

TUGAS AKHIR

SIMULASI SISTEM MONITORING GETARAN, SUHU DAN ARUS PADA MOTOR INDUKSI

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Elektro Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

RIZA FIKRI MAULANA
1707220015



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2021**

HALAMAN PENGESAHAN

Proposal penelitian Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : RIZA FIKRI MAULANA
NPM : 1707220015
Program Studi : TEKNIK ELEKTRO
Judul Skripsi : SIMULASI SISTEM MONITORING GETARAN, SUHU
DAN ARUS PADA MOTOR INDUKSI
Bidang ilmu : SISTEM KONTROL

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai penelitian tugas akhir diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 31 Agustus 2021

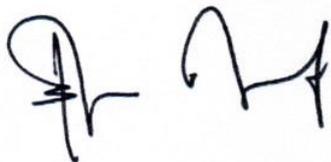
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T.

Dosen Penguji I



Elvy Sahnur Nasution S.T.,M.Pd

Dosen Penguji II



Ir Abdul Azis, M.M

Ketua Program Studi Teknik Elektro
Ketua,



Faisal Irsan Pasaribu, S.T., M.T.

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : RIZA FIKRI MAULANA

Tempat /Tanggal Lahir: Medan, 27 November 1999

NPM : 1707220015

Fakultas : TEKNIK

Program Studi : TEKNIK ELEKTRO

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“SIMULASI SISTEM MONITORING GETARAN, SUHU DAN ARUS PADA MOTOR INDUKSI”,

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 15 April 2022

Saya yang menyatakan,

A 10,000 Rupiah postage stamp is placed over the signature. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'REPUBLIK INDONESIA', '10000', and 'METERAI TEMPEL'. The serial number 'C4554AJX859188153' is visible at the bottom of the stamp.

RIZA FIKRI MAULANA

ABSTRAK

Pada dunia industri pemeliharaan motor induksi sangatlah penting dengan cara mengetahui getaran, suhu dan arus pada motor induksi yang dioperasikan secara berkala. Perlu adanya alat yang bisa memantau getaran, suhu dan arus pada motor induksi yang digunakan secara berkala sehingga pengoperasiannya dapat di pantau dengan memberi batas maksimal dari 3 parameter tersebut. Dalam penelitian ini penulis merancang alat simulasi untuk me mantau getara, suhu dan arus yang di hasilkan pada saat motor induksi di operasikan dengan nilai maksimal dari 3 parameter tersebut mengacu pada nilai getaran berpedoman pada ISO 10816-3, kenaikan temperatur motor menggunakan perhitungan temperatur total kumparan menggunakan metode resistansi dan pada arus maksimal motor induksi disesuaikan dengan name plat motor yang digunakan sehingga menimalisir human eror pada saat pelaksanaan prefentiv pada motor induksi yang dioperasikan. Untuk membaca nilai getaran penulis menggunakan sensor ADXL 335, untuk suhu menggunakan sensor DS18B20 dan untuk arus menggunakan sensor SCT-013. Setelah dilakukan pengujian didapat kan nilai total rata-rata sensor sebesar $\leq 2\%$.

Kata Kunci : *Sistem Monitoring, Getaran, Suhu, Arus, Motor Induksi.*

ABSTRACT

In the industrial world, induction motor maintenance is very important by knowing the vibration, temperature and current in an induction motor that is operated regularly. It's necessary to have a tool that can monitor vibration, temperature and current on an induction motor that is used periodically so that it's operation can be monitored by giving a maximum limit of these 3 parameters. In this study the authors designed a simulation tool to monitor the vibration, temperature and current generated when the induction motor is operated with the maximum value of the 3 parameters referring to the vibration value guided by ISO 10816-3, the increase in motor temperature using the calculation of the total coil temperature. Using the resistance method and at the maximum current the induction motor is adjusted to the name plate of the motor used so as to minimize human errors during preventive implementation on the induction motor that is operated. To read the vibration value the author uses the ADXL 335 sensor, for temperature uses the DS18B20 sensor for current uses the SCT-013 sensor. After testing, the average error value of each sensor used in this research was only $\leq 2\%$.

