



TUGAS AKHIR - TE 141599

Desain Peralatan Diagnostik Motor Induksi Berbasis Tegangan Surja Untuk Mengetahui Pengaruh Rotor Terhadap Hasil Pengujian Tes Surja Menggunakan Metode *Error Area Ratio*(EAR)

**M Farid Anshori
NRP 2215105034**

**Dosen Pembimbing
Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph. D.
Dedet C. Riawan, ST., M.Eng., Ph. D.**

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



TUGAS AKHIR - TE 141599

Desain Peralatan Diagnostik Motor Induksi Berbasis Tegangan Surja Untuk Mengetahui Pengaruh Rotor Terhadap Hasil Pengujian Tes Surja Menggunakan Metode *Error Area Ratio*(EAR)

**M Farid Anshori
NRP 2215105034**

**Dosen Pembimbing
Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph. D.
Dedet C. Riawan, ST., M.Eng., Ph. D.**

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



FINAL PROJECT - TE 141599

Design of Diagnostic Equipment of Induction Motor Based On Surge Voltage To Know The Influence Of Rotor On Test Result Of Surge Tests Using Error Area Ratio (EAR) Method.

M Farid Anshori
NRP 2215105025

Advisor

Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph. D.
Dedet C. Riawan, ST., M.Eng., Ph. D.

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

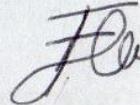
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Desain Peralatan Diagnostik Motor Induksi Berbasis Tegangan Surja Untuk Mengetahui Pengaruh Rotor Terhadap Hasil Pengujian Tes Surja Menggunakan Metode *Error Area Ratio*(EAR)**" adalah benar-benar hasil karya mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2017



M Farid Anshori
NRP 2215 105 034

**DESAIN PERALATAN DIAGNOSTIK MOTOR INDUKSI
BERBASIS TEGANGAN SURJA UNTUK MENGETAHUI
PENGARUH ROTOR TERHADAP HASIL PENGUJIAN TES
SURJA MENGGUNAKAN METODE *ERROR AREA RATIO* (EAR)**

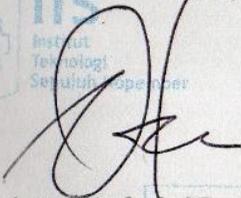
TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I,



Dimas Anton Asfani, ST., MT., Ph. D.
NIP 19810905 200501 1 002

Dosen Pembimbing II,



26-07-17

Dedet C. Riawan, ST., M.Eng., Ph. D.
NIP 19731119 200003 1 001



**Desain Peralatan Diagnostik Motor Induksi Berbasis Tegangan
Surja Untuk Mengetahui Pengaruh Rotor Terhadap Hasil
Pengujian Tes Surja Menggunakan Metode *Error Area Ratio*(EAR).**

Nama Mahasiswa : M Farid Anshori
NRP : 2215105034
Dosen Pembimbing 1 : Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT.
NIP : 198109052005011002
Dosen Pembimbing 2 : Dedet C. Riawan, ST. M.Eng. Ph. D.
NIP : 197311192000031001

ABSTRAK

Salah satu kegagalan yang sering terjadi pada motor induksi adalah kegagalan dari isolasi stator. Penyebab dari kegagalan isolasi ini dapat disebabkan karena beberapa faktor diantaranya pengaruh panas, listrik, mekanik, dan juga pengaruh lingkungan. Kegagalan dari isolasi stator disebabkan oleh isolasi antar belitan stator yang melemah. Melemahnya isolasi antar belitan stator dapat menyebabkan degradasi pada belitan hingga akhirnya terjadi kegagalan isolasi pada seluruh belitan. salah satu cara untuk mengetahui kekuatan isolasi antar belitan adalah menggunakan tes surja.

Namun kebanyakan tes surja dilakukan tanpa menggunakan rotor atau dengan kata lain pada saat melakukan tes surja rotor dilepas. Seharusnya sebuah tes dilakukan berdasarkan kondisi aktual yang ada dilapangan. bagaimanapun juga dimungkinkan perbedaan yang signifikan pada tes surja apabila tes dilakukan dengan menggunakan rotor dan tanpa menggunakan rotor. Maka dari itu penting untuk mengetahui dan memahami bagaimana pengaruh dari rotor terhadap hasil tes surja. Untuk itu tugas akhir ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari rotor terhadap hasil surja tes. Pengujian akan dilakukan dengan menggunakan rotor dan menganalisa bagaimana pengaruh posisi rotor terhadap hasil tes surja. Pada tugas akhir ini menggunakan metode EAR dalam proses analisa hasil gelombang surja

Kata Kunci : Tes Surja, motor induksi, pengaruh rotor

Halaman ini sengaja dikosongkan

Design of Diagnostic Equipment of Induction Motor Based On Surge Voltage To Know The Influence Of Rotor On Test Result Of Surge Tests Using Error Area Ratio (EAR) Method.

Nama Mahasiswa : M Farid Anshori
NRP : 2215105034
Dosen Pembimbing 1 : Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT.
NIP : 198109052005011002
Dosen Pembimbing 2 : Dedet C. Riawan, ST. M.Eng. Ph. D.
NIP : 197311192000031001

ABSTRACT

One of the frequent failures in induction motors is failure of stator isolation. The cause of this isolation failure can be caused by several factors such as heat, electrical, mechanical, and environmental influences. Failure of stator isolation is caused by the isolation between stator windings that are weakened. The weakening of isolation between the stator windings can cause degradation of the winding until finally there is failure of isolation in all entanglement. One way to know the power of isolation between winding is to use the surge test.

However, most surge tests are performed without the use of a rotor or in other words when performing a removable rotor surge test. A test should be performed based on actual conditions in the field. However, there may be significant differences in surge tests if tests are performed using rotor and rotor implantation. It is therefore important to know and understand how the effect of rotor on surge test results. For this final project aims to determine the effect of the rotor on the results of the test surge. The test will be conducted using the rotor and analyzing how the rotor position affects against the surge test results. In this final project use EAR method in process of surge wave result analysis

Key Word : Surge Test, Motor Induction, Influence of Rotor

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan hidayahNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul :

“Desain Peralatan Diagnostik Motor Induksi Berbasis Tegangan Surja Untuk Mengetahui Pengaruh Rotor Terhadap Hasil Pengujian Tes Surga Menggunakan Metode *Error Area Ratio*(EAR).
“

Dengan penyusunan tugas akhir ini penulis tidak terlepas dari bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis hendak menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak yang telah membantu. Ucapan terima kasih ini kami sampaikan kepada :

1. Allah SWT yang telah memberi rahmat dan hidayahNya dalam pembuatan tugas akhir ini.
 2. Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan penuh dan memberikan teladan bagi penulis.
 3. Bapak Dr. Dimas Anton Asfani, ST., MT.selaku Dosen Pembimbing 1 dan bapak Dedet C. Riawan, ST. M.Eng. Ph. D. selaku Dosen Pembimbing 2, yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk membimbing penulis dalam pembuatan tugas akhir ini.
 4. Teman-teman angkatan 2015 atas semangat dan kerjasamanya.
- Akhir kata semoga buku ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, 1 Juli 2017

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----|
| HALAMAN JUDUL | |
| PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR | |
| HALAMAN PENGESAHAN | |
| ABSTRAK..... | i |
| <i>ABSTRACT</i> | iii |
| KATA PENGANTAR..... | v |
| DAFTAR ISI..... | vii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xi |
| DAFTAR TABEL..... | xii |
| | |
| BAB I..... | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Permasalahan | 1 |
| 1.3. Tujuan | 2 |
| 1.4. Metodologi..... | 2 |
| 1.4.1. Persiapan dan Studi Literatur | 2 |
| 1.4.2. Implementasi Alat | 2 |
| 1.4.3. Pengujian Surja pada Motor Induksi yang dilengkapi dengan rotor..... | 2 |
| 1.4.4 Analisis Data | 2 |
| 1.5. Sistematika | 2 |
| 1.6. Manfaat..... | 3 |
| BAB II..... | 5 |
| 2.1. Motor Induksi..... | 5 |
| 2.2. Isolasi Mesin Listrik..... | 6 |
| 2.3. Mekanisme kegagalan isolasi..... | 7 |
| 2.4. Pengaruh Posisi Rotor | 8 |
| 2.5. Surja Test | 9 |
| 2.6. Metode EAR | 10 |
| 2.6.1. P-P EAR%..... | 11 |
| 2.6.2. L-L EAR% | 12 |
| 2.7. Rangkaian Greinacaher | 12 |
| BAB III | 15 |
| 3.1. Perancangan Hardware..... | 16 |

| | |
|--|----|
| 3.1.1. Switch Controller..... | 17 |
| 3.1.2. Rangkaian Greinacaher | 18 |
| 3.1.3. Rangkaian Surja test..... | 20 |
| 3.1.4. Perancangan Motor Induksi | 22 |
| 3.2. Perancangan Software | 25 |
| 3.2.1. Perancangan Program Arduino..... | 25 |
| 3.2.2. Perancangan Program LabVIEW..... | 25 |
| BAB IV..... | 27 |
| 4.1. Pengujian Pembangkit Tegangan Tinggi DC | 27 |
| 4.2. Pengujian Gelombang Surja..... | 29 |
| 4.2.1. Pengujian Rise Time Gelombang | 29 |
| 4.2.2. Pengujian Tegangan Puncak | 31 |
| 4.2.3. Pengujian Surja Tanpa Rotor | 32 |
| 4.2.4. Pengujian Surja Dengan Rotor | 33 |
| 4.3. Pengujian Surja Variasi Sudut Rotor..... | 35 |
| 4.3.1. Pengujian Surja Dengan Rotor Sudut 0 ⁰ | 35 |
| 4.3.2. Pengujian Surja Dengan Rotor Sudut 45 ⁰ | 36 |
| 4.3.3. Pengujian Surja Dengan Rotor Sudut 90 ⁰ | 36 |
| 4.3.4. Pengujian Surja Rotor Sudut 135 ⁰ | 37 |
| 4.3.5. Pengujian Surja Rotor Sudut 180 ⁰ | 38 |
| 4.3.6. Pengujian Surja Rotor Sudut 225 ⁰ | 38 |
| 4.3.7. Pengujian Surja Rotor Sudut 270 ⁰ | 39 |
| 4.3.8. Pengujian Surja Rotor Sudut 315 ⁰ | 40 |
| 4.3.9. Pengujian Surja Rotor Sudut 360 ⁰ | 40 |
| 4.3.10. Pengujian t1 Untuk Sudut Rotor 0 ⁰ -360 ⁰ | 41 |
| 4.4. Pengujian Surja Motor Induksi Tanpa Rotor dan Dengan Rotor. | 43 |
| 4.4.1. Analsia EAR Gelombang surja Motor Induksi Tanpa Rotor dan Dengan Rotor..... | 44 |
| 4.4.2. Analsia EAR Gelombang Surja motor Induksi Dengan Rotor Sudut 0 ⁰ dan Rotor Sudut 0 ⁰ -360 ⁰ Kondisi Belitan Normal | 45 |

| | |
|--|-----|
| 4.4.3. Analisa EAR Gelombang Surja motor Induksi Dengan Rotor Sudut 0^0 dan Rotor Sudut 0^0 - 360^0 Kondisi Belitan Turn Fault | 47 |
| BAB V | 49 |
| 5.1. Kesimpulan | 49 |
| 5.2. Saran | 49 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 51 |
| LAMPIRAN 1 <i>Listing</i> Program | A-1 |
| LAMPIRAN 2 <i>Datasheet</i> | B-1 |
| LAMPIRAN 3 Bentuk Alat | C-1 |
| RIWAYAT HIDUP PENULIS | D-1 |

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 (a) rotor sangkar, (b) rotor belit, (c) stator [4]..... | 5 |
| Gambar 2.2 Gelombang Surja Dengan Rotor..... | 8 |
| Gambar 2.3 Gelombang Surja Tanpa Rotor..... | 9 |
| Gambar 2.4 Skematik konfigurasi rangkaian tes surja..... | 10 |
| Gambar 2.5 Rangkaian Vilard..... | 12 |
| Gambar 3.1 Blok Diagram Test Surja..... | 15 |
| Gambar 3.2 Skematik rangkaian switch controller..... | 17 |
| Gambar 3.3 Board rangkaian switch controller..... | 18 |
| Gambar 3.4 Rangkaian cochroff-walton..... | 18 |
| Gambar 3.5 Board rangkaian cochroff-walton..... | 19 |
| Gambar 3.6 Rangkaian Conduction-type Devices..... | 21 |
| Gambar 3.7 Board rangkaian condution type..... | 21 |
| Gambar 3.8 Motor Induksi dengan External Tab..... | 23 |
| Gambar 3.9 Skema turn yang dihubungkan dengan external tab..... | 23 |
| Gambar 3.10 Skema Simulasi Posisi Sudut Rotor..... | 24 |
| Gambar 3.11 Flowchart Program LabVIEW..... | 26 |
| Gambar 4.1 Grafik hasil pengujian dan pengukuran..... | 29 |
| Gambar 4.2 Hasil Pengujian Rise Time..... | 30 |
| Gambar 4.3 Hasil Pengujian Tegangan Puncak..... | 31 |
| Gambar 4.4 Hasil Gelombang Surja Tanpa Rotor..... | 33 |
| Gambar 4.5 Hasil Gelombang Surja Dengan Rotor..... | 34 |
| Gambar 4.6 Hasil Gelombang Surja Rotor 0^0 | 35 |
| Gambar 4.7 Hasil Gelombang Surja Rotor 45^0 | 36 |
| Gambar 4.8 Hasil Gelombang Surja Rotor 90^0 | 37 |
| Gambar 4.9 Hasil Gelombang Surja Rotor 135^0 | 37 |
| Gambar 4.10 Hasil Gelombang Surja Rotor 180^0 | 38 |
| Gambar 4.11 Hasil Gelombang Surja Rotor 225^0 | 39 |
| Gambar 4.12 Hasil Gelombang Surja Rotor 270^0 | 39 |
| Gambar 4.13 Hasil Gelombang Surja Rotor 315^0 | 40 |
| Gambar 4.14 Hasil Gelombang Surja Rotor 360^0 | 41 |
| Gambar 4.15 grafik perbandingan nilai t_l | 41 |
| Gambar 4.16 Luas Daerah Gelombang Surja 0^0 - 360^0 | 42 |
| Gambar 4.17 Perbandingan gelombang surja..... | 43 |
| Gambar 4.18 Grafik nilai EAR golombang surja motor induksi tanpa rotor dan dengan rotor..... | 45 |
| Gambar 4.19 Grafik Nilai EAR Rotor 0^0 Dengan Rotor 0^0 - 360^0 | 46 |

Gambar 4.20 Grafik Nilai EAR Rotor 0^0 Dengan Rotor 0^0 - 360^0 turn fault
1-15.....48

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 3.1 Nilai R dan L motor 2HP, 4 kutub..... | 21 |
| Tabel 3.2 Spesifikasi Motor Induksi..... | 22 |
| Tabel 4.1 Hasil perhitungan dan pengujian..... | 28 |
| Tabel 4.2 Hasil pengujian tegangan puncak..... | 31 |
| Tabel 4.3 Hasil Analisa Nilai persen Error..... | 33 |
| Tabel 4.4 Hasil Analisa Nilai persen Error..... | 34 |
| Tabel 4.5 Nilai L pada motor induksi fasa UV..... | 42 |
| Tabel 4.6 Nilai EAR antara gelombang surja motor induksi tanpa rotor dan dengan rotor..... | 44 |
| Tabel 4.7 EAR Perbandingan sudut rotor 0^0 dengan sudut rotor 0^0 sampai 360^0 | 45 |
| Tabel 4.8 EAR Perbandingan sudut rotor 0^0 VS 0^0 - 360^0 turn fault..... | 47 |

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada Setiap Industri, Khususnya Industri besar. Berhentinya suatu proses produksi merupakan kejadian yang tidak diharapkan untuk terjadi. Apabila proses produksi berhenti maka industri tersebut dapat mengalami kerugian yang cukup besar[1]. Berhentinya proses produksi pada suatu industri dapat disebabkan oleh beberapa faktor salah satunya adalah kegagalan yang terjadi pada komponen yang ada di industri itu sendiri. salah satu komponen yang ada di industri adalah motor induksi. kegagalan kerja pada motor induksi dapat disebabkan karena beberapa faktor. Namun faktor utama yang mempengaruhi kegagalan kerja pada motor induksi adalah karena kegagalan bearing dan kegagalan isolasi stator[2].

