



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

**DESAIN PERALATAN PENDETEKSI GANGGUAN
HUBUNG SINGKAT BELITAN STATOR MOTOR INDUKSI
MENGUNAKAN ARUS *ONLINE* BERBASIS
MIKROKONTROLER**

Ade Kurniawan Putra
NRP 2212106054

Dosen Pembimbing
Dimas Anton Asfani S.T., M.T., Ph.D.
Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

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



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

***DESIGN EQUIPMENT DETECTION OF INDUCTION
MOTOR STATOR WINDING SHORT-CIRCUIT FAULTS
USING ONLINE CURRENT BASED MICROCONTROLLER***

Ade Kurniawan Putra
NRP 2212106054

Advisor

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

Dedet Candra Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D.

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

**DESAIN PERALATAN PENDETEKSI GANGGUAN
HUBUNG SINGKAT BELITAN STATOR MOTOR INDUKSI
MENGUNAKAN ARUS *ONLINE* BERBASIS
MIKROKONTROLER**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

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

Menyetujui:

Dosen Pembimbing 1

Dosen Pembimbing 2

03/07/15

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

Dedet Candra Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D.

NIP. 198109052005011002

NIP. 197311192000031001



Desain Peralatan Pendeteksi Gangguan Hubung Singkat Belitan Stator Motor Induksi Menggunakan Arus Online Berbasis Mikrokontroler

Nama : Ade Kurniawan Putra
Pembimbing I : Dimas Anton Asfani S.T., M.T., Ph.D.
Pembimbing II : Dedet Candra Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D.

ABSTRAK

Motor induksi adalah salah satu peralatan utama dalam industri. Kerusakan pada bagian motor akan mempengaruhi proses dan hasil produksi. Oleh karena itu, deteksi dini kerusakan motor induksi sangat dibutuhkan untuk menghindari kerusakan yang lebih parah. Pada tugas akhir ini akan didesain sistem *monitoring* untuk menganalisa dan mendeteksi kerusakan pada motor berdasarkan pembacaan arus fasa dan tegangan fasa belitan motor induksi pada saat keadaan normal maupun gangguan melalui komputer. Pada layar komputer akan ditampilkan hasil pembacaan tegangan dan arus. Dari parameter tersebut dapat dilakukan diagnosa keadaan dari motor induksi apakah dalam keadaan normal atau tidak. Bila terjadi gangguan pada motor induksi, sistem ini dapat mendeteksi jenis gangguan yang terjadi pada motor induksi tersebut.

Kata Kunci : belitan stator, hubung singkat, motor induksi

[halaman ini sengaja dikosongkan]

***Design Equipment Detection of Induction Motor's Stator
Winding Short-Circuit Faults Using Online Current Based
Microcontroller***

Name : Ade Kurniawan Putra
Advisor I : Dimas Anton Asfani S.T., M.T., Ph.D.
Advisor II : Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

ABSTRACT

Induction motor is one of the main equipment in the industry. Damage to the motor will affect the process and outcome of production. Therefore, early detection of damage induction motor is needed to avoid further damage. In this final project will be designed monitoring system to analyze and detect damage to the motor based on the phase current and voltage readings phase induction motor windings during normal circumstances and interference through a computer. On the computer screen will display the voltage and current readings. From these parameters can be done diagnosis of the state of the induction motor is in a normal state or not. If there is interference with the induction motor, the system can detect the type of disorder that occurs in the induction motor.

Keywords : stator winding, short circuit, induction motor

[halaman ini sengaja dikosongkan]

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah semoga terlimpahkan kehadiran Allah SWT, atas rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Desain Peralatan Pendeteksi Gangguan Hubung Singkat Belitan Stator Motor Induksi Menggunakan Arus Online Berbasis Mikrokontroler**. Penyusunan Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Segenap keluarga, terutama Bapak dan Ibu tercinta serta kakak dan adik penulis yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dan studi sarjana di Institut Teknologi sepuluh Nopember.
2. Bapak Dimas Anton Asfani S.T., M.T., Ph.D. sebagai Dosen Pembimbing I penulis yang telah memberikan pengetahuan, arahan, dan bantuan yang tidak ternilai dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D. sebagai dosen pembimbing II penulis, yang telah membimbing penulis agar dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
4. Terima kasih saya ucapkan kepada 'dona' khususnya yang selalu memberikan dukungan selama ini, Seluruh rekan LJE'12 genap serta teman-teman seperjuangan hanif, ikhsan, Ari, Alfian, Mas Erick dan teman-teman yang lainnya. Terima kasih atas bantuannya dalam bentuk apapun.
5. Terima kasih seluruh keluarga besar Teknik Elektro ITS Surabaya, para dosen, karyawan, mahasiswa, semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu namanya.

Besar harapan penulis agar Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan masukan bagi semua pihak.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

[halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Y. Chow, “Methodologies of using neural network and fuzzy logic technologies for motor incipient fault detection”, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, Singapore, 1997.
- [2] O.V. Thorsen and M. dalva, “failure identification and analysis for HV induction motors in the petrochemical industry”, *IEEE trans. On Ind. Appl.*, vol. 35, no. 4, jul/aug.1999, pp. 810-818.
- [3] IAS motor reliability working group, “report of large motor reliability survey of industrial and commercial installation part1”, *IEEE trans. On Ind. Appl.*, vol. 21 jul/aug. 1985, pp. 853-864.M. Young, *The Technical Writer's Handbook*. Mill Valley, CA: University Science, 1989.
- [4] K. Kim and A. G. Parlos, “Induction Motor ault Diagnosis Based on Neuropredictors and Wavelet signal processing”, *IEEE/ASME Trans. On Mechatronics*, vol. 7, no. 2, June 2002.
- [5] S.A. Nasar, “Hanbook of electric Machines”, New York: Mc Graw Hill, Chapter 3 dan 4, 1987
- [6] I. Colak, H. Celik, I. Sefa, and S. Demirbas, “*Online Protection System for Induction Motors*,” *Energy Convers. Manage.*, vol. 46, no. 17, pp. 2773– 2786, 2005.
- [7] M. E. H. Benbouzid, “*Bibliography on Induction Motors Faults Detection and Diagnosis*,” *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 14, no. 4, pp. 1065– 1074, Dec. 1999.
- [8] R. Bayindir and I. Sefa, “*Novel Approach Based on Microcontroller to Online Protection of Induction Motors*,” *Energy Convers. Manage.*, vol. 48, no. 3, pp. 850–856, 2007.
- [9] Panda S, K.Power Electronics and System Application- *Variable Speed Electric Drive, Short Course – Faculty Club*, National University of Singapore, 1993.

- [10] J. Yun, K. Lee, K.W. Lee, S. B. Lee, J.Y. Yoo, "Detection and classification of stator turn faults and high-resistance electrical connections for induction machines," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 45, no. 2, pp. 666-675, Mar./Apr. 2009.
- [11] M. Muslimin, " *Teknik Tenaga Listrik*," Armico, Bandung, Bab.3, 1988.
- [12] Tobing, L. Bonggas, " *Peralatan Tegangan Tinggi*," Gramedia, Jakarta, Bab. 7, 2003.
- [13] "Reference Thermocouple" <URL: <http://www.omega.com>>, Desember, 2013.
- [14] Reference Manual STM32F4, STMicroelectronics, 2012.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Tugas Akhir	2
1.4 Batasan Tugas Akhir	2
1.5 Metodologi Tugas Akhir	3
1.6 Sistematika Laporan	4
1.7 Relevansi	5
BAB II HUBUNG SINGKAT TEMPORER, GANGGUAN INTER-TURN SHORT CIRCUIT	7
2.1 Hubung Singkat Temporer	7
2.2 Gangguan <i>Inter-Turn</i> Short Circuit	8
2.3 Transformator Tegangan <i>Stepdown</i>	9
2.4 Transformator Arus	11
2.5 Termokopel	12
2.6 Tachogenerator	13
2.7 Mikrokontroler ARM	13
2.7.1 ADC (Analog Digital Converter)	14
2.7.1 Timer	15
BAB III PERANCANGAN SISTEM	17
3.1 Perencanaan Perangkat Keras	18
3.1.1 Perancangan Pengkondisian Sinyal Tegangan	18

3.1.2	Perancangan Pengkondisian Sinyal Arus	20
3.1.3	Perancangan Pengkondisi Sinyal Termokopel	22
3.1.4	Perancangan Rangkaian Catu Daya	23
3.1.5	Rangkaian <i>Clipper</i>	24
3.2	Perancangan Algoritma Mikrokontroler ARM	25
3.3	Perancangan Algoritma Antar Muka	26
3.4	Motor Induksi dengan Eksternal <i>Tabs</i>	28
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISIS KINERJA SISTEM.....		29
4.1	Pengujian dan Analisa Perangkat Elektronik	29
4.1.1	Rangkaian <i>Non Inverting Adder</i> Tegangan	29
4.1.2	Rangkaian <i>Non Inverting Adder</i> Arus	31
4.1.3	Pengkondisi Sinyal Termokopel	33
4.1.1	Pengujian Keluaran Tachogenerator	37
4.2	Pengujian Sistem	37
4.2.1	Pengujian Motor Saat Keadaan Normal	40
4.2.2	Pengujian Gangguan <i>Short Circuit</i> Fasa R dengan Fasa T	42
4.2.3	Pengujian Gangguan <i>Short Circuit</i> Fasa R dengan Ground	44
4.2.6	Pengujian Gangguan <i>Short Circuit</i> Fasa R.....	46
4.3	Pengukuran Kecepatan dan Suhu Motor Induksi	47
BAB V PENUTUP		49
5.1	Kesimpulan	49
5.2	Saran	49
DAFTAR PUSTAKA		51
LAMPIRAN		53
RIWAYAT PENULIS		69

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Spesifikasi Transformator Arus.....	20
Tabel 3.2 Spesifikasi Termokopel.....	22
Tabel 3.3 Spesifikasi Motor Induksi	28
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Rangkaian <i>Non Inverting Adder</i> Tegangan Fasa R.....	30
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Rangkaian <i>Non Inverting Adder</i> Tegangan Fasa S	31
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Rangkaian <i>Non Inverting Adder</i> Tegangan Fasa T	31
Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Rangkaian <i>Non Inverting Adder</i> Arus Fasa R.....	32
Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Rangkaian <i>Non Inverting Adder</i> Arus Fasa S	33
Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Rangkaian <i>Non Inverting Adder</i> Arus Fasa T	33
Tabel 4.7 Perubahan V_o saat Hot Junction Dipanaskan.....	34
Tabel 4.8 Perubahan V_o saat Cold Junction Dipanaskan.....	35
Tabel 4.9 Perubahan V_o Saat Cold Junction dan Hot junction Dipanaskan	36

[halaman ini sengaja dikosongkan]

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1	Diagram Proses Kegagalan Motor 8
Gambar 2.2	Kumpulan Tiga Fasa dengan Hubung Singkat Inter Turn di Fasa R 9
Gambar 2.3	Trafo Step Down 10
Gambar 2.4	Transformator Tegangan 10
Gambar 2.5	Rangkaian Ekivalen Trafo Arus 11
Gambar 2.6	Grafik Suhu – Tegangan Termokopel 12
Gambar 2.7	STM32F4 <i>discovery</i> 14
Gambar 2.8	Blok diagram ADC STM32F4..... 15
Gambar 2.9	Sistem clock STM32F4 16
Gambar 3.1	Diagram Blok <i>Monitoring</i> Motor Induksi Tiga Fasa 17
Gambar 3.2	Blok Diagram Sistem Keseluruhan 17
Gambar 3.3	Rangkaian <i>non inverting</i> 19
Gambar 3.4	Pengkondisian Sinyal Tegangan 20
Gambar 3.5	Pengkondisian Sinyal Arus..... 20
Gambar 3.6	Pengkondisi Sinyal Arus 22
Gambar 3.7	Rangkaian Pengkondisi Sinyal Termokopel..... 22
Gambar 3.8	Rangkaian Catu Daya 23
Gambar 3.9	Catu Daya 24
Gambar 3.10	Rangkaian <i>Clipper</i> 24
Gambar 3.11	Rangkaian Clipper pada <i>non inverting</i> 25
Gambar 3.12	Diagram Alir pada mikrokontroler ARM 26
Gambar 3.13	Diagram Alir pada Delphi 27
Gambar 4.1	Gelombang Tegangan <i>Output</i> dan Input Tegangan 30
Gambar 4.2	Gelombang Tegangan <i>Output</i> Arus 32
Gambar 4.3	Grafik Perubahan V_o saat Hot Junction Dipanaskan 34
Gambar 4.4	Grafik Perubahan V_o Saat Cold Junction Dipanaskan 35
Gambar 4.5	Grafik Perubahan V_o Saat Hot dan Cold Junction Dipanaskan 36
Gambar 4.6	Grafik Kecepatan - Tegangan..... 37
Gambar 4.7	Pengujian Sistem di Laboratorium Konversi Energi 38
Gambar 4.8	Tampilan Hasil Pembacaan <i>Software Monitoring</i> 38
Gambar 4.9	Sinyal Keluaran Sensor Tegangan..... 39

Gambar 4.10	Sinyal keluaran Sensor Arus	39
Gambar 4.11	Sudut Fasa Pada Kondisi Normal.....	41
Gambar 4.12	Arus Pada Kondisi Normal	41
Gambar 4.13	Sudut Fasa Pada Kondisi <i>Short R-T Turn 1</i>	42
Gambar 4.14	Arus Pada Kondisi <i>Short R-T Turn 1</i>	42
Gambar 4.15	Sudut Fasa Pada Kondisi <i>Short R-T Turn 24</i>	43
Gambar 4.16	Arus Pada Kondisi <i>Short R-T Turn 24</i>	43
Gambar 4.17	Sudut Fasa Pada Kondisi <i>Short R-Ground Turn 1</i> ..	45
Gambar 4.18	Sudut Fasa Pada Kondisi <i>Short R-Ground Turn 24</i>	45
Gambar 4.19	Sudut Fasa Pada Kondisi Short R Turn 1- R turn 5..	46
Gambar 4.20	Sudut Fasa Pada Kondisi Short R Turn 1- R turn 24.	46
Gambar 4.21	Perubahan Kecepatan pada motor	48
Gambar 4.22	Perubahan Suhu pada Motor	48

Riwayat Penulis



Ade Kurniawan Putra dilahirkan di kota Padang, 17 Januari 1992. Penulis memulai jenjang pendidikannya SDN 22 Metro Pusat Lampung hingga lulus tahun 2003. Setelah itu penulis melanjutkan studinya di SMP Negeri 6 Metro Pusat Lampung. Tahun 2006, penulis diterima sebagai murid SMA Negeri 2 Metro Lampung hingga lulus tahun 2009. Pada tahun yang sama penulis masuk ke Jurusan D3 Teknik Elektro Politeknik Negeri Padang hingga lulus tahun 2012, kemudian penulis melanjutkan studi

Program Sarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya lewat program Lintas Jalur dengan NRP 2212106054 dan mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga.

Email :

ade_kurniawanputra@yahoo.com

[Halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor induksi adalah salah satu bagian yang paling penting untuk berbagai proses industri, yang banyak digunakan adalah sebagai elektromekanis perangkat konversi energi. Namun, ada beberapa masalah yang biasanya terdapat pada motor induksi yang mengakibatkan kerusakan pada bagian-bagian motor. Kerusakan isolasi belitan dan bearing adalah Jenis kerusakan yang paling umum[1]. Penelitian tentang gangguan pada motor induksi yang telah dilakukan menunjukkan mekanisme kegagalan pada mesin induksi yang paling umum dikategorikan berdasarkan komponen utama mesin seperti gangguan pada stator (38%), gangguan pada rotor(10%), gangguan pada *bearing*(40%) dan gangguan lain (12%) [2,3].