Key Word : System Monitoring, Vibration, Temperature, Current, Induction Motor

KATA PENGANTAR

Dengan nam Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karuni dan nikmat yang tiada terikira. Salah satu nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini yang berjudul “Simulasi Sistem Monitoring Getaran, Suhu dan Arus Pada Motor Induksi” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik sarjana teknik pada program studi teknik elektro, fakultas teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

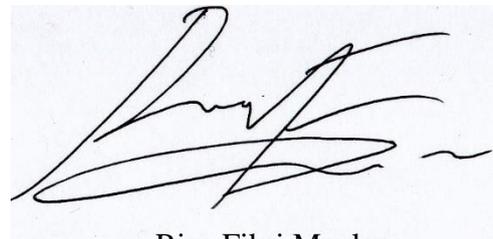
Selesainya penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT, karena atas berkah dan izin-Mu saya dapat menyelesaikan tugas akhir dan studi di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Bapak (Joko Harianto) dan Ibu (Elpidawati) tercinta, yang telah mendidik dan membesarkan penulis dengan cinta kasih sehingga penulis bisa seperti ini.
3. Bapak Faisal Irsan Pasaribu S.T, M.T, selaku dosen pembimbing dan ketua jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing, memberikan arahan dan motivasi kepada penulis.
4. Ibu Elvy Sahnur Nasution, ST, M.Pd. selaku Sekretaris Prodi dan Dosen Pembanding II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Ir. Abdul Aziz, MM. selaku Dosen Pembanding I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Munawar Alfansury S.T, M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Segenap bapak dan ibu dosen di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Bapak/ibu staf administrasi biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Perempuan kesayangan saya Tasya Alfitra dan Monika Safinda yang telah membantu saya dalam mengolah data hasil penelitian.
10. Kepada teman seperjuangan Fakultas Teknik Elektro terutama kelas A3 Malam

Proposal tugas akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran penulis di masa depan. Semoga proposal tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan khususnya penulis sendiri. Sebelum dan sesudahnya penulis mengucapkan terima kasih.

Medan, 31 Agustus 2021



Riza Fikri Maulana

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR GRAFIK.....	xi
BAB 1	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II.....	4
TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Studi Literatur.....	4
2.2 Motor Induksi	5
2.2.1 Pengertian Motor Induksi.....	5
2.2.2 Konstruksi Motor Induksi	6
2.2.3 Prinsip Kerja Motor Induksi	11
2.2.4 Sumber 3 fase atau 1 fase.....	17
2.2.5 Slip	19
2.2.6 Torsi Motor Induksi	20
2.2.7 Efisiensi pada Motor Induksi	23
2.3 Kerusakan Pada Motor Induksi	25
2.4 Parameter Kerusakan Pada Motor Induksi	26
2.4.1 Getaran Pada Motor Induksi (<i>Vibration On Induction Motor</i>)	26
2.4.1.1 Perpindahan Getaran (Vibration Displacement)	27
2.4.1.2 Kecepatan Getaran (Vibration Velocity).....	27
2.4.1.3 Percepatan Getaran (Acceleration Vibration)	28
2.4.2 Kenaikan Suhu belitan pada stator	31
2.4.3 Arus Maksimum Pada Motor Induksi	33

2.5	Sensor Accelerometer ADXL 335	35
2.6	Sensor Suhu DS18B20	35
2.7	Sensor Arus YHDC SCT 013-000	36
2.8	Vibrasi Meter Balmac Model 200M	37
2.9	Clamp On Tester <i>Yokogawa CL-150</i>	38
2.10	Arduino Uno R3	38
2.11	Microsoft Visual Basic	39
BAB III		40
METODOLOGI PENELITIAN.....		40
3.1	Tempat dan Waktu	40
3.1.1	Tempat.....	40
3.1.2	Waktu.....	40
3.2	Alat dan Bahan	41
3.2.1	Alat.....	41
3.2.2	Bahan.....	45
3.3	Alur Penelitian.....	52
3.4	Alur Perancangan Alat	53
3.5	Skema Rangkaian	54
BAB IV		55
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		55
4.1	Hasil Rancangan Alat.....	55
4.2	Cara Kerja Alat.....	56
4.3	Kode Program Alat.....	56
4.3.1	Kode Program Alat Pada Arduino IDE.....	56
4.3.2	Tampilan HMI (<i>Human Machine Interface</i>) Pada Visual Basic.....	64
4.4	Hasil <i>Monitoring</i>	65
4.4.1	Monitoring Getaran.....	65
4.4.2	Monitoring Suhu	66
4.4.3	Monitoring Arus.....	67
4.5	Persentase Error Sensor.....	69
4.5.1	Persentase Error Sensor Getar ADXL 335	69
4.5.2	Persentase Error Sensor Suhu DS18B20.....	71
4.5.3	Persentase Error Sensor Arus SCT 013.....	75
BAB V.....		80
PENUTUP.....		80
5.1	Kesimpulan.....	80

