah banyak memberikan ilmu dan menginspirasi penulis.
4. Dhika dan seluruh rekan-rekan Laboratorium Tegangan Tinggi
5. Rekan-rekan di Jurusan Teknik Elektro yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari dan memohon maaf atas segala kekurangan pada tugas akhir ini. Penulis juga mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari para pembaca. Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, membuka wawasan mengenai pengujian sistem isolasi motor, dan mendorong penciptaan teknologi baru.

Surabaya, Juni 2015

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# DAFTAR ISI

Lembar Judul	
Lembar Pernyataan	
Lembar Pengesahan	
Abstrak .....	i
Abstract .....	iii
Kata Pengantar .....	v
Daftar Isi .....	vii
Daftar Gambar .....	ix
Daftar Tabel .....	xiii

## **BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Sistematika Penulisan.....	3

## **BAB II TES SURJA**

2.1 Motor Induksi.....	5
2.2 Isolasi Mesin Listrik.....	6
2.3 Kegagalan Isolasi Antar Belitan Pada Stator Motor.....	7
2.4 Tes Surja .....	8
2.5 IEEE 522 <i>Rise Time</i> dan Rekomendasi Tegangan Uji .....	10
2.6 Metode Analisis <i>Error Area Ratio</i> .....	12
2.6.1 P-P EAR% .....	13
2.6.2 L-L EAR%.....	14
2.6.3 <i>Test-Ref</i> EAR%.....	14
2.7 Pembangkit Tegangan Tinggi DC .....	14
2.7.1 Rangkaian <i>Cockcroft-Walton</i> .....	15
2.7.2 Cara Kerja Rangkaian <i>Cockcroft-Walton</i> .....	15
2.7.3 Rangkaian <i>Single Secondary Winding Villard Cascade</i> .....	17
2.8 LabVIEW .....	17
2.9 Arduino .....	19
2.10 PSIM .....	20

## **BAB III PERANCANGAN SISTEM DAN ALAT**

3.1 Konfigurasi Sistem.....	21
3.2 Perancangan Hardware.....	22

3.2.1	Pembangkit Tegangan Tinggi DC .....	22
3.2.2	Rangkaian <i>Switching</i> .....	24
3.2.3	Rangkaian Kapasitor Tes Surja .....	25
3.2.4	NI PXIe-1073, NI PXIe-5122 dan Probe Tegangan Tinggi .....	27
3.3	Perancangan Software.....	27
3.3.1	Perancangan Program Arduino.....	28
3.3.2	Perancangan Program LabVIEW .....	28
3.4	Perancangan Perangkat Motor Induksi .....	30
3.4.1	Perancangan Belitan Motor Induksi Tanpa Rumah Stator.....	30
3.4.2	Perancangan Motor Induksi dengan Rumah Stator ...	32
 <b>BAB IV DETEKSI KERUSAKAN ISOLASI BELITAN MOTOR INDUKSI 3 FASA TEGANGAN RENDAH MENGUNAKAN TES SURJA</b>		
4.1	Hasil dan Analisis Pengujian Pembangkit Tegangan Tinggi DC .....	35
4.2	Hasil dan Analisis Pengujian Gelombang Surja .....	37
4.2.1	Hasil dan Analisis Pengujian Tegangan Puncak.....	38
4.2.2	Hasil dan Analisis Pengujian <i>Rise Time</i> Gelombang Surja .....	41
4.2.3	Hasil dan Analisis Pengujian Bentuk Gelombang Surja .....	42
4.3	Hasil dan Analisis Tes Surja dengan Variasi Komponen .....	43
4.3.1	Hasil Tes Surja dan Analisis EAR dengan Variasi Kapasitansi Kapasitor .....	44
4.3.2	Hasil Tes Surja dan Analisis EAR dengan Variasi Resistansi Damping Resistor .....	50
4.3.3	Hasil Tes Surja dan Analisis EAR dengan Variasi Tegangan Uji .....	53
 <b>BAB V PENUTUP</b>		
5.1	Kesimpulan.....	59
5.2	Saran .....	59
Daftar Pustaka.....		61
Lampiran.....		65

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	<i>Industry test voltages</i> .....	12
<b>Tabel 3.1</b>	Spesifikasi reed relay.....	24
<b>Tabel 3.2</b>	Data belitan motor .....	30
<b>Tabel 3.3</b>	Spesifikasi motor induksi dengan rumah stator .....	32
<b>Tabel 4.1</b>	Hasil pengujian dan perhitungan pembangkit tegangan DC .....	36
<b>Tabel 4.2</b>	Spesifikasi peralatan uji pada pengujian gelombang surja	37
<b>Tabel 4.3</b>	Hasil pengujian tegangan puncak sebanyak 10 kali .....	39
<b>Tabel 4.4</b>	Hasil analisis EAR sebanyak 10 kali.....	43
<b>Tabel 4.5</b>	Spesifikasi rangkaian tes surja untuk referensi pengujian...	44
<b>Tabel 4.6</b>	Spesifikasi rangkaian tes surja dengan variasi kapasitansi .....	44
<b>Tabel 4.7</b>	Hasil analisis EAR dengan variasi kapasitansi .....	45
<b>Tabel 4.8</b>	Spesifikasi rangkaian tes surja dengan variasi resistansi .	50
<b>Tabel 4.9</b>	Hasil analisis EAR dengan variasi resistansi.....	50
<b>Tabel 4.10</b>	Spesifikasi rangkaian tes surja dengan variasi tegangan uji.....	53
<b>Tabel 4.11</b>	Hasil analisis EAR dengan variasi tegangan uji .....	55

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b>	Estimasi kerugian per jam pada setiap industri .....	1
<b>Gambar 2.1</b>	(a) rotor sangkar, (b) rotor belit, (c) stator .....	5
<b>Gambar 2.2</b>	Sistem isolasi mesin listrik .....	7
<b>Gambar 2.3</b>	Kerusakan isolasi antar belitan .....	8
<b>Gambar 2.4</b>	Tegangan surja pada tes surja .....	9
<b>Gambar 2.5</b>	Rangkaian ekivalen tes surja .....	9
<b>Gambar 2.6</b>	<i>Voltage rise time</i> .....	11
<b>Gambar 2.7</b>	<i>Recommended surge test voltage vs pulse rise time</i> ...	11
<b>Gambar 2.8</b>	<i>Paschen's curve</i> .....	12
<b>Gambar 2.9</b>	Rangkaian <i>cockcroft-walton</i> .....	15
<b>Gambar 2.10</b>	Cara kerja rangakain <i>cockcroft-walton</i> .....	16
<b>Gambar 2.11</b>	Rangkaian <i>single secondary winding villard cascade</i> .	17
<b>Gambar 2.12</b>	<i>Front panel</i> LabVIEW .....	18
<b>Gambar 2.13</b>	<i>Block diagram</i> LabVIEW .....	18
<b>Gambar 2.14</b>	<i>Board</i> arduino uno .....	19
<b>Gambar 2.15</b>	<i>Surge test schematic</i> on PSIM .....	20
<b>Gambar 3.1</b>	Konfigurasi sistem tes surja .....	21
<b>Gambar 3.2</b>	Desain pembangkit tegangan tinggi DC .....	23
<b>Gambar 3.3</b>	Implementasi rangkaian <i>single secondary winding villard cascade</i> .....	23
<b>Gambar 3.4</b>	Skema rangkaian <i>switching</i> .....	25
<b>Gambar 3.5</b>	Implementasi rangkaian <i>switching</i> .....	25
<b>Gambar 3.6</b>	Skema rangkaian kapasitor tes surja .....	26
<b>Gambar 3.7</b>	Implementasi rangkaian kapasitor tes surja .....	26
<b>Gambar 3.8</b>	(a) NI PXIe 1073 dan 5122 (b) <i>High voltage probe</i> ....	27
<b>Gambar 3.9</b>	<i>Flowchart</i> blok digaram serial data arduino .....	29
<b>Gambar 3.10</b>	<i>Flowchart</i> blok diagram komunikasi LabVIEW dan PXIe-5122 .....	29
<b>Gambar 3.11</b>	<i>Flowchart</i> blok diagram konversi data .....	30
<b>Gambar 3.12</b>	Belitan kondisi isolasi rusak pada turn 1 dan 24 .....	31



<b>Gambar 3.13</b>	Skema turn belitan yang dihubungkan ke <i>external tab</i> ...	32
<b>Gambar 3.14</b>	Belitan dengan <i>external tab</i> .....	32
<b>Gambar 3.15</b>	Motor induksi dengan <i>external tab</i> .....	33
<b>Gambar 3.16</b>	Skema <i>turn</i> yang dihubungkan dengan <i>external tab</i> ...	34
<b>Gambar 4.1</b>	Pengujian pembangkit tegangan DC .....	36
<b>Gambar 4.2</b>	Grafik hasil pengujian tegangan DC .....	37
<b>Gambar 4.3</b>	Proses tes surja dan pengambilan data .....	38
<b>Gambar 4.4</b>	(a) belitan tanpa rumah stator (b) belitan dengan rumah stator .....	38
<b>Gambar 4.5</b>	Hasil pengujian tegangan puncak .....	39
<b>Gambar 4.6</b>	Hasil pengujian tegangan puncak dengan PSIM .....	40
<b>Gambar 4.7</b>	Hasil simulasi PSIM dengan frekuensi sampling 10 MHz.....	40
<b>Gambar 4.8</b>	Hasil pengujian <i>rise time</i> .....	41
<b>Gambar 4.9</b>	Hasil pengujian bentuk gelombang surja.....	42
<b>Gambar 4.10</b>	Hasil tes surja dengan kapasitor 10 nF dan 1 nF .....	45
<b>Gambar 4.11</b>	Analisis bentuk gelombang <i>turn fault</i> 1-24 dan <i>turn fault</i> 1-15.....	47
<b>Gambar 4.12</b>	Analisis bentuk gelombang surja dengan kapasitansi 1 nF pada belitan dengan rumah stator .....	47
<b>Gambar 4.13</b>	Analisis bentuk gelombang surja dengan kapasitansi 1 nF pada belitan isolasi rusak.....	48
<b>Gambar 4.14</b>	Grafik EAR dengan variasi kapasitansi (a) 10 nF (b) 1 nF .....	48
<b>Gambar 4.15</b>	Grafik total luasan dengan variasi kapasitansi (a) 10 nF (b) 1 nF .....	49
<b>Gambar 4.16</b>	Hasil tes surja dengan resistansi 22 Ohm dan 100 Ohm .....	51
<b>Gambar 4.17</b>	Grafik EAR dengan variasi resistansi (a) 22 Ohm, (b) 100 Ohm .....	52
<b>Gambar 4.18</b>	Grafik total luasan dengan variasi resistansi (a) 22 Ohm, (b) 100 Ohm .....	53
<b>Gambar 4.19</b>	Hasil tes surja dengan tegangan uji 480 V, 930 V, dan 1400 V .....	54

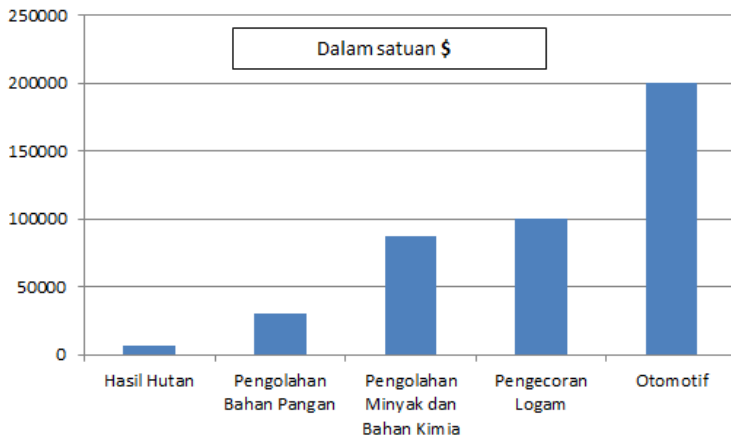
<b>Gambar 4.20</b>	Analisis bentuk gelombang surja dengan tegangan uji 1400 V pada belitan dengan rumah stator.....	56
<b>Gambar 4.21</b>	Analisis bentuk gelombang surja dengan tegangan uji 480 V pada belitan isolasi rusak .....	56
<b>Gambar 4.22</b>	Grafik EAR dengan variasi tegangan uji (a) 930 V, (b) 480 V, (c) 1400 V .....	57
<b>Gambar 4.23</b>	Grafik total luasan dengan variasi tegangan uji (a) 930 V, (b) 480 V, (c) 1400 V .....	58

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Motor Induksi merupakan salah satu mesin listrik yang berfungsi untuk merubah energi listrik menjadi energi mekanik. Motor induksi sendiri sangat banyak diaplikasikan pada sebuah industri. Dari hasil studi diketahui bahwa motor induksi mengkonsumsi 65% seluruh energi listrik yang ada pada sebuah industri [1]. Penghentian proses yang tidak sesuai jadwal dikarenakan kegagalan kerja pada motor induksi sangat tidak diharapkan, karena hal ini dapat menyebabkan kerugian dalam jumlah besar [2]. Sebagai contoh kerugian yang ditimbulkan pada industri *off shore* karena kegagalan motor induksi bisa mencapai \$25.000/jam. Besarnya kerugian ekonomi yang ditimbulkan karena kegagalan kerja pada motor induksi untuk industri lain dapat dilihat pada Gambar 1.1 [3]. Kegagalan kerja pada motor induksi ini bisa disebabkan oleh banyak hal. Tetapi penyebab utama terjadinya kegagalan pada motor induksi ini adalah karena kegagalan *bearing* dan kegagalan isolasi stator [4]. Kegagalan isolasi stator dapat disebabkan oleh pengaruh panas, listrik, mekanik, dan pengaruh dari lingkungan [5].



**Gambar 1.1** Estimasi kerugian per jam pada setiap industri [3]

Sedangkan 80% dari kegagalan isolasi stator sendiri disebabkan oleh isolasi antar belitan yang melemah [6]. Isolasi antar belitan yang melemah ini akan menimbulkan hubung singkat antar belitan dan pada akhirnya menyebabkan degradasi pada belitan hingga kegagalan isolasi seluruh belitan [7]. Untuk menghindari hal tersebut maka harus dilakukan pengujian dan pemeliharaan motor secara terjadwal. Terdapat banyak jenis pengujian untuk isolasi motor induksi, meskipun begitu tidak ada tes yang bisa menilai secara langsung integritas isolasi antar belitan selain tes surja. Maka dari itu digunakanlah tes surja untuk mengetahui pelemahan isolasi antar belitan [8]. Keuntungan utama dari tes surja dibandingkan tes lain yaitu tes ini dapat diaplikasikan ke berbagai macam belitan dengan desain dan level tegangan yang berbeda dan tes ini juga dapat mendeteksi degradasi isolasi pada belitan sebelum terjadi kerusakan total [9]. Prinsip dasar dari tes surja adalah membangkitkan tegangan surja berfrekuensi osilasi pada belitan motor induksi. Lalu tegangan surja tersebut dibaca oleh osiloskop dan hasil baca oleh osiloskop akan dianalisis menggunakan sebuah metode. Terdapat beberapa metode untuk menganalisis gelombang surja [10,11]. Dan metode terbaik untuk menganalisis gelombang surja tersebut adalah metode *Error Area Ratio* (EAR) [6]. Dari metode EAR inilah akan didapatkan nilai yang dapat menentukan apakah kondisi isolasi antar belitan bermasalah atau tidak, sehingga dapat menentukan kelayakan operasi motor induksi tersebut.

Untuk kelas industri sendiri nilai EAR yang didapatkan dari tes surja harus akurat. Sedangkan nilai EAR ini juga dipengaruhi oleh komponen-komponen yang ada pada peralatan tes surja. Oleh karena itu tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk mendesain peralatan tes surja yang dapat memenuhi standar industri. Untuk memenuhi standar tersebut maka pada tugas akhir ini akan dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh komponen-komponen peralatan tes surja terhadap hasil tes surja dan nilai EAR yang didapatkan. Dan adapun manfaat-manfaat yang diharapkan pada tugas akhir ini yaitu penelitian ini diharapkan dapat mendukung penelitian kedepannya, khususnya pada bidang deteksi kerusakan motor induksi, diharapkan dapat digunakan sebagai acuan untuk membuat peralatan tes surja dan menjalankan pengujian surja, dan diharapkan dengan adanya acuan tersebut, maka deteksi kerusakan isolasi antar belitan motor induksi akan menjadi lebih mudah. Lalu metodologi yang digunakan pada tugas akhir ini yaitu pertama mendesain dan membuat peralatan uji, kedua pengujian dan

analisis, ketiga penarikan kesimpulan, dan terakhir penyusunan buku. Selain itu batasan-batasan masalah yang ada pada penelitian dan tugas akhir ini yaitu pertama peralatan-peralatan tes surja dengan rating tegangan 1.5 kV. Kedua komponen-komponen yang divariasikan untuk mengetahui pengaruh komponen tersebut terhadap hasil tes surja yaitu kapasitansi kapasitor peralatan tes surja, resistansi tes surja, dan tegangan tes surja. Ketiga pengambilan dan pengolahan data tes surja menggunakan LabVIEW dan PXIe. Keempat analisis tegangan surja menggunakan metode Error Area Ratio (EAR). Dan terakhir belitan uji yang digunakan untuk menganalisis akurasi komponen yaitu belitan motor induksi tiga fasa tegangan rendah dengan beberapa kondisi yang dimodifikasi yaitu: kondisi isolasi antar belitan yang normal, kondisi isolasi antar belitan yang terhubung singkat, dan kondisi isolasi antar belitan yang rusak.

## **1.2 Sistematika Penulisan**

Sistematika yang digunakan pada penelitian ini yaitu pertama pendahuluan. Pendahuluan merupakan bab yang membahas tentang latar belakang penelitian, permasalahan yang ada dilapangan, tujuan dan manfaat dari penelitian ini, batasan masalah, dan sistematika dari penulisan tugas akhir ini. Kedua yaitu dasar teori, yang pada bab ini dijelaskan mengenai teori-teori yang digunakan dalam tugas akhir ini. Ketiga yaitu desain peralatan dan pengujian. Pada bab ini akan dibahas mengenai desain sistem yang digunakan, desain peralatan tes surja dan eksperimen tes surja pada belitan motor induksi tiga fasa tegangan rendah. Lalu pada bab empat yaitu hasil eksperimen dan analisis. Pada bab ini membahas pemaparan data yang telah diambil dan juga berisikan analisis dari hasil eksperimen tes surja pada belitan motor induksi tiga fasa tegangan rendah. Dan pada bab terakhir yaitu penutup. Bab ini berisikan kesimpulan dan saran pada tugas akhir ini.

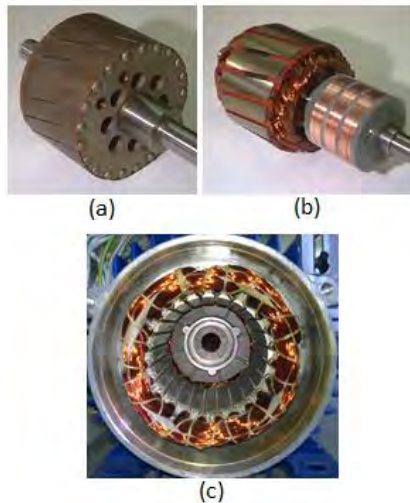
*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB II TES SURJA

### 2.1 Motor Induksi

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (AC) yang paling banyak penggunaannya. Berdasarkan jenis sumbernya, motor induksi dibagi menjadi 2 jenis yaitu motor induksi 3 fasa dan motor induksi 1 fasa. Motor induksi 3 fasa dioperasikan pada sistem tenaga 3 fasa dan umumnya digunakan untuk industri. Sedangkan motor induksi 1 fasa dioperasikan pada sistem tenaga 1 fasa dan umumnya digunakan pada peralatan rumah tangga.