Deteksi dini hubung singkat pada belitan saat motor beroperasi akan mencegah kerusakan berikutnya pada belitan yang saling berdekatan, inti stator, mengurangi biaya reparasi dan memperpanjang usia motor. Oleh karena itu deteksi kerusakan motor induksi mendapat perhatian lebih beberapa tahun belakangan[4]. Hubung singkat pada belitan menyebabkan penurunan jumlah belitan ekuivalen pada motor. Hal ini menyebabkan penurunan kecepatan dan peningkatan panas pada inti karena penambahan rugi-rugi. Peningkatan panas membuat suhu belitan stator meningkat sehingga berakibat pada penurunan perkiraan umur isolasi belitan. Kegagalan isolasi pada belitan stator akan mengakibatkan tambahan hubung singkat pada belitan, tambahan kenaikan temperature , dan dan semakin memperpendek umur isolasi belitan. Selanjutnya, akan menyebabkan kerusakan pada belitan yang berdekatan bahkan menyebabkan motor gagal beroperasi[5].

Salah satu cara mengurangi resiko gangguan pada motor induksi adalah mendeteksi awal gangguan yang muncul dengan cara *monitoring* dan mendiagnosa motor induksi tersebut [6]. Sistem *monitoring* motor induksi telah banyak dilakukan dalam berbagai kajian dan penelitian [7]. Namun monitoring yang sering digunakan adalah monitoring konvensional dengan teknik mekanik yang akan menyebabkan masalah selama operasi, mengurangi umur, dan efisiensi motor induksi [6]. Sedangkan untuk sistem monitoring digital menggunakan *microcontroller* hanya menggunakan LCD sebagai

tampilan keluaran sehingga kurang efektif [8]. Apabila menggunakan komputer akan dapat menampilkan hasil yang lebih baik. Oleh karena itu sistem *monitoring* yang didukung oleh *mikrokontroler*, dan komputer lebih baik digunakan.

Pada tugas akhir ini akan desain sistem monitoring untuk menganalisa dan menampilkan hasil dari pembacaan arus fasa, tegangan fasa dan suhu melalui komputer. Pada layar computer akan ditampilkan hasil pembacaan tegangan, arus serta mendiagnosis gangguan yang terjadi berupa gangguan *inter turn short circuit* pada salah satu kumparan stator motor induksi.

1.2 Perumusan Masalah

Merancang instrumentasi perangkat elektronika yang digunakan sebagai monitoring motor induksi serta mengaplikasikan sistem dalam melihat bentuk gelombang terhadap gangguan hubung singkat kerusakan *turn-to-turn*, *coil-to-coil*, *phase-to-phase*, hingga *phase to ground* dengan menggunakan data akuisisi dan menganalisis data untuk *monitoring* dan diagnosis kerusakan pada kumparan stator motor induksi tiga fasa.

1.3 Tujuan Tugas Akhir

Mendesain sistem untuk *monitoring* tegangan, arus dan suhu motor induksi tiga fasa pada saat normal maupun saat terjadi gangguan kerusakan *turn-to-turn*, *coil-to-coil*, *phase-to-phase*, hingga *phase to ground* pada kumparan R dan T stator motor induksi tiga fasa dengan menggunakan mikrokontroler ARM sebagai pengolah digital antara sensor tegangan, sensor arus, sensor dan sensor suhu

1.4 Batasan Tugas Akhir

Pembahasan yang akan diuraikan pada tugas akhir ini akan dibatasi pada hal-hal seperti motor induksi tiga fasa yang digunakan adalah 0,75kW, 220/380V, 3.6/2.1A, 1500rpm, 4 kutub, merk Alliance. Pengujian hubung singkat yang didiagnosis hanya kerusakan *turn-to-turn*, *coil-to-coil*, *phase-to-phase*, hingga *phase to ground* pada R dan T stator motor induksi tiga fasa dengan variasi gangguan yaitu 1-turn, 5-turn, dan 24-turn. Monitoring motor induksi menggunakan mikrokontroler jenis ARM.

1.5 Metodologi Tugas Akhir

Metodologi yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah :

1. Studi Literatur

Pada tahapan ini, penulis mempelajari motor induksi tiga fasa, transformator tegangan dan arus, termokopel, bahasa pemrograman Borland Delphi, *software* proteus, *software* eagle, rangkaian operasional *amplifier*, *inter-turn short circuit* pada motor induksi dan literatur lainnya yang menunjang dalam pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini.

2. Pengujian Komponen

Pada tahapan selanjutnya, sebelum penulis melakukan perancangan model matematika terlebih dahulu melakukan pengujian komponen. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan komponen yang standar dan mampu melakukan proses *monitoring* motor induksi tiga fasa.

3. Perancangan Model Matematika

Pada tahapan ini, penulis yang sudah mengetahui karakteristik dari komponen – komponen *monitoring* motor induksi tiga fasa digunakan untuk membuat pemodelan secara matematis sebagai dasar untuk merancang perangkat keras.

4. Perancangan *Hardware*

Tahapan selanjutnya setelah membuat model matematika dan mensimulasikannya, penulis membuat *prototipe* untuk *monitoring* dan diagnosis gangguan hubung singkat *inter-turn* motor induksi tiga fasa. *Prototipe* ini digunakan untuk proses *Analog to Digital Converter* (ADC). Dalam proses ADC ini, penulis menggunakan mikrokontroler ARM.

5. Pengintegrasian *Hardware* dengan Borland Delphi

Pada tahapan ini, penulis melakukan integrasi *hardware* ke *Analog to Digital Converter* (ADC) kemudian diproses oleh *software* Visual Basic 6.0 untuk analisis.

6. Pengujian Sistem dan Analisis Data

Tahapan selanjutnya adalah penulis melakukan pengujian sistem yang sudah dirancang untuk *monitoring* dan diagnosis motor induksi tiga fasa. Hal ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja dari *prototipe* yang sudah dirancang. Evaluasi yang dilakukan yaitu

pengujian motor induksi tiga fasa saat normal dan saat terjadi hubung singkat *inter-turn*.

7. Pembuatan Buku Tugas Akhir

Tahapan terakhir yang dilakukan penulis adalah penyusunan laporan dalam bentuk buku Tugas Akhir.

1.6 Sistematika Laporan

Sistematika laporan dalam penelitian Tugas Akhir ini terdiri dari lima bagian, yaitu :

BAB 1. Merupakan bagian yang menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi, sistematika, dan relevansi.

BAB 2. Menjelaskan tentang tinjauan pustaka yang memberikan teori sebagai acuan atau referensi peneliti untuk melakukan penelitian. Tinjauan pustaka membahas beberapa teori dalam Tugas Akhir ini yaitu motor induksi tiga fasa, transformator tegangan dan arus, termokopel, mikrokontroler, proses ADC pada mikrokontroler, *software* Borland Delphi. Pada bagian motor induksi akan membahas tentang prinsip kerja dan gangguan *inter-turn short circuit*. Pada bagian sensor akan menjelaskan prinsip kerja dari sensor – sensor. Pada bagian mikrokontroler akan menjelaskan tentang fungsi dari mikrokontroler dan pengertian dari masing – masing I/O. Kemudian pada bagian *software* Borland Delphi menjelaskan dasar – dasar membuat program dan beberapa pengertian dalam bahasa pemrograman Borland Delphi .

BAB 3. Menjelaskan tentang penelitian yang telah dilakukan penulis dalam merancang *monitoring* motor induksi yang meliputi perencanaan perangkat keras, perencanaan akuisisi data, dan perencanaan antarmuka, dan motor induksi dengan eksternal *tabs*.

BAB 4. Menjelaskan bagian yang berisi tentang hasil pengujian dan analisis. Analisis ini meliputi beberapa hal yaitu : Analisis terhadap perancangan komponen *non inverting adder amplifier* dari sensor tegangan dan arus. Analisis tentang komponen penguat dari sensor termokopel dan pengujian keluaran tachogenerator. Analisis terhadap *output Analog to Digital Converter* (ADC). Analisis pengukuran arus, suhu, dan kecepatan yang didapatkan. Analisis hasil gangguan *inter-turn short circuit* yang didapatkan.

BAB 5. Pada bagian ini berisi tentang kesimpulan yang didapatkan dari pengerjaan Tugas Akhir dan saran – saran untuk memperbaiki kekurangan dari perancangan yang telah dibuat untuk hasil yang lebih baik diwaktu yang akan datang.

1.7 Relevansi

Tugas Akhir ini mempunyai relevansi berkaitan tentang teknologi dalam *monitoring* motor induksi tiga fasa. Dengan sistem yang dibuat diharapkan dapat membantu dalam proses diagnosis gangguan hubung singkat kerusakan *turn-to-turn*, *coil-to-coil*, *phase-to-phase*, hingga *phase to ground* pada kumparan stator motor induksi tiga fasa dan dapat membantu kelanjutan dari penelitian yang serupa kedepannya.

[halaman ini sengaja dikosongkan]

BAB II

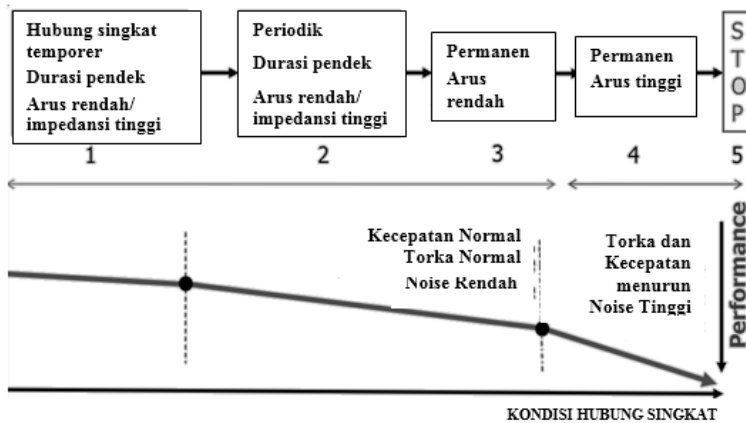
HUBUNG SINGKAT TEMPORER, GANGGUAN INTER-TURN SHORT CIRCUIT

2.1. Hubung Singkat Temporer

Motor induksi tiga fasa telah digunakan secara luas pada industri. Motor-motor tersebut mengalami berbagai keadaan dan kondisi bervariasi yang ekstrim seperti suhu, kelembaban, getaran, bahan korosif, tekanan listrik dan mekanik. Selama proses tersebut, mesin dapat mengalami kegagalan atau kerusakan stator. Salah satu jenis kerusakan adalah hubung singkat pada stator motor. Hubung singkat tersebut sebagian besar dimulai oleh *partial discharge* karena tekanan lingkungan yang juga dikombinasikan dengan cacat bawaan dari motor tersebut.

Peristiwa hubung singkat ini dimulai secara bertahap dan berkelanjutan sesuai dengan yang terlihat pada Gambar 2.1. Kegagalan pada motor dimulai dengan penurunan kekuatan isolasi dari belitan stator motor. Hal ini ditunjukkan pada nomor 1 pada Gambar 2.1. Penurunan kekuatan isolasi dari belitan stator motor tersebut mengakibatkan terjadi hubung singkat temporer dengan durasi yang sangat pendek dan arus hubung singkat yang kecil karena impedansi isolasi masih tinggi. Hubung singkat temporer tersebut mempunyai pola yang tidak teratur atau non-periodik. Hal itu dikarenakan kekuatan isolasi dari laminasi belitan motor masih cukup kuat, namun sedang mengalami deterosiasi. Sehingga terkadang terjadi hubung singkat, namun hanya sementara setelah itu motor kembali beroperasi normal. Kejadian tersebut berlangsung dengan frekuensi yang tidak teratur. Dan kemudian, pada kejadian selanjutnya, peristiwa hubung singkat menjadi semakin periodik dengan durasi yang juga sangat pendek dan arus hubung singkat yang kecil. Hal ini ditunjukkan pada nomor 2 pada Gambar 2.1. Hubung singkat temporer dalam kasus ini terjadi semakin periodik dengan intensitas kejadian yang semakin sering. Hal ini terjadi beberapa waktunon-periodik. Pemanasan, operasi terus menerus, dan lingkungan yang lembab menyebabkan deterosiasi pada isolasi motor semakin tinggi. Sehingga menyebabkan hubung singkat temporer yang semakin periodik dengan intensitas yang tinggi. Setelah itu, deterosiasi pada belitan motor yang semakin parah, menyebabkan hubung singkat menjadi bersifat permanen. Hal ini berarti, peristiwa hubung singkat tidak akan hilang dengan sendirinya. Bila tidak diperbaiki, motor akan mengalami hubung singkat secara berkelanjutan.

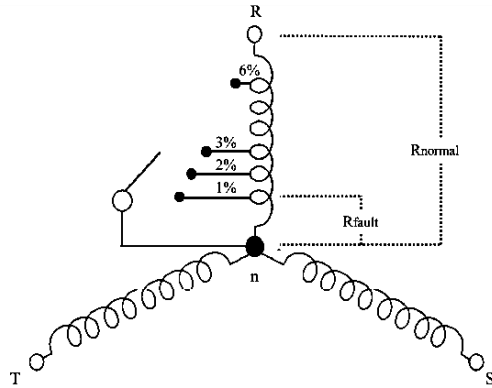
Namun, karena motor masih memiliki kekuatan pada isolasinya, maka arus hubung singkat permanen yang terjadi masih tergolong kecil, dan kemungkinan dapat terdeteksi sistem atau juga tidak dapat terdeteksi sistem. Selanjutnya, peristiwa hubung singkat menjadi hubung singkat permanen dan arus hubung singkat yang besar. Arus hubung singkat yang besar itu terjadi karena isolasi belitan motor sudah rusak sehingga hubung singkat akan terjadi tanpa ada hambatan isolasi. Arus hubung singkat tersebut akan mengakibatkan sistem proteksi akan bekerja dan memutuskan suplai motor [9].



Gambar 2.1 Diagram Proses Kegagalan Motor

2.2 Gangguan *Inter-Turn Short Circuit*

Hubung singkat *inter-turn* merupakan hubung singkat yang disebabkan rusaknya isolasi belitan dalam satu kumparan stator [9]. Hubung singkat ini juga menyebabkan penurunan jumlah belitan ekuivalensi pada motor. Penurunan jumlah belitan ekuivalensi dapat terlihat pada Gambar 2.2. Kegagalan isolasi belitan ini akan berpengaruh pada bertambahnya hubung singkat pada belitan, mengurangi umur dari isolasi belitan tersebut, terjadi penurunan kecepatan, dan peningkatan suhu. Jika kegagalan isolasi ini bertambah maka dapat menyebabkan motor gagal beroperasi.



Gambar 2.2 Kumpulan Tiga Fasa dengan Hubung Singkat *Inter-turn* di Fasa R

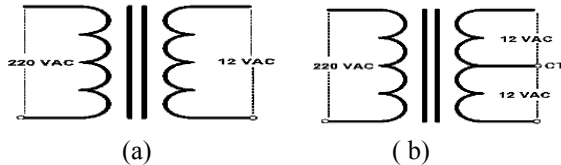
Ketika nilai dari belitan tidak seimbang maka akan menghasilkan medan magnet yang tidak seimbang. Ketidakseimbangan ini akan menyebabkan *bearing failures*. Pada saat terjadi hubung singkat *inter-turn* disalah satu belitan stator misalkan pada fasa R, maka arus pada fasa R tersebut akan lebih tinggi dibandingkan fasa S dan fasa T. Begitu juga ketika terjadi gangguan hubung singkat *inter-turn* di fasa S atau fasa T maka fasa yang terganggu akan lebih tinggi dibandingkan fasa lainnya[10].

Gangguan *inter-turn short circuit* akan mempengaruhi besarnya sudut fasa antara tegangan dan arus tiap fasanya. Jika terjadi gangguan *inter-turn short circuit* di salah satu fasa maka akan mempengaruhi sudut fasa pada fasa yang tidak terkena gangguan. Misalkan gangguan *inter-turn short circuit* terjadi di fasa R maka sudut fasa antara tegangan dan arus pada fasa S akan lebih besar dari keadaan normal sebelum terjadi gangguan. Sedangkan pada fasa T sudut fasa antara tegangan dan arus akan lebih kecil dari keadaan normalnya[10].