Kegagalan yang terjadi pada belitan stator akan menyerap energi, dan energi tersebut berubah menjadi panas, apabila peristiwa tersebut berlangsung secara terus menerus dapat menyebabkan pemanasan lokal pada belitan yang mengalami kegagalan. Jika dilakukan operasi dalam waktu yang panjang, pemanasan lokal ini dapat merusak isolasi belitan yang berada pada sekitar belitan dan pada akhirnya akan menyebabkan terjadinya suatu kegagalan. Sehingga dapat mengakibatkan kegagalan belitan yang lebih besar maupun kegagalan belitan antar fasa[3]. Maka dari itu sangat penting untuk merencanakan pemeliharaan yang bertujuan untuk mengidentifikasi peralatan yang cenderung akan mengalami kegagalan. Salah satu cara untuk mengetahui kekuatan isolasi antar belitan adalah menggunakan tes surja.

1.2 Permasalahan

Tes surja merupakan sebuah proses pengujian isolasi pada motor induksi dengan cara memberikan tegangan pulsa pada belitan motor. Tegangan Pulsa dihasilkan melalui proses charge dan discharge dari kapasitor surja ke belitan motor. Dari proses charge dan discharge ini dapat dihasilkan suatu respon berupa gelombang surja[3]. kebanyakan tes surja pada motor induksi dilakukan tanpa menggunakan rotor atau dengan kata lain pada saat melakukan tes surja rotor dilepas. seharusnya sebuah tes dilakukan berdasarkan kondisi aktual yang ada dilapangan. Beberapa opini dan observasi mengatakan bahwa antara pengujian dengan

menggunakan rotor dan pengujian tanpa menggunakan rotor dapat menghasilkan perbedaan respon yang signifikan[4].

1.3 Tujuan

Tujuan pada Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui Pengaruh dari Rotor motor induksi terhadap hasil tes surja. Sehingga diharapkan didapatkan hasil pengujian yang sesuai dengan kondisi aktual dilapangan.

1.4 Metodologi

Metode yang digunakan dalam tugas akhir ini terdiri dari Studi Literatur, Desain dan Implementasi Alat, Pengujian alat, Analisa Data, dan Penyusunan laporan tugas akhir.

1.4.1 Persiapan dan Studi Literatur

Studi literatur perlu dilakukan untuk menunjang penguasaan tentang pengumpulan pustaka untuk dipelajari dalam pengerjaan penelitian tugas akhir. Teori-teori penunjang seperti jenis-jenis rotor pada motor induksi, rangkaian pengali Walton Cockroft, metode EAR, pemrograman Arduino, motor Induksi, Standar Surge Test, dan simulasi LabView.

1.4.2 Implementasi Alat

Desain rangkaian tes surja menggunakan rangkaian Walton Cockroft sebagai rangkaian penghasil tegangan tinggi DC, rangkaian saklar yang digunakan untuk mengisi dan melepaskan muatan yang ada pada kapasitor surja. Untuk komponen saklar menggunakan IGBT yang dikontrol menggunakan kontroler Arduino.

1.4.3 Pengujian Surja pada Motor Induksi yang dilengkapi dengan rotor.

Pengujian dilakukan pada lilitan motor induksi. Pengujian dilakukan dengan menggunakan rotor dan tanpa menggunakan rotor. Untuk pengujian menggunakan rotor digunakan rotor motor induksi untuk mengetahui pengaruh posisi rotor terhadap hasil tes surja.

1.4.4 Analisis Data

Data hasil pengujian akan dianalisa dengan menggunakan metode *Error Area Ratio* (EAR). Hasil analisis data akan dibandingkan pada satu kondisi dengan kondisi lainnya sehingga dapat dilihat

bagaimana kinerja alat Low Surge Test terhadap diagnose pengaruh rotor terhadap hasil tes surja. Analisa data dilakukan dengan menggunakan bantuan alat Oscilloscope yang dihubungkan dengan computer dan akan dilihat hasilnya menggunakan alokasi LabView.

1.5 Sistematika

Dalam tugas akhir berupa penelitian ini digunakan beberapa sistematika. Sistematika yang pertama yaitu pendahuluan, Pendahuluan merupakan bab yang membahas mengenai latar belakang dari tugas akhir penelitian, permasalahan yang ada di lapangan dan hendak ingin dipecahkan, tujuan dan manfaat dari tugas akhir penelitian, dan yang terakhir adalah batasan masalah dan sistematika dari penulisan tugas akhir penelitian ini. Sistematika yang kedua adalah dasar teori, pada bab dasar teori menjelaskan mengenai teori-teori atau ilmu yang digunakan dalam proses pengerjaan tugas akhir penelitian ini. Sistematika yang ketiga yaitu desain dan pengujian peralatan, pada bab desain dan pengujian peralatan ini membahas mengenai desai dari sistem yang digunakan, desain dan sistem menggunakan desai peralatan tes surja dan eksperimen tes surja pada motor induksi 3 fasa tegangan rendah menggunakan dan tanpa menggunakan rotor. Sistematika yang keempat adalah hasil eksperimen dan analisis, pada bab eksperimen dan analisis berisi mengenai hasil berupa data eksperimen tes surja pada belitan motor induksi 3 fasa tegangan rendah menggunakan dan tanpa menggunakan rotor. Dan sistematika yang terakhir adalah penutup. Pada bab penutup berisikan kesimpulan dan saran untuk tugas akhir ini.

1.6 Manfaat

1. Untuk Institusi

Sebagai penelitian lebih lanjut dalam pengembangan kampus ITS, dan sebagai referensi mahasiswa lain yang mengambil masalah serupa untuk tugas akhir.

2. Untuk bidang ilmu pengetahuan

Sebagai referensi dalam melakukan prosedur pengujian motor induksi sesuai dengan keadaan aktual agar didapatkan hasil yang maksimal.

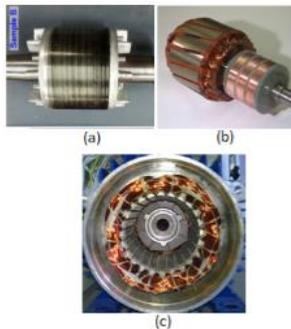
-Halama ini sengaja dikosongkan-

BAB II LANDASAN TEORI

2.1. Motor Induksi

Motor Induksi merupakan motor elektrik yang paling banyak digunakan di industri. Hal ini disebabkan karenakan motor induksi mempunyai konstruksi yang sederhana dan juga kokoh. penamaan motor induksi itu sendiri berasal dari dari fakta bahwa arus dari motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tidak seperti motor sinkron. arus dari motor induksi ini merupakan arus yang terinduksi akibat adanya perbedaan relative antara putaran rotor dengan medan putar yang dihasilkan oleh arus stator. Belitan stator yang dihubungkan dengan sumber tegangan tiga fasa menghasilkan medan magnet yang berputar dengan kecepatan sinkron. medan putar tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor. karena rotor merupakan sebuah rangkaian tertutup, maka timbul arus pada konduktor-konduktor tersebut. dan sesuai Hukum Lorentz, rotor pun akan ikut berputar mengikuti medan putar stator. perbedaan putaran antara stator dan rotor disebut dengan slip[5].

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. Rotor motor induksi dibagi menjadi dua jenis yaitu rotor sangkar tupai dan rotor belitan[5].



Gambar 0.1 (a) rotor sangkar, (b) rotor belit, (c) stator [4]

2.2. Isolasi Mesin Listrik

Isolasi merupakan salah satu faktor pembatas dalam mendesain suatu mesin listrik. Apabila ketebalan dari suatu isolasi semakin besar maka kemampuan konduktor untuk mengalirkan arus akan berkurang. Dalam mendesain suatu isolasi motor perlu diperhatikan beberapa syarat yang harus dimiliki sistem isolasi tersebut, diantaranya :

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 tinggi untuk tape separation yang dipengaruhi pemanasan termal
6. Ketahanan yang tinggi terhadap kelembaban dan uap minyak.

Pada sistem isolasi mesin listrik terdapat lima jenis-jenis isolasi yaitu:

1. Isolasi antar belitan
Isolasi antar belitan merupakan isolasi yang terletak antar belitan.
2. Isolasi antar fasa
Isolasi antar fasa terletak diantara kumparan yang berdekatan dalam kelompok fasa yang berbeda
3. Isolasi fasa dengan ground
Isolasi fasa dengan ground terletak diantara belitan dengan body motor

Berdasarkan standart NEMA[6](The National Electrical Manufacture Association) isolasi dibagi menjadi beberapa class isolasi diantaranya:

1. Insulation class A
Untuk insulation class A temperature maksimum yang diperbolehkan adalah 105°C , peningkatan temperature saat beban puncak adalah 60° pada service faktor 1, dan 70° pada service faktor 1.15, Hot spot atau titik panas bertambah sebesar 5°C
2. Insulation class B
Untuk insulation class B temperature maksimum yang diperbolehkan adalah 130°C , peningkatan temperature saat beban puncak adalah 80° pada service faktor 1, dan 90° pada service faktor 1.15, Hot spot atau titik panas bertambah sebesar 10°C

3. Insulation class F
Untuk insulation class F temperature maksimum yang diperbolehkan adalah 155°C , peningkatan temperature saat beban puncak adalah 105° pada service faktor 1, dan 115° pada service faktor 1.15, Hot spot atau titik panas bertambah sebesar 10°C
4. Insulation class H
Untuk insulation class H temperature maksimum yang diperbolehkan adalah 180°C , peningkatan temperature saat beban puncak adalah 125° pada service faktor 1, Hot spot atau titik panas bertambah sebesar 15°C

Saat menentukan insulation class perlu diperhatikan tiga hal berikut, yaitu:

1. Ambient Temperature
Ambient Temperature merupakan suhu disekitar motor ketika motor tersebut belum dioperasikan. NEMA memiliki standart untuk suhu ruangan yang digunakan adalah 40°C .
2. Rise Temperature
Rise Temperature atau peningkatan suhu merupakan suhu motor saat motor tersebut dioperasikan. Peningkatan suhu motor akan terjadi pada kawat gulungan motor.
3. Hot Spot
Hot spot merupakan titik terpanas yang terdapat pada gulungan motor.

2.3. Mekanisme kegagalan isolasi

Ada dua jenis kegagalan yang sering terjadi pada motor induksi. yang pertama adalah kegagalan bearing dan yang kedua adalah kegagalan isolasi. D.E. Crawford's melakukan penyelidikan pada mekanisme kegagalan motor dan menyimpulkan bahwa sebagian besar kegagalan adalah terkait dengan kawat atau wire dan jenis kegagalan yang sering terjadi adalah kegagalan isolasi antar belitan. Kegagalan isolasi antar belitan pada stator motor dapat disebabkan oleh kondisi motor sendiri diantaranya :

- Degradasi Isolasi dari waktu ke waktu di bawah pengaruh dielektrik normal dan tegangan termal, kelembaban, getaran dan kontaminan
- Stres Dielektrik karena sistem lonjakan melebihi kemampuan isolasi belitan

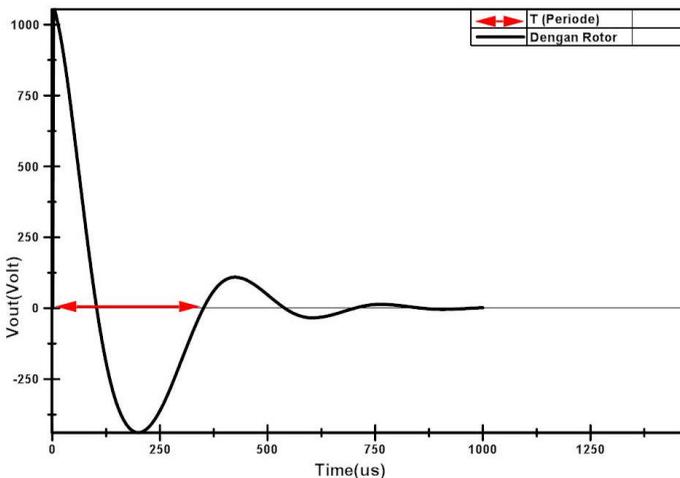
- Sebab listrik yaitu karena adanya *corona, lightning switch surge, unbalance voltages*, efek panas berlebih dan kegagalan tes.

2.4. Pengaruh Rotor

seperti yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya mengenai motor induksi bahwa motor induksi mempunyai dua jenis rotor. Yang pertama rotor sangkar tupai dan yang kedua yaitu rotor belit. Pada tugas akhir ini menggunakan motor induksi dengan jenis rotor adalah rotor sangkar tupai.

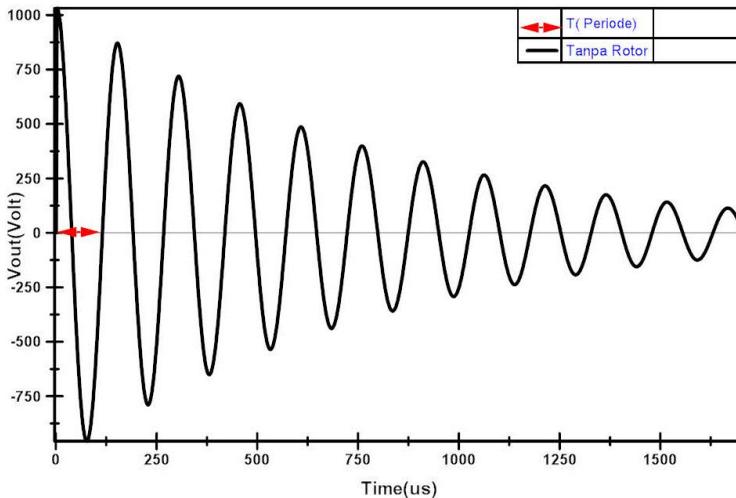
Penggunaan rotor pada motor akan mempengaruhi besarnya nilai L dari rangkaian test surja. Sehingga berdasarkan rumus frekuensi resonansi apabila nilai dari komponen L berubah-ubah maka nilai frekuensi resonansi dari gelombang hasil pengujian juga akan berubah-ubah apabila pengujian dilakukan dengan motor induksi tanpa rotor dan dengan motor induksi dengan menggunakan rotor. Berikut merupakan contoh hasil gelombang pengujian surja antara motor induksi dengan rotor dan tanpa rotor.

Gelombang tersebut didapatkan dengan nilai L pada rangkaian test yaitu sebesar 173,16 mH, maka didapatkan nilai frekuensi resonansi untuk nilai L adalah 173,16 mH adalah 3824,69 Hz dengan waktu yang dibutuhkan dalam satu gelombang adalah 270 us.



Gambar 2.2 Gelombang Surja Dengan Rotor

Sedangkan gambar 2.3 menunjukkan hasil gelombang surja apabila pengujian dilakukan dengan tanpa rotor. Gelombang tersebut didapatkan dari nilai L yaitu 55,43 mH dengan frekuensi resonansi sebesar 6760,01 Hz dan waktu yang dibutuhkan dalam satu gelombang adalah 140 us.

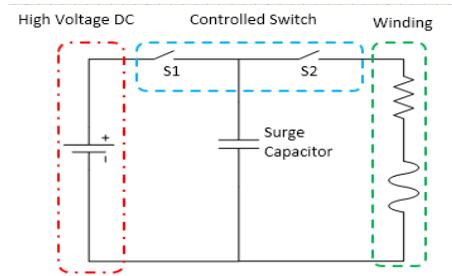


Gambar 2.3 Gelombang Surja Tanpa Rotor

2.5. Surja Test

Tes surja merupakan salah satu pengujian yang digunakan untuk mengetahui kondisi isolasi antar belitan. tes surja dilakukan dalam kondisi *offline* atau dengan kata lain pada saat pengujian dilakukan tidak ada sumber listrik yang mensuplai motor listrik tersebut[2]. tes surja dilakukan dengan mengalirkan pulsa *short current* yang memiliki *rise time* tertentu ke belitan stator motor yang akan diuji.

pulsa short current dihasilkan dari proses charge dan discharge dari kapasitor surja[2]. mula-mula tegangan AC dari sumber AC disearahkan menjadi tegangan tinggi DC, tegangan tinggi DC tersebut dialirkan pada kapasitor surja. setelah kapasitor surja terisi penuh muatan listrik yang ada pada kapasitor surja tersebut dialirkan pada belitan motor yang diuji.



Gambar 2.4 Skematik konfigurasi rangkaian tes surja

Tegangan tinggi DC merupakan Tegangan DC yang dihasilkan dari output rangkaian Voltage Multiplier(Cockcroft Walton Multiplier). R dan L merupakan resistansi dan induktansi pada motor induksi, sedangkan C merupakan kapasitor surja, dan S merupakan saklar. Ketika dilakukan pengujian, saklar S1 akan menutup sehingga kapasitor surja dimuati oleh tegangan tinggi. Setelah muatan pada kapasitor surja sudah mencapai nilai tegangan yang diinginkan, maka secara bersamaan saklar S1 akan terbuka dan saklar S2 akan menutup. Hal ini mengakibatkan terjadinya perpindahan muatan dari kapasitor menuju belitan stator motor induksi tiga fasa. Hal ini disebut peluahan kapasitor menuju impedansi motor[3].