Motor induksi seperti motor pada umumnya yaitu memiliki stator dan rotor. Stator merupakan bagian yang diam dan mempunyai kumparan yang menginduksikan medan elektromagnetik kepada kumparan rotornya. Sedangkan rotor merupakan bagian yang bergerak akibat induksi magnet dari kumparan stator. Berdasarkan konstruksi rotornya motor induksi dibagi menjadi dua jenis yaitu rotor sangkar dan rotor belit. Seperti pada Gambar 2.1 contoh motor induksi dengan rotor sangkar dan dengan rotor belit.



**Gambar 2.1** (a) rotor sangkar, (b) rotor belit, (c) stator [12]



Cara kerja motor induksi yaitu mula-mula stator akan menginduksikan tegangan ke rotor. Karena rotor merupakan rangkaian tertutup maka timbulah arus, adanya arus didalam medan maka timbulah gaya yang pada akhirnya akan memutar rotor [13]. Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut slip. Stator motor induksi berisikan belitan yang memiliki nilai induktansi tertentu, dan setiap fasanya harus memiliki nilai induktansi yang sama agar medan yang dibangkitkan seimbang. Salah satu penyebab nilai induktansi setiap fasa tidak sama adalah karena adanya *short* antar belitan, dan hal ini bisa menyebabkan kerusakan pada *bearing* hingga bagian lainnya pada motor [27].

## 2.2 Isolasi Mesin Listrik

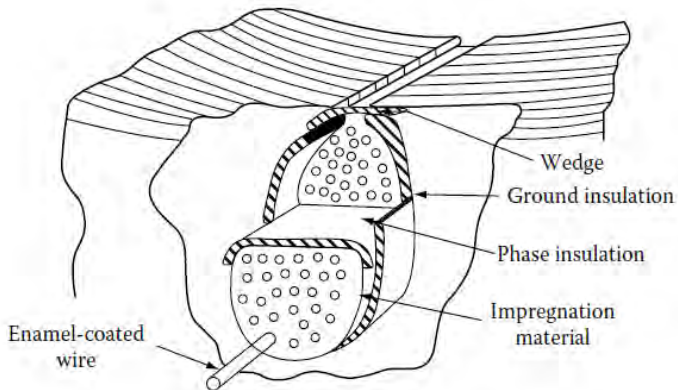
Isolasi sering sekali menjadi salah satu faktor pembatas dalam mendesain mesin listrik. Jika ketebalan isolasi meningkat maka ruang konduktor untuk membawa arus akan berkurang. Sehingga konduksi panas pada konduktor juga terbatas [7]. Maka dari itu terdapat syarat-syarat yang harus dimiliki sistem isolasi pada stator mesin listrik, yaitu:

1. Kekuatan dielektrik yang tinggi
2. Ketahanan yang tinggi terhadap *partial discharge*
3. Konduktivitas termal yang tinggi
4. Ketahanan yang tinggi terhadap abrasi (goresan)
5. Ketahanan yang tinggi untuk *tape speration* yang dipengaruhi pemanasan termal
6. Ketahanan yang tinggi terhadap kelembaban dan uap minyak

Sistem isolasi mesin listrik terdiri dari lima subsistem isolasi yaitu sebagai berikut:

1. Isolasi antar belitan (*turn to turn insulation*)  
Isolasi ini terletak diantara belitan pada kumparan. Isoalsi ini biasanya dalam bentuk lapisan enamel pada kawat.
2. Isolasi antar fasa (*phase to phase insulation*)  
Isolasi terletak antar kumparan yang berdekatan dalam kelompok fasa yang berbeda.
3. Isolasi fasa ke ground (*phase to ground insulation*)  
Isolasi ini terletak antar belitan dengan bagian struktural dari motor.
4. *Slot wedge insulation system*  
Isolasi ini merupakan slot wedge yang memegang sekaligus menopang konduktor yang ada dalam slot.
5. *Impregnation insulation system*

Isolasi ini merupakan impregnasi yang digunakan untuk menyatukan semua kumparan dan juga untuk mengisi ruang udara sehingga memberikan perlindungan terhadap kontaminan. Impregnasi ini merupakan bentukan cairan yang nantinya akan mengeras seperti batu.



**Gambar 2.2** Sistem isolasi mesin listrik [7]

Dan berdasarkan klasifikasi NEMA sistem isolasi listrik dibagi menjadi beberapa kelas seperti kelas O, A, B, F, H dan C. Setiap kelas tersebut memiliki ketahanan yang berbeda-beda terhadap temperatur tertentu.

### 2.3 Kegagalan Isolasi Antar Belitan Pada Stator Motor

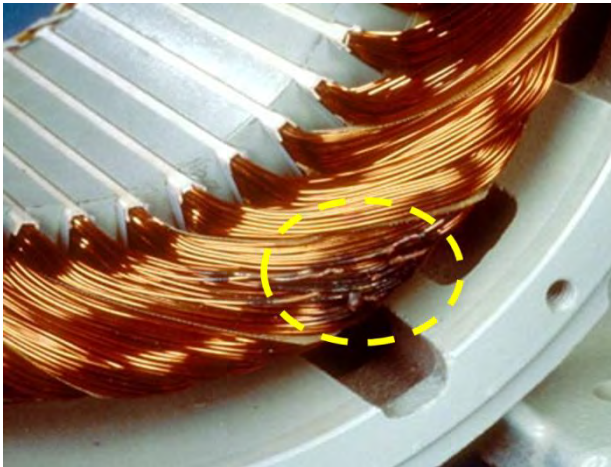
Kegagalan isolasi antar belitan pada stator motor dapat disebabkan oleh banyak hal yaitu: (1) karena usia, (2) sebab listrik, (3) sebab mekanik, (4) sebab termal, (5) pengaruh lingkungan [7].

- Penurunan kualitas isoalasi yang disebabkan usia yaitu karena kerapuhan, penyusutan, dan retakan pada isolasi.
- Sebab listrik yaitu karena adanya *corona*, *lightning switch surge*, *unbalance voltages*, efek panas berlebih dan kegagalan tes. *Unbalance voltage* akan menimbulkan arus urutan negatif dan pada akhirnya timbul panas berlebih. Panas berlebih ini nantinya akan mempengaruhi isolasi stator. Selain itu dampak dari kelebihan beban adalah timbul panas berlebih pada belitan stator, tekanan mekanik pada belitan dan akhirnya akan menyebabkan degradasi

pada isoasi antar belitan (*turn to turn*), *coil to coil*, *phase to phase*, dan *coil to ground*.

- Sebab mekanik yaitu vibrasi, wedges longgar, karena pengaruh kincir kipas, korelasi yang longgar, dan benda asing.
- Sebab termal yaitu beban lebih, panas berlebih yang muncul karena kegagalan isolasi, dan karena *tape speration*.
- Sebab lingkungan dan kontaminasi yaitu masuknya partikel debu, kelembaban, minyak, dan partikel magnetik.

Contoh gambar kerusakan isolasi antar belitan pada stator motor listrik dapat dilihat pada Gambar 2.3. Gambar tersebut memberikan contoh sebuah degradasi isolasi karena munculnya *hot spot* yang ditimbulkan oleh kegagalan isolasi antar belitan.



**Gambar 2.3** Kerusakan isolasi antar belitan [14]

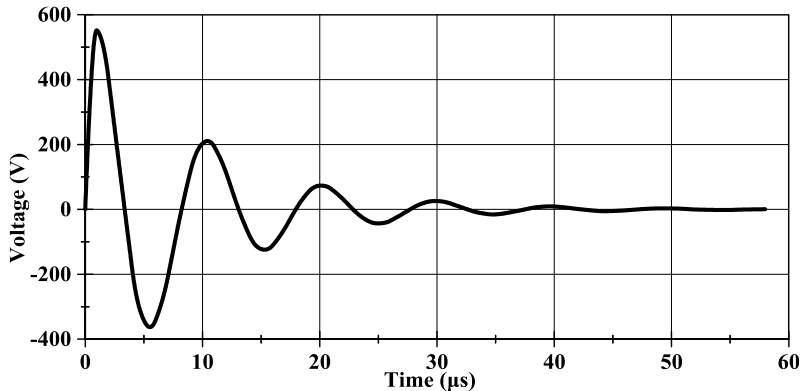
## 2.4 Tes Surja

Banyak fakta mengatakan bahwa kegagalan motor listrik dimulai karena adanya hubung singkat antar belitan. Hubung singkat ini akan menyebabkan timbulnya *hot spot* dan pada akhirnya degradasi isolasi pada belitan hingga kegagalan isolasi seluruh belitan. Mekanisme dari kegagalan ini mungkin akan membutuhkan waktu yang lama, bergantung pada karakteristik operasi motor. Dan kegagalan seperti ini tidak dapat dideteksi oleh *insulation resistance test* ataupun *hi-pot test*

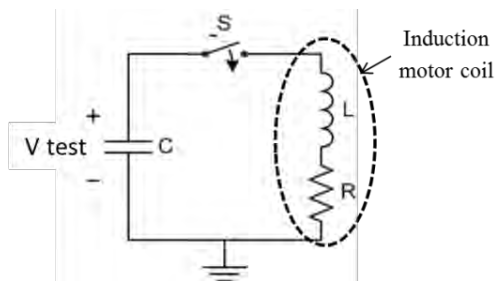
dikarenakan sifat alaminya. Namun diketahui bahwa kegagalan jenis ini dapat dideteksi oleh tes surja [13].

Prinsip dasar dari tes surja yaitu dengan mengaplikasikan pulsa *short current* dengan *rise time* tertentu pada belitan stator mesin listrik sehingga timbul tegangan induksi antar belitan [3]. Jika tegangan lebih besar dari kemampuan isolasi maka akan timbul hubungan singkat. Proses ini dapat dideteksi dengan cara mengamati respon impuls yang timbul pada belitan motor atau biasa disebut gelombang surja seperti pada Gambar 2.4.

Pada proses dilapangan, muatan kapasitor akan diisi hingga level tegangan tertentu dan muatan tersebut akan dilepas pada sebuah belitan motor melalui sebuah saklar. Berdasarkan rumus orde dua maka kapasitor dan belitan motor akan membentuk rangkaian RLC seperti Gambar 2.5.



**Gambar 2.4** Tegangan surja pada tes surja



**Gambar 2.5** Rangkaian ekivalen tes surja [6]

Gelombang surja yang terbentuk oleh tes surja akan memiliki frekuensi osilasi sesuai dengan persamaan berikut [16]:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}} \quad (2.1)$$

Dikarenakan nilai  $\frac{R^2}{4L^2}$  jauh lebih kecil dari  $\frac{1}{LC}$  maka persamaan dapat direduksi menjadi [16]:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (2.2)$$

Keterangan:

$f$  = frekuensi osilasi

$L$  = induktansi belitan motor

$C$  = kapasitansi kapasitor surja

$R$  = resistansi total rangkaian

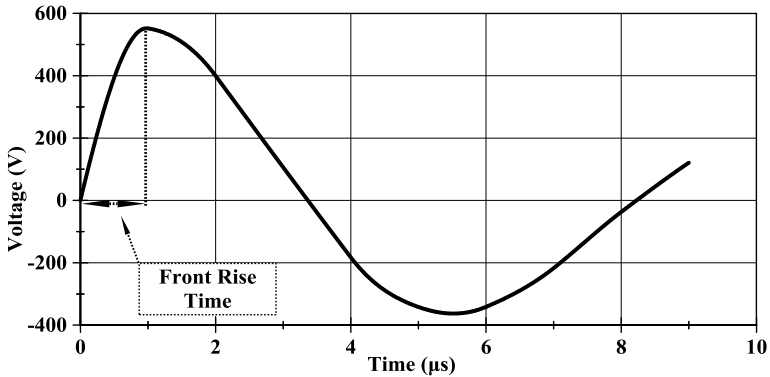
Jika isolasi antar belitan mengalami pelemahan maka akan terjadi *short* antar belitan sehingga nilai induktansi akan berkurang. Sesuai dengan persamaan, maka nilai frekuensi akan bertambah ketika nilai induktansi berkurang karena terjadinya *short* tersebut.

## 2.5 IEEE 522 Rise Time dan Rekomendasi Tegangan Uji

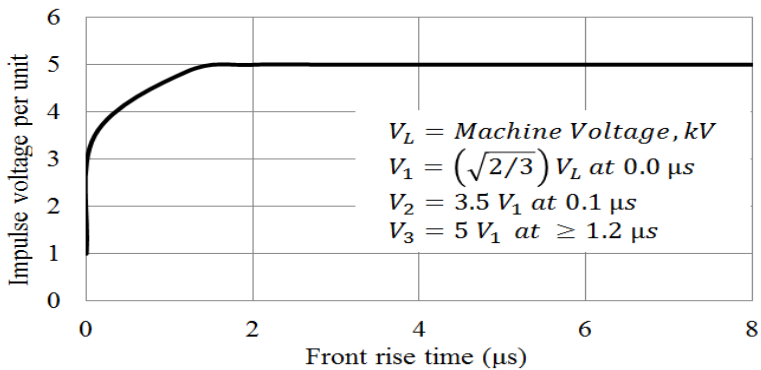
Berdasarkan observasi, distribusi tegangan surja pada belitan tidaklah linier. *Rise time* yang cepat akan menginduksi tegangan surja hingga akhir ujung kumparan. Besar tegangan pada akhir ujung kumparan juga dipengaruhi oleh frekuensi tinggi pada *impulse* surja yang bergerak pada belitan [15].

Karena fenomena tersebut, IEEE 522 merekomendasikan berbagai tegangan uji berdasarkan *rise time* tegangan surja tersebut. Sedangkan *rise time* disini merupakan waktu yang dibutuhkan oleh gelombang surja dari kondisi 0 V hingga menuju tegangan puncak. Contoh *rise time* tegangan surja dapat dilihat pada Gambar 2.6. Untuk gelombang dengan *rise time* 0 hingga 100 ns, direkomendasikan tegangan uji sebesar 1 pu.

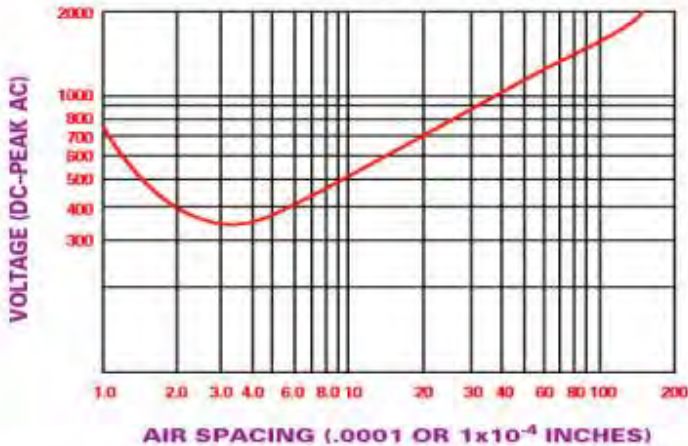
Untuk gelombang dengan *rise time* antara 100 ns dan 1.2  $\mu\text{s}$ , rekomendasi tegangan uji adalah 3.5 pu. Sedangkan gelombang dengan *rise time* diatas 1.2  $\mu\text{s}$  rekomendasi tegangan uji yaitu 5 pu. Rekomendasi tegangan uji dan *rise time* ditunjukkan oleh Gambar 2.7. Tetapi apabila belitan tidak diimpregnasi maka tegangan uji yang digunakan sebaiknya 60% hingga 80% dari tegangan uji yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. Sedangkan rekomendasi tegangan uji berdasarkan hukum *Paschen* yaitu minimal 327V seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. Dari kurva tersebut juga dijelaskan bahwa tegangan minimum agar terjadi loncatan listrik di udara yaitu sebesar 327 V pada jarak 7.5  $\mu\text{m}$ .



Gambar 2.6 Voltage rise time



Gambar 2.7 Recommended surge test voltage vs pulse rise time [16]



**Gambar 2.8** Paschen's curve [15]

Tetapi berdasarkan kenyataan dan banyak faktor maka tegangan uji minimum yang direkomendasikan yaitu sebesar 500 V.

Sedangkan standar tegangan uji untuk skala industri ditunjukkan oleh Tabel 2.1 [15]:

**Tabel 2.1** Industry test voltages

$V_{Line}$	Per Unit	IEEE 522		EASA
		New Coils	In Service	In Service
		3.5pu	75% New	$2 \times V_{Line} + 1000$
480	392	1372	1029	1960
575	469	1643	1232	2150
600	490	1715	1286	2200
2300	1878	6573	4930	5600
4160	3397	11888	8916	9320
6900	5634	19718	14789	14800
13800	11268	39437	29578	28600

## 2.6 Metode Analisis Error Area Ratio

Metode *Error Area Ratio* (EAR) merupakan salah satu metode paling efektif yang digunakan untuk menganalisis gelombang surja. Hal

ini dikarenakan sensitifitasnya yang sangat tinggi terhadap perubahan gelombang surja. Rumus *modified* EAR adalah sebagai berikut:

$$\frac{|\sum | | - \sum | | |}{\sum | | |} \quad (2.3)$$

Keterangan :

$F_i^{(1)}$  : poin ke-i pada gelombang referensi

$F_i^{(2)}$  : poin ke-i pada gelombang pengujian

Cara kerja dari metode EAR ini adalah dengan cara membandingkan 2 gelombang yang ada. Sebagai contoh sebuah belitan motor induksi A dengan kondisi normal memiliki nilai induktansi belitan sebesar 100  $\mu$ H maka ketika dilakukan pengujian surja akan timbul frekuensi osilasi sebesar 50 KHZ. Ketika belitan motor induksi A mengalami *short* antar belitan, maka nilai induktansi akan berkurang dan hal tersebut menyebabkan nilai frekuensi osilasi bertambah besar pada pengujian kedua ini. Dari perbandingan perubahan gelombang tersebutlah maka akan didapatkan nilai EAR. Metode EAR sendiri dibagi menjadi tiga yaitu *Pulse to Pulse* EAR (P-P EAR), *Line to Line* EAR (L-L EAR) dan *Test-Ref* EAR.

### 2.6.1 P-P EAR%

P-P EAR % merupakan metode *real-time* untuk menganalisis gelombang surja. Metode ini dioperasikan ketika tes surja dijalankan. Sebagai contoh untuk mencapai tegangan tes 2000 V dengan *step voltage* 25 V maka akan didapat 80 *step* (tahap) dari 0 V hingga 2000 V. Yaitu 0 V, 25 V, 50 V, 75 V, dan seterusnya hingga 2000 V. Lalu perbedaan antar gelombang yang berhasil, seperti contoh 1950 V dan 1975 V maka itulah P-P EAR. Metode ini tidak memiliki keterbatasan seperti metode L-L EAR yaitu tidak dipengaruhi oleh efek posisi rotor, kondisi rotor, konfigurasi belitan, koneksi motor, kondisi logam (*iron*), dan saturasi. Metode ini merupakan metode paling modern untuk menguji integritas isolasi antar belitan dengan menggunakan tes surja. Metode ini bisa digunakan untuk pengujian dengan tegangan 1 kV hingga 30 kV.



### 2.6.2 L-L EAR%

L-L EAR% merupakan metode untuk menganalisis perbedaan gelombang dari 2 fasa motor. Cara kerja dari metode ini yaitu bentuk gelombang dari ketiga fasa motor harus identik atau sama. Jika ada bentuk gelombang yang tidak sama, maka akan dianalisis seberapa jauh perbedaannya. Dan apa bila telah melebihi batas standar L-L EAR maka dapat disimpulkan terdapat hubung singkat antar belitan atau antar fasanya. Metode L-L EAR bekerja dengan baik saat rotor tidak dipasang pada motor karena setiap koil akan identik. Selain itu pengujian dengan rotor juga tidak disarankan untuk metode ini. Metode ini cocok untuk pengujian dengan tegangan uji 500 V hingga 30 kV. Terdapat beberapa kondisi yang mempengaruhi nilai dari hasil tes dengan metode ini yaitu: (1) posisi rotor, (2) konfigurasi belitan, (3) kondisi rotor, (4) koneksi motor, (5) kondisi laminasi besi (*iron condition*) dan (6) *iron saturation*.