5.2	Saran.....	81
	DAFTAR PUSTAKA	82

DAFTAR TABEL

Tabel 1 memperlihatkan jenis kehilangan untuk motor induksi.....	24
Tabel 2. Persentase kerusakan pada komponen	25
Tabel 3. Perbandingan arus asut dengan arus nominal motor induksi standar NEMA ¹⁷	34
Tabel 3.1 Waktu Pelaksanaan	40
Tabel 3.3 Perangkat dan Alat Yang Digunakan.....	45
Tabel 3.4 Bahan Yang Digunakan	50
Tabel 4.1 Hasil ujicoba <i>monitoring</i> sensor getar	65
Tabel 4.2 Hasil ujicoba <i>monitoring</i> sensor suhu.....	69
Tabel 4.3 Hasil ujicoba <i>monitoring</i> sensor arus phase R.....	67
Tabel 4.4 Hasil ujicoba <i>monitoring</i> sensor arus phase S	68
Tabel 4.5 Hasil ujicoba <i>monitoring</i> sensor arus phase T	68
Tabel 4.6 Persentase eror sensor getar ADXL 335	69
Tabel 4.7 Parameter metode resistansi.....	71
Tabel 4.8 Perbandingan sensor DS18B20 dengan Temperatur total kumparan ...	73
Tabel 4.9 Persentase nilai eror sensor arus phase R	75
Tabel 4.10 Persentase nilai eror sensor arus phase S	76
Tabel 4.11 Persentase nilai eror sensor arus phase T.....	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 (a) Bentuk fisik motor induksi (b) Motor induksi dilihat kedalam	6
Gambar 2.2 Pengaplikasian motor induksi di industri	6
Gambar 2.3 Stator motor induksi	7
Gambar 2.4 Celah udara pada motor induksi	7
Gambar 2.5 (a) Stator dan rotor sangkar (b) Rotor belitan	8
Gambar 2.7 Konstruksi rotor sangkar motor induksi	9
Gambar 2.8 Rangkaian motor induksi rotor sangkar menggunakan autotransformator atau saklar λ - Δ	9
Gambar 2.9 Air gap antara stator dan rotor pada motor induksi	11
Gambar 2.10 Bentuk hubungan sederhana kumparan motor induksi 3 fase dengan dua kutup stator	13
Gambar 2.11 Fluks yang dihasilkan motor induksi 3 fase dari gambar 2.10	14
Gambar 2.12 Bentuk perputaran fluks stator dari gambar 2.7	15
Gambar 2.13 Teori perputaran medan ganda pada motor induksi 1 fase	17
Gambar 2.14 Ilustrasi vibrasi dengan piringan hitam	26
Gambar 2.15 Hubungan Fase Antara Displacement, Velocity, dan Acceleration	29
Gambar 2.16 Nilai vibrasi pada suatu motor induksi berdasarkan ISO 10816-3	29
Gambar 2.17 Nilai tingkat keparahan kecepatan getaran motor listrik berdasarkan standard yang dikeluarkan balmac inc untuk alat vibrasi meter model 200	30
Gambar 2.18 Definisi kelas motor induksi	30
Gambar 2.19 Kelas Isolasi Motor Standard NEMA	33
Gambar 2.20 Module ADXL 335	35
Gambar 2.21 Module Sensor Suhu DS18B20	36
Gambar 2.22 Sensor Arus YHDC SCT 013-000	37
Gambar 2.23 Balmac Vibration Meter Model 200M	37
Gambar 2.24 <i>Clamp On Tester</i> YOKOGAWA CL-150	38
Gambar 2.25 Arduino Uno R3	38
Gambar 2.26 Microsoft Visual Basic	39
Gambar 3.1 Tampilan Software Multisim Versi 14	41
Gambar 3.2 Tampilan Arduino IDE	42
Gambar 3.3 Visual Basic	42
Gambar 3.4 Laptop	43
Gambar 3.5 Tang Potong Plato	43
Gambar 3.6 Obeng Kombinasi	44
Gambar 3.7 Solder Listrik	44

Gambar 3.8 Kabel AWG 22.....	46
Gambar 3.9 Akrilik Ukuran A3	47
Gambar 3.10 <i>Power Supply</i> 12 VDC 5 A	47
Gambar 3.11 MCB 2 Ampere.....	48
Gambar 3.12 Aviation Connector	48
Gambar 3.13 Kipas Pendingin	49
Gambar 3.14 Magnet MountBase	49
Gambar 3.15 Relay 5VDC	50
Gambar 3.1 Skema Rangkaian Alat.....	54
Gambar 4.1 Kit Alat Simulasi.....	55
Gambar 4.2 Tampilan HMI pada Visual Basic.....	64

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.2 Perbandingan ADXL 335 dengan vibrasi meter Balmac	70
Grafik 4.2 Perbandingan sensor suhu DS18B20 dengan Tt motor induksi	73
Grafik 4.3 Perbandingan sensor SCT-013 phase R dengan CM CL 150.....	75
Grafik 4.4 Perbandingan sensor SCT-013 phase S dengan CM CL 150	77
Grafik 4.5 Perbandingan sensor SCT-013 phase T dengan CM CL 150.....	78

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor induksi merupakan alat listrik yang mengubah energi listrik menjadi energy mekanik yang berupa tenaga putar (Meidiasha et al., 2020). Motor induksi bekerja berdasarkan induksi medan eleromanetik dari kumparan stator ke rotornya, motor induksi digunakan di seluruh dunia dalam berbagai aplikasi untuk mengubah energy listrik menjadi energy mekanik.