Pada saat S1 terbuka dan S2 tertutup rangkaian pengujian dan motor akan menjadi rangkaian RLC yang berfrekuensi dengan hasil gelombang seperti pada gambar 2.2 dan gambar 2.3. Apabila motor mengalami kerusakan isolasi nilai induktansi(L) akan berkurang dikarenakan efek dari short circuit antar belitan, sehingga mengakibatkan perubahan nilai frekuensi tegangan impuls dan pergeseran bentuk gelombang. Persamaan untuk frekuensi gelombang resonansi adalah sebagai berikut.

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

f merupakan frekuensi resonansi, C adalah nilai kapasitansi dari kapasitor surja, L adalah nilai dari Induktansi motor, dan R adalah Resistansi motor[3]. Dari respon pengujian surja tersebut dapat dilakukan proses akuisisi data dengan menggunakan metode EAR(*Error Area Ratio*).

2.6. Metode EAR

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. Persamaan EAR adalah sebagai berikut:

$$\text{EAR} = \frac{\sum_{i=1}^N |F_i^{(1)} - F_i^{(2)}|}{\sum_{j=1}^N |F_j^{(1)}|} \times 100$$

Keterangan :

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

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

Gelombang referensi merupakan gelombang hasil surja tes pada saat pengujian tanpa menggunakan rotor dan kondisi motor dalam keadaan yang baik. Gelombang pengujian merupakan gelombang hasil surja tes pada saat pengujian menggunakan rotor dan kondisi motor dalam keadaan yang baik.

Cara kerja dari metode EAR ini adalah dengan cara membandingkan dua gelombang yang ada. Dari perbandingan perubahan gelombang tersebutlah maka akan didapatkan nilai EAR. Metode EAR sendiri dibagi menjadi dua yaitu *Pulse to Pulse* EAR (P-P EAR), *Line to Line* EAR (L-L EAR)[7].

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.

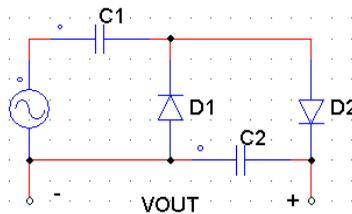
Metode ini tidak memiliki keterbatasan seperti metode L-L EAR yaitu tidak dipengaruhi oleh efek posisi rotor, kondisi rotor, konfigurasi belitan, koneksi motor, kondisi logam (*iron*), dan saturasi. Metode ini merupakan metode paling modern untuk menguji integritas isolasi antar belitan dengan menggunakan 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*.

2.7. Rangkaian Greinacaher

Rangkaian Greinacaher merupakan rangkaian elektronika yang memiliki fungsi untuk membangkitkan tegangan tinggi DC. Rangkaian ini menggunakan sumber listrik AC relative kecil yang kemudian diubah menjadi listrik DC dengan lebih tinggi dari pada sumber tegangan input AC. Rangkaian ini juga dapat menghasilkan daya yang besar karena dapat membangkitkan beberapa KV dengan arus sampai 100 mA. Untuk rangkaian kaskade sederhana seperti pada gambar 2.5



Gambar 2.5 Rangkaian Vilard

Kapasitor yang digunakan pada rangkaian ini merupakan jenis kapasitor bipolar atau kapasitor tersebut tidak memiliki polaritas. Untuk rating kapasitor yang digunakan harus disesuaikan dengan nilai tegangan yang akan dibangkitkan. Kapasitor juga harus mampu menahan tegangan tinggi DC yang dibangkitkan

Komponen yang lain pada rangkaian ini adalah diode. Untuk pemilihan parameter diode perlu diperhatikan beberapa hal diantaranya tegangan bloking diode, dan tegangan drop pada diode. Diharuskan untuk memilih diode dengan rating tegangan bloking yang melebihi tegangan DC yang akan dibangkitkan.

Prinsip kerja dari rangkaian ini adalah. Awalnya arus dari tegangan positif(+VS) mengisi kapasitor C1 namun tidak dapat mengalir ke C2 dikarenakan terdapat diode D1 yang menahan arus agar tidak terlewat. kemudian saat tegangan negative (-VS) arus mengalir mengisi kapasitor C2 sehingga total dari tegangan output adalah tegangan pada capacitor C1 ditambah dengan C2 atau sebesar 2VS. Persamaan tegangan output dari rangkaian Cockcroft – Walton dapat dituliskan sebagai berikut :

$$V_{out} = 2 \times N \times V_{peak\ input}$$

Keterangan :

V_{out} : Tegangan Ouput rangkaian cockcroft – Walton

N : Jumlah Stage rangkaian

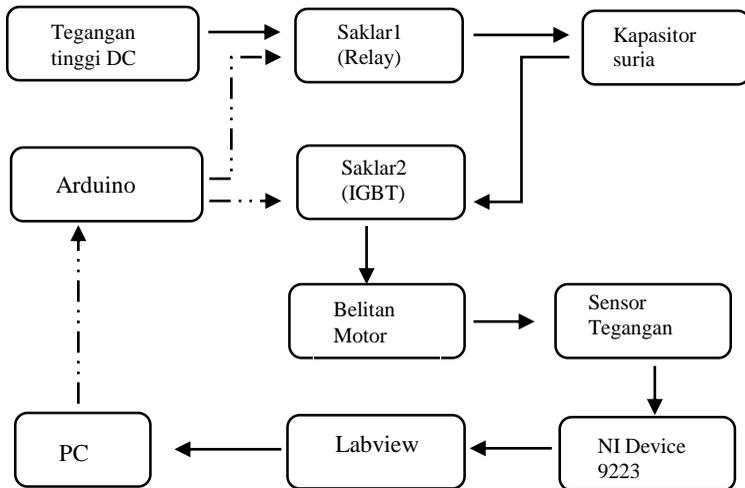
$V_{peak\ input}$: Tegangan Puncak Input

Halaman ini Sengaja Dikosongkan

BAB III

PERANCANGAN SISTEM DAN ALAT

Pada Bab ini membahas mengenai tahapan atau langkah yang dilakukan dalam proses perancangan dan pembuatan tugas akhir Desain Peralatan Diagnostik Motor Induksi Berbasis Tegangan Surja Untuk Mengetahui Pengaruh Rotor Terhadap Hasil Pengujian Tes Surja. Untuk bagian awal dalam bab ini membahas mengenai blok diagram dari sistem surja tes, diagram blok dapat dilihat seperti gambar 3.1



Gambar 3.1 Blok Diagram Test Surja

Secara umum prinsip kerja dari sistem pada blok diagram gambar 3.1 yaitu mula-mula tegangan AC 220 volt dimasukkan ke dalam variabel autotransformator. Output dari variabel autotransformator dilanjutkan ke rangkaian Villard, rangkaian Villard memiliki fungsi untuk membangkitkan tegangan tinggi DC. Pada sistem ini tegangan tinggi DC yang digunakan untuk pengujian isolasi belitan motor adalah sebesar 1KV. Output rangkaian Villard ditahan oleh saklar1 (reed relay) sebelum diteruskan ke kapasitor surja. Saklar1 sendiri berfungsi meneruskan

tegangan tinggi DC untuk mengisi kapasitor surja, sedangkan saklar2 memiliki fungsi untuk meneruskan tegangan tinggi DC yang ada pada kapasitor surja ke belitan dari motor induksi. Saklar1 dan juga saklar2 bekerja secara bergantian dengan cara dikendalikan oleh switch controller. Proses awalnya dengan mengirimkan perintah dari pc ke switch controller untuk mengaktifkan saklar1 dan saklar2 dengan posisi kedua saklar pada status Normally Open, ketika switch controller mendapatkan perintah dari pc switch controller mengaktifkan saklar1 terlebih dahulu dengan tujuan untuk mengisi kapasitor surja.

Setelah kapasitor surja terisi saklar1 dinonaktifkan kembali lalu kemudian saklar2 diaktifkan. Saklar2 diaktifkan dengan tujuan untuk membuang muatan pada kapasitor ke belitan motor induksi sehingga terbentuklah gelombang surja. Saat gelombang surja terbentuk, data gelombang surja diambil oleh perangkat NI 9223 yang kemudian dilanjutkan ke LabVIEW, dan terakhir data tersebut disimpan oleh LabVIEW ke PC. Sebelum gelombang surja diambil oleh perangkat NI 9223 terlebih dahulu melewati varivolt dengan tujuan menurunkan tegangan dengan rasio 10:1.

Proses pengujian surja pada motor induksi dilakukan pada saat kondisi motor tidak terhubung ke sumber listrik, atau pada saat kondisi offline.

Pada blok diagram diatas terdapat beberapa komponen yang digunakan diantaranya adalah :

1. Rangkaian Villard dengan input tegangan AC dari Variabel autotransformator
2. Saklar reed relay tegangan tinggi
3. Soft saklar menggunakan IGBT
4. Rangkaian kapisotor surja dengan nilai kapasistansi yang bervariasi
5. Sensor tegangan menggunakan Varivolt
6. NI Device 9223 sebagai hardware atau input Analog
7. Software Labview dan software arduino

3.1. Perancangan Hardware

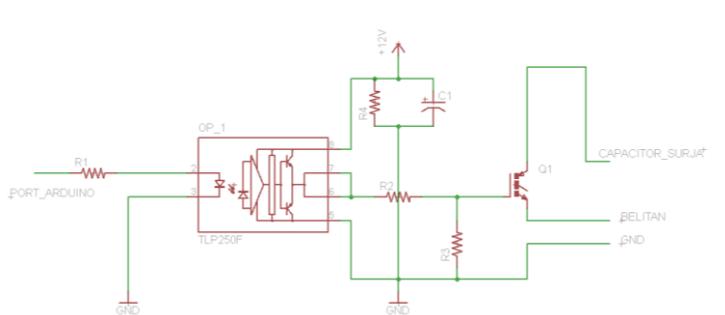
Pada tugas akhir ini terdapat beberapa perancangan hardware diantaranya adalah desain dan perancangan rangkaian switch controller dan rangkaian

switch tegangan tinggi. kemudian rangkaian power supply 24 volt yang digunakan sebagai sumber tegangan untuk rangkaian switch controller. Dan yang terakhir adalah desain motor induksi dengan external tabs untuk simulasi turn fault dengan kondisi turn fault yang berbeda-beda.

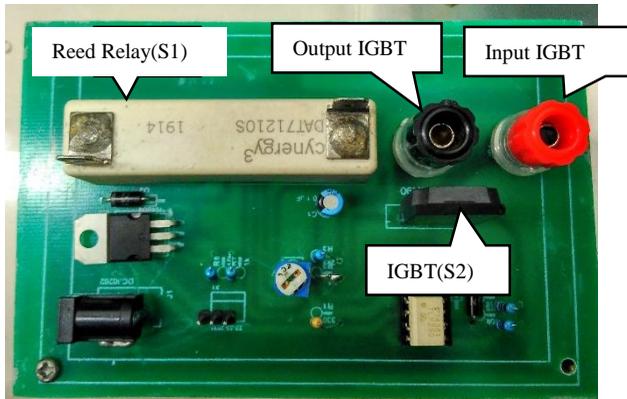
3.1.1. Switch Controller

Seperti yang telah dijelaskan pada awal bagian, bahwa switch Controller berfungsi untuk mengaktifkan switch1 dan juga switch2. Switch1 berfungsi untuk mengisikan atau meneruskan tegangan tinggi DC yang berasal dari output rangkaian Villard ke kapasitor surja. Sedangkan switch2 berfungsi untuk meneruskan atau membuang muatan yang terdapat pada kapaistor surja ke belitan pada motor induksi sehingga dari proses pelepasan muatan tersebut dapat terbentuk gelombang surja. Untuk switch controller sendiri dikontrol melalui arduino. Skema dari rangkaian switch dapat dilihat pada gambar 3.2

Pemilihan jenis switch sangat penting karena dapat memberikan pengaruh pada hasil gelombang surja yang digunakan. Untuk saklar1 yang bertugas mengisi kapasitor surja digunakan switch berupa relay yaitu reed relay dengan spesifikasi nilai tegangan maksimum pada kontak adalah sebesar 7 KV. Sedangkan untuk saklar 2 menggunakan IGBT. IGBT yang digunakan pada saklar 2 bertujuan untuk mencegah terjadinya cacat pada hasil gelombang surja yang dihasilkan. Apabila saklar 2 menggunakan relay maka pada hasil surja test tidak dapat maksimal karena adanya spike yang ditimbulkan karena interaksi antara kontak saat relay aktif. Untuk spesifikasi dari IGBT sendiri memiliki tegangan maksimum yang mengalir yaitu sebesar 1,2 KV dengan nilai arus maksimum sebesar 60 A.



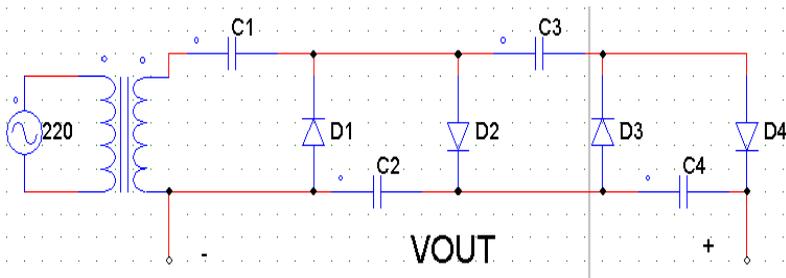
Gambar 3.2 Skematik rangkaian switch controller



Gambar 3.3 Board rangkaian switch controller

3.1.2. Rangkaian Greinacaher

Rangkaian Greinacaher (Corchof-Walton) merupakan rangkaian yang berfungsi untuk membangkitkan tegangan tinggi DC. Rangkaian ini terdiri dari beberapa komponen yaitu empat buah kapasitor dan empat buah diode sehingga dari komponen-komponen tersebut dibuat dua stage cockroft-walton sehingga akan dibangkitkan tegangan DC sebesar $4V_{peak}$. Setiap satu stage dari rangkaian ini terdiri dari dua buah diode dan dua buah kapasitor dengan nilai kapasitor sebesar 2 KV dan kapasistansi sebesar 10nF sedangkan untuk diode menggunakan diode dengan block maksimum sebesar 4KV. Untuk skematik rangkaian seperti terlihat pada gambar 3.4



Gambar 3.4 Rangkaian cochroff-walton

Secara perhitungan menggunakan tegangan DC yang dibangkitkan oleh rangkaian tersebut adalah sebesar $4 V_{\text{peak}}$ didapatkan dari persamaan :

$$V_{\text{out}} = 2 \times N \times V_{\text{peak input}}$$

Keterangan :

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

N : Jumlah stage

Dari persamaan diatas tegangan yang dibangkitkan apabila semua komponen ideal adalah sebesar :

$$\begin{aligned} V_{\text{out}} &= 2 \times 2 \times 220\sqrt{2} \\ &= 1520 \end{aligned}$$

Prinsip kerja dari rangkaian ini adalah. Awalnya arus dari tegangan positif(+VS) mengisi kapasitor C1 namun tidak dapat mengalir ke C2 dikarenakan terdapat diode D1 yang menahan arus agar tidak terlewat. kemudian saat tegangan negative (-VS) arus mengalir mengisi kapasitor C2 sehingga total dari tegangan output adalah tegangan pada capacitor C1 ditambah dengan C2 atau sebesar 2VS dan seterusnya hingga total tegangan output sama dengan 4VS. untuk input dari rangkaian ini berasal dari variable autotransformator sehingga untuk tegangan out dari rangkaian bias diatur sesuai dengan keinginan.