### 2.6.3 Test-Ref EAR%

Pengujian ini digunakan ketika motor dalam jumlah banyak dengan desain konstruksi yang sama akan diuji. Metode ini digunakan untuk proses manufaktur motor dan selama *rewinding* motor. Metode ini sangat sensitif terhadap belitan dan kondisi motor. Pengujian ini hampir mirip dengan pengujian menggunakan metode L-L EAR. Perbedaannya yaitu L-L EAR menggunakan fasa satu dengan lainnya untuk melakukan perbandingan referensi EAR. Sedangkan *Test-Ref* EAR menggunakan kondisi awal belitan sebagai perbandingan referensi EAR. Sehingga bentuk gelombang referensi harus disimpan untuk perbandingan selanjutnya.

## 2.7 Pembangkit Tegangan Tinggi DC

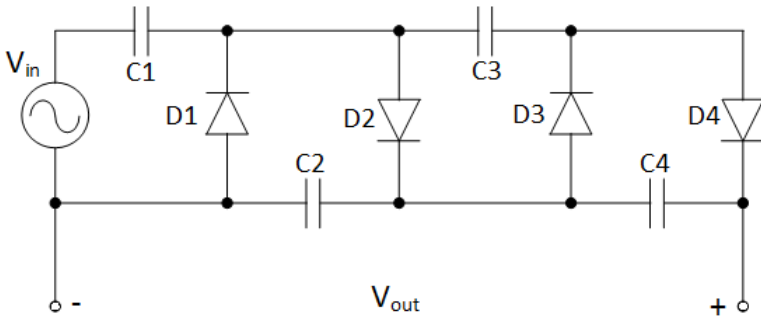
Pada tahun 1932 Cockcroft Walton menyarankan perbaikan pada rangkaian yang dikembangkan *Greinacher* untuk tegangan tinggi DC. Sehingga pada akhirnya munculah rangkaian *cockcroft-walton multiplier* (CCW) [18]. *Cockcroft-walton multiplier* ini merupakan rangkaian pengali tegangan yang mengkonversi tegangan rendah AC atau tegangan DC berpulsa menjadi tegangan DC yang lebih tinggi. Rangkaian *cockcroft-walton* ini biasanya digunakan untuk membangkitkan tegangan tinggi DC dengan nilai arus yang rendah.

### 2.7.1 Rangkaian *Cockcroft-Walton*

Rangkaian *cockcroft-walton* atau *villard cascade* merupakan sebuah rangkaian yang sering digunakan untuk pengujian tegangan tinggi. Rangkaian *cockcroft-walton* ini terdiri dari kapasitor dan dioda. Skema rangkaian *cockcroft-walton* dapat dilihat pada Gambar 2.9.

Kapasitor yang digunakan dalam rangkaian *multiplier* ini memiliki kriteria tertentu sesuai dengan tegangan dan frekuensi *input*. Contohnya untuk frekuensi *input* 50 Hz biasanya digunakan kapasitor 1 Farad hingga 200 Farad. Lalu untuk frekuensi tinggi sekitar 10 kHz biasanya digunakan kapasitor 0.02 Farad hingga 0.06 Farad [18]. Rating tegangan kapasitor juga ditentukan oleh jenis rangkaian *multiplier*. Intinya kapasitor harus mampu menahan tegangan maksimum yang dibangkitkan.

Begitu pula dengan pemilihan dioda harus memperhitungkan beberapa parameter. Contohnya *repetitive peak reverse voltage* tidak boleh lebih kecil dari tegangan kerja atau tegangan *output voltage multiplier*. Lalu *forward voltage* juga akan menyebabkan *voltage drop* pada rangkaian *cockcroft-walton*, dan lain-lainya.



Gambar 2.9 Rangkaian *cockcroft-walton*

### 2.7.2 Cara Kerja Rangkaian *Cockcroft-Walton*

Cara kerja dari rangkaian *cockcroft-walton* ini dapat dilihat pada Gambar 2.10. Pada kondisi awal yaitu puncak negatif ( $-V_s$ ) muatan  $C1$  akan diisi melalui  $D1$  ke 0 V. Pada kondisi ke-2 yaitu puncak positif ( $+V_s$ ) potensial  $C1$  akan bertambah melalui sumber tegangan, sehingga muatan  $C2$  akan diisi sebesar  $2 V_s$  melalui  $D2$  sedangkan  $D1$  *reverse bias*. Pada kondisi ke-3 puncak negatif ( $-V_s$ ) potensial  $C1$  menjadi 0 V, sehingga  $C3$  akan terisi muatan melalui  $D3$  menjadi  $2 V_s$ . Lalu pada

kondisi ke-4 puncak positif (+Vs) potensial C1 menjadi 2 Vs sehingga mengisi C4 sebesar 2 Vs. Total tegangan keluaran yaitu tegangan C2 ditambah tegangan C4 sehingga totalnya 4 Vs [19].

Persamaan tegangan *output* dari rangkaian *cockcroft-walton* ini dapat dituliskan menjadi sebagai berikut:

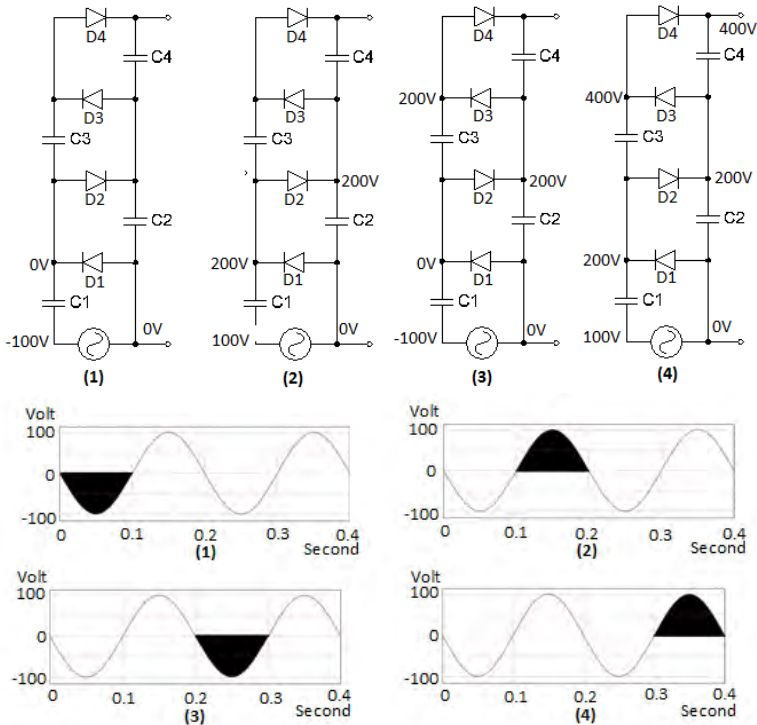
$$V_{out} = 2 \times N \times V_{peak\ input} \quad (2.4)$$

Keterangan:

$V_{out}$  : Tegangan *output* rangkaian *cockcroft-walton*

$N$  : Jumlah stage rangkaian

$V_{peak\ input}$  : Tegangan puncak *input*



**Gambar 2.10** Cara kerja rangkain *cockcroft-walton*

### 2.7.3 Rangkaian *Single Secondary Winding Villard Cascade*

Rangkaian *single secondary winding villard cascade* merupakan rangkaian pengembangan dari rangkaian *cockerfot-walton*. Rangkaian ini terdiri dari dua buah rangkaian *cockcroft-walton* dengan polaritas yang berbeda dengan satu buah *supply*. Skema rangkaian *single secondary winding* dapat dilihat pada Gambar 2.11. Dengan adanya dua polaritas yang berbeda maka *output* tegangan pada rangkaian *single secondary winding* ini adalah sama dengan 2 kali rangkaian *cockcroft-walton* biasa atau dapat dituliskan menjadi persamaan berikut [20]:

$$V_{out} = 4 \times N \times V_{peak\ input} \quad (2.5)$$

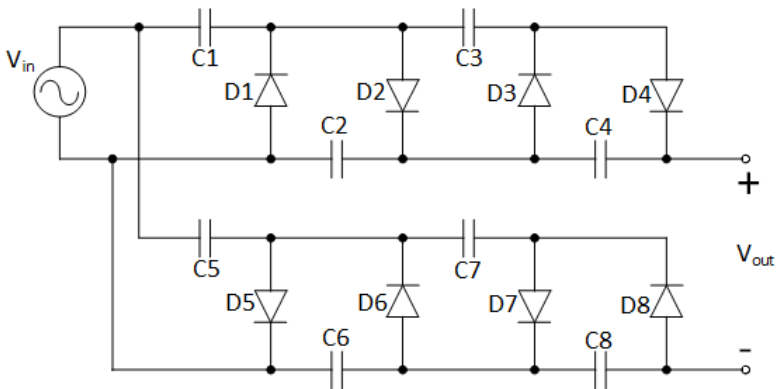
Keterangan:

$V_{out}$  : Tegangan *output* rangkaian *single secondary winding*

$N$  : Jumlah stage pada setiap polaritas

$V_{peak\ input}$  : Tegangan puncak *input*

Kelebihan dari rangkaian ini yaitu rangkaian ini memiliki *output* riak tegangan yang cukup rendah, selain itu *output* tegangan yang lebih tinggi dibandingkan rangkaian *cockcroft-walton* biasa.



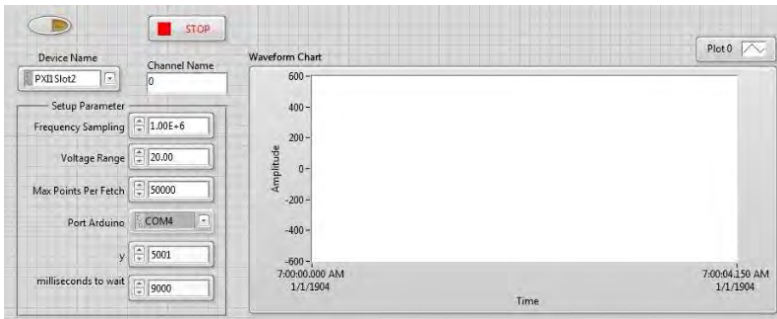
Gambar 2.11 Rangkaian *single secondary winding villard cascade*

## 2.8 LabVIEW

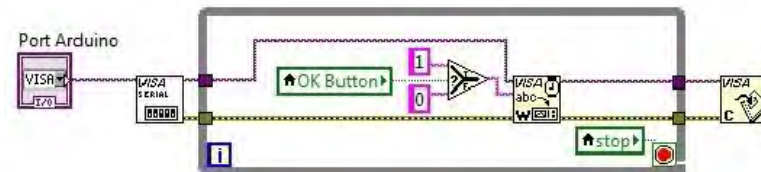
LabVIEW merupakan program yang dimaksudkan untuk *Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench* dan

merupakan *graphical development environment* untuk menghasilkan desain yang fleksibel dan *scalable*, dan juga untuk kontrol dan aplikasi uji dalam waktu singkat dengan biaya yang minimal [21]. LabVIEW ini tidaklah membutuhkan pengguna program yang berpengalaman sehingga dapat digunakan dengan mudah dan cepat bagi semua pengguna.

LabVIEW memiliki tiga elemen utama yaitu: *front panel*, *block diagram* dan *connector panel*. *Front panel* memungkinkan pengguna untuk membangun kontrol dan indikator. Kontrol tersebut yaitu termasuk *cons*, *push button*, *dials* dan mekanisme *input* lainnya. Indikator yaitu grafik, LED dan tampilan *output* lainnya. Sementara itu *block diagram* digunakan pengguna untuk menambahkan kode menggunakan Vis dan struktural yang digunakan untuk mengontrol objek *front panel*. *Connector panel* memungkinkan pengguna untuk mewakili suatu VI sebagai sub ikon VI yang dapat memanggil VI lain.



**Gambar 2.12** Front panel LabVIEW [24]



**Gambar 2.13** Block diagram LabVIEW [24]

## 2.9 Arduino

Arduino adalah sebuah platform *open source* yang digunakan untuk membangun dan memprogram barang elektronik. Arduino dapat menerima dan mengirim informasi ke sebagian besar perangkat dan bahkan dapat melakukan perintah terhadap sebuah peralatan melalui internet. Arduino menggunakan hardware yang bernama arduino uno sebagai *circuit board* dan sebuah software sederhana (C++) untuk memprogram *board* tersebut [22, 23].

Di zaman yang modern ini arduino banyak diaplikasikan untuk memprogram mikrokontroler. Hal ini dikarenakan arduino mudah dipahami oleh pengguna dan juga pengaturannya yang mudah. Seperti sebuah mikrokontroler, arduino merupakan *circuit board* dengan chip yang dapat diprogram untuk menjalankan berbagai tugas. Arduino akan mengirimkan informasi dari program komputer untuk mikrokontroler arduino dan pada akhirnya menuju sirkuit tertentu atau mesin dengan beberapa sirkuit yang digunakan untuk menjalankan perintah atau program arduino. Arduino juga dapat membantu membaca informasi dari sebuah perangkat (*input*) seperti sensor, potensiometer dan lainnya. Selain itu arduino juga dapat mengirim informasi ke sebuah perangkat (*output*) seperti LED, speaker, layar LCD , motor DC dan lainnya.

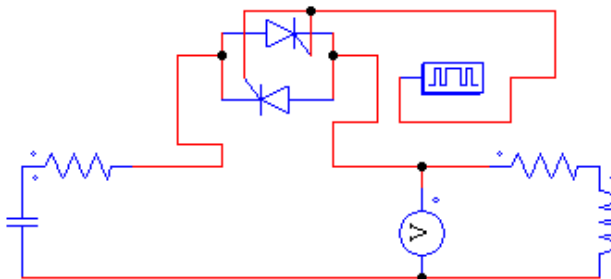


Gambar 2.14 Board arduino uno

## 2.10 PSIM

PSIM merupakan salah satu simulator tercepat untuk mensimulasikan elektronika daya. Meskipun simulasi PSIM cepat, PSIM tetap mempertahankan akurasi sehingga hasil dari simulasi tersebut sangat baik. Hal tersebut juga membuat PSIM sangat efisien dalam mensimulasikan sistem *converter* [28].

PSIM menggunakan algoritma yang sangat baik untuk menjalankan sirkuit listrik seperti *piecewise method*, *generic models* dan *fixed time-step*. Contoh skematik pengujian surja pada PSIM dapat dilihat pada Gambar 2.15.

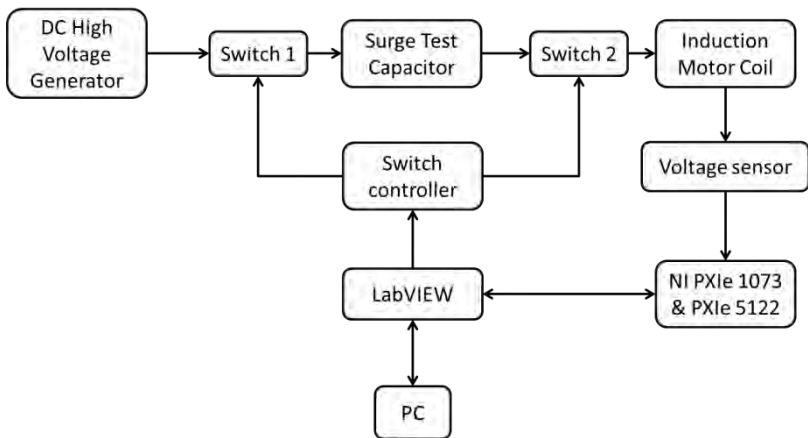


**Gambar 2.15** Surge test schematic on PSIM

## BAB III PERANCANGAN SISTEM DAN ALAT

### 3.1 Konfigurasi Sistem

Pada penelitian desain peralatan tes surja ini meliputi beberapa hal yaitu: perancangan rangkaian tes surja, perancangan belitan motor untuk mensimulasikan kerusakan, dan pembuatan desain software akuisisi data dan analisis hasil pengujian. Diagram pengujian tes surja dapat dilihat pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1** Konfigurasi sistem tes surja

Pada pengujian surja ini terdapat beberapa komponen penting, yaitu:

1. Variabel autotransformator dan AC supply
2. *Single secondary winding villard cascade multiplier*
3. Switch tegangan tinggi dengan kontrol arduino
4. Rangkaian kapasitor tes surja yang nilai kapasitansi dan resistansi tambahannya bervariasi
5. Belitan motor induksi dengan kondisi yang bervariasi
6. Sensor tegangan, NI PXIe 1073 dan NI PXIe 5122
7. LabVIEW dan software penunjang lainnya untuk pengolahan analisis data



Proses pembentukan gelombang surja ini mula-mula dimulai oleh PC, ketika program PC dijalankan maka LabVIEW akan mengirim data ke *switch controller* sehingga *switch 1* dan *switch 2* akan bekerja. Disaat bersamaan LabVIEW juga mengirim data ke NI PXIe agar memulai sampling data. Proses kerja dari *switch* yaitu pertama *switch 1* menutup dan *switch 2* terbuka sehingga *DC high voltage generator* akan mengisi tegangan ke *surge test capacitor*. Kedua *switch 1* terbuka dan *switch 2* tetap terbuka. Ketiga *switch 1* tetap terbuka dan *switch 2* menutup sehingga muatan pada *surge test capacitor* mengalir ke *induction motor coil* dan terbentuklah gelombang surja. Keempat *switch 1* tetap terbuka dan *switch 2* terbuka. Disaat gelombang surja terbentuk, data gelombang surja tersebut diambil oleh *voltage sensor* dan NI PXIe. Lalu data tersebut akan dilanjutkan ke LabVIEW dan terakhir akan disimpan oleh PC. Setelah semua data tersimpan, program PC akan berhenti dan LabVIEW akan mengirim data ke *switch controller* dan NI PXIe untuk menghentikan semua proses.

Pengujian surja pada motor induksi dilakukan dalam kondisi motor *offline* atau tidak beroperasi dan kondisi motor tanpa rotor. Selain kedua kondisi tersebut, terdapat kondisi pengujian khusus yaitu pengujian belitan tanpa rumah stator. Pengujian kondisi khusus ini dilakukan untuk mendapatkan keakuratan peralatan dan juga hasil pengujian.

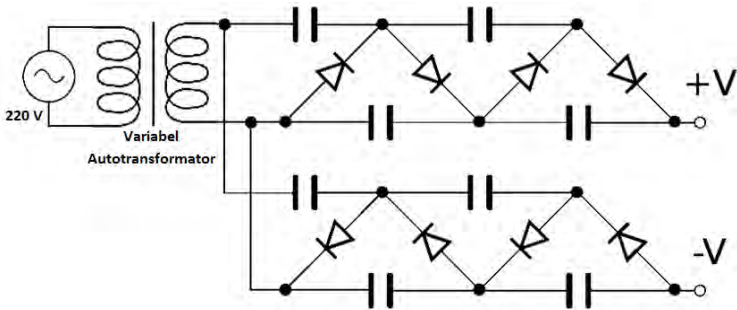
## 3.2 Perancangan Hardware

Pada penelitian ini terdapat beberapa perancangan hardware yaitu meliputi desain dan perancangan pembangkit tegangan tinggi DC, desain kontrol dan rangkaian switch tegangan tinggi, desain rangkaian kapasitor tes surja, motor induksi dengan *external tabs* untuk simulasi *turn fault*, dan desain belitan motor induksi tanpa rumah stator dengan kondisi *fault* yang berbeda-beda.