Pada dewasa ini, perkembangan industri di Indonesia semakin meningkat, banyak ditemukan penggunaan motor listrik untuk berbagai macam keperluan. Pada perkembangannya, motor induksi telah mendominasi bidang konversi energy elektromekanik dengan penggunaan sekitar 80% dari berbagai jenis motor listrik yang digunakan di perindustrian (Septianto, 2015). Pemakaiannya meliputi banyak hal yang berkaitan dengan tenaga putar.

Motor induksi memang di rancang untuk memiliki banyak keunggulan, adapun kelebihan motor induksi adalah memiliki konstruksi yang sederhana, kehandalan yang tinggi, biaya yang relatif lebih murah dibandingkan dengan motor jenis yang lain. Disamping keunggulannya, motor induksi juga dapat mengalami gangguan. Lingkungan kerja, instalasi dan faktor produksi bisa menyebabkan kerusakan pada rotor dan stator. Kerusakan tersebut tidak hanya menurunkan efisiensi kerja dari motor induksi, melainkan bisa menimbulkan pengaruh bahaya untuk produksi yang berkelanjutan dan keamanannya.

Ada beberapa hal yang dapat mempengaruhi kerusakan pada motor yaitu tegangan, arus, frekuensi, temperature, getaran, kebisingan (*noise*). (Meidiasha et al., 2020) Sehingga perlu adanya preventif untuk mengetahui kerusakan dini pada motor-motor induksi yang di operasikan di lapangan.

Temperatur atau suhu berpengaruh terhadap motor induksi, bila motor induksi terus mengalami suhu yang tinggi maka akan menyebabkan arus pada motor naik dan belitan pada motor induksi mengalami kerusakan (Imam Faqih, 2020). Dalam pemakainya motor induksi akan mengalami keausan dan penurunan kemampuan berupa gangguan atau kerusakan pada *bearing* dan *unbalce* dapat terjadi pada mesin tersebut tanpa terlihat secara visual, maka dapat dilakukan

pengecekan dengan pengecekan getaran induksi yang di operasikan. Perawatan yang dapat dilakukan dengan cara sistem *monitoring* motor induksi(Rachmanu et al., 2017).

Pada setiap pengoperasian motor induksi pasti dilaksanakannya preventif untuk meminimalisir kerusakan pada motor induksi yang dilakukan oleh teknisi elektrik yang ada. Tetapi pada kasus-kasus kerusakan yang didapati penulis dilapangan, sulitnya mendeteksi dini nilai tidak wajar dari getaran, temperature belitan, dan arus pada motor induksi secara *real time*. Sehingga menurunkan persentase tingkat keefektifitasan dari kegiatan preventif yang dilakukan.

1.2 Rumusan Masalah

Penggunaan motor listrik sangat dibutuhkan. Namun karena penempatan motor listrik diberbagai lingkungan areal industri dan jauh dari operatornya, menyebabkan motor listrik rentan mengalami kerusakan. Getaran serta *noise* dari mesin lain yang dapat mengurangi keefektifitasan hasil preventif motor induksi di lapangan. Perlu adanya suatu sistem yang dapat menampilkan secara real time nilai dari suhu, getaran dan arus dari motor listrik yang di operasikan.

1. Bagaimana merancang alat untuk memonitoring getaran, suhu dan arus pada motor induksi agar kerusakan dari ketiga parameter tersebut terdeteksi sedini mungkin?
2. Berapakah batas maksimal dari ketiga parameter tersebut pada suatu motor induksi yang akan di uji nanti?
3. Bagaimanakah karakteristik motor induksi yang layak dan tidak layak digunakan?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Karena luasnya permasalahan, penulis merasa perlu untuk membatasi masalah yang akan dibahas dalam laporan ini. Mengingat keterbatasan waktu, tempat dan pengalaman, adapun hal-hal yang dibatasi dalam penelitian ini adalah.