2.3 Transformator Tegangan *Step Down*

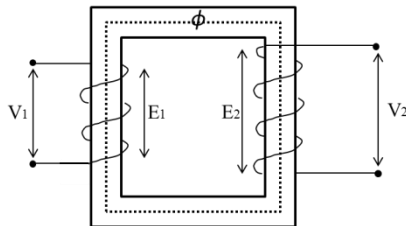
Transformator *step-down* adalah transformator yang diperlukan untuk menurunkan tegangan primer yang tinggi misalnya sebesar 220 Volt atau 380 Volt, menjadi tegangan yang lebih rendah pada bagian

sekundernya misalnya 3 Volt 6 Volt, 9 Volt, 12 Volt, atau 24 Volt. Ada dua jenis transformator penurun tegangan yaitu transformator penurun tegangan dengan CT (*Center Tap*) dan transformator penurun tegangan tanpa CT (*Center Tap*).



Gambar 2.3 (a). Trafo step down tanpa CT, (b). Trafo step down dengan CT

Prinsip kerja transformator berdasarkan induksi elektromagnetik. Kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik dan terjadi perubahan arus listrik yang menimbulkan fluks magnet. Fluks magnet yang berubah akan dihantarkan oleh inti besi ke kumparan sekunder. Sehingga kumparan sekunder akan timbul ggl induksi. Jika transformator dianggap ideal atau sempurna maka semua daya pada kumparan primer dilimpahkan ke kumparan sekunder.



Gambar 2.4 Transformator Tegangan[11]

Pada Gambar 2.5 kumparan dianggap memiliki fluks yang sama, sehingga persamaan yang didapatkan :

$$\frac{\delta\phi}{\delta t} = \frac{V_1}{N_1} = \frac{V_2}{N_2} \quad (2.1)$$

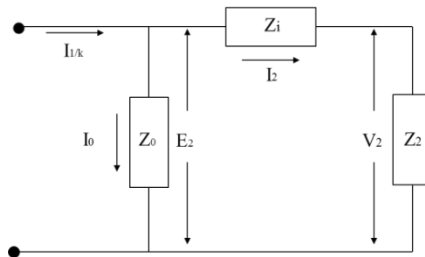
Hubungan antara tegangan primer dengan tegangan sekunder ditentukan oleh perbandingan jumlah lilitan primer dan lilitan sekunder.

2.4 Transformator Arus

Prinsip kerja trafo arus sama dengan transformator tegangan atau daya satu fasa. Pada kumparan primer (N_1) akan mengalir arus I_1 maka akan timbul gaya gerak magnet $N_1 I_1$. Sehingga akan timbul fluks magnet yang menimbulkan gaya gerak listrik di kumparan sekunder (N_2). Ketika kumparan sekunder tertutup maka kumparan sekunder mengalir arus I_2 dan akan menimbulkan gaya gerak magnet $N_2 I_2$. Pada bagian sekunder trafo arus harus dipasang beban agar rangkaian tidak terbuka yang mengakibatkan tegangan tak terhingga dan akan merusak trafo tersebut. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.4.

Bila trafo tidak mempunyai rugi-rugi (trafo ideal) berlaku persamaan :

$$N_1 I_1 = N_2 I_2 \quad (2.2)$$



Gambar 2.5 Rangkaian Ekuivalen Trafo Arus[12]

Impedansi peralatan (Z_2) pada terminal sekunder akan mempengaruhi tegangan pada terminal sekunder (V_2), dapat dilihat pada persamaan 2.10. Arus beban nol (I_0) selalu ada dalam prakteknya yang akan menimbulkan fluks Φ yang dibutuhkan untuk membangkitkan gaya gerak listrik (E_2). Hal ini dapat terlihat pada persamaan 2.11.

$$V_2 = I_2 Z_2 \quad (2.3)$$

$$E_2 = 4,44 f N_2 \Phi \quad (2.4)$$

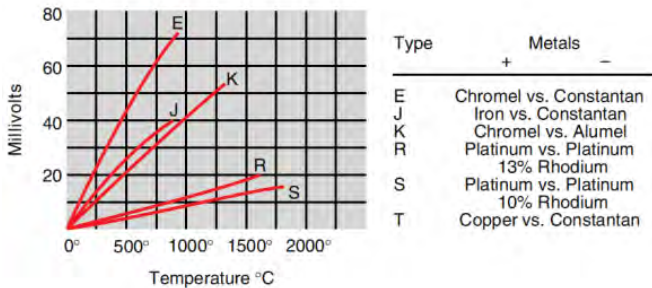
Fungsi dari trafo arus adalah sebagai berikut :

1. Mentransformasikan arus yang besar ke arus yang lebih kecil untuk pengukuran dan proteksi
2. Sebagai isolasi rangkaian sekunder dari rangkaian primer
3. Standarisasi *rating* arus untuk peralatan pada sisi sekunder

2.5 Termokopel

Termokopel memiliki prinsip kerja ketika dua buah metal yang berbeda dipanaskan akan menghasilkan emf. Hal ini dinamakan dengan potensial seebeck (V_s) yang mendekati linier dengan berubahnya suhu (T). Tegangan keluaran yang dihasilkan juga dipengaruhi oleh koefisiensi seebeck pada sistem (α_{ab}). Persamaan dari potensial seebeck dapat dilihat pada persamaan 2.10.

$$\Delta V_s = \alpha_{a,b} \Delta T \quad (2.5)$$



Gambar 2.6 Grafik Suhu – Tegangan Termokopel[13]

Termokopel memiliki beberapa tipe yang didasarkan pada *range* dan jenis bahan penyusunnya yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Pemilihan termokopel didasarkan pada jangkauan pengukuran yang diinginkan, kepekaan dari termokopel, dan harga dari termokopel tersebut.

2.6 Tachogenerator

Tachogenerator bekerja berdasarkan prinsip Faraday dimana jika penghantar (N) mendapat fluks magnet yang berubah terhadap waktu ($\frac{d\phi}{dt}$) dan tidak konstan akan menghasilkan ggl induksi (e).

$$e = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (2.6)$$

Kumparan penghantar akan mendapatkan fluks yang berubah sesuai dengan posisi penghantar walaupun fluks magnet (Φ_m) yang dihasilkan magnet permanen bernilai konstan.

Fluks yang dihasilkan pada penghantar yang membentuk sudut ωt memiliki persamaan :

$$\Phi = \Phi_m \sin \omega t \quad (2.7)$$

Dari persamaan diatas kemudian disubstitusikan ke persamaan Maxwell dan didapatkan :

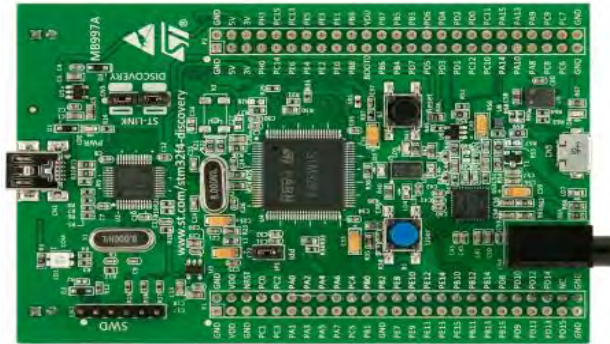
$$e = -N \frac{d\phi}{dt} (\Phi_m \sin \omega t) = N \omega \Phi_m \cos \omega t \quad (2.8)$$

Persamaan diatas merupakan fungsi dari banyaknya putaran permenit (n) sehingga secara keseluruhan hubungan antara kecepatan dan tegangan keluaran yang dipengaruhi fluks (Φ) dan konstanta (c) adalah :

$$E = cn\Phi \quad (2.9)$$

2.7 Mikrokontroler ARM

STM32F4 discovery adalah modul dari ST Elektronik berbasis mikrokontroler arsitektur ARM 32bit dengan prosesor STM32F407VGT6 dan termasuk sebuah ST-LINK/V2 sebagai alat debug. Mempunyai banyak fitur seperti digital accelerometer, ST MEMS digital microphone, audio DAC yang reintegrasi pengendali speaker kelas D, Leds, tombol dan sebuah konektor USB OTG Micro-AB. Untuk Chip STM32F407VGT6 mempunyai banyak fitur yang dapat digunakan, seperti I/O, Timer, ADC, dan DMA. Kecepatan clock nya bisa mencapai 168Mhz sehingga memungkinkan untuk mengerjakan perintah program yang cukup yang panjang dalam cukup singkat. berikut gambar dari Board STM32 discovery:



Gambar 2.7 STM32F4 *discovery* [14]

2.7.1 ADC (Analog to Digital Converter)

STM32F4 memiliki 3 ADC didalamnya yaitu ADC1, ADC2 dan ADC3. Setiap ADC memiliki resolusi maximal 12 bit dan bisa diatur 10 bit, 8 bit atau 6 bit. Ada 16 pin (channel) yang tersedia untuk input sinyal analog dan tambahan tiga input untuk pengukuran suhu chip (V_{temp}), tegangan referensi (V_{ref}) dan tegangan baterai (V_{bat}). ADC3 hanya terhubung dengan 8 channel sedangkan ADC1 dan ADC2 terhubung 16 channel dan untuk V_{temp} , V_{ref} , serta V_{bat} hanya terhubung ke ADC1 sebagai master. Tipe ADC yang terdapat pada internal STM32 adalah tipe Flash ADC, sehingga waktu konversi untuk setiap blok ADC bisa mencapai 0.5 μs . Blok diagram dari ADC seperti berikut,

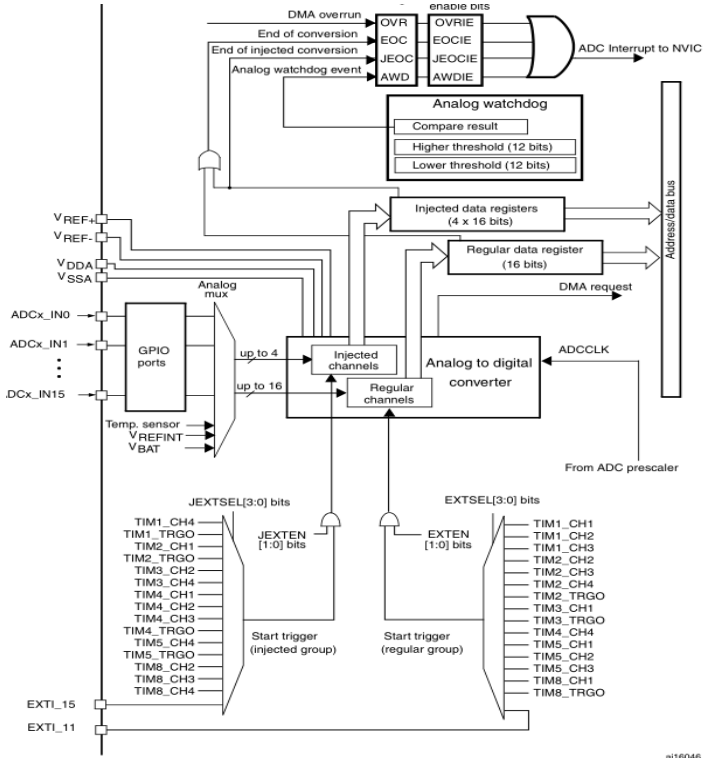
Berdasarkan Application note STM AN3116 menjelaskan tentang beberapa contoh mode operasi. ADC dapat dikonfigurasi dengan mode single conversion atau continuously conversion. Konversi dapat dilakukan untuk single channel atau multiple channel. Setiap mode dapat ditrigger atau dipicu dengan menggunakan memory-mapped register atau external trigger seperti timer. Berikut beberapa contoh mode operasi yang dapat digunakan pada ADC STM32F4 :

1. Single-channel & single-conversion
2. Multi-channel (scan) & multiple-conversion
3. Single-channel & continuous operation
4. Multi-channel (scan) & continuous operation

Resolusi dari ADC dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$resolusi = \frac{v_{reff}}{2^n} \quad (2.10)$$

Dimana v_{reff} adalah tegangan referensi, n adalah jumlah bit ADC.

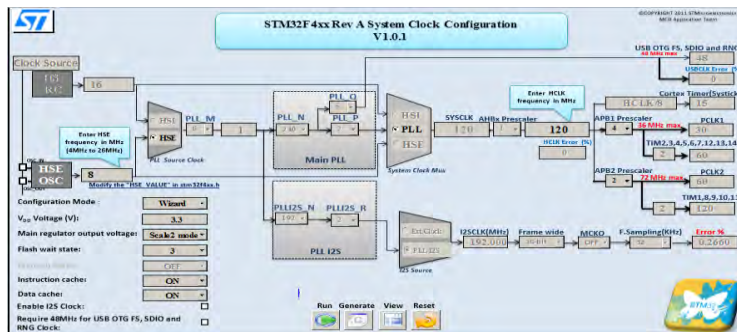


Gambar 2.8 Blok Diagram ADC STM32F4 [14]

2.7.2 TIMER

STM32F4 memiliki memiliki 14 TIMER yang dapat digunakan untuk berbagai aplikasi. Misalnya, untuk membuat delay, counter, pwm, pewaktu untuk interrupt, waktu sampling adc dan lain-lain. Salah satu Timer 32bit adalah Timer 2, Timer 2 terhubung ke APB1 bus yang mempunyai max clock 30MHz tetapi terdapat internal PLL = 2 yang membuat clock untuk TIMER 2 menjadi 60MHz. Salah satu hal penting

yang perlu diperhatikan dalam menggunakan Timer adalah clock input untuk Timer yang akan digunakan. Berikut salah satu contoh sistem clock pada STM32:



Gambar 2.9 Sistem clock STM32F4 [14]

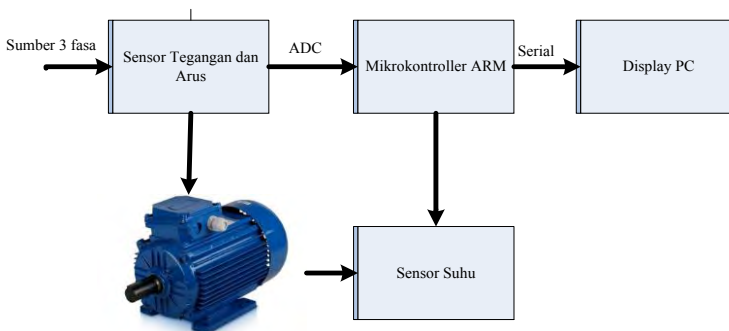
Timer digunakan sebagai pewaktu yang nilai dari Timer akan naik/turun(tergantung Mode) di setiap periode nya, maka dengan itu perlu mengatur register pada Timer yang bersangkutan agar mempunyai frekuensi sama dengan frekuensi yang diinginkan, persamaan yang berlaku pada Timer2 adalah sebagai berikut:

$$Frequency\ Max = Clock\ Timer2 / (TIM_Prescaler + 1) \quad (2.11)$$

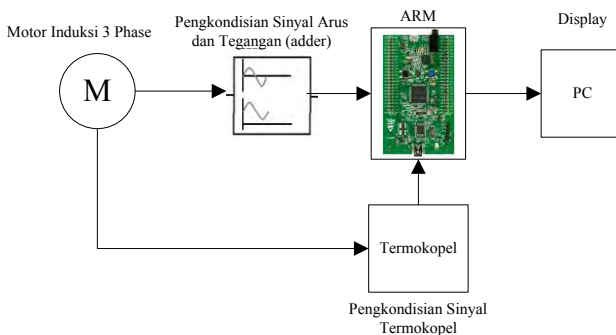
$$Frequency = Frequency\ Max / (TIM_Period + 1) \quad (2.12)$$

BAB III PERANCANGAN SISTEM

Pada bab ini akan dibahas mengenai perancangan *monitoring* motor induksi tiga fasa dalam meliputi beberapa hal yaitu perencanaan perangkat keras, perencanaan akuisisi data, dan perencanaan antarmuka. Pada Gambar 3.1 dapat dilihat diagram blok dari sistem *monitoring* motor induksi.