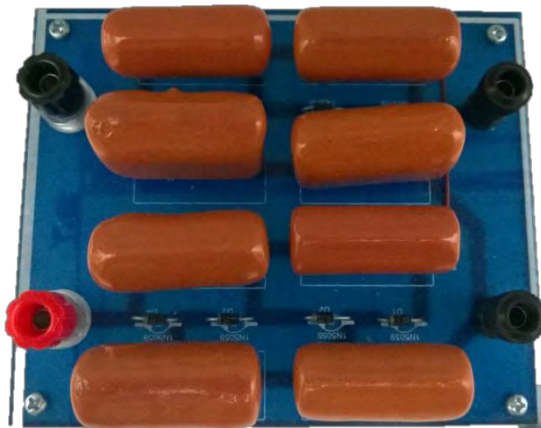
### 3.2.1 Pembangkit Tegangan Tinggi DC

Perancangan sistem pembangkit tegangan tinggi DC ini meliputi beberapa komponen yaitu: *supply AC 220V*, variabel autotransformator *0V-220V*, dan *single secondary winding vilard cascade multiplier*. Komponen-komponen tersebut disusun seperti Gambar 3.2. Rangkain *single secondary winding* tersebut berisikan dua buah rangkaian *cockcroft-walton* dengan polaritas yang berbeda. Pada rangkaian bagian atas terdiri dari dua *stage cockcroft-walton* sehingga secara teori akan membangkitkan tegangan DC sebesar  $+4 V_{\text{peak}}$ . Sedangkan pada bagian

bawah juga terdiri dari dua *stage cockcroft-walton* dengan arah dioda berlawanan dengan rangkaian *cockcroft-walton* yang atas sehingga akan membangkitkan tegangan DC sebesar  $-4 V_{\text{peak}}$ . Setiap satu stage terdiri dari dua buah dioda dan dua buah kapasitor. Karena rangkaian ini terdiri dari dua stage dan dua buah polaritas yang berbeda maka total bahan yang digunakan sebanyak 8 buah kapasitor dengan kapasitansi 10 nF dan tegangan 2000 V dan 8 buah dioda dengan tegangan *block* maksimum 4 kV. Implementasi dari rangkaian tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.3.



**Gambar 3.2** Desain pembangkit tegangan tinggi DC



**Gambar 3.3** Implementasi rangkaian *single secondary winding villard cascade*

Secara teori total tegangan yang dibangkitkan oleh rangkaian ini adalah  $8 V_{peak}$  atau dapat dituliskan menjadi persamaan berikut [20]:

$$V_{out} = 4 \times N \times V_{peak\ input} \quad (3.1)$$

Keterangan:

$V_{peak\ input}$  : tegangan puncak input

$N$  : jumlah stage setiap polaritas

Jadi secara teori tegangan yang dapat dibangkitkan apabila semua komponen ideal adalah:

$$\begin{aligned} V_{out} &= 4 \times 2 \times 220\sqrt{2} \\ &= 2489\text{ V} \end{aligned}$$

Sedangkan variabel autotrafo pada pembangkit tegangan tinggi DC ini digunakan untuk mengontrol tegangan yang masuk ke rangkaian *single secondary winding* sehingga tegangan yang didapat dari *output single secondary winding* bisa sesuai dengan yang diinginkan.

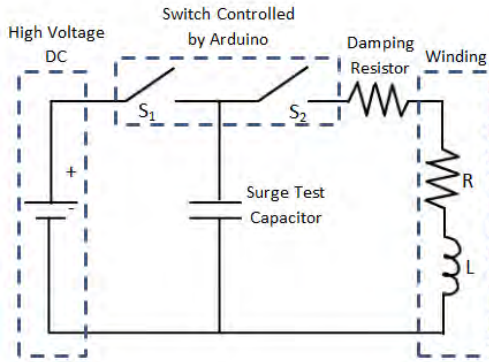
### 3.2.2 Rangkaian *Switching*

Pemilihan jenis dan spesifikasi *switch* pada penelitian ini sangatlah penting karena akan memberikan pengaruh besar pada hasil pengujian surja. Rangkaian *switching* ini terdiri dari dua buah *switch* yang dikontrol melalui arduino dan diperintah melalui komputer. Skema dari rangkaian *switch* dapat dilihat pada Gambar 3.4. Sedangkan implemetasi rangkaian *switching* tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.5.

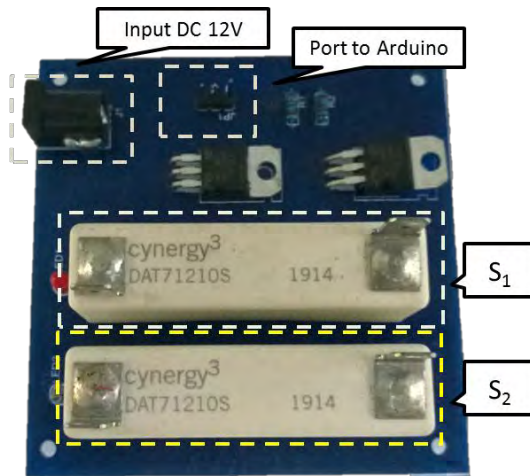
*Switch* nomor 1 ( $S_1$ ) digunakan untuk melakukan pengisian tegangan ke kapasitor tes surja dan *switch* nomor 2 ( $S_2$ ) digunakan untuk melepas muatan ke belitan motor induksi sehingga timbul gelombang surja. Pada penelitian ini jenis *switch* yang digunakan yaitu *reed relay* dengan spesifikasi sebagai berikut:

**Tabel 3.1** Spesifikasi reed relay

Contact	Conditon	Value
Isolation across contact	DC or AC peak	10 kV
Maximum switching voltage	DC or AC peak	7 kV
Maximum switching current	DC or AC peak	2 A



Gambar 3.4 Skema rangkaian *switching*



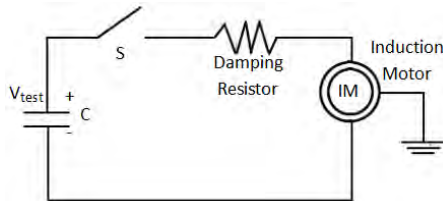
Gambar 3.5 Implementasi rangkaian *switching*

### 3.2.3 Rangkaian Kapasitor Tes Surja

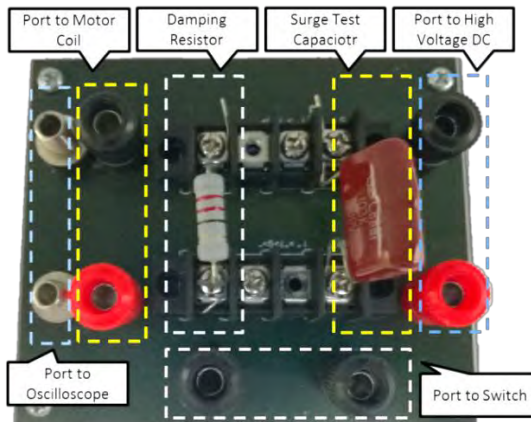
Kapasitor tes surja merupakan salah satu bagian paling penting dalam penelitian ini. Karena kapasitor tersebut nantinya akan membangkitkan gelombang surja ketika diseri dengan belitan motor

induksi. Skema rangkaian kapasitor tes surja dengan damping resistor beserta belitan motor induksi dapat dilihat pada Gambar 3.6. Cara kerja dari rangkaian ini adalah mula-mula kapasitor diisi muatannya hingga mencapai tegangan tertentu, lalu muatan tersebut dilepaskan melalui *switch*. Karena belitan motor merupakan rangkain induktor dan resistor yang diseri, maka rangkaian secara utuh menjadi rangkaian RLC seri sehingga timbulah gelombang surja.

Pada penelitian ini nilai kapasitansi divariasikan yaitu 10 nF dan 1 nF. Selain itu terdapat pula *damping resistor* yang digunakan untuk memperkecil arus sekaligus meredam panjang gelombang surja. *Damping resistor* ini juga akan divariasikan yaitu sebesar 22  $\Omega$  dan 100  $\Omega$ . Gambar rangkaian kapasitor tes surja setelah perancangan dapat dilihat pada Gambar 3.7.



**Gambar 3.6** Skema rangkaian kapasitor tes surja



**Gambar 3.7** Implementasi rangkaian kapasitor tes surja

### 3.2.4 NI PXIe-1073, NI PXIe-5122 dan Probe Tegangan Tinggi

NI PXIe 1073 merupakan *chasis* produk Nasional Instrumen yang memiliki kontrol terintegrasi dan dirancang untuk berbagai jenis aplikasi. *Chasis* ini mendukung modul PXI express disetiap modulnya dan juga kompatibel terhadap modul standar PXI hybrid [25].

NI PXIe 5122 merupakan modul digitizer PXI Express dengan resolusi tinggi dan dapat mengalirkan data hingga 400Mb/s. Fungsi utama dari alat ini adalah sebagai osiloskop digital. Jadi alat ini nantinya juga akan membantu mengkonversi gelombang surja yang masuk untuk diolah oleh LabVIEW menjadi sebuah data [26].

Testec *High Voltage Probe* merupakan sebuah probe tegangan tinggi dengan skala 100:1 dan frekuensi maksimum 300 MHz. Fungsi utama dari alat ini adalah untuk mengecilkan tegangan baca yang masuk ke NI PXIe sebesar 100 kali. Karena tegangan yang masuk ke NI PXIe haruslah dibawah rating NI PXIe agar alat tersebut tidak rusak. Gambar dari ketiga peralatan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.8.



**Gambar 3.8** (a) NI PXIe 1073 dan 5122 (b) *High voltage probe*

### 3.3 Perancangan Software

Pada penelitian ini terdapat dua software utama yang digunakan. Yang pertama yaitu program arduino yang digunakan untuk mengontrol *switch*, lalu yang kedua adalah LabVIEW yang digunakan untuk mengolah data gelombang surja dan secara tidak langsung mengontrol *switch* melalui program arduino.

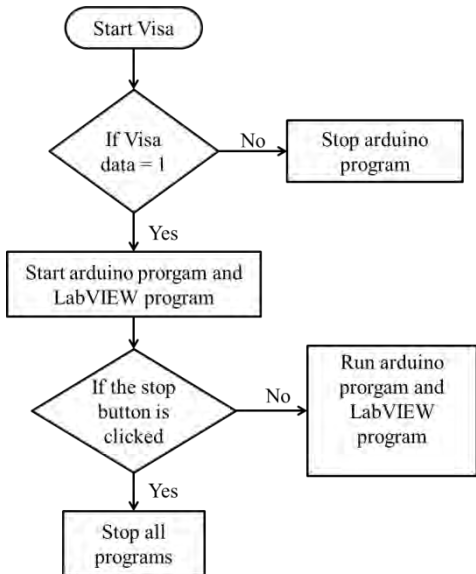
### 3.3.1 Perancangan Program Arduino

Program arduino pada penelitian ini digunakan untuk mengontrol switch yang ada. Program tersebut dapat dilihat pada lampiran. Program tersebut menggunakan 1 buah *input* dan 2 buah *output*. *Input* dari program arduino tersebut yaitu berupa serial data yang dikirim oleh LabVIEW. Sedangkan kedua keluarannya berupa perintah untuk membuka menutup *switch*. Penjelasan program tersebut yaitu sebagai berikut:

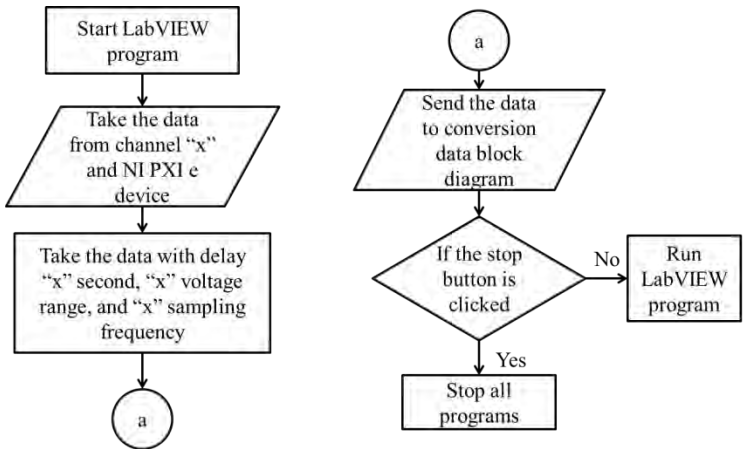
1. Mula-mula semua *switch* dalam keadaan terbuka.
2. Lalu ketika arduino menerima serial data dari LabVIEW maka arduino akan memulai eksekusi program.
3. Eksekusi pertama yaitu *switch* 1 terbuka selama 10 detik dan setelah itu *switch* 1 akan terbuka.
4. Setelah 2 detik sejak penutupan *switch* 1, maka *switch* 2 akan menutup selama 5 detik. Dan setelah itu *switch* 2 akan terbuka.
5. Setelah kedua *switch* terbuka, LabVIEW akan mengirimkan serial data lagi untuk memastikan kedua *switch* benar-benar terbuka.

### 3.3.2 Perancangan Program LabVIEW

LabVIEW pada penelitian ini digunakan untuk mengolah data dan secara tidak langsung untuk mengontrol *switch*. Program LabVIEW tersebut terdiri dari beberapa blok diagram. Yang pertama yaitu blok diagram komunikasi serial dengan arduino. *Flowchart* dari blok diagram tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.9. Blok digaram ini secara tidak langsung berfungsi untuk melakukan perintah *switching* pada arduino dan juga untuk menjalankan program LabVIEW yang telah dibangun. Lalu yang kedua adalah blok diagram penampil dan akuisisi data. *Flowchart* blok diagram tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.10. Blok diagram ini berfungsi untuk mengolah data gelombang surja yang diterima oleh PXIe 5122 dan PXIe 1073. Agar didapatkan data bentuk gelombang surja yang bagus maka pada penelitian ini digunakan frekuensi sampling sebesar 1 MHz. Blok diagram ketiga yaitu blok diagram konversi data, yang *flowchart* blok diagram tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.11. Blok diagram ini berfungsi untuk mengkonversi data yang telah diolah tersebut menjadi file dengan format TDMS. File TDMS inilah yang nantinya akan dianalisis untuk mendapatkan nilai EAR.

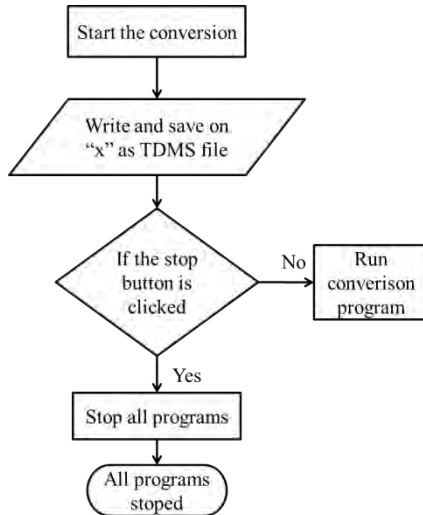


**Gambar 3.9** Flowchart blok digram serial data arduino



**Gambar 3.10** Flowchart blok diagram komunikasi LabVIEW dan PXIe-5122





**Gambar 3.11** *Flowchart* blok diagram konversi data

### 3.4 Perancangan Perangkat Motor Induksi

Perancangan belitan motor induksi pada penelitian ini dibagi menjadi dua jenis yaitu pertama belitan motor induksi tanpa rumah stator dan kedua yaitu belitan motor induksi dengan rumah stator.

#### 3.4.1 Perancangan Belitan Motor Induksi Tanpa Rumah Stator

Perancangan belitan motor induksi tanpa rumah stator ini difungsikan untuk menghindari adanya pengaruh-pengaruh lain dalam pengujian surja seperti pengaruh inti besi pada rumah stator. Dengan adanya perancangan tersebut diharapkan akurasi dari pengujian surja bisa lebih tinggi.

Spesifikasi belitan yang digunakan pada motor ini dapat dilihat pada Tabel 3.2.

**Tabel 3.2** Data belitan motor

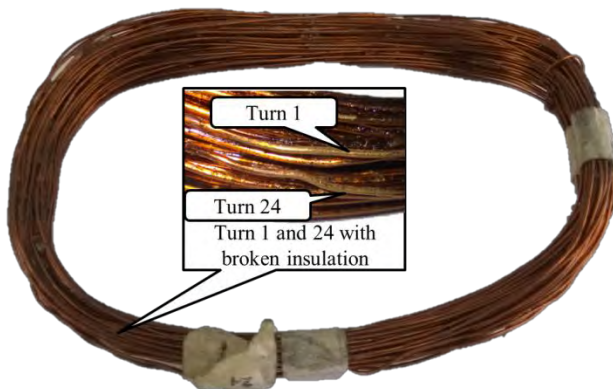
P rating	2 HP
Poles	1
V rated	220/380V
Number of trun/ pole	72 turn

**Tabel 3.2** Data belitan motor (lanjutan)

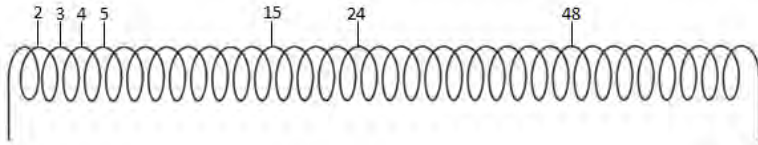
Wire diameter	0.7mm
Total length of wire	27.7m

Perancangan belitan tanpa rumah stator ini akan dibagi menjadi tiga jenis yaitu:

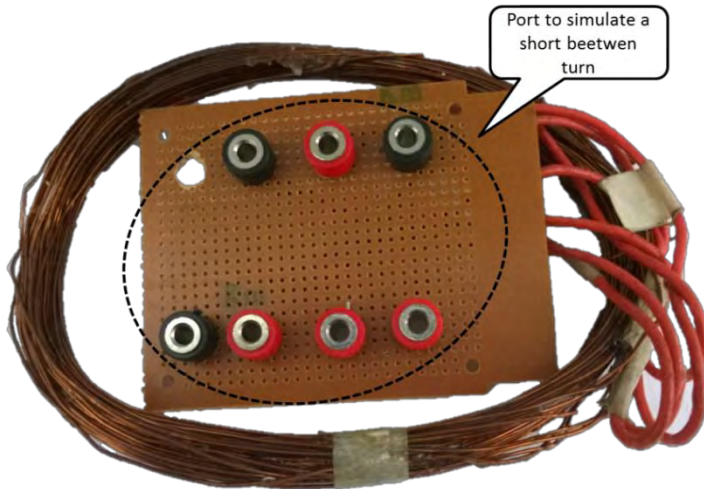
1. Belitan kondisi normal. Belitan ini difungsikan untuk menguji gelombang surja yang terbentuk dan juga sebagai referensi tes surja pada belitan saat kondisi normal.
2. Belitan kondisi isolasi rusak atau terbuka pada *turn* 1 dan *turn* 24. Implementasi belitan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.12. Hal ini dilakukan untuk membuktikan keakuratan alat uji pada kondisi real atau nyata, karena dilapangan sering sekali ditemui kondisi isolasi antar belitan rusak. Jarak yang digunakan antara isolasi 1 dan 24 adalah 0.08mm.
3. Belitan dengan *external tab* dan dihubungkan dengan *turn* 2, 3, 4, 5, 15, 24, dan 48. Skema *turn* yang dihubungkan dengan *external tab* dapat dilihat pada Gambar 3.13, sedangkan implementasi belitan dengan *external tab* dapat dilihat pada Gambar 3.14. Belitan dengan *external tab* ini dibuat untuk membandingkan nilai EAR apabila terjadi *short* antar belitan.



**Gambar 3.12** Belitan kondisi isolasi rusak pada *turn* 1 dan 24



**Gambar 3.13** Skema turn belitan yang dihubungkan ke *external tab*



**Gambar 3.14** Belitan dengan *external tab*

### 3.4.2 Perancangan Motor Induksi dengan Rumah Stator

Perancangan ini digunakan untuk menguji keakuratan alat uji apabila diberi pengaruh inti besi pada rumah stator, karena dilapangnya pengujian surja pada motor induksi akan menggunakan rumah stator. Pada perancangan ini digunakan motor induksi dengan spesifikasi seperti pada Tabel 3.3.