Gambar 3.5 Board rangkaian cochroff-walton

3.1.3. Rangkaian Surja test

menurut standart IEEE 522-2004 terdapat dua jenis rangkaian yang dapat digunakan untuk melakukan tes surja. yang pertama adalah Conduction-type devices, pada jenis ini tes surja dilakukan dengan cara memberikan tegangan surja langsung ke belitan yang ingin dilakukan pengujian. tegangan surja diberikan saat kondisi belitan sedang dalam kondisi normal dan yang kedua diberikan saat belitan motor dalam keadaan rusak atau terjadi short circuit. jenis yang kedua adalah Induction-type devices, pada jenis tes surja ini tegangan surja tidak secara langsung diberikan pada belitan surja namun terlebih dahulu di berikan ke belitan tambahan yang berfungsi untuk menginduksikan medan elektro magnet ke belitan yang ingin dilakukan pengujian[8]. pada tugas akhir ini rangkaian yang digunakan adalah Conduction-type devices dengan gambar rangkaian seperti pada gambar 3.6.

cara kerja dari rangkaian ini adalah mula-mula tegangan tinggi DC diisikan pada capacitor surja melalui saklar 1. Setelah terisi saklar 1 terbuka dan saklar 2 tertutup sehingga muatan dari kapasitor surja akan dibuang ke rangkaian ekuivalen pada belitan motor. Karena rangkaian motor merupakan rangkaian yang terdiri dari resistor dan inductor yang terpasang seri maka secara keseluruhan akan membentuk rangkaian RLC seri sehingga timbulah gelombang surja yang memiliki frekuensi resonansi tertentu. Pada penelitian ini diinginkan waktu osilasi dari gelombang surja tersebut adalah sebesar 147 uS[4] agar gelombang surja yang dihasilkan tidak terlalu rapat. Untuk dapat mendapatkan frekuensi resonansi dengan waktu sebesar 147 uS dapat menggunakan persamaan :

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

Dikarenakan nilai dari $\frac{R^2}{4L^2}$ sangat kecil maka persamaan diatas dapat direduksi menjadi

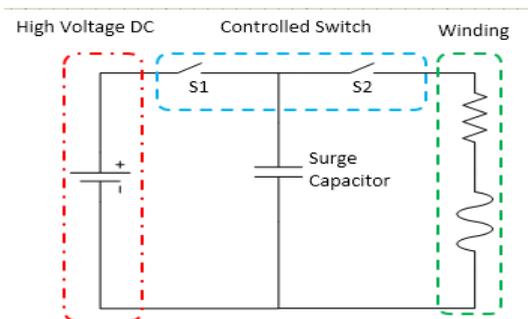
$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{1}{LC}\right)}$$

Untuk spesifikasi dari nilai R dan L yang didapatkan dari LRC meter, pada motor merk Tatung dengan power sebesar 2 HP adalah sebagai berikut :

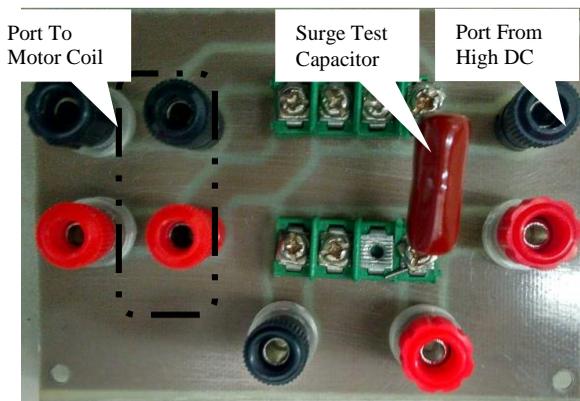
Tabel 3.1 Nilai R dan L motor 2HP, 4 kutub

| Fasa | R (ohm) | L (mH) |
|------|----------|----------|
| VU | 8,55 ohm | 55,43 mH |
| VW | 8,56 ohm | 53,79 mH |
| WU | 8,55 ohm | 54,26 mH |

untuk dapat menghasilkan waktu osilasi sebesar 147 us maka frekuensi resonansinya adalah sebesar 6821,83 HZ. Untuk mendapatkan nilai frekuensi tersebut dengan nilai L sebesar 55,43 maka nilai C adalah sebesar 10 nF.



Gambar 3.6 Rangkaian Conduction-type Devices



Gambar 3.7 Board rangkaian conduction type

3.1.4. Perancangan Motor Induksi

Perancangan Motor Induksi digunakan untuk menguji tingkat keakuratan alat apabila terdapat pengaruh dari inti besi pada rumah stator, karena pada kondisi sebenarnya pengujian surja pada motor induksi akan menggunakan rumah stator.

Perbedaannya adalah pada kondisi dilapangan tes surja dilakukan dengan melepas rotor namun pada tugas akhir ini dilakukan dengan menggunakan rotor yang digunakan untuk mengetahui bagaimana pengaruh rotor terhadap hasil tes surja. Pada perancangan ini digunakan motor induksi dengan spesifikasi seperti pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Spesifikasi Motor Induksi

| | |
|----------|----------|
| P rating | 2 HP |
| Poles | 4 |
| V rated | 220/380V |
| I rated | 3.6/2.1A |
| KW | 1,5 KW |

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

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

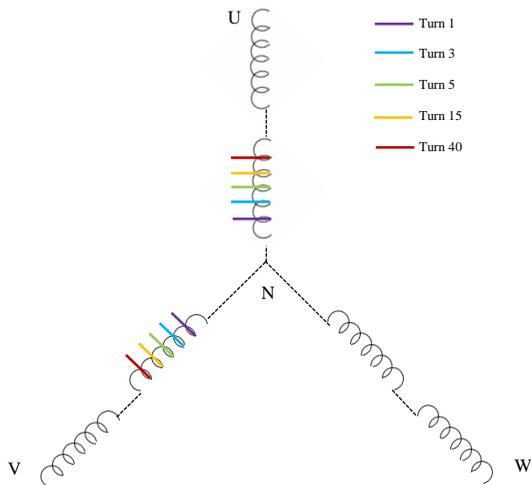
Untuk mensimulasikan kerusakan tersebut maka digunakan *external tab* dengan *port* yang dapat dihubungkan seperti pada Gambar 3.8.

Pada perancangan ini *external tab* diaplikasikan pada dua fasa pada motor induksi, yaitu fasa U dan fasa V. Belitan fasa U dan V dikeluarkan beberapa *turn* untuk dihubungkan ke *external tab*. *Turn* yang dikeluarkan untuk dihubungkan *external tab* adalah *turn* 1, 3, 5, 15 dan 40. Masing-masing *turn* diaplikasikan pada masing-masing fasa U dan fasa V. Skema *turn* yang dihubungkan ke *external tab* dapat dilihat pada Gambar 3.9.

Gambar 3.9 merupakan desain dari *external tab* yang nantinya akan diaplikasikan pada motor induksi yang sebenarnya. Sedangkan Gambar 3.8 Merupakan Motor Induksi 3 Fasa yang telah dimodifikasi dengan menambahkan *external Tab* yang diletakkan diatas *nameplate* motor induksi 3 fasa.



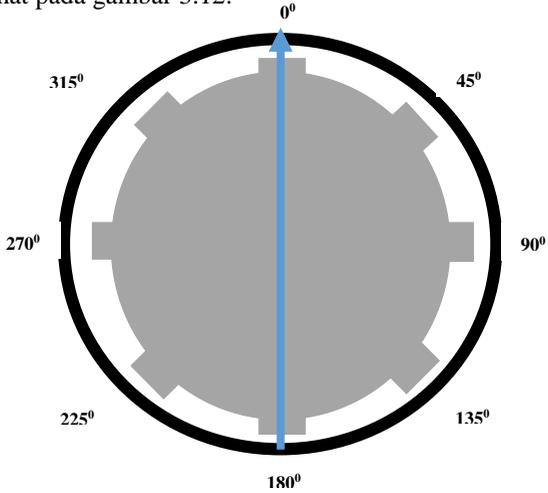
Gambar 3.8 Motor Induksi dengan External Tab



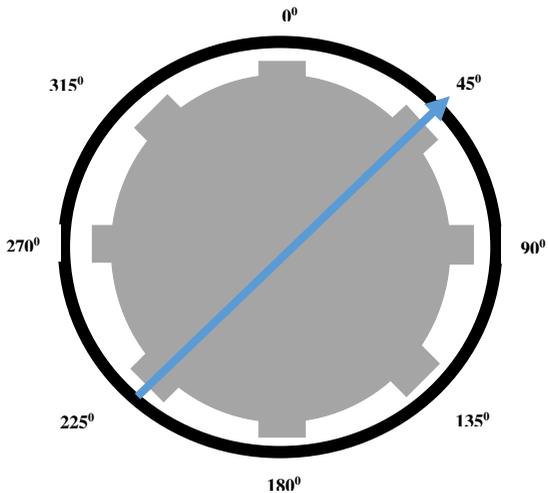
Gambar 3.9 Skema *turn* yang dihubungkan dengan *external tab*

Dengan desain seperti diatas akan dilakukan pengujian surja dengan adanya kerusakan antar turn pada motor dengan rotor saat posisi 0 derajat dibandingkan dengan motor kondisi normal dengan sudut rotor bervariasi. Selain itu pada perancangan ini juga menjelaskan simulasi dari

setiap variasi dari posisi sudut rotor. Pengambilan Pengujian Surja pada Motor Induksi saat menggunakan rotor akan dilakukan pada posisi rotor 0° sampai 360° dengan *step range* sebesar 45° . Untuk skema simulasi dapat dilihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.10 Skema Simulasi Posisi Sudut Rotor



Gambar 3.10 Skema Simulasi Posisi Sudut Rotor(lanjutan)

Keterangan :

-  : Rotor Motor Induksi
-  : Stator Motor Induksi

3.2. Perancangan Software

Perancangan Software pada tugas akhir ini bertujuan untuk mendukung atau mengontrol perangkat hardware. Terdapat dua software utama yang digunakan, yang pertama adalah program arduino yang digunakan untuk mengontrol rangkaian switch controller. Dan yang kedua adalah labVIEW yang digunakan untuk mengolah data hasil gelombang surja test.

3.2.1. Perancangan Program Arduino

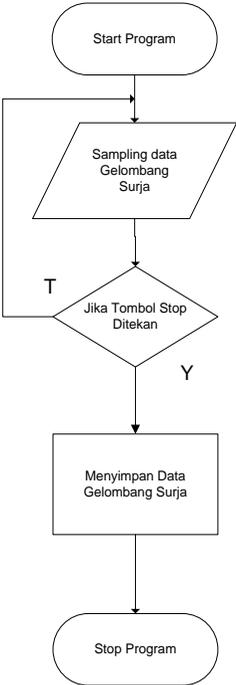
Untuk mengontrol switch controller membutuhkan perangkat arduino. Perangkat arduino sendiri membutuhkan sebuah petunjuk operasi yang dituliskan dalam bentuk program yang dapat di download pada arduino tersebut. Pada program tersebut didefinisikan arduino mengaktifkan satu input serial dan dua port digital output. 1 output digital untuk mengontrol switch 1 berupa reed relay dan switch digunakan untuk mengontrol switch 2 berupa IGBT. Sedangkan input serial digunakan untuk membaca perintah dari PC. Untuk memulai atau menghentikan arduino. Penjelasan program tersebut yaitu sebagai berikut:

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

3.2.2. Perancangan Program LabVIEW

pada tugas akhir ini labVIEW digunakan untuk merekam data atau menyimpan data dari gelombang surja yang dihasilkan. program labVIEW ini terdiri dari blok diagram sederhana dimana dalam blok diagram tersebut hanya terdapat fungsi run, stop, dan sampling data gelombang surja. untuk dapat mendapatkan hasil bentuk gelombang surja yang bagus

maka untuk nilai frekuensi samplingnya ditentukan sebesar 1 MHz karena semakin besar frekuensi sampling maka semakin besar data yang dapat diambil oleh labVIEW. hasil dari gelombang surja yang telah didapat akan di ekspor ke dalam file dengan format TDMS. file TDMS ini yang akan diolah dan dianalisis untuk mendapatkan nilai EAR menggunakan aplikasi DIADEM.



Gambar 3.11 Flowchart Program LabVIEW

BAB IV

PENGARUH ROTOR TERHADAP HASIL PENGUJIAN TES SURJA MOTOR INDUKSI 3 FASA

Pada bab ini membahas mengenai pengujian dan hasil analisis dari peralatan tes surja yang bertujuan untuk mengetahui akurasi dari peralatan surja yang digunakan dalam pengujian, dan juga analisis mengenai pengaruh variasi sudut rotor terhadap hasil pengukuran tes surja yang dibandingkan dengan gelombang surja saat motor induksi 3 fasa diuji tanpa menggunakan rotor.

Besarnya sudut rotor dalam pengujian kali ini divariasikan mulai dari 0,45,90,135,180,225,270,315, dan 360 derajat, sehingga dari variasi sudut rotor tersebut akan dianalisis bagaimana bentuk gelombang surja tersebut untuk masing-masing nilai sudutnya. Selain itu digunakan juga simulasi turn fault pada belitan motor yang bertujuan untuk membandingkan turn fault pada saat posisi nilai sudut rotor 0 derajat dibandingkan dengan kondisi belitan normal pada nilai sudut rotor 0-360 derajat.

4.1. Pengujian Pembangkit Tegangan Tinggi DC

Pada pengujian pembangkitan tegangan tinggi DC ini menggunakan beberapa komponen pendukung, komponen-komponen tersebut diantaranya adalah variable autotransformator yang digunakan untuk mengatur besar dari tegangan input dari rangkaian cochrhoff-walton dan voltmeter yang digunakan untuk mencatat hasil tegangan output pada rangkaian cochrhoff-walton.

Proses awal pengujian adalah dengan meningkatkan tegangan output dari variable autotransformator secara bertahap. Pada pengujian ini digunakan range sebesar 10 volt. Tegangan output dari autotransformator dimasukkan sebagai input dari rangkaian cochrhoff-walton, saat tegangan output variable secara bertahap dinaikkan secara bersamaan output dari rangkaian cochrhoff-walton dicatat.

Setelah hasil pencatatan selesai semua dilakukan proses perbandingan antara hasil output dari rangkaian cochrhoff-walton untuk masing-masing nilai tegangan terhadap hasil perhitungan secara teori untuk nilai masing-masing tegangan. Setelah didapatkan hasil dari tegangan output berdasarkan pengukuran dan juga tegangan output

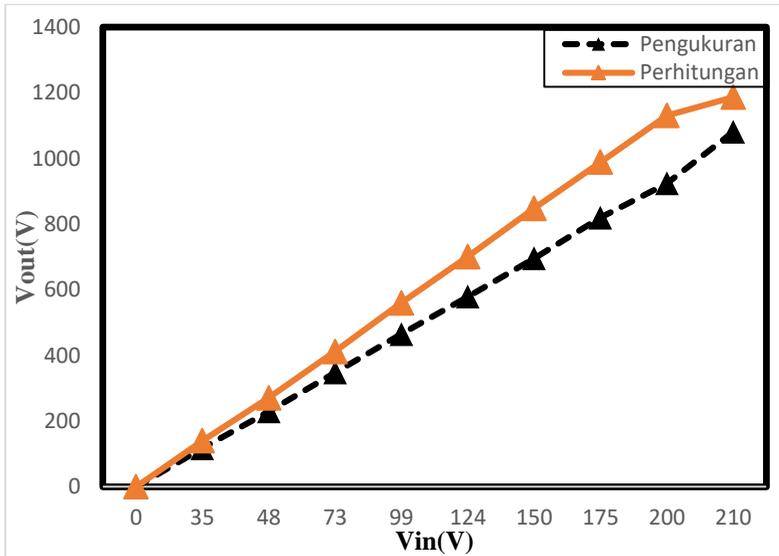
bersasarkan perhitungan dapat diperoleh nilai error dari perbandingan tegangan tersebut. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil perhitungan dan pengujian

| Tegangan <i>input</i> rms(Volt) | Tegangan <i>output</i> pengujian (Volt) | Tegangan <i>output</i> perhitungan (Volt) | Error(%) |
|--|--|--|-----------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 35 | 117 | 140 | 16,42 |
| 48 | 229 | 271 | 15,49 |
| 73 | 348 | 412 | 15,53 |
| 99 | 465 | 560 | 20,43 |
| 124 | 579 | 701 | 16,41 |
| 150 | 696 | 848 | 25,06 |
| 175 | 820 | 989 | 15,01 |
| 200 | 924 | 1131 | 17,30 |
| 210 | 1081 | 1187 | 8,32 |

Berdasarkan hasil pengujian dan juga hasil perhitungan didapatkan perbandingan antara nilai tegangan pengukuran dengan tegangan output berdasarkan hasil perhitungan memiliki error rata-rata sebesar 16,33 %. Error ini dapat disebabkan kerana beberapa faktor diantaranya ketidak idealan dari komponen yang digunakan, adanya ripple tegangan, dan rugi-rugi yang teradapat pada komponen.

Namun dapat dilihat pada gambar 4.1 bahwa nilai tegangan ouput dari rangkaian cochroff-walton bersifat linier. Semakin bertambah besar nilai dari input tegangan maka semakin besar pula nilai dari tegangan output rangkaian cochroff-walton.



Gambar 4.1 Grafik hasil pengujian dan pengukuran

4.2. Pengujian Gelombang Surja

Pada proses ini dilakukan pengujian terhadap gelombang surja dan kemudia proses selanjutnya adalah analisa gelombang surja dengan tujuan untuk mengetahui nilai rise time dan tegangan puncak dari gelombang surja yang dihasilkan. Untuk bahan uji yang digunakan dalam proses pengujian ini adalah motor induksi tanpa rotor dan dengan rotor dan juga nilai kapasitor surja sebesar 10 nf.