1. Perancangan alat monitoring menggunakan sensor suhu (*DS18B20*), Sensor getar (*Module MPU6050*) dan sensor arus (*SCT-013*) untuk mendeteksi

kemungkinan kerusakan pada motor induksi

2. Penggunaan alat ukur vibration meter Balmac Model 200M sebagai pembanding dalam pengujian batas parameter getaran, analisis temperatur total pada motor induksi menggunakan metode resistansi dengan hasil pembacaan sensor suhu DS18b20 untuk mencari selisih nilai yang ditampilkan sensor dan penggunaang alat ukur clamp meter Yokogawa CL-150 sebagai pembanding pada pengujian parameter arus
3. Analisis karakteristik motor induksi yang layak dan tidak layak

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari sistem monitoring ini adalah sebagai berikut.

1. Merancang alat sistem monitoring dari getaran, suhu dan arus pada motor induksi yang dapat ditampilkan pada *Human Machine Interface (HMI)*
2. Menampilkan nilai dari suhu, getaran dan arus motor induksi pada saat motor tersebut dioperasikan secara realtime yang akan ditampilkan pada software Visual Basic
3. Menganalisa nilai batas maksimal dari 3 parameter di atas pada suatu motor induksi agar menentukan karakteristik motor induksi.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Meminimalisasi kerusakan pada motor induksi yang dioperasikan.
2. Meningkatkan efisiensi dari sistem preventif pengecekan gejala-gejala kerusakan pada motor induksi.
3. Dapat memantau karakteristik motor induksi yang dioperasikan secara *realtime*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Literatur

Studi literatur ini berisikan tentang pengaruh getaran, suhu dan temperatur terhadap kinerja pada motor induksi. Hasil dari studi literatur ini penulis jadikan masukan serta parameter yang menjadi data pembanding dalam pengambilan keputusan dalam melakukan uji coba alat yang akan di rancang.

Motor induksi adalah motor yang paling umum digunakan dalam system control gerak industry serta pada kebutuhan rumah tangga. Desain sederhana, harga yang relatif murah, kokoh dan menghasilkan putaran yang konstan adalah keunggulan utama motor induksi (Septianto, 2015). Motor induksi memiliki prinsip kerja yang sangat rekat dengan medan magnet, motor induksi ini merubah energy listrik mejadi energy mekanik untuk diaplikasikan pada setiap penggerak putar.

Awal mula penyebutan motor induksi itu sendiri berasal dari kenyataanya dimana arus rotor pada motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi arus terinduksi berasal akibat adanya perbedaan relatif antara putaran dari rotor dengan medan putar (*Rotating Magnetic Field*) yang dihasilkan arus pada stator. (Parekh, 2003).

Dalam berbagai macam pengaplikasian dari motor induksi ini, sesuai masa pengoperasian motor tersebut tentunya tidak sedikit pula masalah yang akan terjadi ataupun gejala-gejala kerusakanya. Meskipun ada perawatan berkala (*preventive*

maintenance) dilaksanakan dengan maksimal, tetapi pada kenyataanya kadang kala kerusakan tidak dapat dihindari efeknya berdampak pada kegiatan produksi dari perusahaan itu sendiri selain kerugian materil perusahaan juga mengalami kerugian dari segi hal biaya. Bila tidak cepat ditangani kerusakan pada motor induksi dapat mengakibatkan kerusakan semakin parah, oleh karena itu perlu adanya kemampuan untuk menganalisa atau memonitoring kondisi motor induksi yag dioperasikan sehingga gejala-gejala kerusakan yang ada pada motor tersebut dapat diketahui sedini mungkin (Prayogo, 2019)

Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi terjadinya kerusakan pada motor induksi yaitu tegangan, arus, frekuensi, keseimbangan kekebalan tegangan, temperatur, getaran (*vibration*), kebisingan (*noise*) (Meidiasha et al., 2020)

Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Setiono et al., 2020) pada saat motor induksi mengalami *looseness* vibrasi yang dihasilkan bersifat tidak tentu terkadang mengalami kenaikan dan sebaliknya, karena rusaknya tumpuan support motor induksi setelah adanya kelonggaran atau keausan pada support tumpuan motor diperbaiki amplitudo getarannya menurun dan jika kerusakan terjadi pada bearing vibrasi cenderung tinggi dan menunjukkan nilai yang konstan, hal ini dipengaruhi karena adanya gesekan antara ball bearing dan rumah bearing.

Selain getaran, kelipatan suhu pada motor induksi dioperasikan juga harus diperhatikan. Untuk beberapa tipe motor, ada nilai batas kenaikan temperatur maksimal yang boleh diizinkan, namun apabila motor mengalami kenaikan diluar batas nilai yang diizinkan. Motor harus segera diberhentikan atau terlepas dari sumber listrik agar meminimalisir kerusakan yang lebih parah.(Fasa et al., n.d.)