Gambar 3.1 Diagram Blok *Monitoring* Motor Induksi Tiga Fasa



Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem Keseluruhan

Fungsi masing-masing blok adalah sebagai berikut:

1. Sensor Tegangan dan Arus
Sensor tegangan dan arus digunakan untuk mendapatkan nilai tegangan dan arus dari motor induksi tiga fasa. Sensor tegangan menggunakan transformator tegangan *step down*, sedangkan sensor arus menggunakan transformator arus.
2. Motor Induksi 3 Fasa
Ini merupakan motor induksi tiga fasa yang digunakan sebagai objek dalam melakukan percobaan *monitoring*. Isolasi belitan pada fasa R dirusak agar terjadi *inter-turn short circuit*.
3. Sensor Suhu
Sensor suhu berfungsi untuk mendapatkan nilai dari suhu belitan stator motor induksi. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan termokopel kabel tipe K.
4. Mikrokontroler
Mikrokontroler yang digunakan adalah mikrokontroler jenis ARM yang berfungsi dalam proses ADC dan pengiriman data ke komputer.
5. Komputer
Komputer berfungsi untuk menampilkan hasil *monitoring* menggunakan *software* Delphi 7.

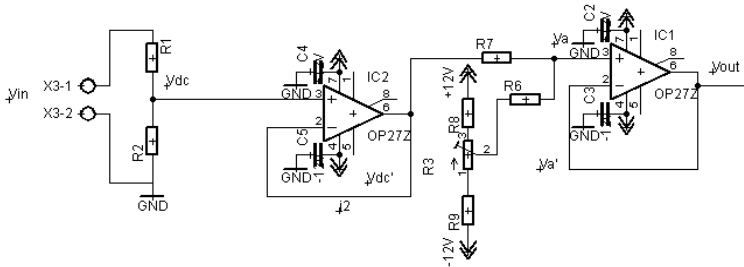
3.1 Perencanaan Perangkat Keras

Tegangan atau arus yang dihasilkan oleh sensor biasanya kecil, sedangkan komponen ADC yang digunakan dalam praktik bekerja pada skala penuh 0-5 volt, -5 - +5 volt, 0-10 volt dan sebagainya tergantung mode input dan spesifikasi komponen yang dipakai, oleh karena itu diperlukan *signal conditioner*, yang memperlakukan sinyal keluaran dari sensor cukup besar untuk diinputkan pada ADC. Rangkaian-rangkaian dengan menggunakan operasional amplifier merupakan bagian utama dari *signal conditioner*.

3.1.1 Perancangan Pengkondisi Sinyal Tegangan

Untuk mendeteksi tegangan pada masing – masing fasa motor induksi tiga fasa maka digunakan transformator tegangan *step down*. Transformator yang digunakan dengan tegangan input 220V dan tegangan keluaran 3V. Tegangan keluaran dari transformator ini adalah tegangan AC yang berupa gelombang sinusoidal. Range dari ADC internal ARM hanya dapat membaca inputan 0 -3V, sedangkan tegangan dibawah 0V atau berharga negatif tidak akan terbaca. Oleh karena itu

dibutuhkan rangkaian *non inverting adder* agar tegangan bernilai negatif dapat terbaca oleh mikrokontroler.



Gambar 3.3 Rangkaian *non inverting*

Perhitungan :

$$V_i = V_t \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad (3.1)$$

$$V_a = V_a|v_i + V_a|V_{dc}$$

$$V_a = \left(\frac{R_7}{R_7 + R_6} \right) V_i + \left(\frac{R_7}{R_7 + R_6} \right) V_{dc}$$

$$V_a = \left(\frac{1}{2} (V_i + V_{dc}) \right) \quad (3.2)$$

Sehingga tegangan output V_o adalah

$$V_a = V_a'$$

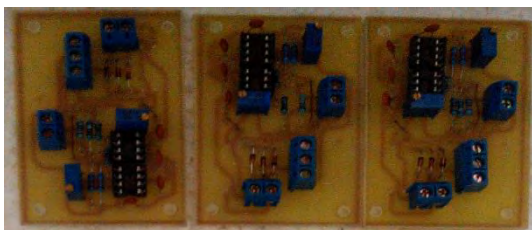
$$V_o = i_2 (R_2 + R_3)$$

$$I_2 = V_a' / R_2$$

$$I_2 = \frac{V_a'}{R_2}$$

$$V_o = \left(\frac{V_a'}{R_2} \right) (R_2 + R_3) \quad (3.3)$$

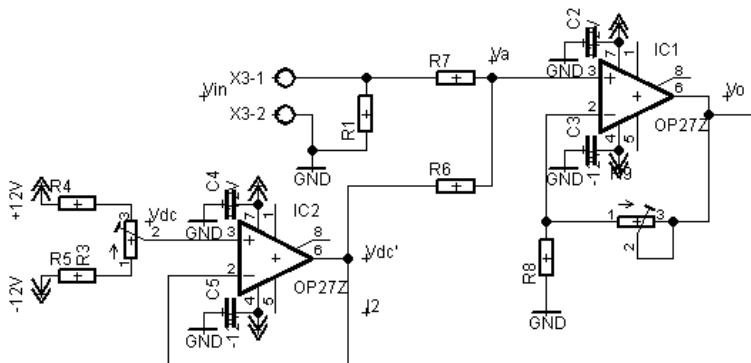
Hasil perancangan pengkondisi sinyal tegangan dan transformator tegangan yang digunakan sebagai sensor tegangan dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Pengkondisi Sinyal Tegangan

3.1.2 Perancangan Pengkondisi Sinyal Arus

Untuk mendeteksi arus pada masing-masing fasa digunakan transformator arus dengan merk “OTTO” yang memiliki spesifikasi seperti pada Tabel 3.1 berikut :



Gambar 3.5 Pengkondisian Sinyal Arus

Tabel 3.1 Spesifikasi Transformator Arus

Tipe	MSQ-30
Frekuensi Kerja	50/60 Hz
Rasio	50/5 A
Tegangan Kerja	0,66 kV
Class	1

Sumber arus AC (I_2) diparalel dengan R_3 sebesar 1 ohm untuk mengubah sumber arus menjadi sumber tegangan, dimana tegangan merupakan hasil kali antara arus dengan resistansi. Arus input AC (I_2) sebesar 5A kemudian diubah ke tegangan menjadi 5V. Kemudian diturunkan menggunakan potensiometer menghasilkan tegangan sebesar 2,5V. Rangkaian mikrokontroller hanya dapat membaca inputan 0-3V, sedangkan tegangan dibawah 0V atau berharga negatif tidak akan terbaca. Oleh karena itu dibutuhkan rangkaian *non inverting adder* agar tegangan bernilai negatif dapat terbaca oleh mikrokontroller.

Perhitungan :

$$V_i = I_{in} \cdot 1\Omega \quad (3.4)$$

$$V_a = V_a|v_i + V_a|V_{dc}$$

$$V_a = \left(\frac{R7}{R7+R6}\right)V_i + \left(\frac{R7}{R7+R6}\right)V_{dc}$$

$$V_a = \left(\frac{1}{2}\right)(V_i + V_{dc}) \quad (3.5)$$

Sehingga tegangan output V_o adalah

$$V_a = V_{a'}$$

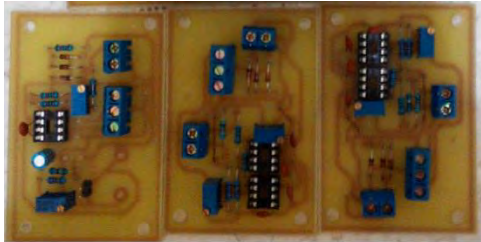
$$V_o = i_2 (R_2 + R_3)$$

$$I_2 = V_{a'} R_2$$

$$I_2 = \frac{V_{a'}}{R_2}$$

$$V_o = \left(\frac{V_{a'}}{R_2}\right) (R_2 + R_3) \quad (3.6)$$

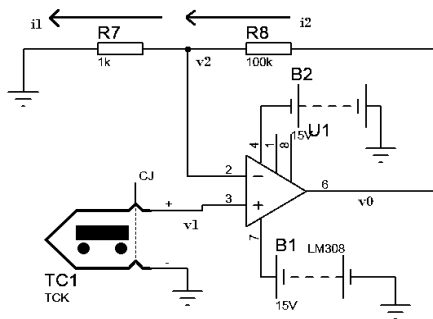
Hasil perancangan pengkondisi sinyal arus dan transformator arus yang digunakan sebagai sensor arus dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Pengkondisi Sinyal Arus

3.1.3 Perancangan Pengkondisi Sinyal Termokopel

Untuk mendeteksi suhu pada motor induksi digunakan termokopel jenis kabel yang memiliki spesifikasi seperti pada Tabel 3.2 berikut :



Gambar 3.7 Rangkaian Pengkondisi Sinyal Termokopel

Tabel 3.2 Spesifikasi Termokopel

Tipe	K max 400° C
Range Pengukuran	0 to 400°C
Panjang Kabel	1m (3.28ft)
Lebar Kawat	6.35mm (1/4")
Dimensi Ujung Sensor	12.7mm (1/2")
Berat	20g / 0.7oz
Bahan Dasar	Chromel-Alumel
Sensivitas Rata-rata	41µV/°C

Keluaran dari termokopel berupa tegangan sangat kecil sehingga dibutuhkan rangkaian pengkondisi sinyal. Rangkaian pengkondisi sinyal termokopel berfungsi untuk mengolah sinyal dari termokopel berupa tegangan yang sangat kecil menjadi tegangan yang lebih besar, sehingga output dari rangkaian ini dapat dibaca oleh *Analog Digital Converter* (ADC).

Pada perancangan pengkondisi sinyal termokopel dilakukan dengan menambahkan sebuah penguat yang inputnya berasal dari thermocouple. Output dari thermocouple mempunyai range nol sampai 1 V, maka penguat digunakan agar pembacaan tegangan terbangkit di thermocouple dapat dibaca berdasarkan range multimeter. Rangkaian penguat menggunakan konfigurasi non inverting amplifier

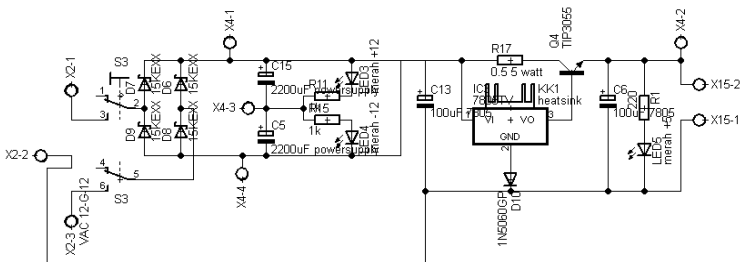
$$AV = \frac{VO}{VI} = 1 + \frac{R8}{R7}$$

Nilai $R8=249k\Omega$ dan nilai $R7=1k\Omega$, maka:

$$AV = 1 + \frac{249k}{1k} = 250$$

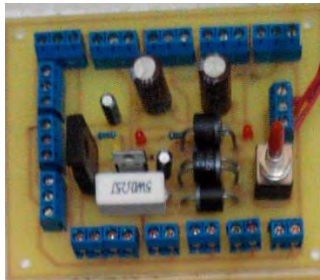
3.1.4 Perancangan Rangkaian Catu Daya

Catu daya di sini berfungsi sebagai pemberi daya pada rangkaian elektronis, seperti : rangkaian non inverting arus, non inverting tegangan dan pengkondisian sinyal termokopel. Pada rangkaian ini menggunakan transformator step down 2A yang menurunkan tegangan 220V AC menjadi 9 Vac. Tegangan yang dibutuhkan untuk mensuplai rangkaian-rangkaian monitoring motor induksi yaitu 5 Vdc, -12 Vdc, +12Vdc dan 0 V.



Gambar 3.8 Rangkaian Catu Daya

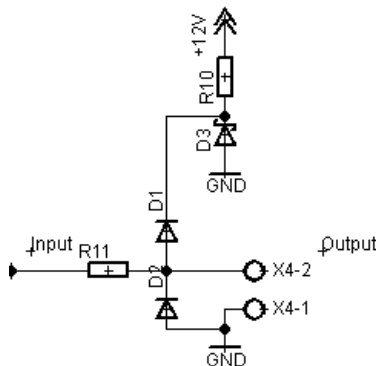
Tegangan 12 VAC itu kemudian akan masuk ke penyearah jembatan dan kemudian tegangan yang telah disearahkan tersebut akan difilter oleh kapasitor. Kemudian keluaran tersebut akan difilter kembali menyaring kembali riak-riak gelombang agar menjadi lebih rata. Untuk mendapatkan tegangan 5 Vdc digunakan IC regulator 7805 sedangkan untuk mendapatkan tegangan 12 V digunakan IC regulator 7812.



Gambar 3.9 Rangkaian Catu daya

3.1.5 Rangkaian Clipper

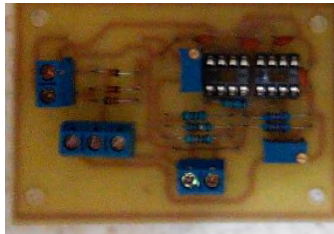
Clipper yang berfungsi membatasi tegangan output agar mempunyai jangkauan dari -3V sampai 3V. Gambar rangkaianannya dapat dilihat pada gambar 3.10



Gambar 3.10 Rangkaian Clipper

Rangkaian clipper yang sederhana bekerja dengan prinsip jika amplitude tegangan sinyal yang keluar dari blok amplifier lebih besar dari 3 V maka D1 akan terbias maju sehingga tegangan output akan ditentukan oleh tegangan tegangan zener dan tegangan bias maju dari diode D1 yaitu sekitar 3 V. jika amplitude tegangan sinyal yang keluar dari blok amplifier diantara -3V sampai +3V maka D1 dan D2 tidak terbias maju sehingga tegangan output sama dengan tegangan input. Jika amplitude tegangan sinyal lebih kecil dari -3V maka D2 akan terbias maju sehingga tegangan output yang keluar adalah tegangan zener ditambah tegangan bias maju diode D2 yaitu sekitar - 3 V.

Jika diperlukan untuk mengubah batas-batas pemotongan atas maupun bawah dari sinyal input maka rangkaian clipper ini dapat diubah sedikit yaitu dengan mengubah tegangan zener dari diode zener.



Gambar 3.11 Rangkaian Clipper pada non inverting

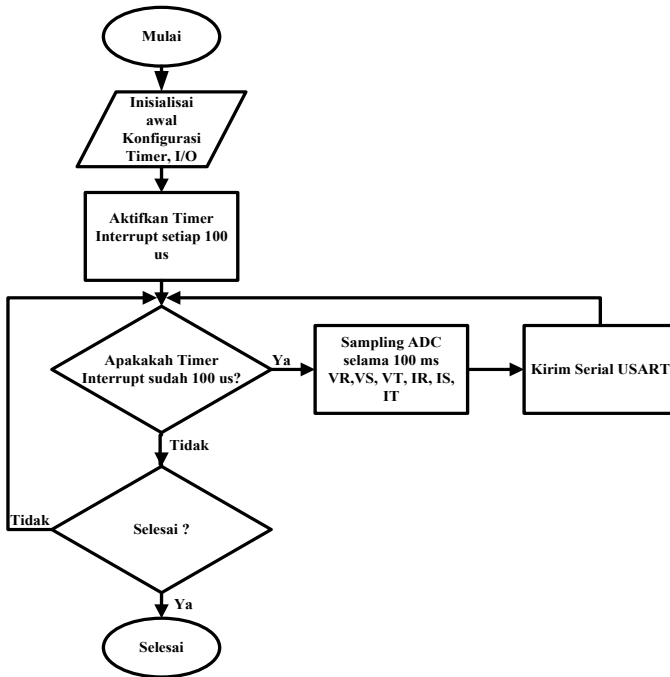
3.2 Perancangan Algoritma Mikrokontroler ARM

Algoritma pada mikrokontroler ARM dibuat dengan menggunakan bahasa C dengan *compiler* Coocox. Algoritma mikrokontroler ARM dapat dilihat pada gambar 3.12.