**Tabel 3.3** Spesifikasi motor induksi dengan rumah stator

P rating	1 HP
Poles	4
V rated	220/380V
I rated	3.6/2.1A

**Tabel 3.3** Spesifikasi motor induksi dengan rumah stator (lanjutan)

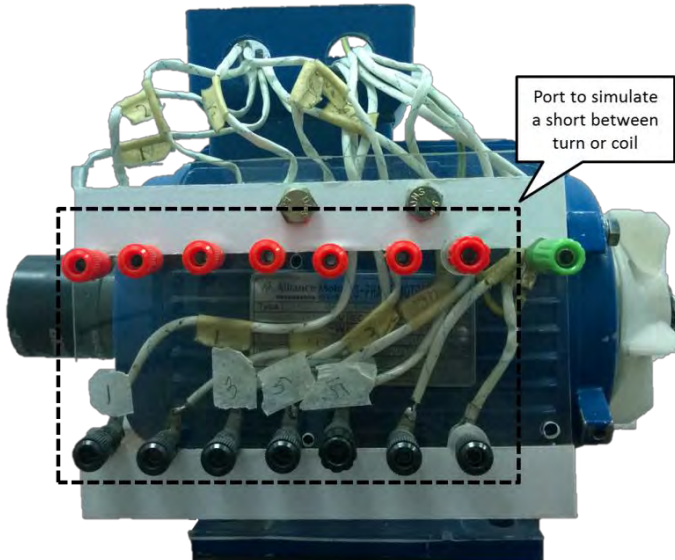
N rated	1380rpm
Number of slot	24
Number of turn per phase	480

Motor induksi tersebut akan didesain memiliki beberapa macam tipe kerusakan yaitu:

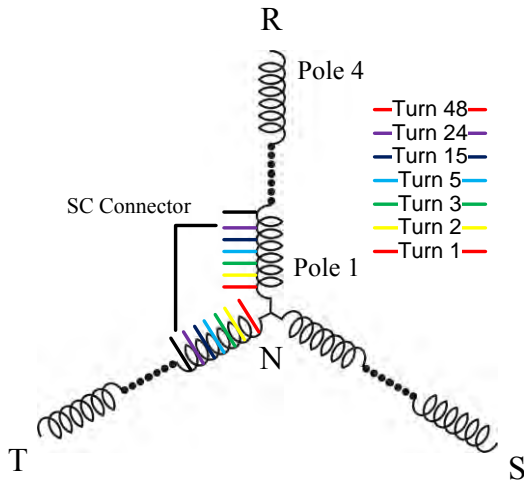
1. Kerusakan isolasi belitan antar *turn*
2. Kerusakan isolasi belitan antar *coil*
3. Kerusakan isolasi belitan antar fasa

Untuk mensimulasikan kerusakan tersebut digunakanlah *external tab* dengan *port* yang dapat dihubungkan seperti pada Gambar 3.15.

Seperti yang terlihat pada Gambar 3.15, belitan fasa U dan V diambil beberapa *turn* untuk dihubungkan ke *external tab*. *Turn* yang dikeluarkan untuk dihubungkan *external tab* adalah *turn* 1, 2, 3, 5, 15, 24, dan 48. Skema *turn* yang dihubungkan ke *external tab* dapat dilihat pada Gambar 3.16.



**Gambar 3.15** Motor induksi dengan *external tab*



**Gambar 3.16** Skema *turn* yang dihubungkan dengan *external tab* [27]

Dengan desain tersebut nantinya akan dilakukan pengujian surja untuk mendeteksi kerusakan antar *turn* dengan adanya pengaruh rumah stator.

## **BAB IV**

# **DETEKSI KERUSAKAN ISOLASI BELITAN MOTOR INDUKSI 3 FASA TEGANGAN RENDAH MENGUNAKAN TES SURJA**

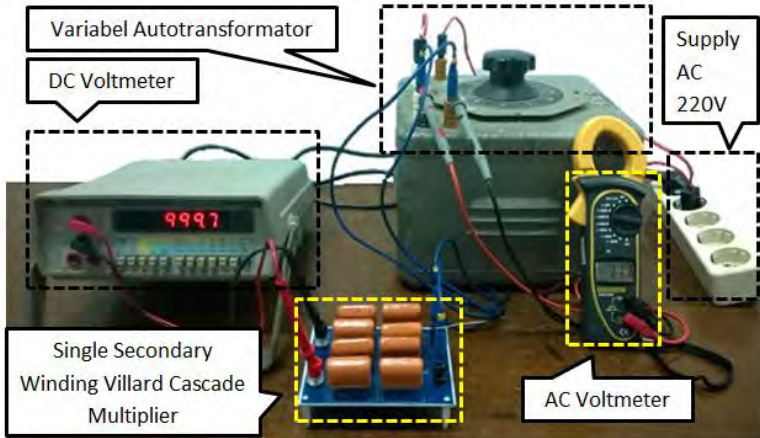
Bab ini berisikan pengujian dan hasil analisis peralatan tes surja dan pengujian pada belitan motor induksi 3 fasa tegangan rendah, yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh komponen pada peralatan tes surja terhadap akurasi deteksi kerusakan isolasi antar belitan pada motor induksi.

Komponen-komponen yang divariasikan dalam tes surja ini yaitu kapasitansi kapasitor tes surja, *damping resistor* tes surja, dan tegangan uji tes surja. Selain itu terdapat beberapa macam belitan yang digunakan sebagai bahan uji tes surja yaitu belitan kondisi normal, belitan kondisi *turn fault* dengan *short* yang disengaja, dan belitan kondisi isolasi rusak. Sedangkan untuk menganalisis hasil pengujian tersebut digunakanlah metode *Error Area Ratio* (EAR).

### **4.1 Hasil dan Analisis Pengujian Pembangkit Tegangan Tinggi DC**

Pengujian tegangan DC ini menggunakan seperangkat alat yaitu variabel autotrafo dengan tegangan *input* 220 V dan tegangan *output* 0 V sampai 220 V dan sebuah rangkaian *single secondary winding villard cascade*. Fungsi utama dari variabel autotrafo tersebut adalah untuk mengontrol tegangan *output* dari rangkaian *single secondary winding*, sedangkan rangkaian *single secondary winding* digunakan untuk mengkonversi tegangan AC menjadi DC dan juga untuk melipat gandakan tegangan. Lalu pada pengujian ini digunakan dua buah *voltmeter*, yang pertama digunakan untuk mengukur tegangan *output* autotrafo dan yang kedua digunakan untuk mengukur tegangan *output* rangkaian *single secondary winding*. Proses pengujian pembangkit tegangan DC ditunjukkan pada Gambar 4.1.

Tegangan *output* autotrafo dinaikan secara bertahap dari 0 V, 20 V, 40 V, dan seterusnya. Dan secara bersamaan tegangan *output* rangkaian *single secondary winding* diukur. Lalu tegangan DC *output* hasil pengujian akan dibandingkan dengan perhitungan berdasarkan teori sehingga bisa didapatkan *error* atau rugi-rugi tegangan pada rangkaian.



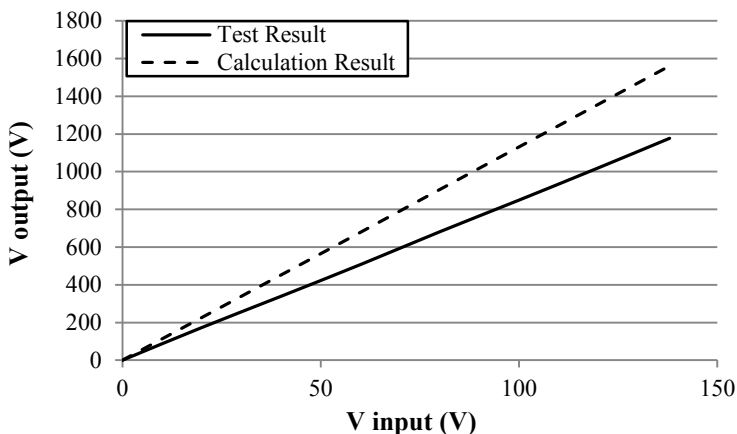
**Gambar 4.1** Pengujian pembangkit tegangan DC

Hasil pengujian pembangkit tegangan DC ini dapat dilihat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Hasil pengujian dan perhitungan pembangkit tegangan DC

Tegangan <i>input</i> rms(Volt)	Tegangan <i>output</i> pengujian (Volt)	Tegangan <i>output</i> perhitungan (Volt)
0	0	0
20	173	226
40	339	452
60	507	678
80	681	905
100	849	1131
120	1020	1357
138	1177	1561

Karena keterbatasan *range* tegangan alat ukur maka tegangan pengujian hanya bisa mencapai 1177 V. Meskipun begitu grafik kenaikan *ouput* tegangan uji cenderung linier. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.2. Dari grafik dan tabel tersebut dilakukan perhitungan sedemikian rupa sehingga didapatkan *error* rata-rata *output* tegangan sebesar 25%. Penyebab munculnya *Error* bisa disebabkan oleh pengaruh rugi-rugi komponen ataupun *ripple* tegangan.



**Gambar 4.2** Grafik hasil pengujian tegangan DC

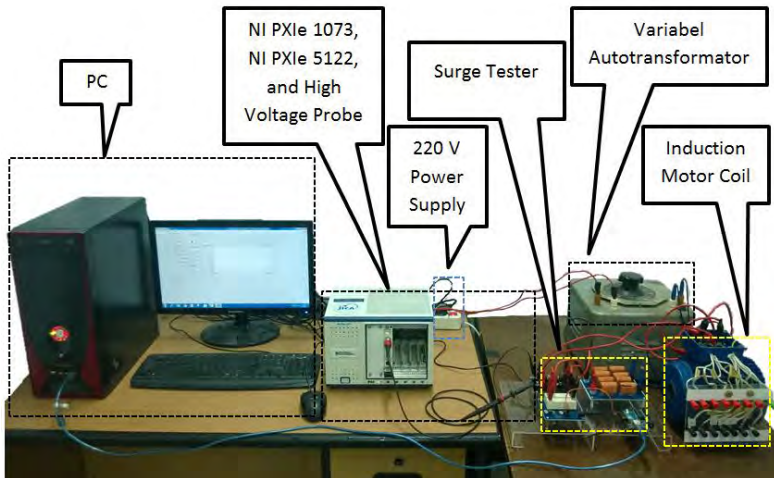
## 4.2 Hasil dan Analisis Pengujian Gelombang Surja

Pengujian gelombang surja ini dimaksudkan untuk mengetahui kecepatan *rise time* gelombang surja yang dibangkitkan, tegangan puncak *rise time* dan juga untuk mengetahui bentuk gelombang surja yang dibangkitkan. Gambar 4.3 menunjukkan proses tes surja dan pengambilan data. Lalu bahan uji yang digunakan pada pengujian ini yaitu sebuah belitan motor induksi kondisi normal tanpa rumah stator dan sebuah belitan motor induksi kondisi normal dengan rumah stator seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4. Sedangkan spesifikasi peralatan uji yang digunakan pada pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 4.2.

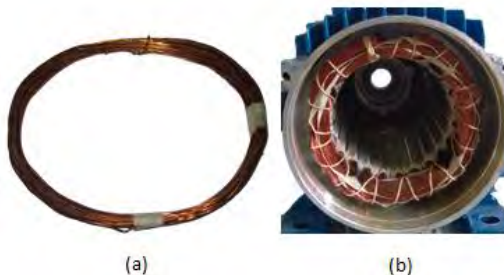
**Tabel 4.2** Spesifikasi peralatan uji pada pengujian gelombang surja

Component	Value
Capacitance of capacitor surge test	10 nF
Damping resistor	22 ohm
Test Voltage	930 V





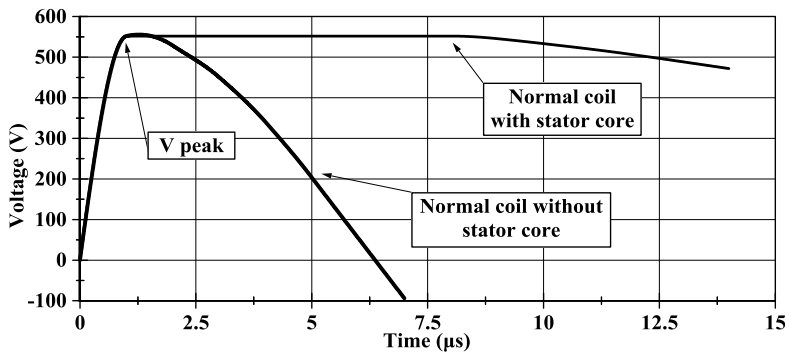
**Gambar 4.3** Proses tes surja dan pengambilan data



**Gambar 4.4** (a) belitan tanpa rumah stator (b) belitan dengan rumah stator

#### 4.2.1 Hasil dan Analisis Pengujian Tegangan Puncak

Pengujian tegangan puncak ini digunakan untuk mengetahui berapa besar tegangan puncak *output* pada *front rise time* yang terbaca oleh alat akuisis data. Sedangkan tegangan uji yang digunakan adalah 930 V. Hasil pengujian tegangan puncak dapat dilihat pada Gambar 4.5. Tegangan puncak *output* yang didapatkan ternyata kurang dari 930 V yaitu hanya 551 V. Untuk itu dilakukan analisis lagi dengan melakukan pengambilan data sebanyak 10 kali pada masing-masing belitan uji. Hasil pengambilan data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.3.



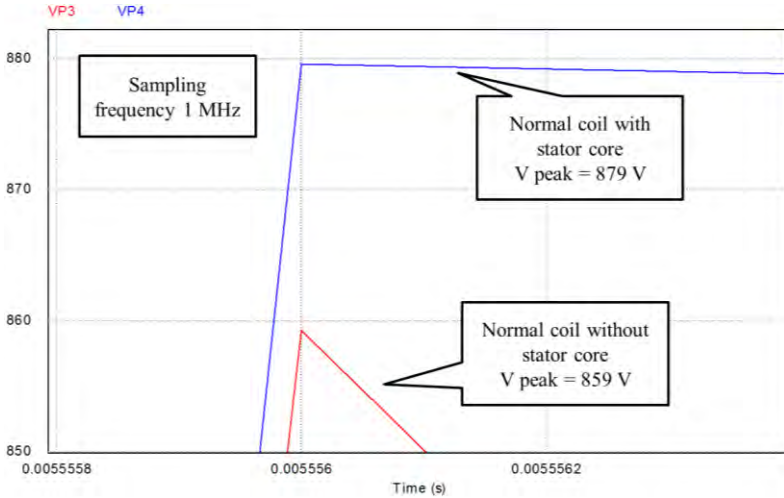
Gambar 4.5 Hasil pengujian tegangan puncak

Tabel 4.3 Hasil pengujian tegangan puncak sebanyak 10 kali

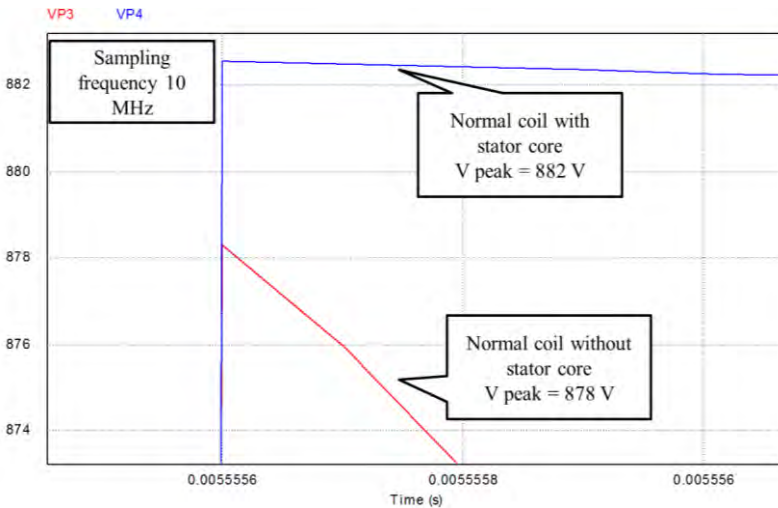
Test number	V peak of normal coil without stator core (Volt)	V peak of normal coil with stator core (Volt)
1	552	552
2	479	538
3	552	542
4	525	552
5	492	552
6	552	552
7	463	552
8	552	552
9	488	552
10	552	552

Dari pengujian sebanyak 10 kali rata-rata tegangan puncak yang paling sering muncul adalah 552 V. Dan dari data tersebut juga didapatkan bahwa tegangan puncak maksimum setelah pengujian 10 kali adalah sebesar 552 V. Maka dari itu dilakukan analisis lebih lanjut dengan dibandingkan menggunakan hasil simulasi PSIM. Tetapi sebelum itu nilai induktansi belitan akan diukur dulu dengan LCR meter, lalu hasil tersebut dimasukkan kedalam simulasi PSIM. Hal ini dilakukan agar didapatkan hasil yang akurat. Hasil pengujian tegangan puncak menggunakan PSIM ditunjukkan pada Gambar 4.6. Pada pengujian PSIM didapatkan hasil tegangan puncak kurang dari 930 V yaitu 879 V dan 859 V. Oleh karena itu dilakukan lagi pengujian PSIM tetapi dengan

frekuensi sampling yang lebih besar yaitu 10 MHz. Hasil pengujian dengan frekuensi 10 MHz dapat dilihat pada Gambar 4.7.



**Gambar 4.6** Hasil pengujian tegangan puncak dengan PSIM



**Gambar 4.7** Hasil simulasi PSIM dengan frekuensi sampling 10 MHz

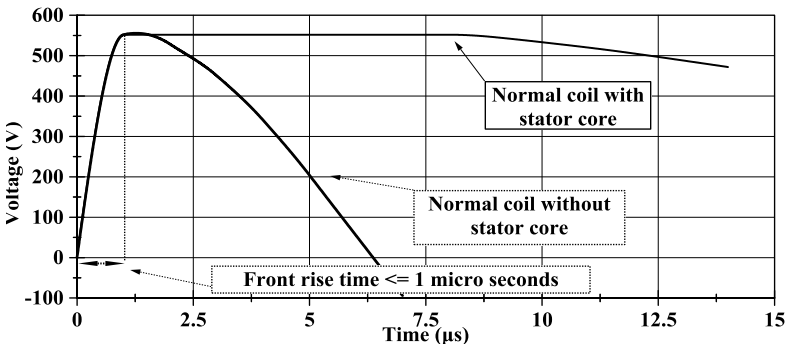
Setelah frekuensi sampling dinaikan ternyata tegangan puncak juga ikut naik. Sehingga bisa disimpulkan tidak tercapainya nilai tegangan puncak yang sama dengan tegangan uji bisa disebabkan karena pengaruh dari kurangnya nilai frekuensi sampling.

#### 4.2.2 Hasil dan Analisis Pengujian *Rise Time* Gelombang Surja

Pengujian *rise time* dilakukan untuk menentukan tegangan uji yang digunakan nantinya agar sesuai dengan standar. Hasil pengujian *rise time* dapat dilihat pada Gambar 4.8. *Rise time* yang didapatkan dari hasil pengujian tersebut yaitu antara 100 ns hingga 1.2  $\mu$ s sehingga berdasarkan standar IEEE 522 tegangan uji yang digunakan yaitu sebesar 3.5 pu. Meskipun begitu minimum tegangan uji yang diijinkan adalah 500 V. Dan berdasarkan pertimbangan seperti adanya impregnasi resin dan tidaknya adanya impregnasi resin pada belitan, dan juga untuk keamanan belitan maka tegangan uji diturunkan menjadi 3 pu, yaitu sebesar:

$$\begin{aligned} V_{uji} &= 3 \times \sqrt{2/3} \times V_{LL} \\ &= 3 \times \sqrt{2/3} \times 380 \\ V_{uji} &= 930 \text{ V} \end{aligned}$$

Jadi tegangan uji yang digunakan pada pengujian ini adalah 930 V.