2.2 Motor Induksi

2.2.1 Pengertian Motor Induksi

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (AC) yang sangat luas penggunaannya, dikatan motor induksi karena berdasarkan induksi medan magnet stator ke rotornya. Umumnya, motor induksi terdiri dari dua komponen utama yaitu bagian stator dan rotor. Stator adalah bagian komponen yang diam dan letaknya diluar sedangkan stator mempunyai coil yang apabila di aliri oleh arus bolak balik (AC) akan menghasilkan medan magnet yang berputar dan letaknya berada di sebelah dalam stator. Rotor bisa bergerak karena adanya torsi yang bekerja pada poros dimana torsi tersebut ada akibat medan magnet yang berputar.

Motor induksi yang paling umum digunakan adalah motor induksi 3 fase dan motor induksi 1 fase. Motor induksi 3 fase dioperasikan pada system tenaga 3 fase dan banyak digunakan dalam kebutuhan industry dengan kapasitas yang besar sedangkan motor induksi 1 fase lebih sering digunakan untuk kebutuhan rumah tangga karena mempunyai daya keluaran yang rendah. Bentuk gambaran motor induksi 3 fase diperlihatkan pada

gambar 2.1 dan contoh penerapan motor induksi ini diindustri diperlihatkan pada gambar 2.2.



(a)



(b)

Gambar 2.1 (a) Bentuk fisik motor induksi (b) Motor induksi dilihat kedalam



Gambar 2.2 Pengaplikasian motor induksi di industri

2.2.2 Konstruksi Motor Induksi

Motor induksi pada umumnya memiliki konstruksi stator yang sama dengan motor sinkron hanya saja konstruksi pada rotor yang memiliki perbedaan. Stator tersebut dibentuk dari lapisan laminasi tipis yang terbuat dari besi atau besi tuang kemudian dipasak bersama – sama untuk membentuk inti stator yang diperlihatkan pada gambar 2.3. Kumputan (*coil*) dari konduktor yang terisolasi kemudian disisipkan ke dalam slot stator tersebut.

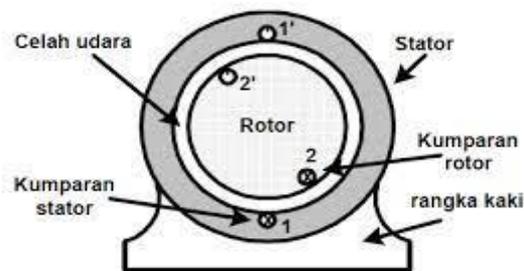
Pada dasarnya motor induksi mempunyai 3 bagian penting seperti berikut.

1. Stator, Stator merupakan bagian yang tidak bergerak pada motor induksi dan mempunyai kumparan (*coil*) yang menghasilkan induksi medan elektromagnetik kepada rotornya.



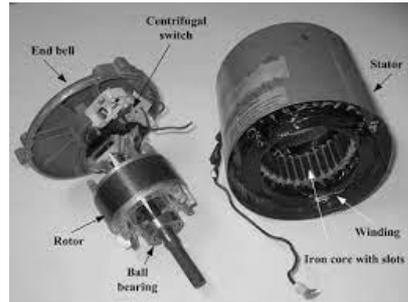
Gambar 2.3 Stator motor induksi.

2. Celah udara, Celah udara ini merupakan gap antara stator dan rotor yang menjadi tempat berpindahnya energy stator ke rotor

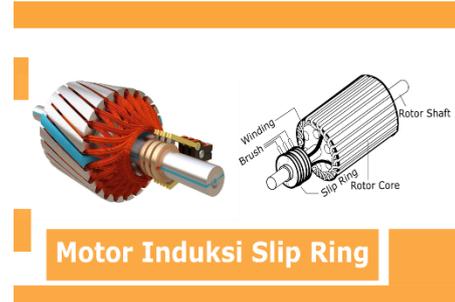


Gambar 2.4 Celah udara pada motor induksi

3. Rotor, Rotor merupakan bagian yang bergerak dari motor induksi dikarenakan adanya induksi magnet dari kumparan stator yang diindusikan kepada kumparan rotor.