4.2.1. Pengujian Rise Time Gelombang

Proses pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai rise time dari gelombang surja yang dihasilkan. Nilai rise time dari gelombang surja digunakan untuk menentukan berapa nilai tegangan yang harus digunakan menurut standat IEEE 522. Berdasarkan hasil pengujian pada gambar 4.2 didapatkan nilai rise time yaitu sebesar 2,35 rise time sendiri didapat dari :

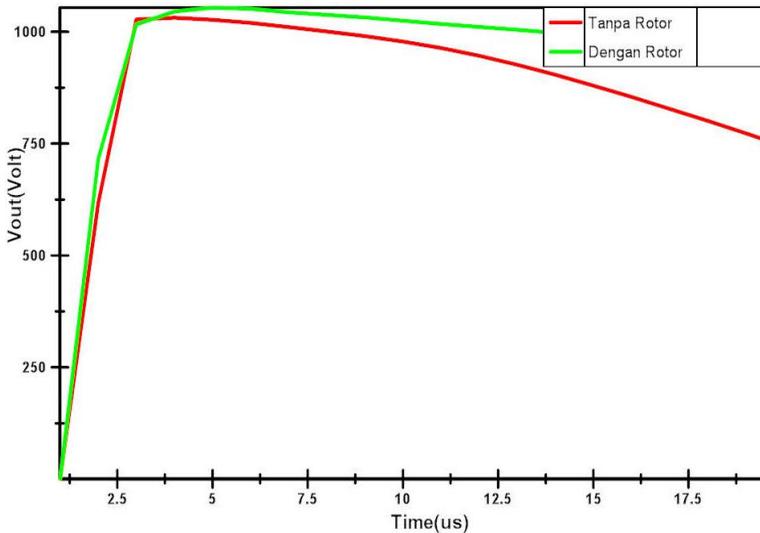
$$90\% v_p - 10\% V_p$$

$$2,78 - 0,43 = 2,35$$

Berdasarkan standar IEEE 522 untuk rise time dengan nilai lebih besar dari 1,2 us maka tegangan yang digunakan adalah sebesar 5 p.u. dan maksimal tegangan yang diperbolehkan adalah sebesar 75% dari tegangan uji. Sehingga nilai tegangan uji yang digunakan adalah sebesar :

$$\begin{aligned}
 V_{uji} &= 5 \times \sqrt{2/3} \times V_{LL} \\
 &= 5 \times \sqrt{2/3} \times 380 \\
 V_{uji} &= 1551 \text{ V} \times 75\% \\
 V_{uji} &= 1163 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Untuk keamanan dari isolasi maka tegangan uji yang digunakan adalah sebesar 1100 V.



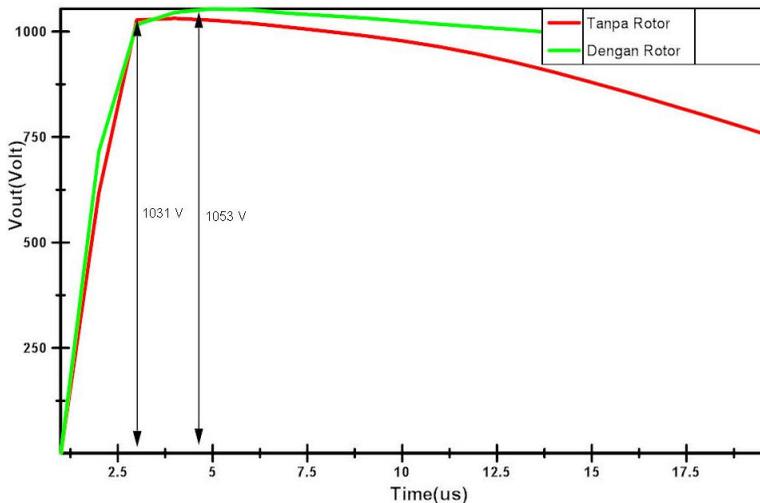
Gambar 4.2 Hasil Pengujian Rise Time

Dari gambar diatas menunjukkan bahwa baik pengujian rise time menggunakan motor induksi dengan rotor maupun tanpa rotor menghasilkan rise time lebih besar dari 1,2 us.

4.2.2. Pengujian Tegangan Puncak

Proses pengujian tegangan puncak ini dilakukan untuk mengetahui besar nilai dari tegangan puncak gelombang surja. Hal ini perlu dilakukan untuk memastikan bahwa nilai tegangan puncak sesuai dengan nilai tegangan uji yang ingin dibangkitkan. tegangan uji yang digunakan adalah sebesar 1,1 KV Hasil pengujian tegangan puncak gelombang surja dapat dilihat pada gambar 4.3.

Berdasarkan gambar 4.3 didapatkan bahwa nilai dari tegangan output kurang dari 1,1 KV yaitu hanya sebesar 1040 Volt. maka dari itu dilakukan kembali pengujian dan pengambilan data sebanyak 7 kali untuk memastikan nilai rata-rata dari tegangan puncak yang terbaca. hasil pengambilan data dapat dilihat pada tabel 4.2



Gambar 4.3 Hasil Pengujian Tegangan Puncak

Tabel 4.2 Hasil pengujian tegangan puncak

| No | Tanpa Rotor(V) | Dengan Rotor(V) |
|----|----------------|-----------------|
| 1 | 1039 | 1051 |
| 2 | 1034 | 1053 |
| 3 | 1039 | 1053 |
| 4 | 1038 | 1058 |
| 5 | 1026 | 1051 |

Tabel 4.2 Hasil pengujian tegangan puncak(Lanjutan)

| No | Tanpa Rotor(V) | Dengan Rotor(V) |
|----|----------------|-----------------|
| 6 | 1033 | 1054 |
| 7 | 1041 | 1047 |

Dari pengambilan data sebanyak 7 kali didapatkan bahwa hasil tegangan puncak output memiliki range nilai antara 1026 V sampai 1058 V. turunya nilai tegangan ini dapat disebabkan karena adanya rugi-rugi pada belitan stator dan rugi-rugi pada rotor.

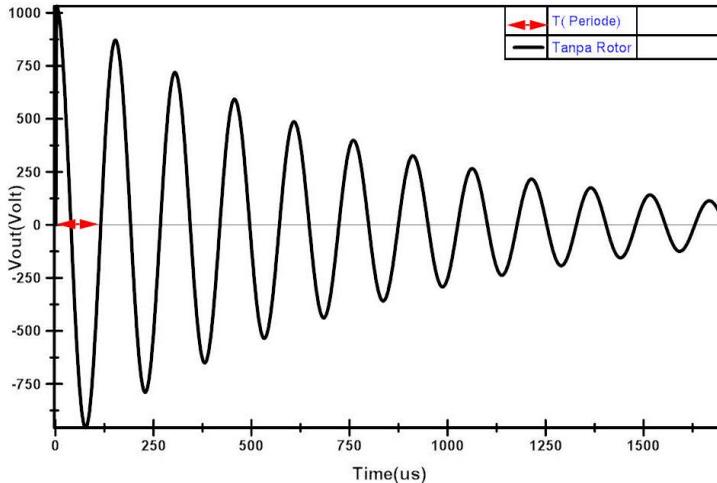
4.2.3. Pengujian Surja Tanpa Rotor

Pada bagian ini hasil gelombang surja diambil atau didapatkan dengan kondisi motor induksi tanpa rotor. hasil gelombang yang dihasilkan dianalisa untuk mengetahui dan memastikan bahwa gelombang yang dihasilkan dapat digunakan untuk analisi Error Area Ratio dan dapat digunakan untuk pembandingan dengan gelombang surja saat motor induksi diuji menggunakan rotor

Selain itu gelombang yang cacat dapat menyebabkan dapat mengakibatkan kesalahan dalam proses analisa lebih lanjut dan dapat menimbulkan ketidak akuratan hasil uji. Hasil Pengujian gelombang surja pada motor induksi saat kondisi tanpa stator dapat dilihat pada gambar 4.4. Berdasarkan hasil pengujian pada gambar 4.4 terlihat bahwa gelombang surja yang dihasilkan tidak dapat noise atau tidak terdapat cacat pada gelombang.

setelah menganalisa bentuk gelombang dan memastikan bahwa pada gelombang yang terbentuk tidak mengalami cacat atau noise proses berikutnya adalah proses pengujian surja dan analisa Error. Pengujian surja dan analisis error dilakukan sebanyak 6 kali pada belitan yang sama dengan kondisi yang sama. Berdasarkan hasil pengujian surja didapatkan hasil persen error seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.3

Berdasarkan hasil analisa pada tabel 4.3 didapatkan hasil dari nilai error adalah kurang dari 5% dengan demikian dapat dikatakan bahwa akurasi dari peralatan surja tes sudah cukup tinggi dengan nilai error yang kecil. Dengan begitu dapat dikatakan bahwa rangkaian switch yang digunakan pada pengujian ini dapat digunakan untuk melakukan pengujian pada motor induksi tegangan rendah.



Gambar 4.4 Hasil Gelombang Surja Tanpa Rotor

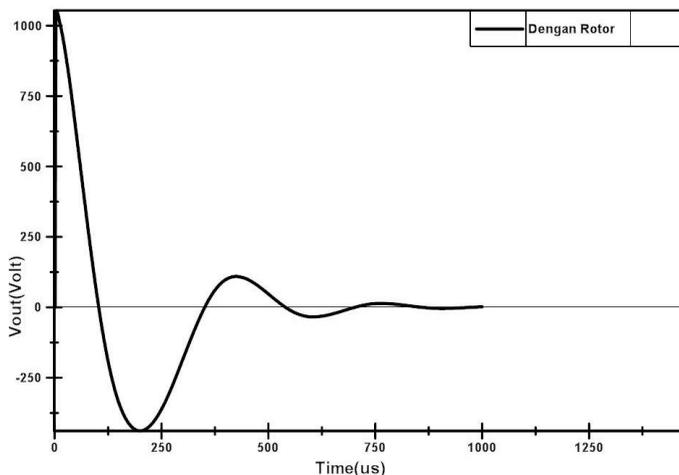
Tabel 4.3 Hasil Persen Error Tanpa Rotor

| Nomer penguji an | Nilai Persen Error(%) Tanpa rotor |
|------------------|--------------------------------------|
| 1 | 2,21 |
| 2 | 0,65 |
| 3 | 2,23 |
| 4 | 2,80 |
| 5 | 0,65 |
| 6 | 2,78 |

4.2.4. Pengujian Surja Dengan Rotor

Pada bagian ini gelombang surja didapatkan dari pengujian surja pada motor induksi dengan menggunakan rotor atau tanpa melepas rotor. Pengujian ini memiliki tujuan yang sama seperti pada pengujian gelombang surja tanpa rotor, yaitu untuk memastikan bahwa gelombang surja yang dihasilkan dari pengujian surja pada motor induksi dengan menggunakan rotor atau tanpa melepas rotor tidak terdapat noise atau cacat.

Selain itu pengujian ini juga bertujuan untuk mencari besar nilai error sehingga dari hasil nilai error dapat diketahui nilai tingkat akurasi dari peralatan dan juga besar nilai dari error. Untuk gelombang yang diashilkan dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Hasil Gelombang Surja Dengan Rotor

setelah menganalisa bentuk gelombang dan memastikan bahwa pada gelombang yang terbentuk tidak mengalami cacat atau noise proses berikutnya adalah proses pengujian surja dan analisis nilai error. Pengujian surja dan analisis nilai error dilakukan sebanyak 6 kali pada belitan yang sama dengan kondisi yang sama. Berdasarkan hasil pengujian surja dan analisa error didapatkan hasil persen error seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Hasil Analisa Persen Error Dengan Rotor

| Nomer pengujian | Nilai Persen Error(%) Dengan rotor |
|-----------------|------------------------------------|
| 1 | 3,68 |
| 2 | 4,33 |
| 3 | 3,62 |
| 4 | 1,20 |

Tabel 4.4 Hasil Analisa Persen Error Dengan Rotor(lanjutan)

| Nomer pengujian | Nilai Persen Error(%) Dengan rotor |
|-----------------|------------------------------------|
| 5 | 4.23 |
| 6 | 1,19 |

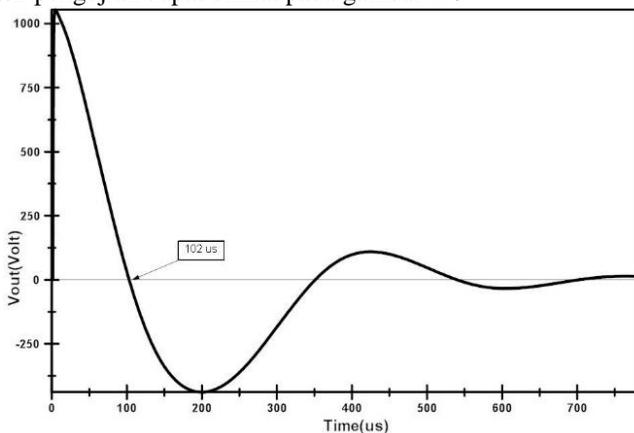
Berdasarkan data pada tabel 4.4 didapatkan hasil analisa nilai Error kurang dari 5% untuk motor induksi dengan menggunakan rotor. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa akurasi dari peralatan tes surja cukup tinggi dengan nilai error yang kecil.

4.3. Pengujian Surja Variasi Sudut Rotor

Pada bagian ini membahas mengenai pengujian dan analisa dari gelombang surja yang dihasilkan dari pengujian surja motor induksi dengan menggunakan rotor. Rotor pada pengujian ini akan divariasikan yaitu dengan nilai sudut sebesar 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , 315° , 360° . step range untuk pengujian ini sebesar 45° pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh rotor terhadap gelombang hasil tes surja.

4.3.1. Pengujian Surja Dengan Rotor Sudut 0°

Proses awal analisa gelombang surja dimulai dari rotor saat posisi 0° . Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.6

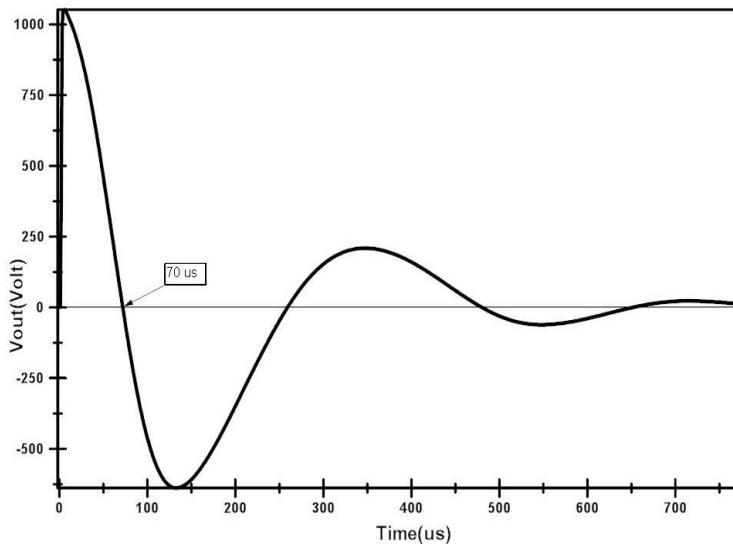


Gambar 4.6 Hasil Gelombang Surja Rotor 0°

Pada gambar 4.6 dapat dilihat hasil gelombang surja untuk sudut rotor 0° dicari nilai t_1 . T_1 merupakan waktu zero crossing awal pada saat setengah cycle dari gelombang. Dari gambar didapat nilai t_1 adalah 102 us.

4.3.2. Pengujian Surja Dengan Rotor Sudut 45°

Kemudian pengujian selanjutnya dilakukan dengan memutar rotor sebesar 45 derajat searah jarum jam. Maka posisi rotor sekarang adalah 45 derajat. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.7



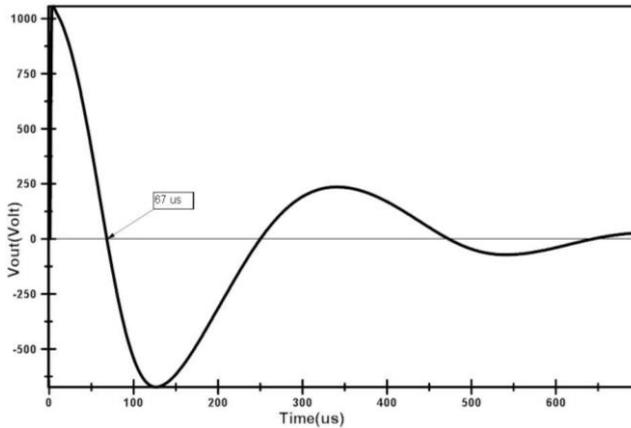
Gambar 4.7 Hasil Gelombang Surja Rotor 45°

Pada gambar 4.7 dapat dilihat hasil dari gelombang surja untuk sudut rotor sebesar 45° . Untuk gelombang surja dari motor induksi dengan sudut rotor sebesar 45° memiliki nilai t_1 sebesar 70 us.