Beberapa fitur ARM yang digunakan yaitu *Analog Digital Converter* dan *Timer*. ADC yang digunakan 8 bit sehingga resolusinya :

$$resolusi = \frac{V_{ref}}{2^8 - 1} = \frac{3000mV}{255} = 11.764 mV/bit$$

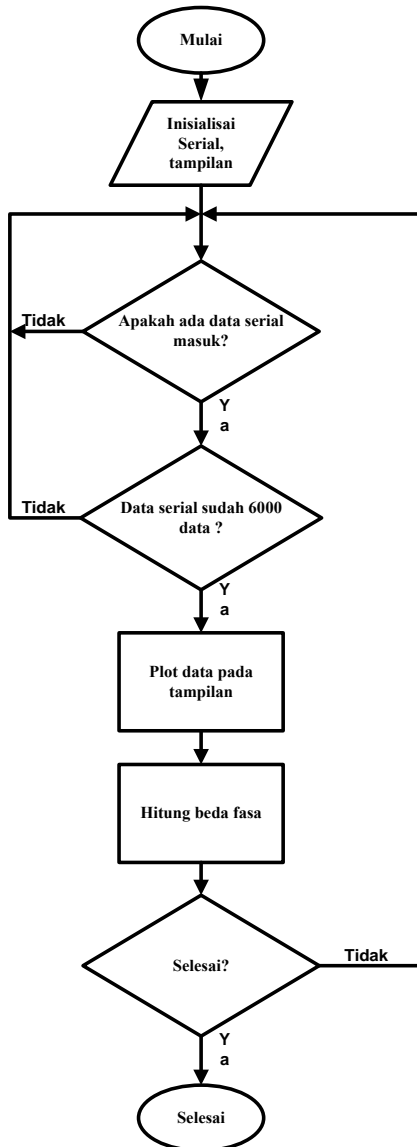
Mikrokontroler mengambil data ADC, kemudian mengaktifkan *timer interrupt* setiap 100 us, jika sudah lanjut ke proses selanjutnya yaitu sampling ADC VR, VS, VT, IR, IIS, IT dan kemudian mengirim data serial USART



Gambar 3.12 Diagram Alir pada mikrokontroler ARM

3.3 Perencanaan Antarmuka

Sebuah Sistem akuisisi data, secara actual berupa *Interface* antara lingkungan analog dengan lingkungan digital. Lingkungan analog berupa sensor dan pengkondisian sinyal baik itu dari sensor tegangan, sensor arus atau sensor suhu, sementara untuk lingkungan digitalnya merupakan ADC yang dilakukan mikrokontroler itu sendiri. Akuisisi data akan mengkonversi data analog dari sensor ke bentuk digital dan diproses di komputer. Untuk memudahkan proses *monitoring* maka dibutuhkan *software* pada komputer untuk mengolah data yang diperoleh. Dalam Tugas Akhir ini *software* yang digunakan untuk monitoring kerusakan motor induksi sekaligus melakukan pengolahan data menggunakan *Borland Delphi 7*. Digram alir pada Delphi dapat dilihat pada gambar 3.13



Gambar 3.13 Diagram Alir pada Delphi

3.4 Motor Induksi dengan Eksternal Tabs

Motor induksi yang digunakan dalam pengujian *monitoring* motor induksi tiga fasa memiliki spesifikasi yang dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Spesifikasi Motor Induksi

Merk	Alliance
Type	A-Y3A-80M2-4B5
P_{rated}	0,75 kW
Poles	4
V_{rated}	220/380 V
I_{rated}	3,6/2,1 A
N_{rated}	1390 rpm
f	50 Hz
Cos ϕ	0,76
Number of slot	24
Number of turn per phase	126

Motor induksi yang digunakan telah dimodifikasi pada fasa R dan T pada bagian stator. Isolasi belitan pada fasa R dan T dirusak agar terjadi *inter-turn short circuit*. Belitan yang dirusak tersebut dihubungkan ke beberapa eksternal *tabs* agar mudah dalam pengujian *inter-turn short circuit*. Pengujian gangguan yang dilakukan terdiri dari 1 *turn*, 2 *turn*, 3 *turn*, 15 *turn*, 24 *turn*, dan 48*turn*. Selain itu motor induksi yang sedang dilakukan pengujian gangguan diberikan variasi pembebanan dari tanpa beban, pembebanan 0%, pembebanan 50% dan beban 100 %.

BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISIS KINERJA SISTEM MONITORING MOTOR INDUKSI TIGA FASA

Setelah perancangan alat selesai, dilakukan beberapa percobaan terkait dengan kemampuan untuk mengetahui sistem yang dirancang sudah sesuai dengan kinerja yang diharapkan, baik secara terpisah maupun sistem keseluruhan. Pada bab ini akan dibahas pengujian dan analisa perangkat elektronik, pengujian dan analisa sistem serta pengujian dan analisa pembebanan.

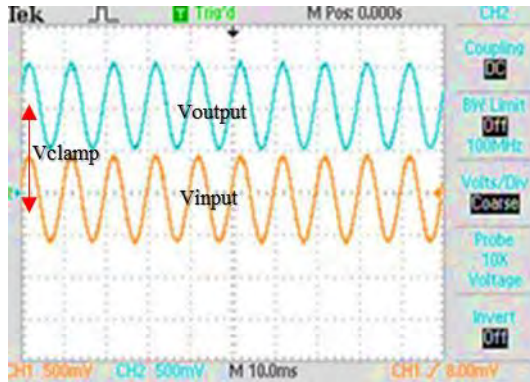
4.1 Pengujian dan Analisa Perangkat Elektronik

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan dari perangkat elektronik yang digunakan sebagai monitoring motor induksi. Pengujian perangkat elektronik yang dilakukan yaitu pengujian rangkaian non inverting adder, pengujian rangkaian non inverting arus, pengujian rangkaian pengkondisian sinyal termokopel.

4.1.1 Rangkaian *Non Inverting Adder* Tegangan

Rangkaian non inverting adder ini memiliki masukan yang dibuat melalui input non inverting, dengan demikian tegangan keluaran rangkaian ini akan satu fasa dengan tegangan inputnya. Rangkaian non inverting adder tegangan disini berfungsi sebagai penaik *offset* karena output dari trafo stepdown yang digunakan sebagai sensor ada yang bernilai negatif, sementara mikrokontroler hanya bisa membaca tegangan positif saja. Bentuk gelombang dari output trafo stepdown dapat dilihat pada gambar 4.1.

Pengujian rangkaian non inverting adder tegangan yaitu dengan memberikan supply tegangan +5Vdc pada input rangkaian kemudian dengan mengatur variabel resistor akan diatur tegangan yang masuk ke masing-masing op-amp. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan multimeter digital . Pengujian dilakukan untuk masing-masing fasa R, S, T.



Gambar 4.1 Gelombang Tegangan *Output* dan *Input* Tegangan

Dari Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa sinyal input bergeser ke atas dengan frekuensi dan amplitudo yang sama. Rangkaian mempunyai penguatan 1. Pergeseran sinyal adalah 1 volt, yang sama dengan tegangan V_1 . Maka dapat dikatakan rangkaian penjumlah dapat berkerja dengan baik. Secara teori dan pengujian memiliki output sama.

$$Av = \frac{v_o}{v_i} = \frac{2 \times \left(\frac{500mV}{div}\right)}{2 \times \left(\frac{500mV}{div}\right)} + 2 \times \left(\frac{500mV}{div}\right)$$

$$V_o = 1v_{pp} + 1v$$

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Rangkaian *Non Inverting Adder* Tegangan Fasa R

Tegangan <i>Input</i> V_2 (Volt)	Tegangan <i>Input</i> V_1 (Volt)	Tegangan <i>n Output</i> (Volt)	Tegangan <i>Output</i> Hitung (Volt)	Kesalahan Relatif (%)
0,45	2,06	2,52	2,51	0,4
0,45	1,55	2,02	2,0	1
0,45	2,8	3,25	3,25	0
0,45	3,6	4,05	4,51	0,99
Rata - Rata				0,6%

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran Rangkaian *Non Inverting Adder* Tegangan Fasa S

Tegangan Input V ₂ (Volt)	Tegangan Input V ₁ (Volt)	Tegangan Output (Volt)	Tegangan Output Hitung (Volt)	Kesalahan Relatif (%)
0,45	1,6	2,05	2,05	0
0,45	2,06	2,53	2,51	0,8
0,45	2,83	3,28	3,28	0
0,45	3,35	3,8	3,8	0
Rata - Rata				0,2%

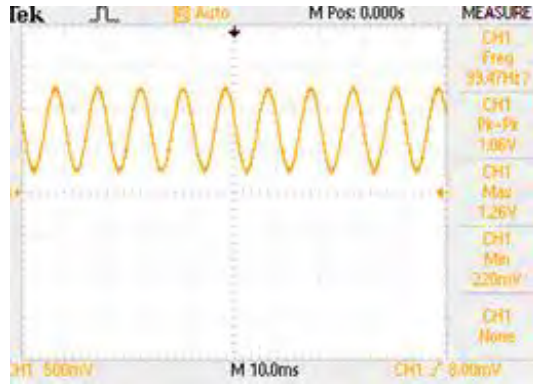
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran Rangkaian *Non Inverting Adder* Tegangan Fasa T

Tegangan Input V ₂ (Volt)	Tegangan Input V ₁ (Volt)	Tegangan Output (Volt)	Tegangan Output Hitung (Volt)	Kesalahan Relatif (%)
0,45	1,55	2,02	2	1
0,45	2,06	2,53	2,51	0,8
0,45	2,8	3,25	3,25	0
0,45	3,35	3,8	3,8	0
Rata - Rata				0,45%

Dari pengujian rangkaian pengkondisian sinyal tegangan dapat diketahui bahwa rangkaian ini memiliki kinerja yg baik, dan kesalahan relatif yang paling besar terdapat pada fasa T,

4.1.2 Rangkaian *Non Inverting Adder* Arus

Pengujian rangkaian *non inverting adder* arus sama halnya dengan *non inverting adder* tegangan. Arus yang didapat dari transformator arus diubah menjadi tegangan. Keluaran dari rangkaian *non inverting adder* arus dapat terlihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Gelombang Tegangan *Output* Arus

Gambar 4.2 adalah output sinyal sinus, yang diukur menggunakan oscilloscope dengan parameter volt/div 500mV dan Time/div 10mS.

Data tegangan *output* dari hasil pengujian rangkaian *non inverting adder* arus masing-masing fasa diukur menggunakan multimeter digital dapat dilihat pada Tabel 4.4, 4.5, dan 4.6.

Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Rangkaian *Non Inverting Adder* Arus Fasa R

Tegangan <i>Input</i> V ₂ (Volt)	Tegangan <i>Input</i> V ₁ (Volt)	Tegangan <i>Output</i> (Volt)	Tegangan <i>Output</i> Hitung (Volt)	Kesalahan Relatif (%)
0,44	0,43	0,88	0,87	1,14
0,76	0,76	1,5	1,52	1,3
1,01	0,99	1,96	2,0	2
1,74	1,71	3,44	3,45	0,3
Rata - Rata				0,9%

Tabel 4.5 Hasil Pengukuran Rangkaian *Non Inverting Adder* Arus Fasa S

Tegangan Input V ₂ (Volt)	Tegangan Input V ₁ (Volt)	Tegangan Output (Volt)	Tegangan Output Hitung (Volt)	Kesalahan Relatif (%)
0,52	0,5	1,01	1,02	0,98
0,96	0,95	1,91	1,91	0
1,52	1,5	3,03	3,02	0,33
1,81	1,78	3,56	3,59	0,83
Rata - Rata				0,51%

Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Rangkaian *Non Inverting Adder* Arus Fasa T

Tegangan Input V ₂ (Volt)	Tegangan Input V ₁ (Volt)	Tegangan Output (Volt)	Tegangan Output Hitung (Volt)	Kesalahan Relatif (%)
0,5	0,5	0,98	1	2
0,86	0,85	1,73	1,71	1,16
1,42	1,39	2,8	2,81	0,35
1,64	1,62	3,26	3,26	0
Rata - Rata				0,88%

Untuk rangkaian pengkondisian sinyal arus dapat digunakan sebagai monitoring arus pada motor induksi karena kesalahan relatif besarnya kurang dari 1 %.

4.1.3 Pengkondisi Sinyal Termokopel

Keluaran dari termokopel berupa tegangan sangat kecil sekitar 40 μ V/°C sehingga dibutuhkan rangkaian penguat sinyal yang berfungsi untuk mengolah sinyal dari termokopel berupa tegangan yang sangat kecil menjadi tegangan yang lebih besar, sehingga output dari rangkaian ini dapat terbaca oleh *Analog Digital Converter* (ADC).

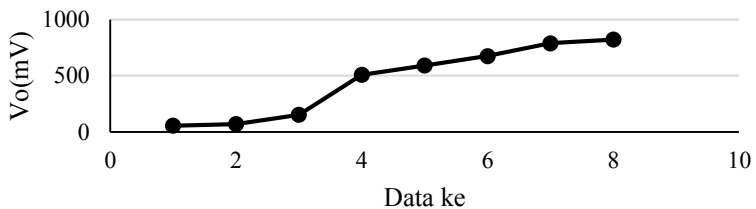
Kondisi pertama yaitu kondisi dimana hot junction dipanaskan pada suhu yang bervariasi mulai dari suhu 28 derajat celsius sampai 93

derajat celcius, kemudian cold junction diletakkan pada suhu ruangan, sehingga menghasilkan data pengujian seperti Tabel 4.7 berikut.

Tabel 4.7 Perubahan V_o saat Hot Junction Dipanaskan

No	SUHU ($^{\circ}\text{C}$)		VO(mv)
	Hot Junction	Cold Junction	
1	28	28	55
2	40	28	70
3	50	28	153
4	60	28	509
5	70	28	591
6	80	28	676
7	90	28	789
8	93	28	823

Grafik Perubahan V_o :



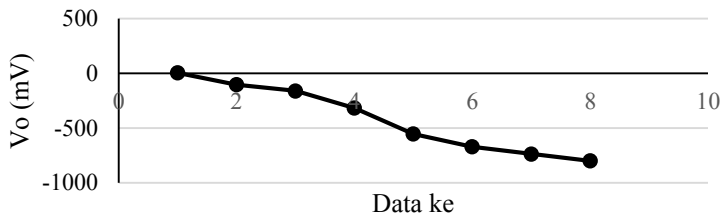
Gambar 4.3 Grafik Perubahan V_o saat Hot Junction Dipanaskan

Kondisi kedua yaitu kondisi dimana cold junction dipanaskan pada suhu yang bervariasi mulai dari suhu 28 derajat celcius sampai 93 derajat celcius, kemudian hot junction diletakkan pada suhu ruangan, sehingga menghasilkan data pengujian seperti Tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.8 Perubahan V_o Saat Cold Junction Dipanaskan

No	SUHU ($^{\circ}\text{C}$)		$V_o(\text{mv})$
	Hot Junction	Cold Junction	
1	28	28	5
2	28	40	-103
3	28	50	-160
4	28	60	-317
5	28	70	-554
6	28	80	-671
7	28	90	-737
8	28	94	-800

Grafik perubahan V_o :



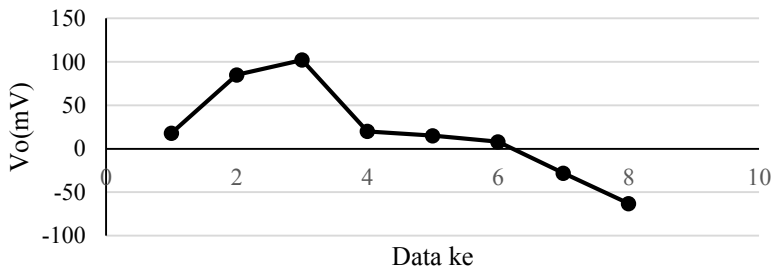
Gambar 4.4 Grafik Perubahan V_o Saat Cold Junction Dipanaskan

Kondisi ketiga yaitu kondisi dimana cold junction dan hot junction dipanaskan pada suhu yang bervariasi mulai dari suhu 28 derajat celsius sampai 93 derajat celsius, sehingga menghasilkan data pengujian seperti Tabel 4.9 berikut.