(a)



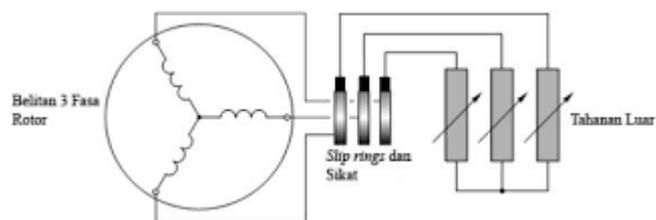
(b)

Gambar 2.5 (a) Stator dan rotor sangkar (b) Rotor belitan

a. Rotor Belitan (*Wound Motor*)

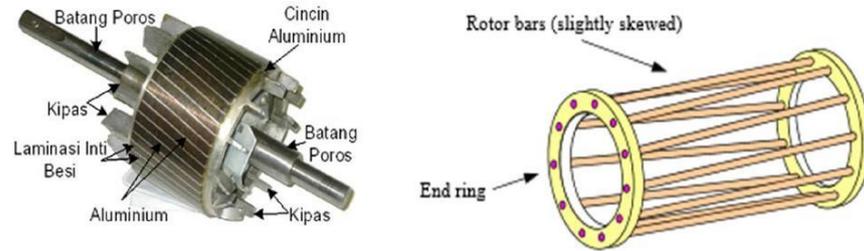
Motor induksi juga mempunyai rotor dengan belitan kumparan 3 fase sama seperti kumpara pada stator. Kumparan stator dan rotor juga mempunyai jumlah kutub yang sama. Penambahan tahanan luar sampai ke nilai tertentu dapat membuat membuat kopel mula dapat mencapai nilai kopel maksimumnya dimana pada start awal memang dibutuhkan kopel mula yang besar.

Motor induksi yang memiliki rotor belitan memungkinkan penambahan (pengaturan) tahanan luar. Tahan luar yang dapat diatur ini dihubungkan ke rotor melalui cincin. Selain untuk menghasilkan kopel mula yang besar pada start awa, disamping itudengan menguba – ubah tahanan luar kecepatan motor dapat diatur. Gambar rotor belitan tertera pada gambar 2.5 dan berikut rangkaian motor induksi rotor belitan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Rangkaian motor induksi rotor belitan terhubung dengan tahanan luar.

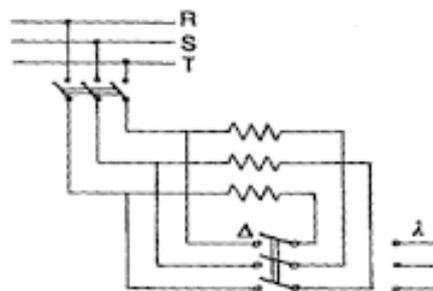
b. Rotor Sangkar (*Squirrel Cage*)



Gambar 2.7 Konstruksi rotor sangkar motor induksi

Motor induksi dengan rotor sangkar dengan kumparan yang terdiri dari beberapa batang konduktor yang disusun sedemikian rupa hingga mempunyai sangkar tupai, rotor jenis ini memiliki konstruksi paling sederhana dibandingkan dengan jenis yang lain serta memiliki harga yang relatif lebih murah.

Untuk batas nilai arus mula yang besar, tegangan sumber arus harus dikurangi dan biasanya digunakan *autotransformator* atau saklar λ - Δ . Akibat berkurangnya arus akan berakibat berkurangnya kopel mula. Untuk mengatasinya hal ini dapat digunakan rotor jenis sangkar ganda.



Gambar 2.8 Rangkaian motor induksi rotor sangkar menggunakan autotransformator atau saklar λ - Δ .

Ada beberapa bagian – bagian konstruksi umum dari stator motor induksi sebagai berikut:

1. Rumah stator atau biasa disebut rangka stator dari besi tuang.
2. Inti stator dari besi lunak atau baja silikon.
3. Alur atau slot, berbahan sama dengan inti stator dimana alur ini merupakan tempat meletakkan belitan *coil* stator.
4. Belitan *coil* stator yang terbuat dari tembaga.

Rangka pada stator motor induksi didisain dengan baik dengan tujuan sebagai berikut :

1. Menutupi inti dan kumparanya.
2. Melindungi bagian – bagian dari motor induksi yang bergerak dari kontak langsung dengan manusia dan dari goresan maupun gesekan yang disebabkan oleh gangguan objek maupun gangguan udara terbuka (cuaca luar).
3. Menyalurkan torsi yang di hasilkan ke bagian peralatan pendukung mesin dan oleh karena itu stator didisain untuk bisa bertahan terhadap gaya putar dan guncangan.
4. Berfungsi sebagai sarana rumah ventilasi udara sehingga pendinginan lebih efektif.