4.3.3. Pengujian Surja Dengan Rotor Sudut 90°

Kemudian pengujian selanjutnya dilakukan dengan memutar rotor sebesar 45 derajat searah jarum jam. Maka posisi rotor sekarang adalah 90 derajat. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.8

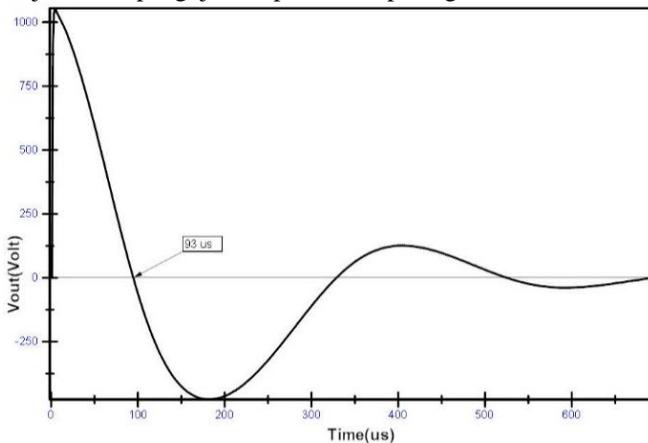
Pada gambar 4.8 dapat dilihat hasil dari gelombang surja untuk sudut rotor sebesar 90^0 . Untuk gelombang surja dari motor induksi dengan sudut rotor sebesar 90^0 memiliki nilai t_1 sebesar 67 us.



Gambar 4.8 Hasil Gelombang Surja Rotor 90^0

4.3.4. Pengujian Surja Rotor Sudut 135^0

Kemudian pengujian selanjutnya dilakukan dengan memutar rotor sebesar 45 derajat searah jarum jam. Maka posisi rotor sekarang adalah 135 derajat. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.9

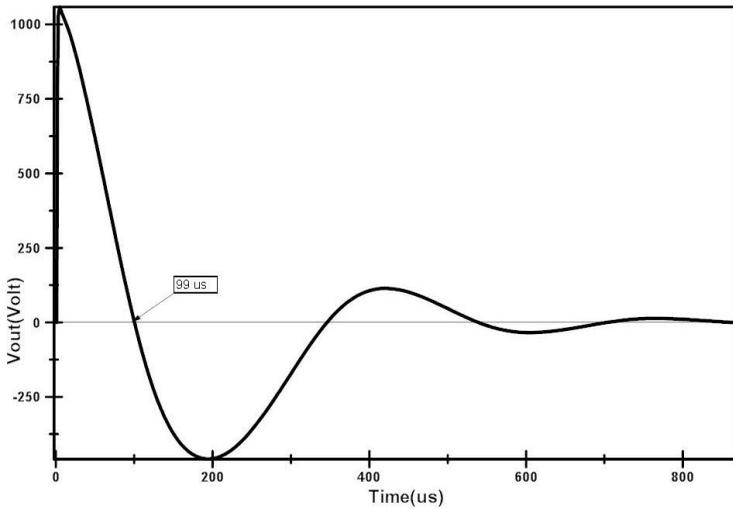


Gambar 4.9 Hasil Gelombang Surja Rotor 135^0

Pada gambar 4.9 dapat dilihat hasil dari gelombang surja untuk sudut rotor sebesar 135° . Untuk gelombang surja dari motor induksi dengan sudut rotor sebesar 135° memiliki nilai t_1 sebesar 93 us.

4.3.5. Pengujian Surja Rotor Sudut 180°

Kemudian pengujian selanjutnya dilakukan dengan memutar rotor sebesar 45 derajat searah jarum jam. Maka posisi rotor sekarang adalah 180 derajat. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.10



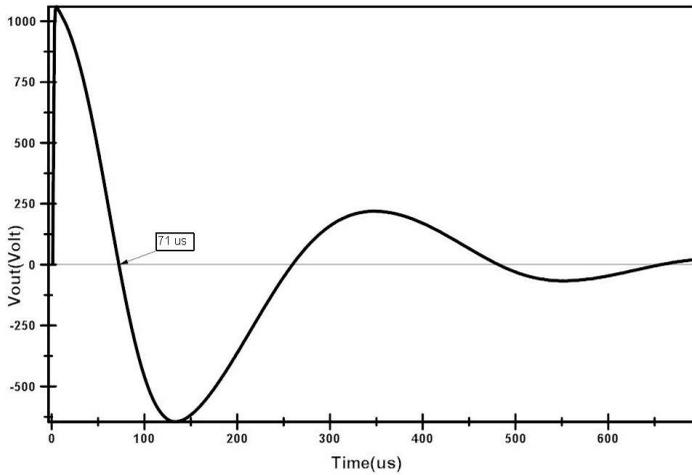
Gambar 4.10 Hasil Gelombang Surja Rotor 180°

Pada gambar 4.10 dapat dilihat hasil dari gelombang surja untuk sudut rotor sebesar 180° . Untuk gelombang surja dari motor induksi dengan sudut rotor sebesar 180° memiliki nilai t_1 sebesar 99 us.

4.3.6. Pengujian Surja Rotor Sudut 225°

Kemudian pengujian selanjutnya dilakukan dengan memutar rotor sebesar 45 derajat searah jarum jam. Maka posisi rotor sekarang adalah 225 derajat. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.11

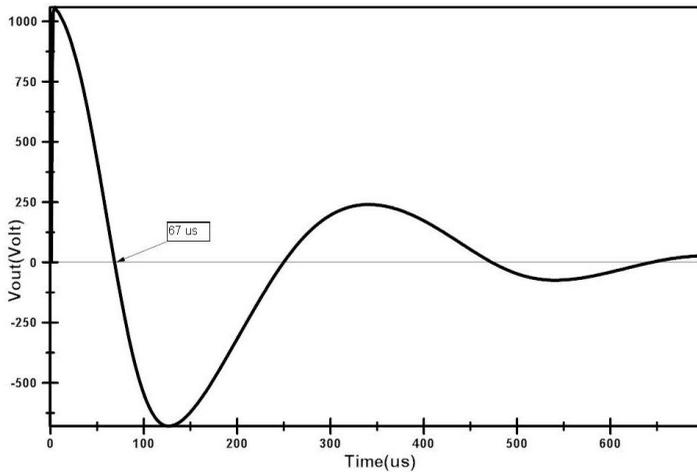
Pada gambar 4.11 dapat dilihat hasil dari gelombang surja untuk sudut rotor sebesar 225° . Untuk gelombang surja dari motor induksi dengan sudut rotor sebesar 225° memiliki nilai t_1 sebesar 71 us.



Gambar 4.11 Hasil Gelombang Surja Rotor 225⁰

4.3.7. Pengujian Surja Rotor Sudut 270⁰

Kemudian pengujian selanjutnya dilakukan dengan memutar rotor sebesar 45 derajat searah jarum jam. Maka posisi rotor sekarang adalah 270 derajat. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.12

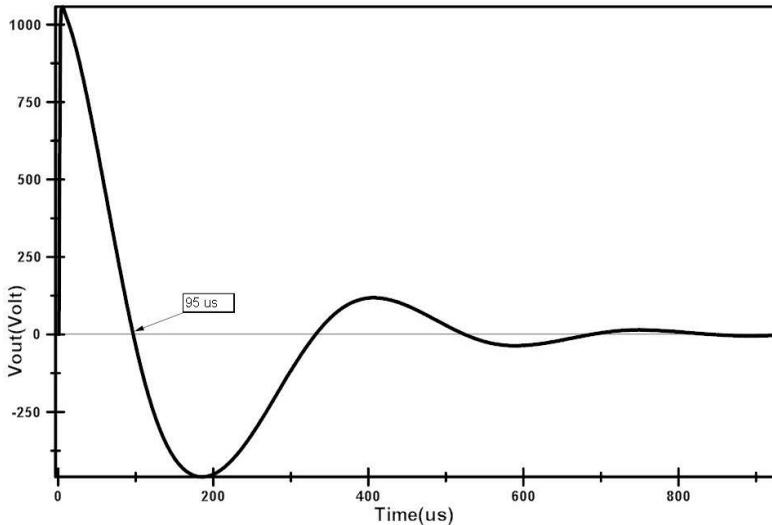


Gambar 4.12 Hasil Gelombang Surja Rotor 270⁰

Pada gambar 4.12 dapat dilihat hasil dari gelombang surja untuk sudut rotor sebesar 270° . Untuk gelombang surja dari motor induksi dengan sudut rotor sebesar 270° memiliki nilai t_1 sebesar 67 us.

4.3.8. Pengujian Surja Rotor Sudut 315°

Kemudian pengujian selanjutnya dilakukan dengan memutar rotor sebesar 45 derajat searah jarum jam. Maka posisi rotor sekarang adalah 315 derajat. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.13



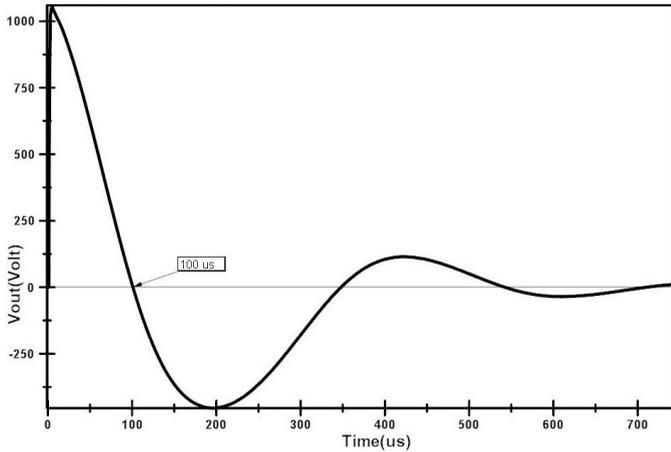
Gambar 4.13 Hasil Gelombang Surja Rotor 315°

Pada gambar 4.13 dapat dilihat hasil dari gelombang surja untuk sudut rotor sebesar 315° . Untuk gelombang surja dari motor induksi dengan sudut rotor sebesar 315° memiliki nilai t_1 sebesar 95 us.

4.3.9. Pengujian Surja Rotor Sudut 360°

Kemudian pengujian selanjutnya dilakukan dengan memutar rotor sebesar 45 derajat searah jarum jam. Maka posisi rotor sekarang kembali keposisi semula namun dengan sudut rotor sebesar 360 derajat. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar 4.14. Pada gambar 4.14 dapat dilihat hasil dari gelombang surja untuk sudut rotor sebesar 360° . Untuk

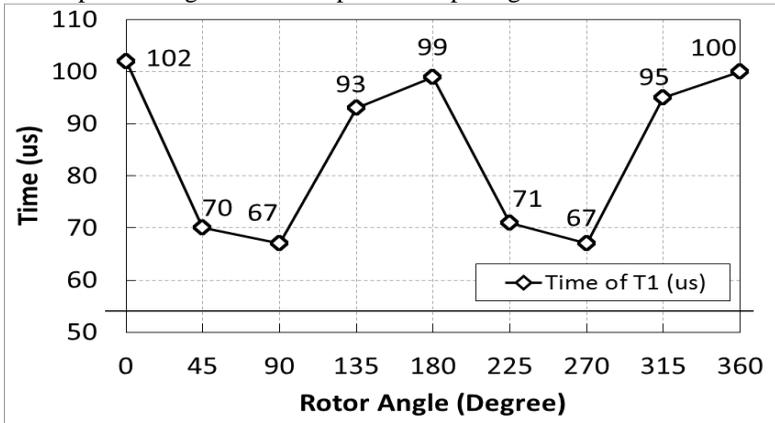
gelombang surja dari motor induksi dengan sudut rotor sebesar 360° memiliki nilai t_1 sebesar 100 us.



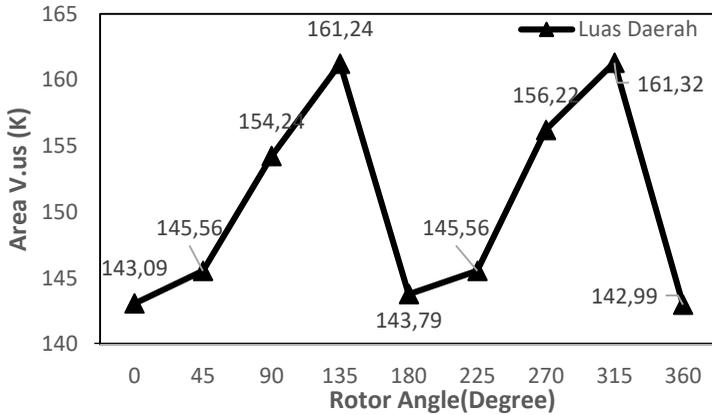
Gambar 4.14 Hasil Gelombang Surja Rotor 360°

4.3.10. Pengujian t_1 Untuk Sudut Rotor 0° - 360°

T_1 merupakan waktu zero crossing pada saat setengan cycle. Berdasarkan hasil pengujian gelombang surja pada motor induksi dengan variasi sudut rotor yang diputar secara bertahap mulai dari 0° sampai 360° dengan step range sebesar 45° , didapatkan bahwa nilai dari t_1 bervariasi. Grafik perbandingan nilai t_1 dapat dilihat pada gambar 4.15.



Gambar 4.15 grafik perbandingan nilai t_1



Gambar 4.16 Luas Daerah Gelombang Surja 0⁰-360⁰

Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa untuk nilai t1 maksimum adalah 102 us dan nilai t1 minimum adalah 67. Nilai t1 tersebut membentuk suatu pola dimana untuk kelipatan 4 nilai t1 akan cenderung kembali ke nilai awal. Atau dapat dikatakan nilai dari t1 berulang setiap 4 kali.

Maka dari itu perlu dilakukan proses analisa untuk mengetahui penyebab nilai t1 yang berulang setiap 4 kali. Berdasarkan rumus frekuensi resonansi dimana persamaannya sebagai berikut :

$$fr = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{1}{LC}\right)}$$

Dari persamaan tersebut bahwa nilai frekuensi resonansi bergantung pada nilai C dan juga nilai L. dikarenakan nilai C pada peralatan surja selalu sama yaitu sebesar 10 nf maka dilakukan pengambilan pada nilai Leq belitan motor. Data nilai Leq belitan motor pada kondisi rotor dengan sudut 0⁰-360⁰ dapat dilihat pada tabel 4.5

Tabel 4.5 Nilai L pada motor induksi fasa UV

| NO | L(VU) mH | Sudut Rotor (Derajat) |
|----|----------|-----------------------|
| 1 | 173,16 | 0 ⁰ |

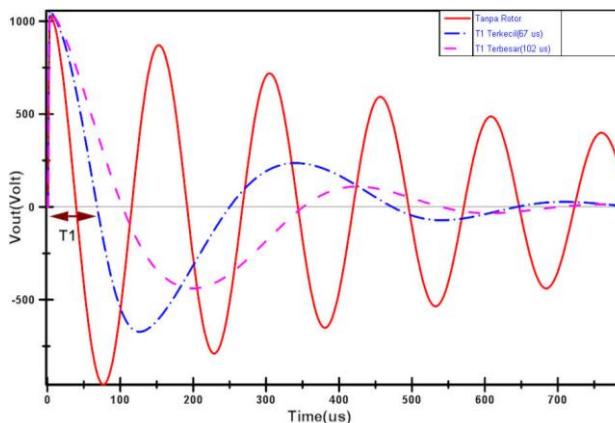
Tabel 4.5 Nilai L pada motor induksi fasa UV(Lanjutan)

| NO | L(mH) | Sudut Rotor (Derajat) |
|----|--------|-----------------------|
| 2 | 162,60 | 45 ⁰ |
| 3 | 173,66 | 90 ⁰ |
| 4 | 162,65 | 135 ⁰ |
| 5 | 173,45 | 180 ⁰ |
| 6 | 163,04 | 225 ⁰ |
| 7 | 172,81 | 270 ⁰ |
| 8 | 162,63 | 315 ⁰ |
| 9 | 173,12 | 360 ⁰ |

Berdasarkan data pada tabel 4.5 nilai L_{eq} pada motor induksi juga berubah. Dengan demikian nilai frekuensi resonansi pun juga akan berubah. Nilai t_1 bergantung pada interaksi antara dua komponen flux. Flux pada yang terdapat pada rotor dan flux yang terdapat pada stator[4].

4.4. Pengujian Surja Motor Induksi Tanpa Rotor dan Dengan Rotor.

Pada bagian ini akan membahas mengenai hasil pengujian surja pada motor induksi tanpa menggunakan rotor yang dibandingkan dengan hasil pengujian surja dari motor induksi dengan menggunakan rotor. Perbandingan tersebut seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.17.



Gambar 4.17 Perbandingan gelombang Surja

Pada gambar 4.17 dapat dilihat bahwa gelombang surja yang dihasilkan memiliki perbedaan yang sangat signifikan antara gelombang surja saat pengujian surja pada motor induksi menggunakan rotor dengan gelombang surja saat pengujian pada motor induksi tanpa menggunakan rotor.