Tabel 4.9 Perubahan V_o Saat Cold Junction dan Hot junction Dipanaskan

No	SUHU ($^{\circ}\text{C}$)		VO(mv)
	Hot Junction	Cold Junction	
1	28	28	18
2	40	40	85
3	50	50	102
4	60	60	20
5	70	70	15
6	80	80	8
7	90	90	-28
8	93	93	-63

Grafik perubahan V_o :

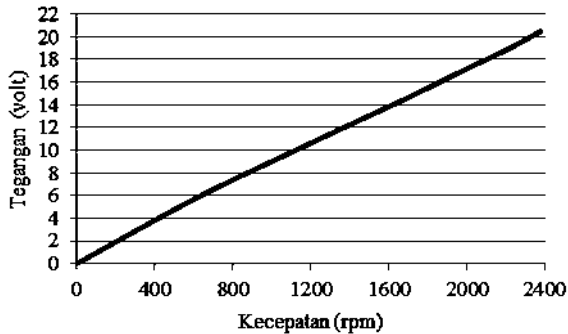


Gambar 4.5 Grafik Perubahan V_o Saat Hot dan Cold Junction Dipanaskan

Berdasarkan pengujian dari rangkaian pengkondisian sinyal termokopel yang dilakukan, rangkaian dapat digunakan sebagai monitoring suhu motor induksi.

4.1.4 Pengujian Keluaran Tachogenerator

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui hasil tegangan keluaran terhadap kecepatan putar tachogenerator. Keakurasian keluaran tegangan dari tachogenerator ini sangat mempengaruhi pembacaan kecepatan dari motor induksi. Dari hasil pengujian dapat diketahui hubungan antara kecepatan dan tegangan keluaran adalah linier yang terlihat pada Gambar 4.6.

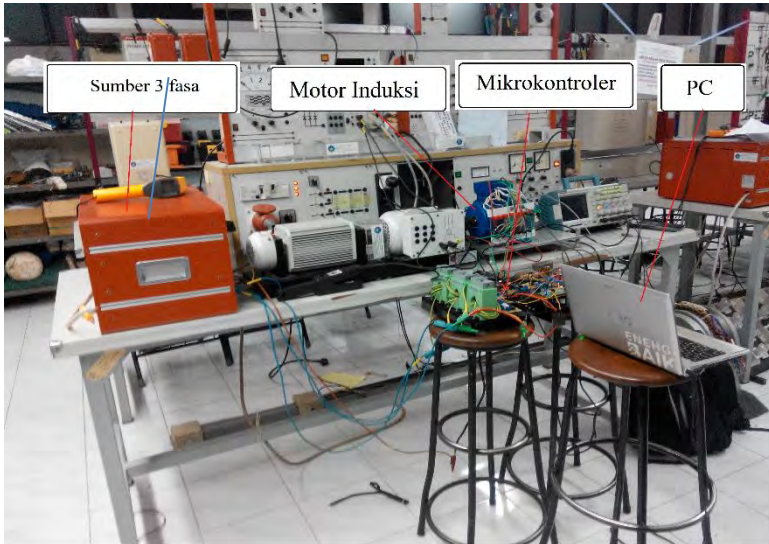


Gambar 4.6 Grafik Kecepatan - Tegangan

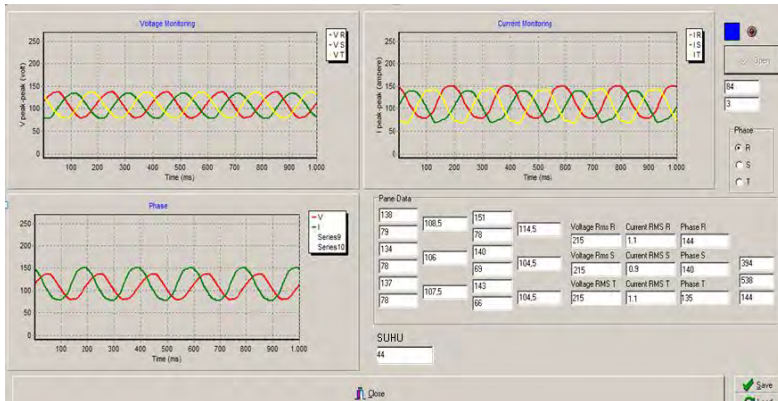
4.2 Pengujian Sistem

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja dari keseluruhan sistem yang dirancang. Pengujian ini juga digunakan untuk menentukan sudut fasa antara gelombang tegangan dan gelombang arus motor induksi tiga fasa pada saat normal maupun saat gangguan dengan variasi pembebanan 50 % dan 100%, untuk gangguan *inter-turn short circuit*. Untuk pengujian dilakukan pada laboratorium konversi energi

Pengujian dilakukan saat motor induksi dalam kondisi normal maupun diberikan gangguan dengan variasi pembebanan. Hasil salah satu tampilan pada saat kondisi normal dari *software monitoring* dan analisis gangguan *inter-turn short circuit* motor induksi dapat dilihat pada Gambar 4.8

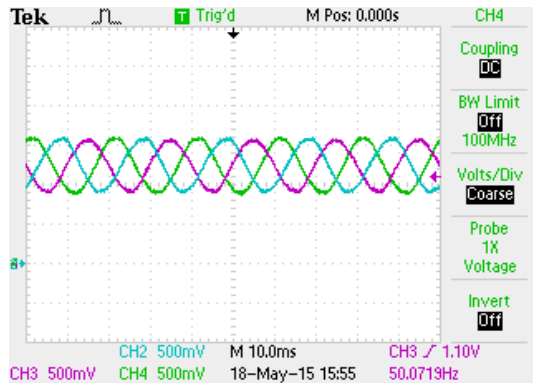


Gambar 4.7 Pengujian Sistem di Laboratorium Konversi Energi

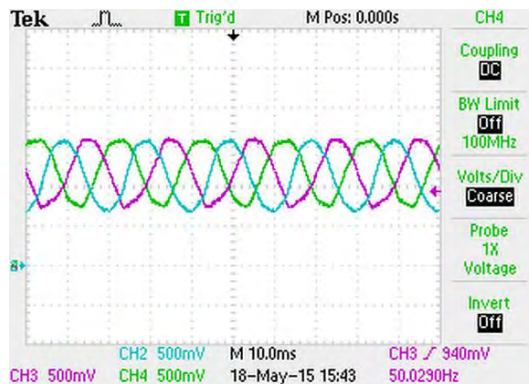


Gambar 4.8 Tampilan Hasil Pembacaan *Software Monitoring*

Pengujian ini dilakukan dengan motor pada kondisi hidup (online), input sensor tegangan berasal dari tegangan sumber atau terminal motor, untuk sensor arus juga merupakan arus pada sumber 3 fasa, pengujian yang dilakukan yaitu kondisi motor saat normal dan kondisi motor jika terjadi gangguan antar fasa. Yang digunakan sebagai pembanding sinyal adalah sinyal osiloskop. Pada gambar 4.9 merupakan output dari sensor tegangan dan 4.10 merupakan output dari sensor arus



Gambar 4.9 Sinyal Keluaran Sensor Tegangan



Gambar 4.10 Sinyal keluaran Sensor Arus

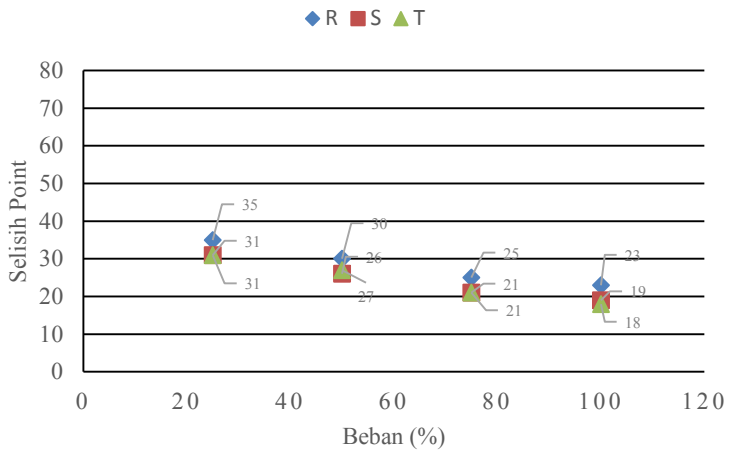
Dari pengujian motor pada kondisi normal, sinyal untuk masing-masing sensor tegangan, sensor arus dan sensor suhu sudah sesuai dengan sinyal osiloskop yang digunakan sebagai pembanding. Pada software monitoring akan ditampilkan bentuk sinyal dari masing-masing sensor, serta nilai dari tegangan dan arus, pada software monitoring akan menampilkan bentuk sinyal dari tegangan dan sinyal arus serta menampilkan beda fasa atau selisih dari sinyal tegangan dan sinyal arus dalam point .

4.2.1 Pengujian Motor Saat Keadaan Normal

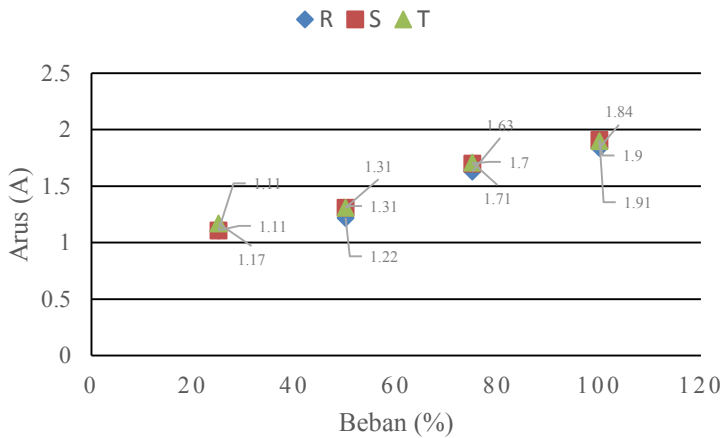
Pengujian pertama kali dilakukan yaitu pengujian pada saat motor dalam keadaan normal, setelah itu dilakukan pengujian terhadap variasi gangguan yaitu short circuit fasa R ke T, short circuit fasa R ke Netral dan yang terakhir yaitu inter turn short circuit pada fasa R. Pada pengujian ini, motor dijalankan secara normal tanpa terjadi gangguan dengan variasi pembebanan antara 25%, beban 50%, beban 75%, dan beban 100%. Pada Gambar 4.11 dapat dilihat spesifikasi motor induksi dan selisih data yang diperoleh pada saat keadaan normal pada fasa R. Turn yang digunakan dalam pengujian ini yaitu turn 1 untuk gangguan ringan dan turn 24 untuk gangguan berat.

Pengujian untuk mendeteksi dan mendiagnosis gangguan yang terjadi dilakukan dengan melihat pergeseran sudut fasa dari masing-masing fasa motor induksi serta dengan melihat dari karakteristik arusnya

Dapat dilihat dari gambar 4.11, karakteristik motor dalam keadaan normal adalah beda selisih data dari masing-masing fasa tidak terlalu besar, beda selisih data dari masing-masing fasa R, S dan T tidak lebih dari 14 point. Dengan adanya variasi pembebanan, jika beban bertambah maka selisih poin tegangan dan arus akan menurun. Untuk karakteristik arus dapat dilihat pada Gambar 4.12 Arus pada fasa R, S dan T hampir sama. Perbedaan tidak lebih dari 0,1 ampere. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa motor dalam keadaan normal apabila beda selisih data dari fasa R, S dan T tidak lebih dari 4 *point*. Sedangkan untuk arus tidak melebihi 0,1 Ampere.



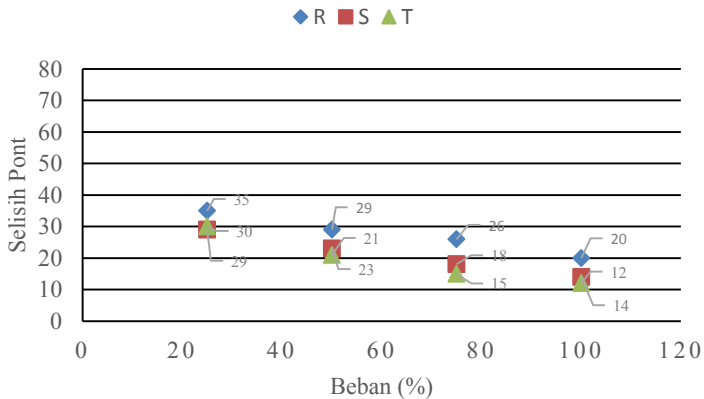
Gambar 4.11 Sudut Fasa Pada Kondisi Normal



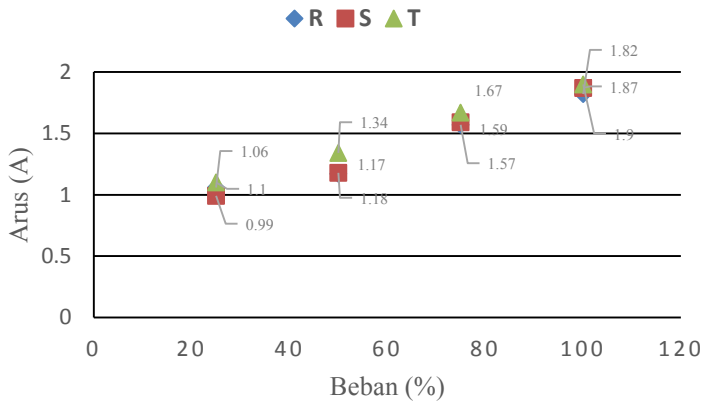
Gambar 4.12 Arus Pada Kondisi Normal

4.2.2 Pengujian Gangguan *Short Circuit* Fasa R dengan Fasa T

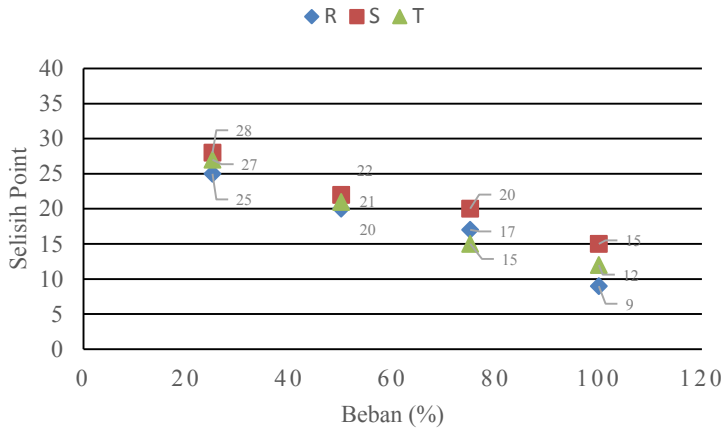
Pada pengujian untuk gangguan *Short Circuit* Fasa R dengan Fasa T ini dilakukan untuk mengetahui kinerja dari motor induksi tiga fasa saat kondisi tanpa beban maupun saat kondisi berbebandengan menggunakan variasi pembebanan. Untuk gangguan yang diberikan yaitu *short circuit* antara fasa R dengan fasa T pada *turn* 1 dan 24 dengan variasi pembebanan dari 25%, beban 50%, beban 75%, dan beban 100%.