Gambar 4.8 Hasil pengujian *rise time*

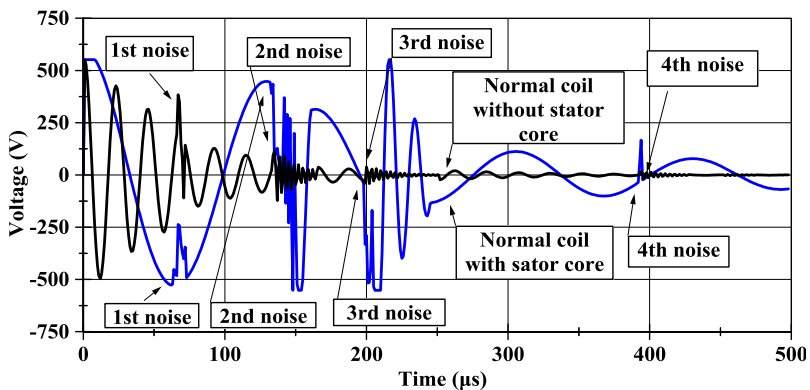
### 4.2.3 Hasil dan Analiisi Pengujian Bentuk Gelombang Surja

Pada pengujian ini karakteristik bentuk gelombang surja akan diuji. Hal ini dilakukan untuk memastikan gelombang yang terbentuk dapat digunakan untuk analisis *error area ratio*, karena gelombang yang cacat dan tidak berpola bisa menyebabkan ketidakakuratan EAR yang didapatkan. Hasil pengujian bentuk gelombang surja ditunjukkan oleh Gambar 4.9. Setelah dilakukan pengujian ternyata terdapat noise atau cacat gelombang pada gelombang surja yang terbentuk. Meskipun begitu setelah 10 kali pengujian ternyata didapatkan pola timbulnya noise yang tetap yaitu:

1. Noise ke-1 muncul 67  $\mu\text{s}$  setelah *switch* menutup
2. Noise ke-2 muncul 67  $\mu\text{s}$  setelah noise ke-1 muncul
3. Noise ke-3 muncul 67  $\mu\text{s}$  setelah noise ke-2 muncul
4. Noise ke-4 muncul 190  $\mu\text{s}$  setelah noise ke-3 muncul

Pola munculnya noise tersebut berlaku untuk belitan dengan rumah stator maupun tanpa rumah stator. Dan dari analisis tersebut, dimungkinkan penyebab munculnya noise pada gelombang surja yang dibangkitkan adalah karena pantulan (*bouncing*) yang terjadi saat *switch* melakukan kontak atau *closing*.

Setelah pengujian bentuk gelombang tersebut, dilakukan pengujian surja dan analisis EAR pada bentuk gelombang tersebut untuk memastikan pengaruh noise terhadap nilai EAR yang didapatkan. Pengujian surja tersebut dilakukan sebanyak 10 kali ke belitan sama dengan kondisi yang sama. Hasil analisis EAR tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.4.



Gambar 4.9 Hasil pengujian bentuk gelombang surja

**Tabel 4.4** Hasil analisis EAR sebanyak 10 kali

Test Number	Normal coil with stator core	Normal coil without stator core
	EAR (%)	EAR (%)
1	4.9	1.0
2	3.3	3.4
3	3.9	8.4
4	3.0	5.2
5	3.3	0.9
6	0.5	1.2
7	4.5	4.3
8	3.3	1.1
9	5.6	3.3
10	1.3	5.5

Berdasarkan hasil EAR yang didapatkan, akurasi dari peralatan tersebut sudah cukup tinggi dilihat dari nilai EAR yang tidak lebih dari 10% baik untuk belitan normal tanpa rumah stator maupun dengan rumah stator. Sehingga berdasarkan analisis yang didapatkan, *switch* yang digunakan pada pengujian ini sudah cukup layak untuk menjalankan pengujian surja pada motor induksi tegangan rendah.

### **4.3 Hasil dan Analisis Tes Surja dengan Variasi Komponen**

Pengujian variasi ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh komponen-komponen terhadap akurasi hasil tes surja dan analisis EAR yang didapatkan. Komponen-komponen yang akan divariasikan dan diuji pada bab ini yaitu nilai kapasitansi kapasitor tes surja, *damping resistor*, dan tegangan uji. Untuk mendapatkan hasil tersebut maka digunakan beberapa bahan uji berupa belitan motor induksi dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Kondisi belitan normal dan *short* tanpa rumah stator. Dengan kondisi *short (turn fault)* antar belitan 2 dan 3 atau bisa dikatakan total 1 *turn fault, short* antar belitan 2 dan 15, dan *short* antar belitan 2 dan 24.
2. Kondisi belitan normal dan *short* dengan rumah stator dan tanpa rotor. Dengan kondisi *short* antar belitan 1 dan 2, *short* antar belitan 1 dan 3, *short* antar belitan 1 dan 15, dan *short* antar belitan 1 dan 24.

3. Kondisi isolasi belitan normal dan rusak tanpa rumah stator. Isolasi yang rusak yaitu pada *turn* 1 dan *turn* 24. Dengan jarak antar *turn* 1 dan 24 sebesar 0.08 mm.

Sedangkan metode analisis EAR yang digunakan pada pengujian ini adalah *Test-Ref* EAR dengan rumus *modified* EAR. Dan standar yang digunakan untuk menilai EAR tersebut yaitu menggunakan standar *AWA Surge Test Pass/Fail Criteria*. Pada standar tersebut dijelaskan bahwa belitan kondisi normal memiliki nilai EAR 5% hingga 15%, dan apabila lebih dari 15% maka bisa disimpulkan belitan mengalami kerusakan isolasi sehingga terjadi *turn fault*. Lalu spesifikasi rangkaian yang digunakan sebagai referensi untuk pembandingan dengan rangkaian lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.5. Sedangkan pemilihan komponen-komponen tersebut berdasarkan penelitian sebelumnya [24].

**Tabel 4.5** Spesifikasi rangkaian tes surja untuk referensi pengujian

Component	Value
	Reference circuit
Capacitance of capacitor surge test	10 nF
Damping resistor	22 $\Omega$
Test Voltage	930 V

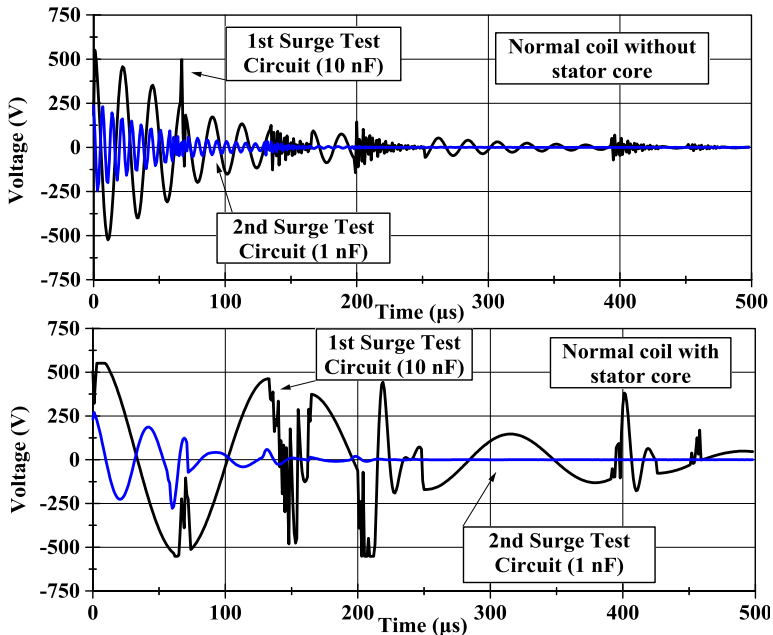
#### 4.3.1 Hasil Tes Surja dan Analisis EAR dengan Variasi Kapasitansi Kapasitor

Pengujian ini menggunakan dua buah rangkaian tes surja dengan spesifikasi seperti pada Tabel 4.6.

**Tabel 4.6** Spesifikasi rangkaian tes surja dengan variasi kapasitansi

Component	Value	
	1st Surge Test Circuit	2nd Surge Test Circuit
Capacitance of capacitor surge test	10 nF	1 nF
Damping resistor	22 $\Omega$	22 $\Omega$
Test Voltage	930 V	930 V

Sedangkan hasil gelombang surja yang terbentuk dengan kapasitor 10 nF dan 1 nF ditunjukkan pada Gambar 4.10.



**Gambar 4.10** Hasil tes surja dengan kapasitor 10 nF dan 1 nF

Dari Gambar 4.10 dapat dilihat tegangan puncak *front rise time* yang terbentuk oleh kapasitor 10 nF sekitar 550 V sedangkan tegangan puncak *front rise time* yang terbentuk oleh kapasitor 1 nF sekita 250 V. Sedangkan frekuensi osilasi yang ditimbulkan oleh kapasitor 1 nF jauh lebih tinggi dari pada kapasitor 10 nF, hal tersebut terlihat dari rapatnya gelombang yang terbentuk. Selain itu hasil tes surja pada belitan normal dengan rumah stator dan kapasitor 1 nF menunjukkan bentuk gelombang dengan luasan area yang sangat kecil. Lalu hasil analisis EAR ditunjukkan oleh Tabel 4.7.

**Tabel 4.7** Hasil analisis EAR dengan variasi kapasitansi

Coil	Turn fault	(1st Circuit, 10nf) EAR %	(2nd Circuit, 1 nf) EAR %
Normal and short without stator core	2-3	20.4 %	46.3 %
	2-15	81.0 %	84.3 %
	2-24	88.4 %	88.3 %



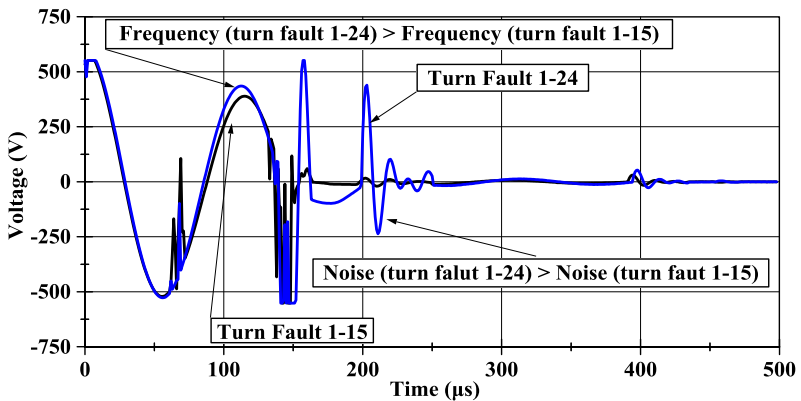
**Tabel 4.7** Hasil analisis EAR dengan variasi kapasitansi (lanjutan)

Coil	Turn fault	(1st Circuit, 10nf) EAR %	(2nd Circuit, 1 nf) EAR %
Normal and short with stator core	1-2	7.7 %	5.0 %
	1-3	24.8 %	9.2 %
	1-15	53.6 %	4.6 %
	1-24	38.6 %	2.7 %
Normal insulation and broken insulation without stator core	1-24 (1st test)	43.9 %	22.2 %
	1-24 (2nd test)	44.2 %	12.1 %

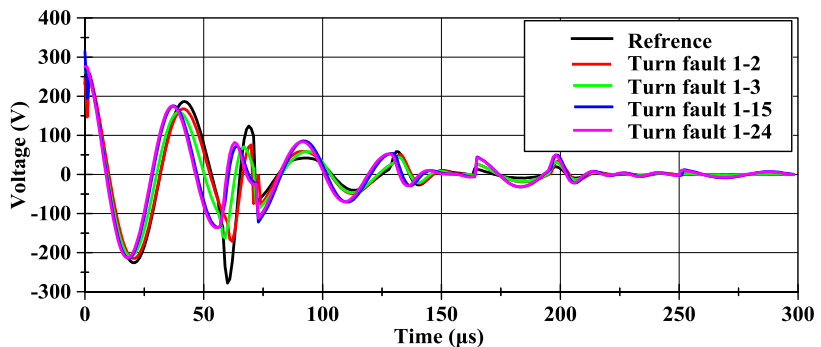
Untuk pengujian dengan kapasitansi 10 nF, semua *turn fault* pada belitan normal dan *short* tanpa rumah stator dapat terdeteksi oleh tes surja karena semua pengujian melebihi nilai standar atau melebihi 15%. Untuk belitan normal dan *short* dengan rumah stator, *turn fault* 1-2 tidak terdeteksi oleh tes surja karena nilainya masih dalam batas standar tetapi *turn fault* lainnya tetap terdeteksi. Lalu nilai EAR pada *turn fault* 1-24 ternyata lebih kecil dari *turn fault* 1-15. Maka dari itu dilakukan analisis pada bentuk gelombang surja seperti yang ditunjukkan Gambar 4.11. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa frekuensi yang timbul sudah benar, yaitu frekuensi saat *turn fault* 1-24 lebih besar dari frekuensi saat *turn fault* 1-15. Tetapi noise yang muncul pada *turn fault* 1-24 menyebabkan luasan gelombang lebih besar dibandingkan *turn fault* 1-15. Meskipun begitu *turn fault* 1-24 dan *turn fault* 1-15 dapat terdeteksi oleh tes surja karena nilai EAR yang melebihi standar. Sedangkan untuk belitan isolasi normal dan isolasi rusak tanpa rumah stator, *turn fault* atau kerusakan isolasi anatar belitan 1 dan 24 dapat terdeteksi oleh tes surja. Terbukti dengan 2 kali pengujian didapatkan nilai EAR yang melebihi nilai standar semua.

Pada pengujian dengan kapasitansi 1 nF, semua *turn fault* pada belitan normal dan *short* tanpa rumah stator dapat dideteksi oleh tes surja karena semua pengujian melebihi nilai standar atau melebihi 15%. Tetapi pada belitan normal dan *short* dengan rumah stator semua *turn fault* tidak terdeteksi karena masih dalam batas nilai standar. Oleh karena itu dilakukan analisis pada gelombang yang terbentuk seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.12. Dari gambar dapat dilihat bahwa

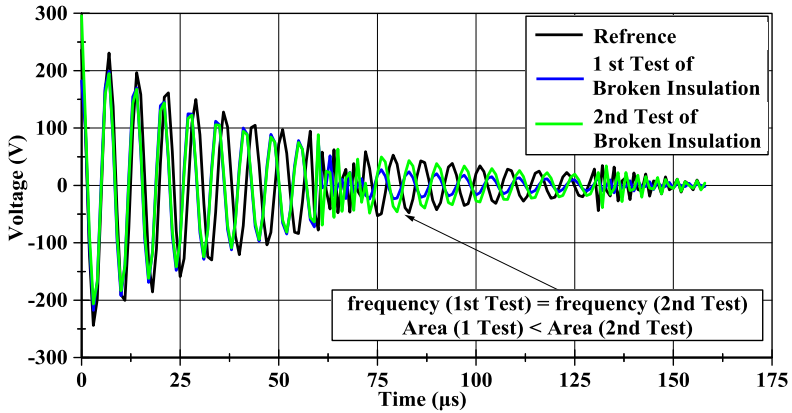
frekuensi gelombang surja sudah benar, semakin besar *turn fault* maka semakin besar frekuensi yang timbul. Tetapi perubahan frekuensi tersebut sangatlah kecil, sehingga hal ini menyebabkan luasan gelombang hampir konstan. Dan ketika dilakukan analisis EAR, maka EAR yang didapatkan cenderung bernilai kecil. Sedangkan pada pengujian belitan dengan isolasi normal dan rusak nilai yang didapatkan tidak konstan, yaitu pada tes pertama nilai EAR melebihi standar, tetapi pada tes kedua EAR masih dalam nilai standar. Maka dilakukan analisis terhadap bentuk gelombang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.13.



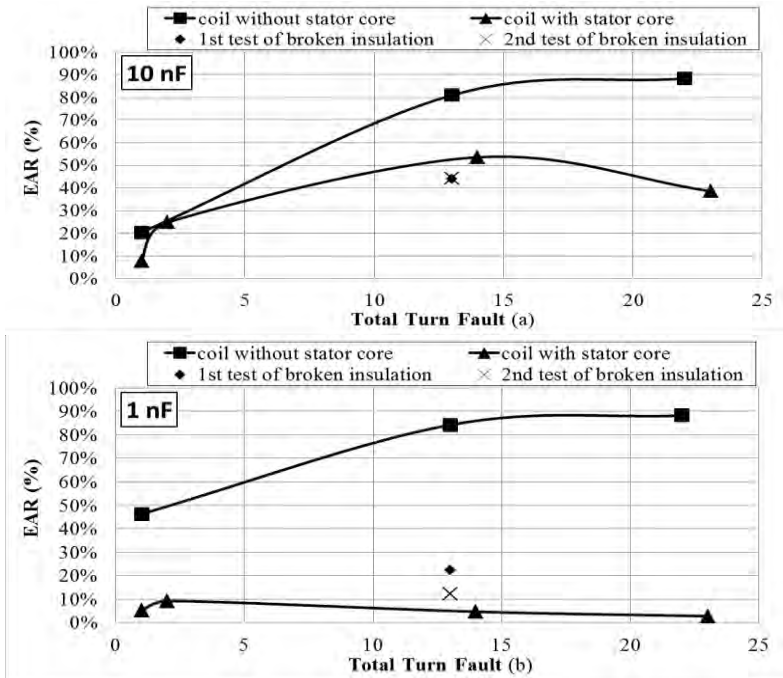
Gambar 4.11 Analisis bentuk gelombang *turn fault* 1-24 dan *turn fault* 1-15



Gambar 4.12 Analisis bentuk gelombang surja dengan kapasitansi 1 nF pada belitan dengan rumah stator

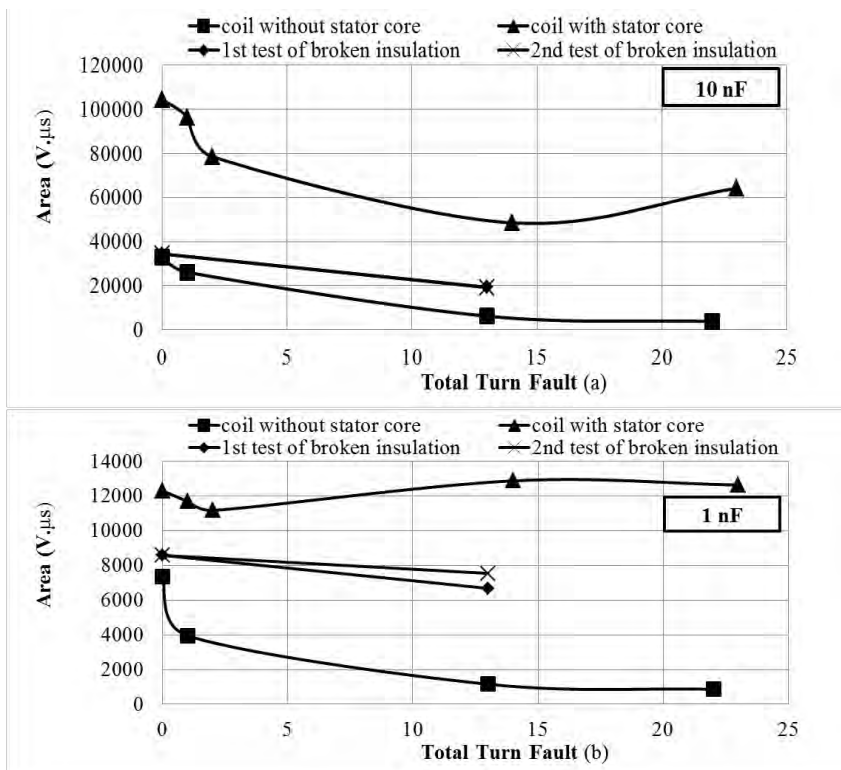


**Gambar 4.13** Analisis bentuk gelombang surja dengan kapasitansi 1 nF pada belitan isolasi rusak



**Gambar 4.14** Grafik EAR dengan variasi kapasitansi (a) 10 nF (b) 1 nF

Ternyata frekuensi yang timbul sudah benar, yaitu frekuensi tes 1 dan tes 2 (isolasi rusak) lebih besar dari gelombang referensi (isolasi normal). Tes 1 dan tes 2 memiliki frekuensi yang sama, tetapi setelah timbul noise ke-1 luasan gelombang tes 2 menjadi lebih besar dari tes 1 sehingga menyebabkan nilai EAR pada tes 2 lebih kecil dari tes 1. Lalu untuk perbandingan nilai EAR antara kapasitor 10 nF dan 1 nF dapat dilihat pada Gambar 4.14 dan untuk perbandingan luasan (*area*) dapat dilihat pada Gambar 4.15.