4.4.1. Analisa EAR Gelombang surja Motor Induksi Tanpa Rotor dan Dengan Rotor

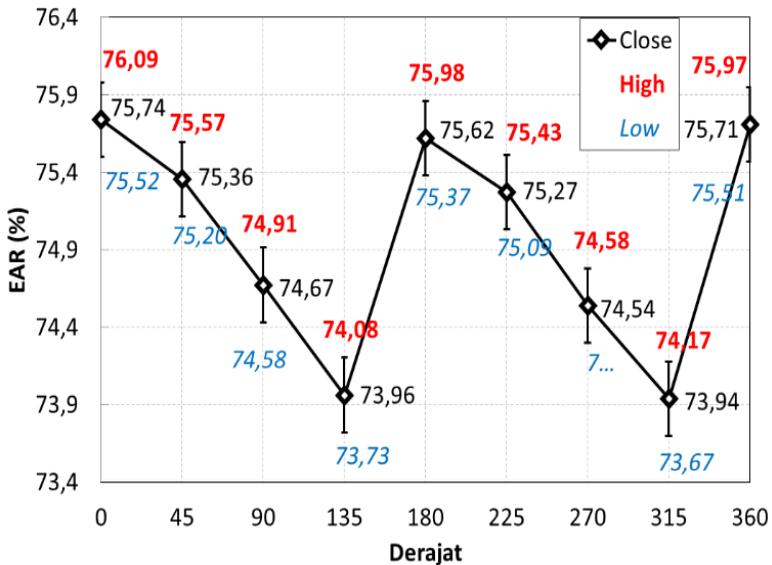
Pada bagian ini membahas mengenai perbandingan nilai EAR antara gelombang surja hasil test motor induksi menggunakan rotor dengan gelombang surja motor induksi tanpa menggunakan rotor, kedua gelombang didapatkan pada saat kondisi motor dalam keadaan normal. Data dari hasil EAR dapat dilihat pada tabel 4.6 dan gambar 4.18.

Tabel 4.6 Nilai EAR antara gelombang surja motor induksi tanpa rotor dan dengan rotor

| No | EAR Min (%) | EAR Max (%) | EAR avg (%) | Sudut rotor (Derajat) |
|----|-------------|-------------|-------------|-----------------------|
| 1 | 75,52 | 76,08 | 75,73 | 0 ⁰ |
| 2 | 75,20 | 75,57 | 75,35 | 45 ⁰ |
| 3 | 74,58 | 74,91 | 74,67 | 90 ⁰ |
| 4 | 73,72 | 74,08 | 73,96 | 135 ⁰ |
| 5 | 75,37 | 75,97 | 75,61 | 180 ⁰ |
| 6 | 75,08 | 75,43 | 75,27 | 225 ⁰ |
| 7 | 74,37 | 74,58 | 74,53 | 270 ⁰ |
| 8 | 73,66 | 74,17 | 73,93 | 315 ⁰ |
| 9 | 75,51 | 75,96 | 75,70 | 360 ⁰ |

Berdasarkan data pengujian yang telah dianalisa menggunakan EAR antara gelombang pengujian surja motor induksi dengan rotor dibandingkan dengan gelombang pengujian surja motor induksi tanpa menggunakan rotor didapatkan bahwa nilai EAR yang dihasilkan sangat tinggi yaitu 73% - 76%.

Hal ini mengindikasikan bahwa memang terdapat perbedaan yang sangat signifikan apabila pengujian pada motor induksi dilakukan dengan menggunakan rotor dan tanpa menggunakan rotor.



Gambar 4.18 Grafik nilai EAR gelombang surja motor induksi tanpa rotor dan dengan rotor

4.4.2. Analsia EAR Gelombang Surja motor Induksi Dengan Rotor Sudut 0° dan Rotor Sudut 0°-360° Kondisi Belitan Normal

Pada bagian ini dilakukan sebuah pengujian surja pada motor induksi dengan menggunakan rotor saat posisi rotor 0° dan pada motor induksi dengan rotor saat posisi rotor 0° sampai 360° dengan step range sebesar 45°.

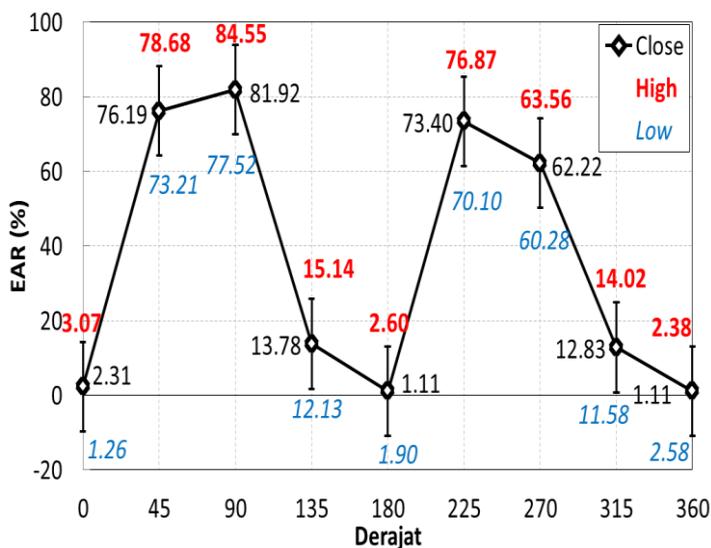
Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menganalisa seberapa besar perbandingan nilai EAR antara rotor dengan sudut 0° dengan rotor saat sudut 0° -360°. Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.7.

Tabel 4.7 EAR Perbandingan sudut rotor 0° dengan sudut rotor 0° sampai 360°

| NO | EAR MAX(%) | EAR MIN(%) | EAR AVG(%) | Sudut Rotor (Derajat) |
|----|------------|------------|------------|-----------------------|
| 1 | 3,06 | 1,26 | 2,30 | 0° |

Tabel 4.7 EAR Perbandingan sudut rotor 0° dengan sudut rotor 0° sampai 360°(lanjutan)

| NO | EAR MAX(%) | EAR MIN(%) | EAR AVG(%) | Sudut Rotor (Derajat) |
|----|------------|------------|------------|-----------------------|
| 2 | 78,68 | 73,20 | 76,18 | 45° |
| 3 | 84,55 | 77,52 | 81,91 | 90° |
| 4 | 15,13 | 12,12 | 13,78 | 135° |
| 5 | 2,59 | 1,89 | 1,11 | 180° |
| 6 | 76,87 | 70,09 | 73,40 | 225° |
| 7 | 63,55 | 60,28 | 62,22 | 270° |
| 8 | 14,02 | 11,58 | 12,83 | 315° |
| 9 | 2,37 | 2,57 | 1,11 | 360° |



Gambar 4.19 Grafik Nilai EAR Rotor 0° Dengan Rotor 0°-360°

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan nilai EAR yang bervariasi. Untuk nilai EAR gelombang surja pada saat posisi rotor 0^0 dibandingkan dengan rotor saat 0^0 , 180^0 , dan 360^0 didapatkan nilai yang rendah yaitu kurang dari 3 %.

Sedangkan nilai perbandingan nilai EAR selain dengan sudut tersebut memiliki nilai EAR yang tinggi. Berdasarkan hasil data dapat diketahui bahwa apabila pengujian surja pada motor induksi menggunakan rotor yang pertama dengan pengujian yang kedua memiliki posisi sudut rotor yang tidak sama maka akan menyebabkan hasil pengujian yang tidak akurat.

4.4.3. Analisa EAR Gelombang Surja motor Induksi Dengan Rotor Sudut 0^0 dan Rotor Sudut 0^0 - 360^0 Kondisi Belitan Turn Fault

Pada bagian ini akan dilakukan pengujian pengujian surja pada motor induksi dengan menggunakan rotor saat posisi rotor 0^0 dengan turn fault 1-15 dan dibandingkan dengan rotor saat posisi rotor 0^0 sampai 360^0 dengan step range sebesar 45^0 . Pada kondisi belitan normal.

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menganalisa seberapa besar perbandingan nilai EAR antara rotor dengan sudut 0^0 kondisi belitan turn fault dengan rotor saat sudut 0^0 - 360^0 kondisi belitan normal. Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.8.

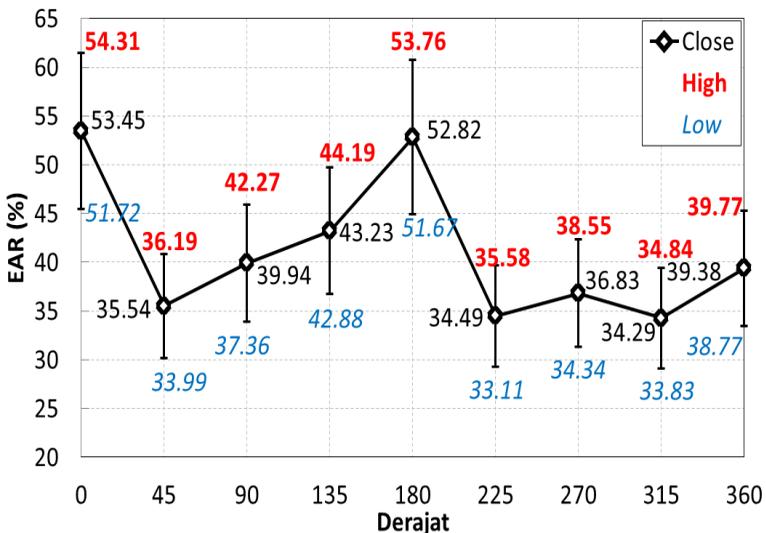
Tabel 4.8 EAR Perbandingan sudut rotor 0^0 VS 0^0 - 360^0 turn fault

| NO | EAR MAX(%) | EAR MIN(%) | EAR AVG(%) | Sudut Rotor (Derajat) |
|----|------------|------------|------------|-----------------------|
| 1 | 54,31 | 51,72 | 53,44 | 0^0 |
| 2 | 36,19 | 33,98 | 35,54 | 45^0 |
| 3 | 42,2 | 37,36 | 39,93 | 90^0 |
| 4 | 44,19 | 42,87 | 43,22 | 135^0 |
| 5 | 53,75 | 51,67 | 52,82 | 180^0 |
| 6 | 35,58 | 33,10 | 34,49 | 225^0 |
| 7 | 38,55 | 34,33 | 36,82 | 270^0 |

Tabel 4.8 EAR Perbandingan sudut rotor 0⁰ VS 0⁰-360⁰ turn fault(Lanjutan)

| NO | EAR MAX(%) | EAR MIN(%) | EAR AVG(%) | Sudut Rotor (Derajat) |
|----|------------|------------|------------|-----------------------|
| 8 | 34,84092 | 33,82565 | 34,28529 | 315 ⁰ |
| 9 | 39,76676 | 38,77466 | 39,38482 | 360 ⁰ |

Berdasarkan hasil pengujian didapatkan nilai perbandingan EAR dari gelombang surja dari motor induksi menggunakan rotor posisi 0⁰ dengan kondisi turn fault 1-15 dibandingkan dengan gelombang surja motor induksi menggunakan rotor saat posisi sudut rotor 0⁰ -360⁰ kondisi motor normal memiliki nilai EAR yang bervariasi meskipun pada semua kondisi pengujian saat sudut rotor 0⁰ -360⁰ dapat mendeteksi adanya kerusakan pada belitan motor untuk turn fault 1-15. Untuk nilai EAR saat terjadi kerusakan adalah diatas 20% [10].



Gambar 4.20 Grafik Nilai EAR Rotor 0⁰ Dengan Rotor 0⁰-360⁰ turn fault 1-15

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

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

1. Besar tegangan uji yang sesuai dengan standart sebesar 1,1 KV dan frekuensi resonansi yang sesuai sebesar 6.666 Hz dapat meningkatkan tingkat ke akurasion dari alat surja tes.
2. Gelombang surja hasil pengujian motor induksi 3 fasa menggunakan rotor akan memiliki besar nilai frekuensi resonansi, dan luas daerah yang berbeda dengan hasil pengujian motor induksi 3 fasa tanpa menggunakan rotor.
3. Nilai t_1 atau zero crossing saat setengan cycle memiliki besaran yang bervariasi dengan nilai t_1 paling kecil 67 us dan paling besar 102 us untuk pengujian surja pada motor induksi 3 fasa dengan variasi posisi sudut rotor mulai dari 0^0 hingga 360^0 dengan step range 45^0
4. Dalam pengujian isolasi motor induksi, dengan menggunakan rotor. Apabila nilai EAR saat posisi rotor 0^0 , 180^0 , 360^0 diatas 10% maka pada motor tersebut terjadi kegagalan isolasi.

5.2. Saran

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

1. Saklar yang digunakan pada tes surja agar memiliki range tegangan yang lebih besar dari kondisi sekarang yaitu 1,2 KV agar peralatan tersebut tidak hanya dapat digunakan untuk pengujian pada motor induksi 3 tegangan rendah.
2. Penambahan peralatan control untuk menggantikan penggunaa variable transformator sehingga dapat didapatkan hasil pengukuran yang akurat
3. Penyederhanaan dan penggabungan peralatan surja agar dapat menjadi satu kesatuan peralatan dan mengurangi resiko kesalahan saat melakukan pengujian pada motor induksi 3 fasa.

4. Seharusnya pengujian belitan motor induksi dengan menggunakan rotor dilakukan dengan mengunci posisi rotor. Tujuannya adalah agar didapatkan hasil pengujian yang akurat.

DAFTAR PUSTAKA

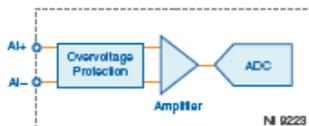
- [1] E. Wiedenbrug, G. Frey, and J. Wilson, "Impulse testing and turn insulation deterioration in electric motors", in Conf. Rec. Annu. IEEE Pulp Paper Ind. Tech. Conf., Jun. 2003, pp. 50–55.
- [2] Succliftom, Tegar. "Deteksi Kerusakan Insulasi Belitan Antar Fasa pada Motor Induksi Menggunakan Tes Surja", Tugas Akhir, Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia.
- [3] Sakti, Pradika. "Tes Surja untuk Mendeteksi Kerusakan Belitan pada Motor Induksi Tiga Fasa Tegangan Rendah", Tugas Akhir, Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia.
- [4] Tae-june Kang, Jongman Hong, Sang Bin Lee, Young-Woo Yoon, Don-Ha Hwang, and Dongsik Kang, "The influence of the rotor on surge pd testing of low voltage AC motor stator windings", IEEE Trans. Elect. ins., vol. 20, pp. 762-769.
- [5] Muchsin Ismail, 2011, "Motor Induksi", Universitas Mercu Buana, Pusat Pengembangan Bahan Ajar-UMB.
- [6] Rahmad Azly, "Tabel Insulation Class Motor listrik dan penjelasan lengkap", <URL:<https://duniaberbagiilmuuntuksemua.blogspot.co.id/2016/12/tabel-dan-penjelasan-mengenai-insulation-class-a-b-f-h.html>>, April, 2017
- [7] John Wilson, "CURRENT STATE OF SURGE TESTING INDUCTION MACHINES", Iris Rotating Machine Conference., Jun 2003.
- [8] IEEE STANDART 522, "IEEE Guide for Testing Turn Insulation of Form-Wound Stator Coils for Alternating-Current Electric Machines", Aron, 2004.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN A

Data Sheet

NI 9223 Input Circuitry



- Input signals on each channel are buffered, conditioned, and then sampled by an ADC.
- Each AI channel provides an independent signal path and ADC, enabling you to sample all channels simultaneously.

NI 9223 Specifications

The following specifications are typical for the range -40 °C to 70 °C unless otherwise noted. All voltages are relative to the AI- signal on each channel unless otherwise noted.



Caution Do not operate the NI 9223 in a manner not specified in this document. Product misuse can result in a hazard. You can compromise the safety protection built into the product if the product is damaged in any way. If the product is damaged, return it to NI for repair.

Input Characteristics

| | |
|--|---|
| Number of Channels | 4 analog input channels |
| ADC resolution | 16 bits |
| Type of ADC | Successive approximation register (SAR) |
| Input voltage ranges ¹ , Measurement Voltage (AI+ to AI-) | |
| Minimum ² | ±10.5 V |
| Typical | ±10.6 V |
| Maximum | ±10.7 V |
| Overvoltage protection | ±30 V |
| Maximum Sampling Rate | |
| CompactDAQ (NI-DAQmx) | 1 MS/s |

¹ Refer to the [Safety Voltages](#) section for more information about safe operating voltages.

² The minimum measurement voltage range is the largest voltage the NI 9223 is guaranteed to accurately measure.