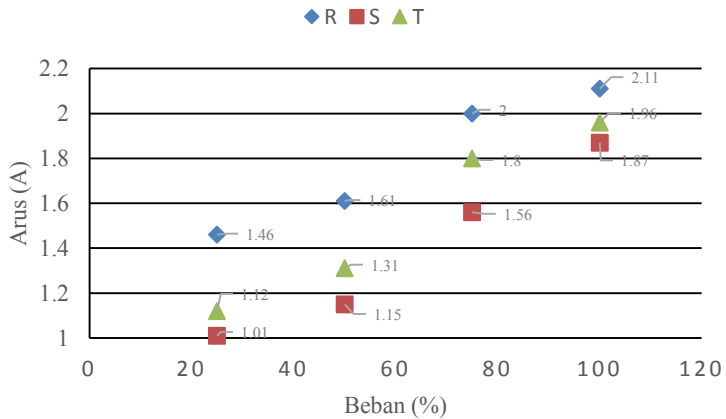
Gambar 4.13 Sudut Fasa Pada Kondisi *Short* R-T *Turn* 1



Gambar 4.14 Arus Pada Kondisi *Short* R-T *Turn* 1



Gambar 4.15 Sudut Fasa Pada Kondisi *Short* R-T Turn 24



Gambar 4.16 Arus Pada Kondisi *Short* R-T Turn 24

Pada gambar 4.13 beda selisih point dari masing-masing fasa mulai naik namun tidak terlalu besar, hal ini dikarenakan turn yang digunakan masih kecil yaitu turn 1. Namun besarnya selisih point yaitu 18 poin. Selisih poin yang didapatkan sudah melebihi dari 8 poin sehingga

dapat dikatakan tidak normal atau terjadi gangguan dengan adanya penambahan akan menurunkan selisih poin antara tegangan dan arus. Sementara untuk arusnya kenaikan belum terlalu signifikan.

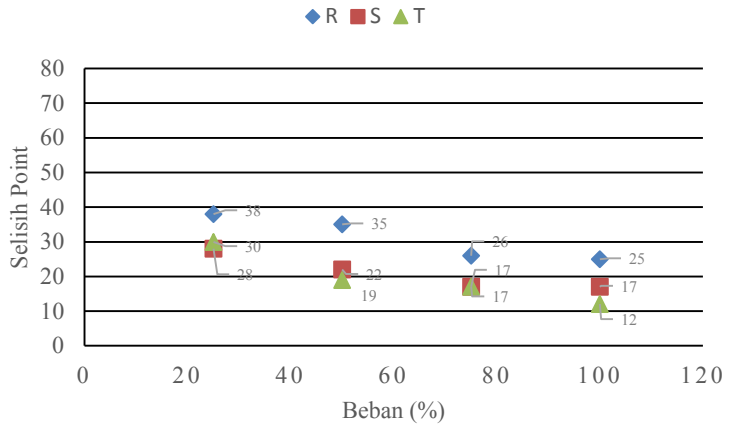
Pada gambar 4.15 menunjukkan selisih poin yang terbesar antara fasa R, fasa S dan fasa T yaitu 6 poin. Sedangkan beda selisih poin dari fasa R dan S juga cukup besar.

4.2.3 Pengujian Gangguan *Short Circuit* Fasa R dengan *Ground*

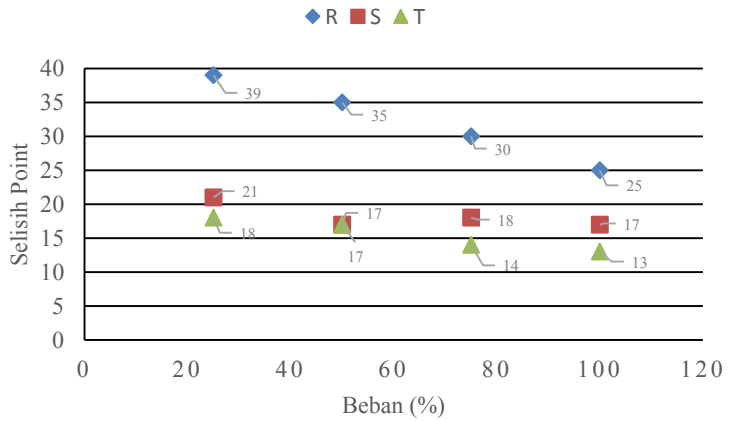
Pengujian ini dilakukan pada kondisi tanpa beban maupun kondisi berbeban dengan variasi gangguan. Adapun gangguan yang diberikan yaitu *short circuit* antara fasa R pada *tun 1* dengan *ground*, *short circuit* antara fasa R pada *tun 15* dengan *ground* dan *short circuit* antara fasa R pada *tun 24* dengan *ground*. Pada pengujian ini didapatkan data arus dan sudut fasa yang akan dijadikan referensi dalam mendiagnosis gangguan.

Dari pengujian yang telah dilakukan maka selisih point dari kondisi normal, *short circuit turn 1*, *short circuit turn 24* pada fasa R. Dari selisih data (point) yang telah didapat maka dapat diambil kesimpulan untuk *short circuit turn 1* pada fasa R-Ground pada gambar 4.17 perubahan selisih beda fasa belum terlihat secara signifikan dari keadaan normalnya yaitu sekitar 16 poin selisih yang terbesar, sementara untuk *short circuit turn 24* pada fasa R-ground perubahan selisih beda fasa terbesar yaitu sekitar 21 point yaitu pada gambar 4.18 bisa dikatakan pada saat terjadi hubung singkat pada fasa R – Ground selisih poin dari fasa R memiliki selisih yang besar dengan fasa yang lainnya

Dari gambar merupakan jumlah turn pada *short circuit* dilihat dari selisih pointnya, pengujian yang dilakukan yaitu *short circuit turn 1*, *short circuit turn 2*, *short circuit turn 3*, *short circuit turn 5*, *short circuit turn 15* dan *short circuit turn 24*. Dari data yang didapat semakin besar turn yang dihubung singkat pada fasa R misalnya maka selisih poinnya akan semakin besar pula.



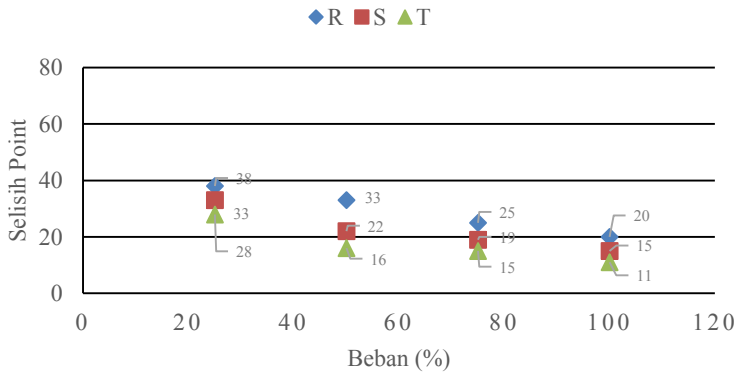
Gambar 4.17 Sudut Fasa Pada Kondisi *Short* R-Ground *Turn* 1



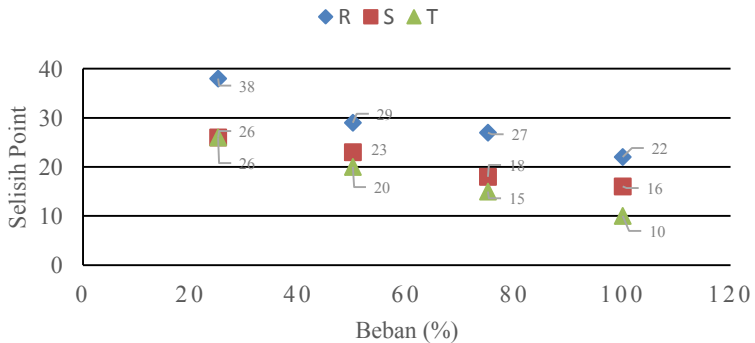
Gambar 4.18. Sudut Fasa Pada Kondisi *Short* R-Ground *Turn* 24

4.2.4 Pengujian Gangguan *Short Circuit* Fasa R

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja dari motor induksi tiga fasa saat kondisi tanpa beban maupun saat kondisi berbeban dengan variasi gangguan. Gangguan yang diberikan yaitu *short circuit* fasa R pada *turn* 1 dengan *turn* 5, *turn* 1 dengan *turn* 15, dan *turn* 1 dengan *turn* 24. Motor induksi yang di uji diberikan variasi pembebanan dari 25%, beban 50%, beban 75%, dan beban 100%. Pada pengujian ini didapatkan data berupa arus dan sudut fasa yang akan dijadikan acuan dalam mendiagnosis gangguan.



Gambar 4.19 Sudut Fasa Pada Kondisi Short R Turn 1- R turn 5



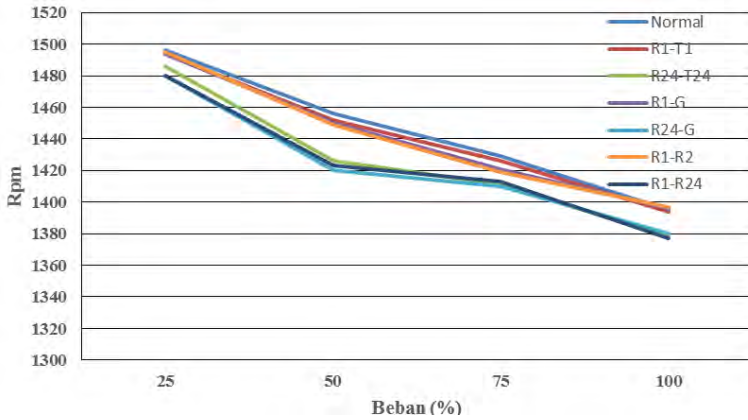
Gambar 4.20 Sudut Fasa Pada Kondisi Short R Turn 1- R turn 24

Pada Gambar 4.19 dan gambar 4.20 dapat dilihat beda selisih *point* antara fasa R dengan fasa S dan T besar sedangkan beda selisih *point* antara fasa S dengan T kecil. Hal ini terjadi karena fasa R yang mengalami gangguan sehingga hanya fasa R yang memiliki selisih *point* yang besar. Selain itu arus fasa R dan T lebih tinggi dibanding dengan fasa S. Hal ini terjadi karena hanya fasa R yang mengalami *short* sehingga fasa R memiliki arus yang besar dibandingkan fasa S. *Short circuit* ini hampir sama karakteristiknya dengan *short circuit* fasa R ke *ground*. Namun pada *short circuit* fasa ke *ground*. Selain itu pada *short circuit* fasa R memiliki beda selisih poin yang besar antara fasa R dengan fasa S dan T, sedangkan fasa S dan T memiliki beda selisih yang kecil.

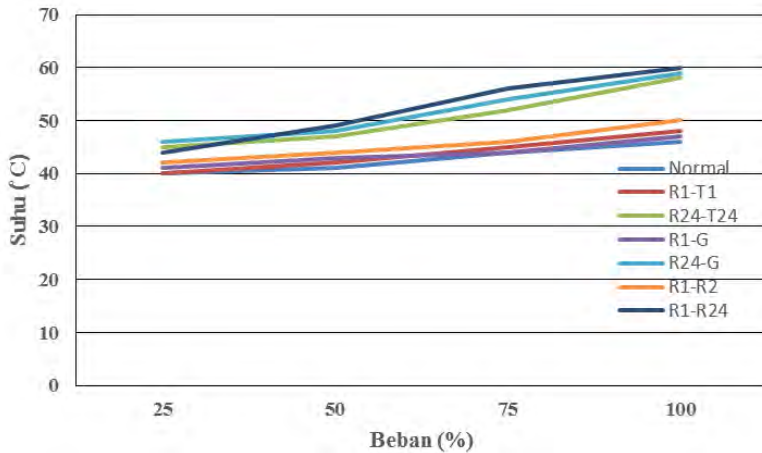
4.3 Pengukuran Kecepatan dan Suhu Motor Induksi

Untuk pengukuran kecepatan motor induksi dilakukan dengan menggunakan tachogenerator pada lab konversi energi, sementara untuk pengukuran suhu menggunakan adalah Fluke IR Thermometer Adapun data kecepatan dan suhu yang didapat berdasarkan kondisi motor ketika normal dan hubung singkat fasa R dengan *ground* untuk kondisi beban yang berbeda beda dapat dilihat pada gambar untuk grafik kecepatan dan gambar untuk suhu.

Pada saat motor induksi terjadi gangguan, kecepatan putar rotor berkurang. Hal ini disebabkan karena adanya penurunan jumlah belitan dari kumparan fasa yang terkena gangguan. Kumparan fasa yang tidak seimbang mengakibatkan arus yang mengalir pada tiap kumparan berbeda dibandingkan pada saat kondisi motor normal. Sehingga distribusi medan magnet menjadi berkurang dan melemah sehingga putaran rotor menjadi berkurang atau menurun dari kondisi normalnya. Pada gambar 4.21 menunjukkan perubahan kecepatan putaran motor saat kondisi normal maupun gangguan dengan variasi pembebanan. Sementara pada gambar 4.22 untuk suhu pada motor mengalami peningkatan baik itu ketika motor dalam keadaan normal, akan tetapi ketika motor dalam keadaan normal dengan variasi pembebanan suhu pada motor tidak naik secara signifikan. sementara untuk hubung singkat suhu motor cepat naik, dapat diartikan semakin besar *hubung singkat* maka suhu pada motor akan semakin meningkat dari keadaan normalnya, ini dikarenakan hubung singkat yang dilakukan akan menyebabkan isolasi pada belitan akan menurun sehingga arus pada fasa yang dihubung singkat akan semakin besar membuat arus pada motor tidak seimbang.



Gambar 4.21 Perubahan Kecepatan pada motor



Gambar 4.22 Perubahan Suhu pada Motor

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Sebagai penutup, ada beberapa hal yang dapat disimpulkan dari tugas akhir ini. Kecepatan ARM membuktikan bahwa proses sampling dan mengirim data ke PC melalui port serial bisa dieksekusi di dalam 1 chip dengan durasi 100 μ s untuk setiap sampling 100 ms. Setelah melakukan pengujian dari keseluruhan sistem dan berdasarkan data yang didapat, pada kondisi normal, Diagnosa *online* terhadap motor induksi dengan macam-macam gangguan dan pembebanan merupakan pemeriksaan terhadap kondisi motor induksi tiga fasa yaitu dengan cara mengukur dan menganalisa tegangan, arus, beda fasa, suhu, dan kecepatan.

Karakteristik motor dalam keadaan normal adalah beda selisih data dari masing-masing fasa tidak terlalu besar, beda selisih data dari masing-masing fasa R, S dan T tidak lebih dari 4 point. Dengan adanya variasi pembebanan, jika beban bertambah maka selisih poin tegangan akan menurun, dengan adanya hubungan singkat pada belitan stator motor induksi akan menyebabkan suhu pada motor akan naik dan untuk kecepatan pada motor sendiri akan menurun.

5.2 Saran

Dalam pengembangan dan penelitian berikutnya untuk meningkatkan kemampuan *monitoring* dan pendeteksian gangguan fasa stator motor induksi maka saran yang dapat penulis berikan adalah :

1. Trafo arus yang digunakan pada tugas akhir ini masih memiliki ratio terlalu besar, alangkah baiknya menggunakan trafo arus yang rasionya lebih kecil.
2. Dalam memonitoring motor induksi sebaiknya menggunakan mikrokontroler yang kecepatannya eksekusinya seperti mikrokontroler jenis AVR dan performanya seperti mikrokontroler jenis ARM sehingga proses monitoring dan analisa lebih baik lagi.