**Gambar 4.15** Grafik total luasan dengan variasi kapasitansi (a) 10 nF (b) 1 nF

### 4.3.2 Hasil Tes Surja dan Analisis EAR dengan Variasi Resistansi Damping Resistor

Pada pengujian ini digunakan dua buah rangkaian surja dengan spesifikasi sebagai berikut:

**Tabel 4.8** Spesifikasi rangkaian tes surja dengan variasi resistansi

Component	Value	
	1st Surge Test Circuit	2nd Surge Test Circuit
Capacitance of capacitor surge test	10 nF	10 nF
Damping resistor	22 $\Omega$	100 $\Omega$
Test Voltage	930 V	930 V

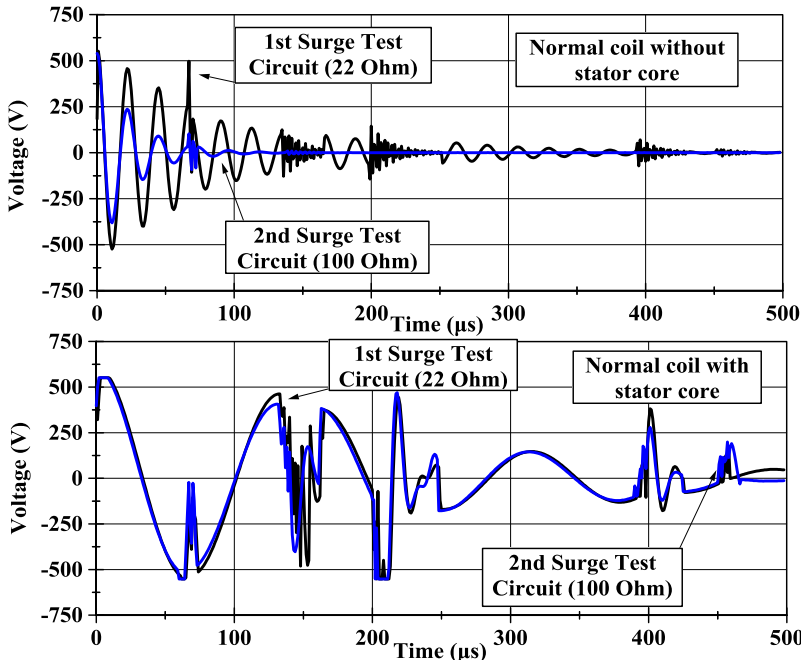
Setelah itu dilakukan pengujian terhadap bentuk gelombang surja dan didapatkan hasil bentuk gelombang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.16. Pada belitan tanpa rumah stator, semakin besar nilai damping resistor menyebabkan panjang gelombang semakin kecil karena faktor redaman pada gelombang semakin besar. Tetapi untuk belitan dengan rumah stator nilai damping resistor tidak terlalu mempengaruhi panjang gelombang. Hal ini bisa disebabkan karena nilai induktansi yang terlalu besar sehingga nilai resistansi pada damping resistor tidak terlalu mempengaruhi panjang gelombang. Sedangkan analisis EAR untuk rangkain dengan variasi resistansi dapat dilihat pada Tabel 4.9.

**Tabel 4.9** Hasil analisis EAR dengan variasi resistansi

Coil	Turn fault	(1st Circuit, 22 Ohm) EAR %	(2nd Circuit, 100 Ohm) EAR %
Normal and short without stator core	2-3	20.4 %	24.6 %
	2-15	81.0 %	82.1 %
	2-24	88.4 %	87.8 %
Normal and short with stator core	1-2	7.7 %	11.2 %
	1-3	24.8 %	20.7 %
	1-15	53.6 %	37.5 %
	1-24	38.6 %	45.9 %

**Tabel 4.9** Hasil analisis EAR dengan variasi resistansi (lanjutan)

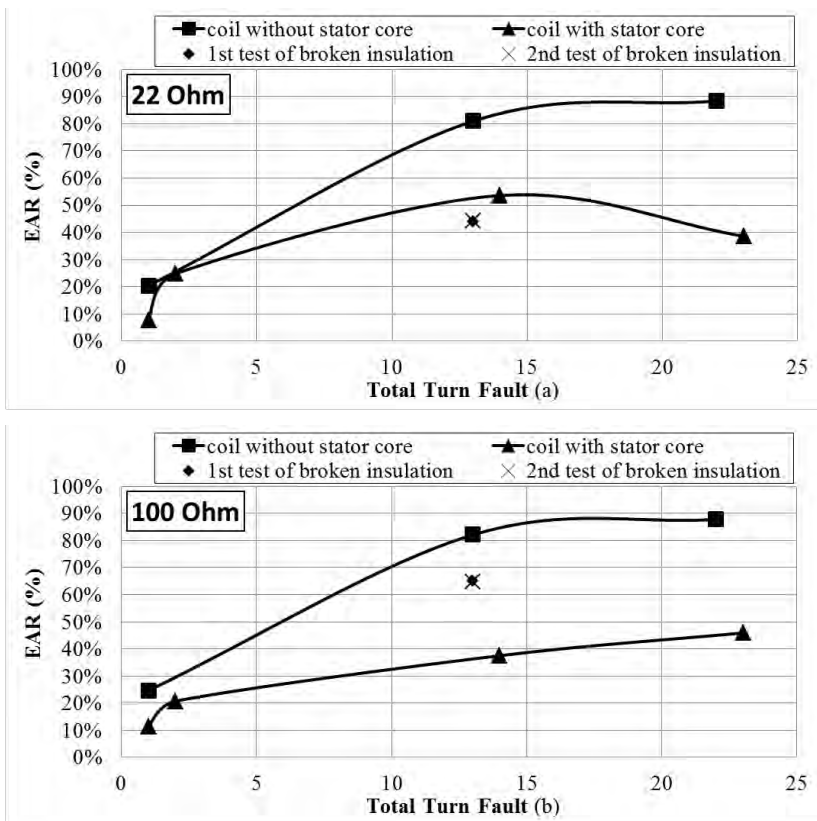
Coil	Turn fault	(1st Circuit, 22 Ohm) EAR %	(2nd Circuit, 100 Ohm) EAR %
Normal insulation and broken insulation without stator core	1-24 (1st test)	43.9 %	65.1 %
	1-24 (2nd test)	44.2 %	64.8 %



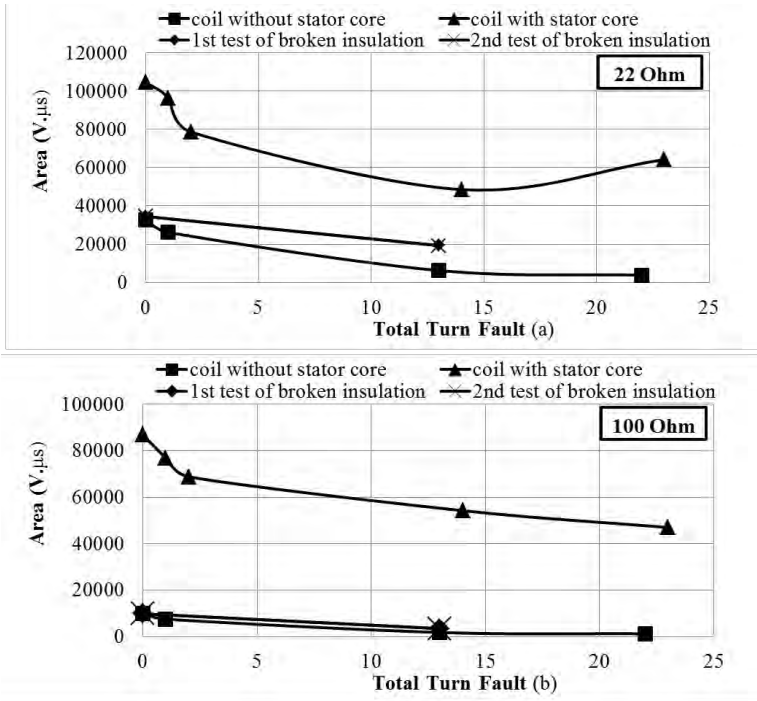
**Gambar 4.16** Hasil tes surja dengan resistansi 22 Ohm dan 100 Ohm

Pada rangkaian pertama yaitu dengan resistansi 22  $\Omega$ , semua *turn fault* dapat terdeteksi kecuali *turn fault* 1-2 pada belitan normal dan *short* dengan rumah stator karena nilai EAR yang masih dalam batas standar yaitu dibawah 15%. Sedangkan pada rangkaian kedua yaitu dengan resistansi 100  $\Omega$ , semua *turn fault* juga dapat terdeteksi kecuali *turn fault* 1-2 pada belitan normal dan *short* dengan rumah stator karena

nilai EAR hasil pengujian tersebut masih dalam batas standar. Lalu perbandingan nilai EAR untuk rangkaian dengan variasi resistansi dapat dilihat pada Gambar 4.17 dan untuk perbandingan luasan dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4.17 Grafik EAR dengan variasi resistansi (a) 22 Ohm, (b) 100 Ohm



**Gambar 4.18** Grafik total luasan dengan variasi resistansi (a) 22 Ohm, (b) 100 Ohm

### 4.3.3 Hasil Tes Surja dan Analisis EAR dengan Variasi Tegangan Uji

Pada pengujian ini tegangan uji yang digunakan dibagi menjadi tiga yaitu dibawah standar, sesuai standar, dan diatas standar seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 4.10. Sedangkan standar tegangan uji yang digunakan merupakan standar dari IEEE 522.

**Tabel 4.10** Spesifikasi rangkaian tes surja dengan variasi tegangan uji

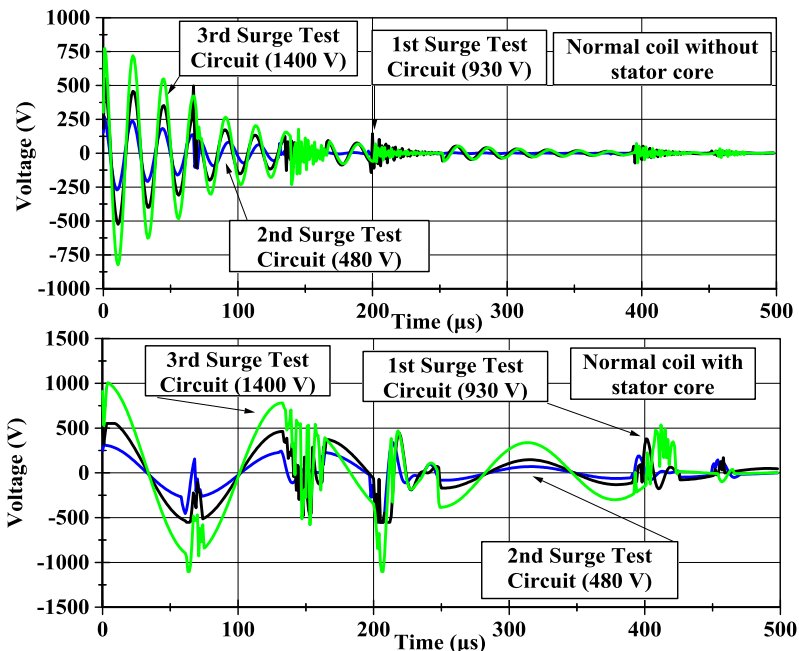
Component	Value		
	1st Surge Test Circuit	2nd Surge Test Circuit	3rd Surge Test Circuit
Capacitance of capacitor surge test	10 nF	10 nF	10 Nf



**Tabel 4.10** Spesifikasi rangkaian tes surja dengan variasi tegangan uji (lanjutan)

Component	Value		
	1st Surge Test Circuit	2nd Surge Test Circuit	3rd Surge Test Circuit
Damping resistor	22 $\Omega$	22 $\Omega$	22 $\Omega$
Test Voltage	930 V	480 V	1400 V

Lalu bentuk gelombang hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.19. Dari Gambar 4.19 dapat dilihat apabila tegangan uji semakin besar maka semakin besar pula tegangan puncak gelombang tersebut. Untuk tegangan uji 480 V tegangan puncak yang terbaca adalah 310 V, tegangan uji 980 V tegangan puncak yang terbaca adalah 551 V, dan tegangan uji 1400 V tegangan puncak yang terbaca adalah 1006 V. Lalu untuk hasil analisis EAR dapat dilihat pada Table 4.11.

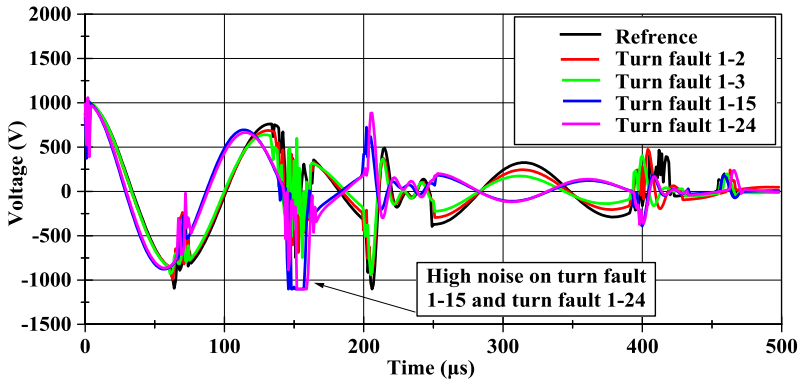


**Gambar 4.19** Hasil tes surja dengan tegangan uji 480 V, 930 V, dan 1400 V

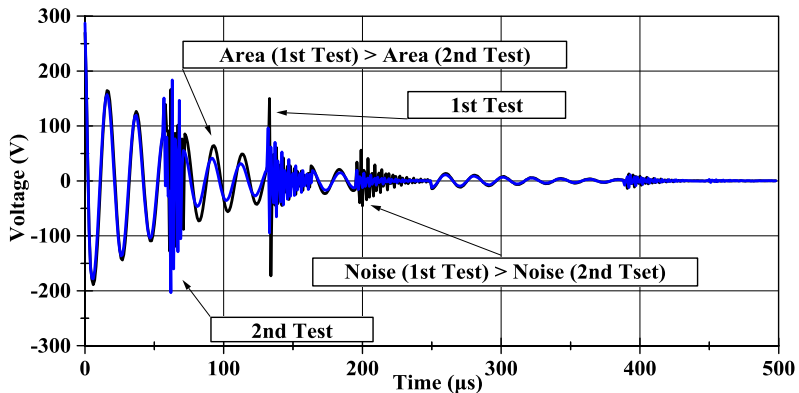
**Tabel 4.11** Hasil analisis EAR dengan variasi tegangan uji

Coil	Turn fault	(1st Circuit, 980 V) EAR %	(2nd Circuit, 480 V) EAR %	(3rd Circuit, 1400 V) EAR %
Normal and short without stator core	2-3	20.4 %	30.9 %	27.5 %
	2-15	81.0 %	82.3 %	82.4 %
	2-24	88.4 %	86.1 %	87.4 %
Normal and short with stator core	1-2	7.7 %	19.5 %	12.8 %
	1-3	24.8 %	31.7 %	23.1 %
	1-15	53.6 %	33.5 %	24.6 %
	1-24	38.6 %	35.6 %	23.0 %
Normal insulation and broken insulation without stator core	1-24 (1st test)	43.9 %	14.7 %	84.7 %
	1-24 (2nd test)	44.2 %	27.0 %	83.5 %

Pada pengujian belitan normal dan *short* tanpa rumah stator semua tegangan uji (480 V, 980 V dan 1400 V) berhasil mendeteksi *turn fault* yang ada yaitu *turn fault* 2-3, *turn fault* 2-15, dan *turn fault* 2-24 yang terbukti dari nilai EAR yang lebih dari 15% semua. Lalu pada pengujian belitan normal dan *short* dengan rumah stator, untuk tegangan 480 V, semua *turn fault* yang ada berhasil terdeteksi. Sedangkan untuk tegangan 980 V dan 1400 V pada *turn fault* 1-2 tidak terdeteksi oleh tes surja karena nilai EAR yang masih dalam batas standar yaitu kurang dari 15%. Selain itu nilai EAR pada *turn fault* 1-3, 1-15, dan 1-24 untuk tegangan uji 1400 V cenderung sama, maka dari itu dilakukan analisis secara langsung pada gelombang hasil uji seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.20. Dari analisis gelombang tersebut didapatkan hasil bahwa gelombang yang terbentuk pada *turn fault* 1-15 dan *turn fault* 1-24 memiliki noise yang besar, sehingga mempengaruhi nilai luasan gelombang dan menyebabkan nilai EAR yang tidak jauh berbeda dengan *turn fault* 1-3. Lalu pada pengujian belitan dengan isolasi normal dan isolasi rusak tanpa rumah stator, untuk tegangan uji 480 pada pengujian ke-1 *turn fault* tidak terdeteksi tetapi pada pengujian ke-2 *turn fault* terdeteksi oleh tes surja. Maka dari itu dilakukan analisis pada gelombang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.21.