CompactRIO

| | |
|--|----------|
| FPGA User-Controlled I/O Sampling ³ | 1 MS/s |
| FPGA I/O Nodes | 350 kS/s |

Table 1. Accuracy

| Measurement Conditions | | Percent of Reading (Gain Error) | Percent of Range ⁴ (Offset Error) |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------------|--|
| Calibrated | Maximum (-40 °C to 70 °C) | ±0.20% | ±0.10% |
| | Typical (23 °C ±5 °C) | ±0.02% | ±0.01% |
| Uncalibrated ⁵ | Maximum (-40 °C to 70 °C) | ±0.40% | ±0.40% |
| | Typical (23 °C ±5 °C) | ±0.20% | ±0.10% |

Stability

| | |
|---|-------------------------|
| Gain drift | 6 ppm/°C |
| Offset drift | 29 µV/°C |
| CMRR ($\epsilon_{in} = 60$ Hz) | 100 dB |
| -3 dB bandwidth ⁶ | >1 MHz |
| Input impedance | >1 GΩ |
| Noise | 0.75 LSB _{rms} |
| Total Harmonic Distortion (THD) (20 V _{pp} at 1 kHz) | -85 dB |
| Crosstalk (20 V _{pp} at 1 kHz) | -100 dB |

Power Requirements

Power consumption from chassis

| | |
|-------------|--------------|
| Active mode | 1 W maximum |
| Sleep mode | 5 mW maximum |

³ FPGA User-Controlled I/O Sampling provides low level access to sample acquisition and transfer, and higher sample rates. Visit ni.com/info and enter the Info Code [samplerate](#) for information about FPGA User-Controlled I/O Sampling.

⁴ Range equals ±10.6 V.

⁵ Uncalibrated accuracy refers to the accuracy achieved when acquiring in raw or unscaled modes where the calibration constants stored in the module are not applied to the data.

⁶ -3 dB bandwidth for input amplitude at 10% of the input range.

Thermal dissipation (at 70 °C)

| | |
|-------------|----------------|
| Active mode | 1.3 W maximum |
| Sleep mode | 430 mW maximum |

Physical Characteristics

If you need to clean the module, wipe it with a dry towel.



Tip For two-dimensional drawings and three-dimensional models of the C Series module and connectors, visit ni.com/dimensions and search by module number.

Screw-terminal wiring

| | |
|----------------------------|--|
| Gauge | 0.05 mm ² to 1.5 mm ² (30 AWG to 14 AWG) copper conductor wire |
| Wire strip length | 6 mm (0.24 in.) of insulation stripped from the end |
| Temperature rating | 90 °C minimum |
| Torque for screw terminals | 0.22 N · m to 0.25 N · m (1.95 lb · in. to 2.21 lb · in.) |
| Wires per screw terminal | One wire per screw terminal, two wires per screw terminal using a 2-wire ferrule |
| Ferrules | 0.25 mm ² to 1.5 mm ² |

Connector securement

| | |
|-----------------------------|---------------------------|
| Securement type | Screw flanges provided |
| Torque for screw flanges | 0.2 N · m (1.80 lb · in.) |
| Weight | |
| NI 9223 with screw terminal | 138 g (4.9 oz) |
| NI 9223 with BNC | 165 g (5.8 oz) |

Safety Voltages

Connect only voltages that are within the following limits:

Isolation

| | |
|--------------------|--|
| Channel-to-channel | |
| Continuous | 60 VDC, Measurement Category I |
| Withstand | 1000 Vrms, verified by a 5 s dielectric withstand test |

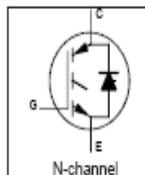
IRGPS60B120KDP

INSULATED GATE BIPOLAR TRANSISTOR WITH
ULTRAFAST SOFT RECOVERY DIODE

Motor Control Co-Pack IGBT

Features

- Low VCE (on) Non Punch Through IGBT Technology.
- Low Diode VF.
- 10µs Short Circuit Capability.
- Square RBSOA.
- Ultrasoft Diode Reverse Recovery Characteristics.
- Positive VCE (on) Temperature Coefficient.
- Super-247 Package.
- Lead-Free



| |
|-------------------------------------|
| $V_{CE0} = 1200V$ |
| $V_{CE(on)}$ typ. = 2.50V |
| @ $V_{GE} = 15V$, |
| $I_{CE} = 80A$, $T_J = 25^\circ C$ |

Benefits

- Benchmark Efficiency for Motor Control.
- Rugged Transient Performance.
- Low EMI.
- Significantly Less Snubber Required
- Excellent Current Sharing in Parallel Operation.



Absolute Maximum Ratings

| | Parameter | Max. | Units |
|-----------------------------|--|-----------------------------------|-------|
| V_{CES} | Collector-to-Emitter Voltage | 1200 | V |
| I_C @ $T_C = 25^\circ C$ | Continuous Collector Current | 105Ø | A |
| I_C @ $T_C = 100^\circ C$ | Continuous Collector Current | 60 | |
| I_{CM} | Pulsed Collector Current | 240 | |
| I_{LM} | Clamped Inductive Load Current Ø | 240 | |
| I_F @ $T_C = 25^\circ C$ | Diode Continuous Forward Current | 120 | |
| I_F @ $T_C = 100^\circ C$ | Diode Continuous Forward Current | 60 | |
| I_{FM} | Diode Maximum Forward Current | 240 | W |
| V_{GE} | Gate-to-Emitter Voltage | ± 20 | |
| P_D @ $T_C = 25^\circ C$ | Maximum Power Dissipation | 596 | |
| P_D @ $T_C = 100^\circ C$ | Maximum Power Dissipation | 238 | |
| T_J | Operating Junction and Storage Temperature Range | -55 to +150 | °C |
| T_{SOL} | Soldering Temperature, for 10 sec. | 300 (0.063 in. (1.6mm) from case) | |

Thermal Resistance

| | Parameter | Min. | Typ. | Max. | Units |
|-----------------|--|--------|------------|------|--------|
| $R_{\theta JC}$ | Junction-to-Case - IGBT | — | — | 0.20 | °C/W |
| $R_{\theta CD}$ | Junction-to-Case - Diode | — | — | 0.41 | |
| $R_{\theta CS}$ | Case-to-Sink, flat, greased surface | — | 0.24 | — | |
| $R_{\theta JA}$ | Junction-to-Ambient, typical socket mount | — | — | 40 | N(lbf) |
| | Recommended Clip Force | 20 (2) | — | — | |
| Wt | Weight | — | 6.0 (0.21) | — | g (oz) |
| Le | Internal Emitter Inductance (5mm from package) | — | 13 | — | nH |

www.irf.com

1
9/22/04

IRGPS60B120KDP

International
IGR Rectifier

Electrical Characteristics @ T_J = 25°C (unless otherwise specified)

| Parameter | Min. | Typ. | Max. | Units | Conditions | Ref/Fig | |
|--|------|------|------|-------|--|--|--|
| V _{BR} (CES) | 1200 | — | — | V | V _{GE} = 0V, I _C = 500μA | | |
| ΔV _{BR} (CES)/ΔT _J | — | 0.40 | — | V/°C | V _{GE} = 0V, I _C = 1.0mA, (25°C-125°C) | | |
| V _{CE(sat)} | — | 2.33 | 2.50 | V | I _C = 50A V _{GE} = 15V | 5, 6 | |
| | — | 2.50 | 2.75 | | | I _C = 60A | 7, 9 |
| | — | 2.79 | 3.1 | | | I _C = 50A, T _J = 125°C | 10 |
| | — | 3.04 | 3.5 | | | I _C = 60A, T _J = 125°C | 11 |
| V _{GS(th)} | 4.0 | 5.0 | 6.0 | | V _{CE} = V _{GS} , I _C = 250μA | 9, 10 | |
| ΔV _{GS(th)} /ΔT _J | — | -12 | — | mV/°C | V _{CE} = V _{GS} , I _C = 1.0mA, (25°C-125°C) | 11, 12 | |
| g _m | — | 34.4 | — | S | V _{CE} = 50V, I _C = 50A, PW=80μs | | |
| I _{CES} | — | 500 | — | μA | V _{GE} = 0V, V _{CE} = 1200V | | |
| | — | 650 | 1350 | | V _{GE} = 0V, V _{CE} = 1200V, T _J = 125°C | | |
| V _{FM} | — | 1.82 | 2.10 | V | I _C = 50A | 8 | |
| | — | 1.93 | 2.20 | | | | I _C = 60A |
| | — | 1.96 | 2.20 | | | | I _C = 50A, T _J = 125°C |
| | — | 2.13 | 2.40 | | | | I _C = 60A, T _J = 125°C |
| I _{ASS} | — | ±100 | — | nA | V _{GE} = ±20V | | |

Switching Characteristics @ T_J = 25°C (unless otherwise specified)

| Parameter | Min. | Typ. | Max. | Units | Conditions | Ref/Fig |
|------------------------|-------------|-------|-------|-------|---|---------------|
| Q _g | — | 340 | 510 | nC | I _C = 60A V _{CC} = 600V | 23 CT1 |
| Q _{ge} | — | 40 | 50 | | | |
| Q _{gc} | — | 165 | 248 | | V _{GE} = 15V | |
| E _{ON} | — | 3214 | 4870 | μJ | I _C = 60A, V _{CC} = 600V | CT4 |
| E _{OFF} | — | 4783 | 5450 | | V _{GE} = 15V, R _G = 4.7Ω, L = 200μH | WF1 |
| E _{SW} | — | 8000 | 10320 | | L _S = 150nH T _J = 25°C | WF2 |
| E _{ON} | — | 5032 | 6890 | | T _J = 125°C | 13, 15 |
| E _{OFF} | — | 7457 | 8385 | μJ | Energy losses include "tail" and diode reverse recovery. | |
| E _{SW} | — | 12500 | 15275 | | | |
| t _{ON} (del) | — | 72 | 94 | ns | I _C = 15A, V _{CC} = 600V V _{GE} = 15V, R _G = 4.7Ω, L = 200μH | 14, 15 CT4 |
| t _r | — | 32 | 45 | | | |
| t _{OFF} (del) | — | 366 | 400 | ns | L _S = 150nH, T _J = 125°C | WF1 WF2 |
| t _f | — | 45 | 58 | | | |
| C _{iss} | — | 4300 | — | pF | V _{GE} = 0V V _{CC} = 30V f = 1.0MHz | 22 |
| C _{oss} | — | 395 | — | | | |
| C _{res} | — | 160 | — | | | |
| RBQA | FULL SQUARE | | | | T _J = 150°C, I _C = 240A, V _p = 1200V V _{CC} = 1000V, V _{GE} = +15V to 0V R _G = 4.7Ω | 4 CT2 |
| SCQA | 10 | — | — | μs | T _J = 150°C, V _p = 1200V V _{CC} = 900V, V _{GE} = +15V to 0V, R _G = 4.7Ω | CT3 WF4 |
| E _{rec} | — | 3346 | — | μJ | T _J = 125°C | 17, 18, 19 |
| t _{rr} | — | 180 | — | ns | V _{CC} = 600V, I _r = 60A, L = 200μH | 20, 21 |
| I _{rr} | — | 50 | — | A | V _{GE} = 15V, R _G = 4.7Ω, L _S = 150nH | CT4, WF5 |

machine design parameters such as size and weight of coil, length of turn, arrangement of turns within the coil, operating volts per turn or per coil, system voltage, interturn and turn-to-ground capacitance, and others to determine turn-voltage test levels for their products. These procedures have not been described explicitly in the literature, and it is not feasible to describe them here. Agreement should be reached between the manufacturer and the user as to what testing technique and level should be applied to coils and at what stage(s) of manufacture the tests should be performed.

6.2 Standard (3.5 p.u.) withstand envelope

Whatever test technique is used, it is suggested that for testing the turn insulation, impulses with a rise time of 0.1 to 0.2 μs should be used. Tests performed at longer rise times ($> 1.2 \mu\text{s}$) tend to stress the ground insulation. In general, the coils should have sufficient ground and turn insulation to withstand an electrical surge with amplitude defined in Figure 1. For purposes of the calculation of rise time of the surge, the rise time of the front is assumed to be the time interval from 0.1 to 0.9 of the measured surge amplitude. The time to peak is 1.25 times the rise time. The number of pulses should be no fewer than five. The following equations define these various voltages and associated rise times.

$$V_1 = [\sqrt{(2/3)}]V_L = 1 \text{ p.u.} \quad T_r = 0.0 \mu\text{s} \quad (1)$$

$$V_2 = 3.5V_1 = 3.5 \text{ p.u.} \quad T_r = 0.1 \mu\text{s} \quad (2)$$

$$V_3 = 5V_1 = 5 \text{ p.u.} \quad T_r \geq 1.2 \mu\text{s} \quad (3)$$

where

V_n ($n = 1, 2, 3$) is the momentary surge withstand capability across the coil,

V_L is the rated rms line-to-line voltage in kV,

T_r is the rise time in μs ,

p.u. is "per unit," where the initial test voltage is multiplied by the given coefficient.

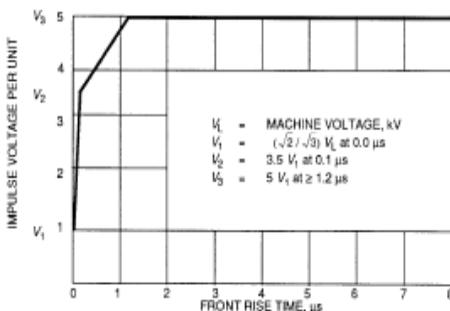


Figure 1—Coil electrical impulse withstand envelope

LAMPIRAN B

List program

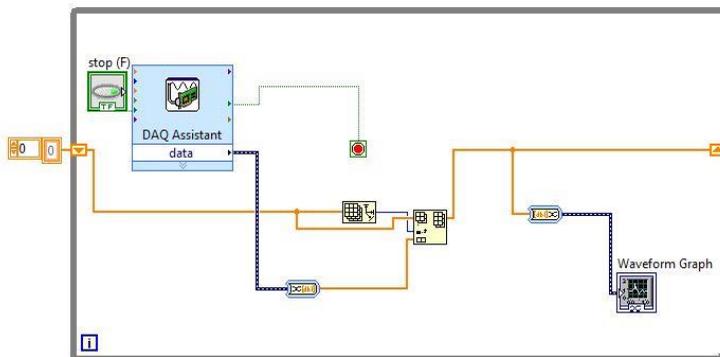
```
Arduino
int pin_out = 13;
int pin_out2 = 12;
void setup()
{
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
  pinMode(pin_out,OUTPUT);
  pinMode(pin_out2,OUTPUT);
  Serial.println("1. nyalakan saklar");
}

void lcd()
{
  Serial.println("1. nyalakan saklar");
}

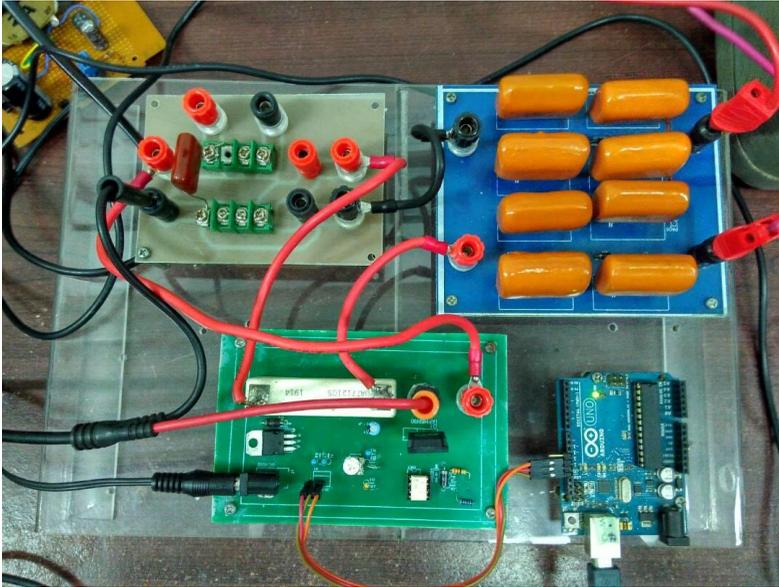
void loop()
{
  unsigned int data;
  int coba;
  if(Serial.available(>0)
  {
    data=Serial.read();
    if(data==49)
    {
      Serial.println("saklar 1 nyala.....");
      digitalWrite(pin_out,HIGH);
      delay(5000);
      digitalWrite(pin_out,LOW);
      Serial.println("saklar 1 mati.....");
      digitalWrite(pin_out2,HIGH);
      Serial.println("saklar 2 nyala");
      delay(5000);
      digitalWrite(pin_out2,LOW);
      Serial.println("saklar 2 mati.....");
      lcd();
    }
  }
}
```

}
}
}

LabVIEW



LAMPIRAN C
ALAT



Gambar alat surja tes

Halaman ini sengaja dikosongkan

RIWAYAT HIDUP



M Farid Anshori, Lahir di lamongan pada tanggal 22 April 1994. Penulis memulai pendidikannya dari SDN Kepuh Kiriman 2, Sidoarjo, SMP Al-Falah Tropodo 2 Sidoarjo, dan SMAN 16 Surabaya. Setelah menamatkan SMA, penulis melanjutkan studinya di D3 Teknik Elektro FTI-ITS dan lulus pada tahun 2015. Selanjutnya penulis meneruskan studi sarjana di Teknik Elektro FTE-ITS, kemudian fokus pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Pada bulan Juli 2017, penulis mengikuti seminar dan Ujian penelitian sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Elektro dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis dapat dihubungi melalui email Muhammadfaridanshori@gmail.com