[halaman ini sengaja dikosongkan]

LAMPIRAN LIST PROGRAM

unit Unit1;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls,
Forms,
Dialogs, StdCtrls, Buttons, CPortCtl, CPort, TeEngine, Series,
ExtCtrls,
TeeProcs, Chart;

type

TForm1 = class(TForm)
ComPort1: TComPort;
ComLed1: TComLed;
BitBtn1: TBitBtn;
BitBtn2: TBitBtn;
Chart1: TChart;
Series1: TFastLineSeries;
Edit1: TEdit;
Edit2: TEdit;
Series2: TFastLineSeries;
Series3: TFastLineSeries;
Shape1: TShape;
OpenDialog1: TOpenDialog;
SaveDialog1: TSaveDialog;
BitBtn3: TBitBtn;
BitBtn4: TBitBtn;
Chart2: TChart;
Series4: TFastLineSeries;
Series5: TFastLineSeries;
Series6: TFastLineSeries;
GroupBox1: TGroupBox;
LabeledEdit1: TLabeledEdit;
LabeledEdit2: TLabeledEdit;

LabeledEdit3: TLabelledEdit;
LabeledEdit4: TLabelledEdit;
LabeledEdit5: TLabelledEdit;
LabeledEdit6: TLabelledEdit;
LabeledEdit7: TLabelledEdit;
LabeledEdit8: TLabelledEdit;
LabeledEdit9: TLabelledEdit;
Chart3: TChart;
Series7: TFastLineSeries;
Series8: TFastLineSeries;
RadioGroup1: TRadioGroup;
RadioButton1: TRadioButton;
RadioButton2: TRadioButton;
RadioButton3: TRadioButton;
Edit3: TEdit;
Edit4: TEdit;
Edit5: TEdit;
Edit6: TEdit;
Edit7: TEdit;
Edit8: TEdit;
Edit9: TEdit;
Edit10: TEdit;
Edit11: TEdit;
Edit12: TEdit;
Edit13: TEdit;
Edit14: TEdit;
Edit15: TEdit;
Edit16: TEdit;
Edit17: TEdit;
Edit18: TEdit;
Edit19: TEdit;
Edit20: TEdit;
Edit21: TEdit;
Edit22: TEdit;
Edit23: TEdit;
Series9: TFastLineSeries;
Series10: TFastLineSeries;
Edit24: TEdit;
Label1: TLabel;

```

procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
procedure ComPort1RxChar(Sender: TObject; Count: Integer);
procedure delay(lama:longint);
procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);

private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Form1: TForm1;

s,ref:int64;
data_ser : array [0..6010] of integer;
VVR,VVS,VVT,VIR,VIT,VIS : array [0..1002] of real;
ser,tanda,sumbu_x,inc,pos,awal,akhir,jarak : integer;

VmaxR,VminR,VmaxS,VminS,VmaxT,VminT,VrmsR,VrmsS,VrmsT:real;
ImaxR,IminR,ImaxS,IminS,ImaxT,IminT,IrmsR,IrmsS,IrmsT:real;
VcenR,VcenS,VcenT,IcenR,IcenS,IcenT:real;

pengali,pengurang,pengali2,pengurang2: real;
fileData : TStringList;
implementation

{$R *.dfm}

procedure createFile(nm_file, isi_file:String);
var
  myFile : TextFile;
begin

```

```

AssignFile(myFile, nm_file);
ReWrite(myFile);

WriteLn(myFile, isi_file);

CloseFile(myFile);
end;

procedure readFile(nm_file:String);
var lines,i : integer;
    saveLine : String;
begin
    fileData := TStringList.Create;
    fileData.LoadFromFile(nm_file);

    lines := fileData.Count;

    for i := 0 to lines - 1 do
    begin
        saveLine := fileData[i];
        fileData[i] := saveLine;
    end;
end;

procedure TForm1.delay(lama:longint);
begin
    ref:=gettickcount;
    repeat application.processmessages;
    until ((gettickcount-ref)>=lama);
end;

procedure TForm1.BitBtn1Click(Sender: TObject);
begin
    comport1.Open ;
    comport1.Connected := true;
    bitbtn1.Enabled :=false;
    tanda:=0;
end;

```

```

procedure TForm1.FormClose(Sender: TObject; var Action:
TCloseAction);
begin
comport1.Close;
end;

procedure TForm1.BitBtn2Click(Sender: TObject);
begin
application.Terminate ;
end;

procedure TForm1.ComPort1RxChar(Sender: TObject; Count: Integer);
begin
//pengali:=10.7424;
//pengurang:=1180;
pengali:=1;
pengurang:=0;

pengali2:=1;
pengurang2:=0;

//comport1.Read(ser[s],1);
//edit11.Text := inttostr(s);

comport1.Read(ser,1);
edit1.Text := inttostr(ser);
edit2.Text := inttostr(tanda);

if tanda=0 then
begin
if ser=14 then
begin
tanda:=1;
end
else
begin
tanda:=0;
end;
end;

```

```

end

else if tanda=1 then
begin
  if ser=10 then
  begin
    tanda:=2;
  end
  else
  begin
    tanda:=0;
  end;
end

else if tanda=2 then
begin
  if ser=91 then
  begin
    tanda:=3;
    inc:=1;
  end
  else
  begin
    tanda:=0;
  end;
end

else if tanda=3 then
begin
  //=====
  if inc<6001 then
  begin

    data_ser[inc]:=ser;
    //series1.AddXY(sumbu_x,ser);
    //sumbu_x:=sumbu_x+1;
    inc:=inc+1;
  end
  else

```

```

begin
  tanda:=4;
end;

end;

//===== proses selanjutnya
tampilkan grafik

if tanda=4 then
begin
inc:=1;
sumbu_x:=1;
series1.Clear;series2.Clear;series3.Clear;
series4.Clear;series5.Clear;series6.Clear;
series7.Clear;series8.Clear;

shape1.Brush.Color := clred;

VmaxR:=0;VmaxS:=0;VmaxT:=0;VminR:=255;VminS:=255;VminT:=
255;VrmsR:=0;VrmsS:=0;VrmsT:=0;

ImaxR:=0;ImaxS:=0;ImaxT:=0;IminR:=255;IminS:=255;IminT:=255;Irm
sR:=0;IrmsS:=0;IrmsT:=0;
  VcenR:=0;VcenS:=0;VcenT:=0;IcenR:=0;IcenS:=0;IcenT:=0;
  repeat

if VmaxR<data_ser[inc] then VmaxR:=data_ser[inc];
if VminR>data_ser[inc] then VminR:=data_ser[inc];
if VmaxS<data_ser[inc+1] then VmaxS:=data_ser[inc+1];
if VminS>data_ser[inc+1] then VminS:=data_ser[inc+1];
if VmaxT<data_ser[inc+2] then VmaxT:=data_ser[inc+2];
if VminT>data_ser[inc+2] then VminT:=data_ser[inc+2];

if ImaxR<data_ser[inc+3] then ImaxR:=data_ser[inc+3];
if IminR>data_ser[inc+3] then IminR:=data_ser[inc+3];

```

```
if ImaxS<data_ser[inc+4] then ImaxS:=data_ser[inc+4];
if IminS>data_ser[inc+4] then IminS:=data_ser[inc+4];
if ImaxT<data_ser[inc+5] then ImaxT:=data_ser[inc+5];
if IminT>data_ser[inc+5] then IminT:=data_ser[inc+5];
```

```
inc:=inc+6;
sumbu_x:=sumbu_x+1;
```

```
until sumbu_x>1000;
```

```
//=====
```

```
BitBtn3.Click ;
```

```
VcenR:=VmaxR/2+VminR/2;
VcenS:=VmaxS/2+VminS/2;
VcenT:=VmaxT/2+VminT/2;
IcenR:=ImaxR/2+IminR/2;
IcenS:=ImaxS/2+IminS/2;
IcenT:=ImaxT/2+IminT/2;
edit3.Text := floattostr(VmaxR);
edit4.Text := floattostr(VminR);
edit5.Text := floattostr(VmaxS);
edit6.Text := floattostr(VminS);
edit7.Text := floattostr(VmaxT);
edit8.Text := floattostr(VminT);
edit15.Text := floattostr(VcenR);
edit16.Text := floattostr(VcenS);
edit17.Text := floattostr(VcenT);
```

```
edit9.Text := floattostr(ImaxR);
edit10.Text := floattostr(IminR);
edit11.Text := floattostr(ImaxS);
edit12.Text := floattostr(IminS);
edit13.Text := floattostr(ImaxT);
edit14.Text := floattostr(IminT);
edit18.Text := floattostr(IcenR);
edit19.Text := floattostr(IcenS);
```

```

edit20.Text := floattostr(IcenT);
VrmsR:=(VmaxR-VminR)/(2*sqrt(2));
VrmsS:=(VmaxS-VminS)/(2*sqrt(2));
VrmsT:=(VmaxT-VminT)/(2*sqrt(2));
labelededit1.Text := floattostr(VrmsR);
labelededit2.Text := floattostr(VrmsS);
labelededit3.Text := floattostr(VrmsT);

// pengurang:=(VmaxR/2+VminR/2)-100;
// pengurang2:=(ImaxT/2+IminT/2)-100;

{ series9.AddXY(0,(VmaxR/2+VminR/2));
series9.AddXY(100,(VmaxR/2+VminR/2));
series10.AddXY(0,(ImaxR/2+IminR/2)-25);
series10.AddXY(100,(ImaxR/2+IminR/2)-25);
}
//=====
=====

inc:=1;
sumbu_x:=1;
repeat
series1.AddXY(sumbu_x,data_ser[inc]);
series2.AddXY(sumbu_x,data_ser[inc+1]);
series3.AddXY(sumbu_x,data_ser[inc+2]);
series4.AddXY(sumbu_x,data_ser[inc+3]);
series5.AddXY(sumbu_x,data_ser[inc+4]);
series6.AddXY(sumbu_x,data_ser[inc+5]);

if radiobutton1.Checked = true then
begin
series7.AddXY(sumbu_x,data_ser[inc]-pengurang);
series8.AddXY(sumbu_x,data_ser[inc+3]-pengurang2);
end
else if radiobutton2.Checked = true then
begin
series7.AddXY(sumbu_x,data_ser[inc+1]);

```



```

    series8.AddXY(sumbu_x,data_ser[inc+4]);
end
else if radiobutton3.Checked =true then
begin
    series7.AddXY(sumbu_x,data_ser[inc+2]);
    series8.AddXY(sumbu_x,data_ser[inc+5]);
end;

```

```

VVR[sumbu_x]:=data_ser[inc];
VVS[sumbu_x]:=data_ser[inc+1];
VVT[sumbu_x]:=data_ser[inc+2];
VIR[sumbu_x]:=data_ser[inc+3];
VIS[sumbu_x]:=data_ser[inc+4];
VIT[sumbu_x]:=data_ser[inc+5];

```

```

    inc:=inc+6;
    sumbu_x:=sumbu_x+1;
    until sumbu_x>1000;

```

```

//=====
=====

```

```

{inc:=301; //hati-hati bagian ini
edit24.Text := inttostr(inc);
edit25.Text := floattostr(VVR[inc]);
awal:=inc;}
if radiobutton1.Checked = true then //analisa phasa R
begin
    inc:=301;
    if VVR[inc]>VcenR then
    begin
        repeat
            inc:=inc+1;
            until VVR[inc]<VcenR; //tunggu hingga dibawah garis tengah
arah ke bawah
        repeat
            inc:=inc+1;
            until VVR[inc]>VcenR; //tunggu hingga digaris tengah arah
keatas

```

```

end
else if VVR[inc]<VcenR then
begin
repeat
inc:=inc+1;
until VVR[inc]>VcenR; //tunggu hingga digaris tengah arah
keatas
end
else
begin

end;
awal:=inc;
//=====================================================//
if VIR[inc]>IcenR then
begin
repeat
inc:=inc+1;
until VIR[inc]<IcenR; //tunggu hingga dibawah garis tengah
arah ke bawah
repeat
inc:=inc+1;
until VIR[inc]>IcenR; //tunggu hingga digaris tengah arah
keatas
end
else if VIR[inc]<IcenR then
begin
repeat
inc:=inc+1;
until VIR[inc]>IcenR; //tunggu hingga digaris tengah arah
keatas
end
else
begin

end;
akhir := inc;

```

```

end; //end dari radiobutton1
//*****
if radiobutton2.Checked = true then //analisa fasa S
begin
inc:=302;
if VVS[inc]>VcenS then
begin
repeat
inc:=inc+1;
until VVS[inc]<VcenS; //tunggu hingga dibawah garis tengah
arah ke bawah
repeat
inc:=inc+1;
until VVS[inc]>VcenS; //tunggu hingga digaris tengah arah
keatas
end
else if VVS[inc]<VcenS then
begin
repeat
inc:=inc+1;
until VVS[inc]>VcenS; //tunggu hingga digaris tengah arah
keatas
end
else
begin

end;
awal:=inc;
//=====//
if VIS[inc]>IcenS then
begin
repeat
inc:=inc+1;
until VIS[inc]<IcenS; //tunggu hingga dibawah garis tengah
arah ke bawah
repeat
inc:=inc+1;
until VIS[inc]>IcenS; //tunggu hingga digaris tengah arah keatas

```

```

end
else if VIS[inc]<IcenS then
begin
    repeat
        inc:=inc+1;
    until VIS[inc]>IcenS; //tunggu hingga digaris tengah arah keatas
end
else
begin

end;
akhir := inc;

end; //end dari radiobutton2
//*****
if radiobutton3.Checked = true then //analisa fasa T
begin
    inc:=303;
    if VVT[inc]>VcenT then
    begin
        repeat
            inc:=inc+1;
        until VVT[inc]<VcenT; //tunggu hingga dibawah garis tengah
arah ke bawah
        repeat
            inc:=inc+1;
        until VVT[inc]>VcenT; //tunggu hingga digaris tengah arah
keatas
    end
    else if VVT[inc]<VcenT then
    begin
        repeat
            inc:=inc+1;
        until VVT[inc]>VcenT; //tunggu hingga digaris tengah arah
keatas
    end
end
end

```

```

else
begin

end;
awal:=inc;
//=====//
if VIT[inc]>IcenT then
begin
repeat
inc:=inc+1;
until VIT[inc]<IcenT; //tunggu hingga dibawah garis tengah
arah ke bawah
repeat
inc:=inc+1;
until VIT[inc]>IcenT; //tunggu hingga digaris tengah arah
keatas
end
else if VIT[inc]<IcenT then
begin
repeat
inc:=inc+1;
until VIT[inc]>IcenT; //tunggu hingga digaris tengah arah
keatas
end
else
begin

end;
akhir := inc;

end; //end dari radiobutton3
//=====//
=====

akhir:=inc;
jarak:=akhir-awal;

```

```

edit21.Text := inttostr(awal);
edit22.Text := inttostr(akhir);
edit23.Text := inttostr(jarak);

//=====
=====
    delay(1000);
    shape1.Brush.Color := clblue;
    tanda:=0;
    BitBtn3.Click ;
end;

end;

procedure TForm1.BitBtn3Click(Sender: TObject);
var
    VR,VS,VT,DIR,DIS,DIT:textfile;

begin

assignfile(VR,'C:\CooCox\GUI\dbvr.txt');
assignfile(VS,'C:\CooCox\GUI\dbvs.txt');
assignfile(VT,'C:\CooCox\GUI\dbvt.txt');
assignfile(DIR,'C:\CooCox\GUI\dbir.txt');
assignfile(DIS,'C:\CooCox\GUI\dbis.txt');
assignfile(DIT,'C:\CooCox\GUI\dbit.txt');
Rewrite (VR);
Rewrite (VS);
Rewrite (VT);
Rewrite (DIR);
Rewrite (DIS);
Rewrite (DIT);

inc:=1;

```

```
repeat
writeLn(VR,floattostr((data_ser[inc]*pengali)-pengurang));
writeLn(VS,floattostr((data_ser[inc+1]*pengali)-pengurang));
writeLn(VT,floattostr((data_ser[inc+2]*pengali)-pengurang));
writeLn(DIR,floattostr((data_ser[inc]*pengali2)-pengurang2));
writeLn(DIS,floattostr((data_ser[inc+1]*pengali2)-pengurang2));
writeLn(DIT,floattostr((data_ser[inc+2]*pengali2)-pengurang2));
```

```
inc:=inc+6;
until inc>6000;
CloseFile(VR);
CloseFile(VS);
CloseFile(VT);
CloseFile(DIR);
CloseFile(DIS);
CloseFile(DIT);
```

end;

end.