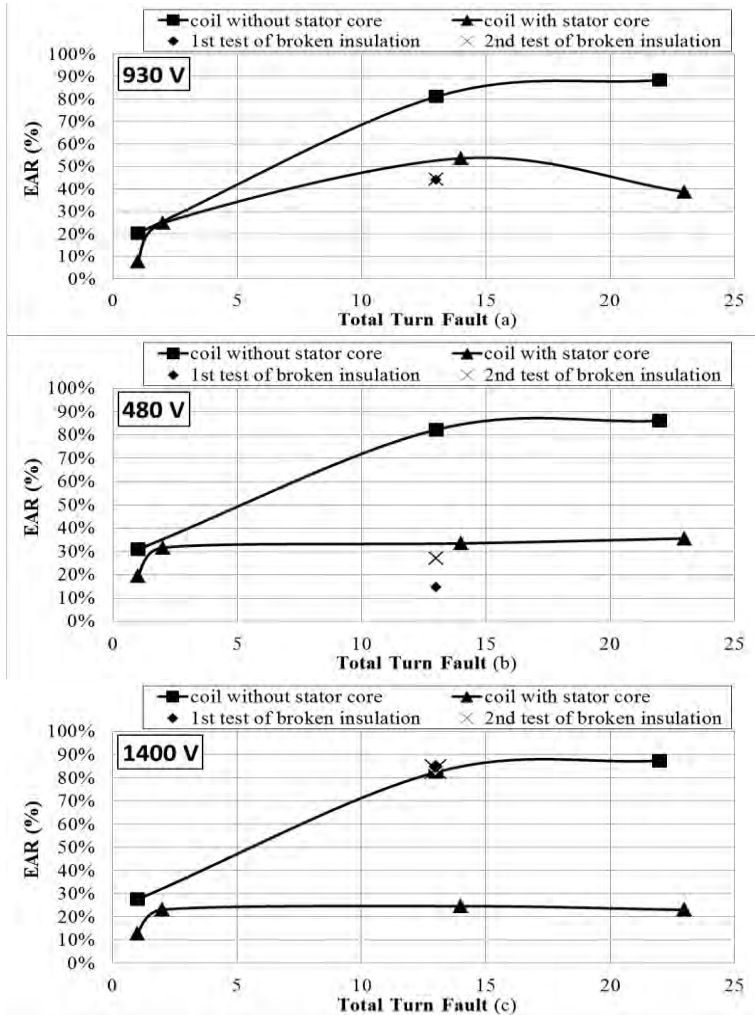
**Gambar 4.20** Analisis bentuk gelombang surja dengan tegangan uji 1400 V pada belitan dengan rumah stator



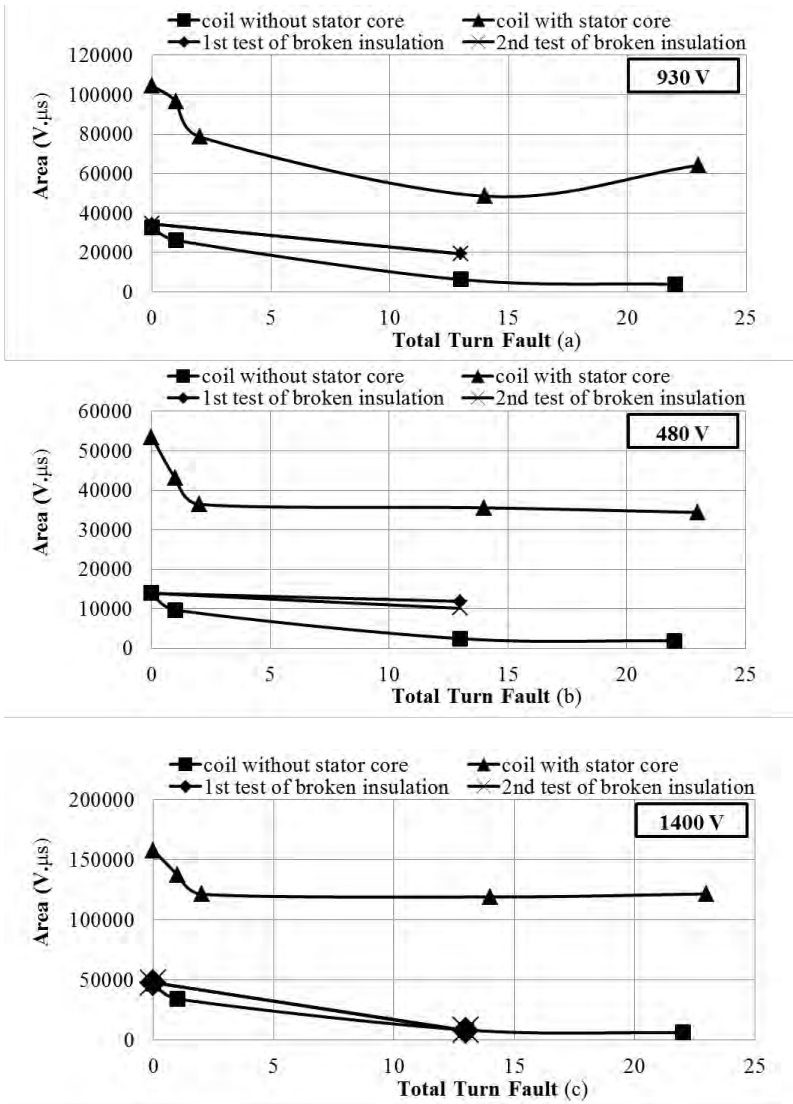
**Gambar 4.21** Analisis bentuk gelombang surja dengan tegangan uji 480 V pada belitan isolasi rusak

Dari gambar tersebut ditunjukkan bahwa hasil pengujian ke-1 mempunyai noise yang lebih besar dari pengujian ke-2, selain itu luasan gelombang hasil pengujian ke-1 lebih besar dari luasan gelombang pengujian ke-2 sehingga EAR hasil pengujian ke-1 lebih kecil dari hasil pengujian ke-2. Untuk tegangan uji 930 V dan 1400 V kerusakan isolasi dapat terdeteksi semua oleh tes surja. Selain itu pada pengujian isolasi rusak ini, semakin besar tegangan uji maka didapatkan hasil nilai EAR yang semakin besar. Sedangkan perbandingan nilai EAR untuk

rangkaian dengan variasi tegangan uji dapat dilihat pada Gambar 4.22 dan untuk perbandingan luasan dapat dilihat pada Gambar 4.23.



**Gambar 4.22** Grafik EAR dengan variasi tegangan uji (a) 930 V, (b) 480 V, (c) 1400 V



**Gambar 4.23** Grafik total luasan dengan variasi tegangan uji (a) 930 V, (b) 480 V, (c) 1400 V

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari penelitian yang telah dilakukan pada tugas akhir ini didapatkan kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Besarnya nilai kapasitansi pada kapasitor tes surja akan mempengaruhi hasil uji yang didapatkan, karena semakin kecil nilai kapasitansi maka frekuensi sampling yang dibutuhkan akan semakin besar. Dan jika frekuensi sampling lebih kecil dari frekuensi gelombang yang muncul maka akan terjadi cacat bentuk gelombang dan keakuratan hasil uji akan berkurang.
2. Nilai resistansi pada *damping resistor* menyebabkan redaman gelombang hasil uji semakin cepat. Selain itu dengan nilai resistansi yang lebih besar, maka akurasi nilai EAR yang didapatkan semakin baik.
3. Tegangan uji yang sesuai dengan standar maka akan memberikan hasil akurasi pengujian yang tinggi dibandingkan dengan tegangan uji yang diluar standar.
4. Noise yang muncul pada hasil pengujian surja menyebabkan akurasi dari tes surja berkurang. Tetapi hal tersebut dapat diatasi dengan menganalisis frekuensi dan bentuk gelombang dari hasil pengujian. Sehingga dengan menganalisis nilai *error area ratio* (EAR) dan bentuk gelombang hasil pengujian, maka akurasi hasil uji yang didapatkan semakin tinggi.
5. Dari berbagai macam skema pengujian yang dilakukan, spesifikasi peralatan tes surja yang paling ideal untuk motor induksi tegangan rendah (380 V) yaitu: pertama nilai kapasitansi kapasitor surja sebesar 10 nF, kedua nilai resistansi *damping resistor* sebesar 100  $\Omega$ , dan ketiga tegangan uji yang sesuai dengan standar.

#### **5.2 Saran**

Terdapat beberapa saran yang penulis rekomendasikan agar pada pengembangan dan penelitian peratan tes surja ini didapatkan peralatan yang memiliki kemampuan yang lebih baik, yaitu:

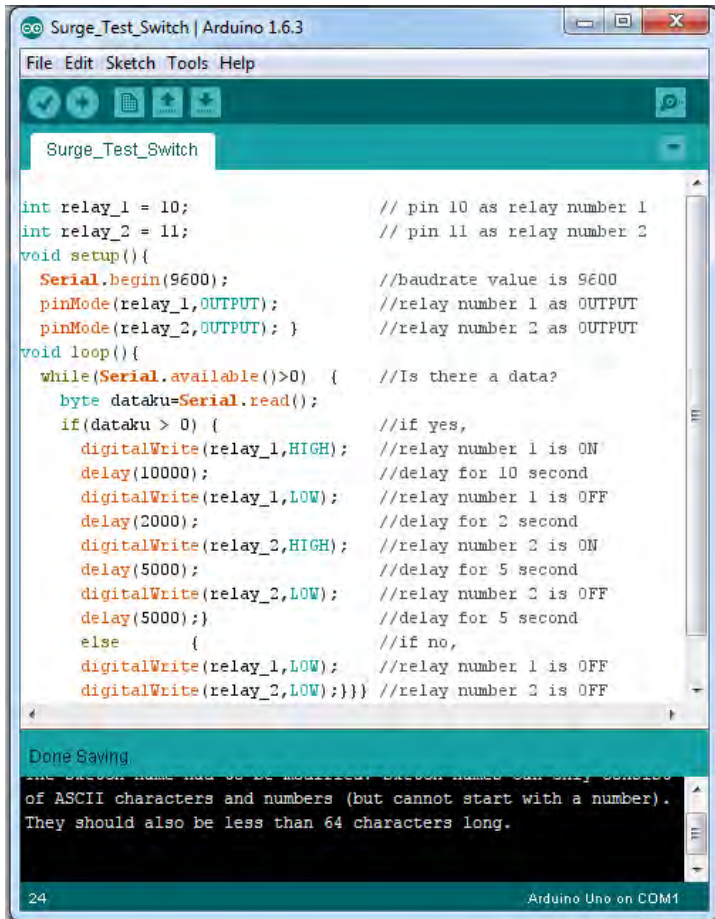
1. Saklar yang digunakan pada tes surja agar terbentuk gelombang surja, akan mempengaruhi akurasi hasil uji

yang didapatkan. Sehingga diperlukan saklar khusus agar didapatkan akurasi hasil uji yang semakin tinggi.

2. Penambahan rangkaian kontrol pembangkit tegangan tinggi DC sehingga dapat menggantikan fungsi variabel autotrafo dan juga meminimalis ukuran peralatan uji.
3. Pengembangan spesimen uji dengan pengaruh dan kondisi yang berbeda seperti kerusakan isolasi karena pengaruh lingkungan, kerusakan isolasi karena pengaruh pembebanan berlebih, kondisi belitan putus, dan lain-lain.

## LAMPIRAN

### Program Arduino



```
Surge_Test_Switch

int relay_1 = 10;           // pin 10 as relay number 1
int relay_2 = 11;         // pin 11 as relay number 2
void setup() {
  Serial.begin(9600);      //baudrate value is 9600
  pinMode(relay_1,OUTPUT); //relay number 1 as OUTPUT
  pinMode(relay_2,OUTPUT); //relay number 2 as OUTPUT
}
void loop() {
  while(Serial.available()>0) { //Is there a data?
    byte dataku=Serial.read();
    if(dataku > 0) { //if yes,
      digitalWrite(relay_1,HIGH); //relay number 1 is ON
      delay(10000); //delay for 10 second
      digitalWrite(relay_1,LOW); //relay number 1 is OFF
      delay(2000); //delay for 2 second
      digitalWrite(relay_2,HIGH); //relay number 2 is ON
      delay(5000); //delay for 5 second
      digitalWrite(relay_2,LOW); //relay number 2 is OFF
      delay(5000);} //delay for 5 second
    else { //if no,
      digitalWrite(relay_1,LOW); //relay number 1 is OFF
      digitalWrite(relay_2,LOW);}} //relay number 2 is OFF
  }
}
```

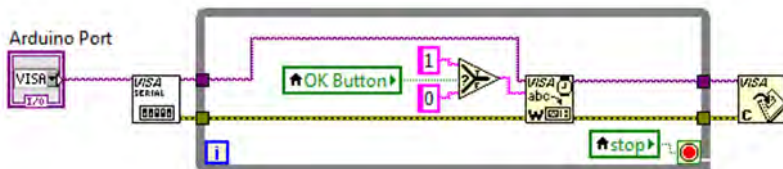
Done Saving.

The sketch name has to be modified. Sketch names can only consist of ASCII characters and numbers (but cannot start with a number). They should also be less than 64 characters long.

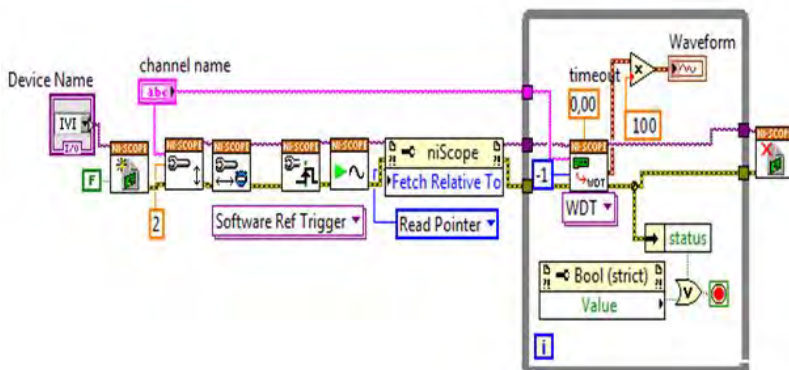
24 Arduino Uno on COM1



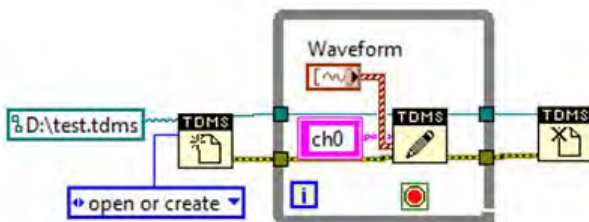
## Blok diagram serial data arduino



## Blok diagram komunikasi LabVIEW dan PXIe-5122



## Blok diagram konversi data



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Mecrow and A. Jack, "Efficiency trends in electric machines and drives", *Energy Policy*, vol. 36, no. 12, pp. 4336–4341, Dec. 2008.
- [2] S. Grubic, J. Restrepo, J. M. Aller, B. Lu, and T. G. Habetler, "A New Concept for Online Surge Testing for the Detection of Winding Insulation Deterioration in Low-Voltage Induction Machines", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol.47, No. 5, Sept./Oct. 2011.
- [3] S. Grubic, J. M. Aller, and T. G. Habetler, "A Survey on Testing and Monitoring Methods for Stator Insulation Systems of Low-Voltage Induction Machines Focusing on Turn Insulation Problems", *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, Vol. 55, No. 12, Dec. 2008.
- [4] Pat O'Donnell, "Report of Large Motor Reliability Survey of Industrial and Commercial Installations, Part I", *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. IA-21, No. 4, Jul./Aug. 1985.
- [5] M. Farahani, E. Gockenbach, H. Borsi, K. Schäfer, and M. Kaufhold, "Behavior of Machine Insulation Systems Subjected to Accelerated Thermal Aging Test", *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation* Vol. 17, No. 5; Oct. 2010.
- [6] S. Grubic, R. G. Harley, T. G. Habetler, and J. Restrepo, "Sensitivity Analysis of the Surge Test Applied to AC Machines", *IEEE International Electric Machines & Drives Conference*, 2011.
- [7] P. Gill, "*Electrical Power Equipment Maintenance and Testing 2<sup>nd</sup> Edition*", CRC Press Taylor & Francis Group, 2009.
- [8] E. Wiedenbrug, G. Frey, and J. Wilson, "Impulse testing and turn insulation deterioration in electric motors", in *Conf. Rec. Annu. IEEE Pulp Paper Ind. Tech. Conf.*, pp. 50–55, Jun. 2003.
- [9] E. Wiedenbrug, G. Frey, and J. Wilson, "Impulse Testing as a Predictive Maintenance Tool", *Symposium on Diagnostics for Electric Machines. Power Electronics and Drives*, Aug. 2003.
- [10] J. Geiman, "DC Step-Voltage and Surge Testing Motors", Fort Collins, CO : Baker Instrum.Co., Mar. 2007.
- [11] S. Schlichting, "Automated digital winding test analysis methods", *Proceedings of Electrical Electronics Insulation*

- Conference and Electrical Manufacturing & Coil Winding Conference, pp. 539–543, 1993.
- [12] “A Unique Desk-Top Electrical Machinery Laboratory For The Mechatronics Age”, <URL: <http://www.ewh.ieee.org/soc/es.Nov1997/09/INDEX.HTM>>, 26 Apr. 2015.
- [13] S. J. Chapman, “*Electric Machinery Fundamentals 4th Edition*”, McGraw-Hill Companies. Inc., New York, Ch. 7, 2005.
- [14] “*Typical Failures in Three-Phase Stator Windings*”, <URL: <http://www.easa.com/resources/booklets/FailuresInThreePhaseStatorWindings>>, 20 Apr. 2015.
- [15] J. Wilson, “Current State Of Surge Testing Induction Machines”, Iris Rotating Machine Conference, Jun. 2003.
- [16] “Guide for Testing Turn-to-Turn Insulation on Form Wound Stator Coils for Alternating Current Rotating Electrical Machines”, IEEE 522-1992, 1992
- [17] “Baker Instrument Company AWA Surge Test pass/fail criteria”, Baker Instrum. Co.
- [18] C. K. Dwivedi and M. B. Daigavane, “Multi-purpose low cost DC high voltage generator (60 kV output), using Cockcroft-Walton voltage multiplier circuit”, International Journal of Science and Technology Education Research Vol. 2(7), pp. 109 - 119, Jul. 2011.
- [19] “Voltage Multiplier Circuit” , <URL: <http://www.electronicstutorials.ws/blog/voltage-multiplier-circuit.html>> , 25 Feb. 2015.
- [20] “High Voltage DC Supply”, <URL: <http://www.hardhack.org.au/book/export/html/104>>, 14 Mar. 2015.
- [21] L.Venkatesan, Dr.R.Arulmozhiyal, and A.D.Janarthanam, “Simulation approach on Step Speed Control of Induction Motor using Lab View”, International Conference on Computer Communication and Informatics, India, Jan. 04 – 06, 2013.
- [22] A. A. Galadima, “Arduino As A Learning Tool”, International Conference on Electronics, Computer and Computation, 2014.
- [23] Y. A. Badamasi, “The Working Principle Of An Arduino”, International Conference on Electronics, Computer and Computation, 2014.

- [24] I. M. Y. Negara, P. Sakti, D. Fahmi, and D. A. Asfani, "Oscillating Circuit Design for Inter-Turn Fault Diagnostic in Low-Voltage Induction Motor", International Conference on Electrical Machines, 2014
- [25] "PXI Express Chassis With Integrated MXI-Express Remote Controller NI PXIe-1073", National Instruments Corporation, Nov. 2014.
- [26] "NI 5122, 100 MHz, 100 MS/s, 14-Bit Digitizer", National Instruments Corporation, 2007.
- [27] T. Succliftom, "*Deteksi Kerusakan Insulasi Belitan Antar Fasa Pada Motor Iinduksi Menggunakan Tes Surja*", Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.2014.
- [28] "PSIM", <URL: <http://powersimtech.com/products/psim/>>, 3 May 2015.
- [29] "**User Manual Digital Winding Tester Models D12R, D6R, 3R**", Baker Instrum. Co., Fort Collins, CO, 2010.
- [30] A. Naegeli, "Electrical Test Procedures for Armatures, Stators, and Motors", Electrical Manufacturing and Coil Winding Asia, Hongkong, Jun. 18-25, 1993.
- [31] O.V. Thorsen, and M. Dalva, "Failure Identification and Analysis for High Voltage Induction", IEEE Trans. Industry Appl., Vol. 35, No. 4, pp. 810-818, 1999.
- [32] M. Melfi, J. Sung, S. Bell, and G. Skibinski, "Effect of Surge Voltage Risetime on the Insulation of Low Voltage Machines Fed by PWM Converters", IEEE Transactions on Industry Applications, 1997.
- [33] B.K. Gupta, B.A. Lloyd, G.C.Stone, S.R. Campbell, D.K. Sharma, and N.E. Nilsson, "Turn Insulation Capability Of Large AC Motors, Part 1 - Surge Monitoring", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. EC-2, No. 4, Dec. 1987.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis memiliki nama lengkap Wisam Jaya Nugroho. Lahir di Jember pada tanggal 11 Mei 1994. Penulis mulai menempuh pendidikannya di TK Cikini Mangkajang pada tahun 1998 hingga tahun 2000. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan dasar di SD Cikini Mangkajang hingga tahun 2002, lalu penulis pindah sekolah di SDN Kapatihan 1 Jember hingga tahun 2006. Sejak SD penulis aktif mengikuti lomba dan berhasil meraih penghargaan sebagai pemenang OSN Bidang Matematika di tingkat kabupaten. Lalu penulis melanjutkan pendidikan menengah pertama di SMPN 1 Jember hingga tahun 2009. Ketika berseragam SMP tersebut, penulis juga berhasil meraih penghargaan sebagai pemenang OSN bidang Matematika di tingkat kabupaten dan provinsi. Setelah lulus dari SMP penulis melanjutkan pendidikan menengah atas di SMAN 1 Jember. Ketika SMA penulis memilih kelas akselerasi sehingga pada tahun 2011 penulis telah lulus dari SMA, meskipun begitu penulis juga sempat meraih prestasi sebagai juara OSN Matematika di tingkat kabupaten. Pada tahun 2011, penulis melanjutkan pendidikan Strata-1 di Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama berstatus sebagai mahasiswa, penulis aktif sebagai panitia lomba dan acara. Selain itu penulis juga aktif mengikuti berbagai pelatihan.

Email :  
wisam\_jayan@yahoo.com