Berdasarkan bentuk konstruksi rotornya, maka motor induksi dapat dibagi menjadi dua jenis seperti yang di perhatikan pada gambar 2.5, yaitu :

1. Motor induksi dengan rotor sangkar (*squirrel cage*).
2. Motor induksi dengan rotor belitan (*wound motor*).

Konstruksi pada stator motor induksi terdiri dari bagian – bagian sebagai berikut :

1. Inti rotor, untuk rotor belitan (*wound motor*) terbuat dari besi lunak atau baja silikon sama dengan inti stator .
2. Alur, terbuat dari besi lunak maupun baja silikon sama dengan inti. Rotor yang mempunyai alur adalah rotor belitan (*wound motor*).
3. Belitan rotor pada rotor belitan, bahanya terbuat dari tembaga.
4. Poros atau shaft, terbuat dari besi baja yang kuat.

Diantara stator dan rotor terdapat celah udara (*air gap*) yang merupakan ruang antara stator dan rotor. Pada *air gap* ini lewat fluks induksi yang dihasilkan stator memotong rotor sehingga menyebabkan rotor bisa berputar. *Air gap* yang terdapat antara stator dan rotor diatur seefisien mungkin untuk mendapatkan hasil kerja motor yang maksimal. Apabila *air gap* yang tercipta terlalu besar maka hasil kerja dari motor induksi tidak efisien begitupun sebaliknya jika *air gap* yang ada pada motor induksi tersebut kecil ataupun sempit akan menimbulkan kesukaran mekanis pada mesin. Bentuk gambaran *air gap* yang baik secara konstruksi diperlihatkan pada gambar 2.4 dan secara aplikatif di perlihatkan pada gambar 2.9 (Cendana, 2018).



Gambar 2.9 Air gap antara stator dan rotor pada motor induksi.

2.2.3 Prinsip Kerja Motor Induksi

Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator kepada kumparan rotornya. Bila kumparan stator motor induksi 3 fase yang dihubungkan dengan sumber listrik 3 fase, maka kumparan stator menghasilkan medan magnet yang berputar. Garis – garis gaya fluks yang terinduksi dari kumparan stator akan memotong kumparan rotornya sehingga menimbulkan emf (ggl) atau tegangan induksi. Karena penghantar kumparan (*coil*) rotor merupakan rangkaian tertutup, maka akan mengalir arus pada kumparan rotor. Penghantar kumparan (*coil*) rotor yang dialiri arus ini berada dalam garis gaya fluks yang berasal dari

kumparan stator sehingga kumparan rotor akan mengalami gaya Lorentz yang menimbulkan torsi yang cenderung menggerakkan rotor sesuai dengan arah pergerakan medan induksi stator.

Medan putar pada stator tersebut akan memotong konduktor-konduktor pada rotor, sehingga terinduksi arus sesuai dengan Hukum Lenz, rotor pun akan turut berputar mengikuti medan putar stator. Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut slip. Dengan bertambahnya beban, akan memperbesar kopel motor yang oleh karenanya akan memperbesar arus induksi pada rotor, sehingga slip antara medan putar stator dan putaran rotor pun akan bertambah besar. Jadi, bila beban motor bertambah, putaran rotor cenderung menurun,

Pada rangkaian stator terdapat kumparan stator yang ditempatkan pada slot-slotnya yang dililitkan pada sejumlah kutub tertentu. Jumlah kutub ini menentukan kecepatan berputarnya medan stator yang terjadi yang diinduksikan ke rotornya. Makin besar jumlah kutub maka akan mengakibatkan makin kecilnya kecepatan medan stator dan sebaliknya. Kecepatan berputarnya medan putar ini disebut kecepatan sinkron. Besarnya kecepatan sinkron ini adalah sebagai berikut :

$$\omega_{sink} = 2\pi f \left(\text{listrik}, \frac{\text{rad}}{\text{dt}} \right) \tag{2.1}$$

$$= 2\pi f / P \left(\text{Mekanik}, \frac{\text{rad}}{\text{dt}} \right)$$

Atau :

$$N_s = 60 \cdot f / P \text{ (putaran/menit, rpm)} \tag{2.2}$$

Dimana :

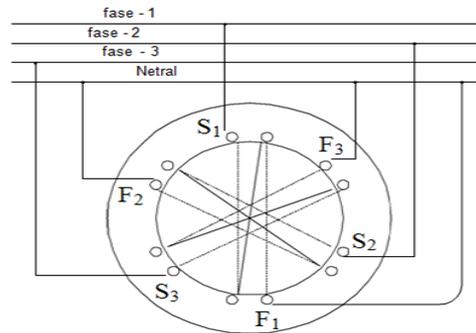
f = frekuensi sumber AC (Hz)

P = jumlah pasang kutup

N_s dan ω_{sink} = kecepatan putaran sinkron medan magnet stator

Prinsip kerja motor induksi berdasarkan pengasutan fase sumber tegangannya dapat dijelaskan lebih lanjut sebagai berikut.

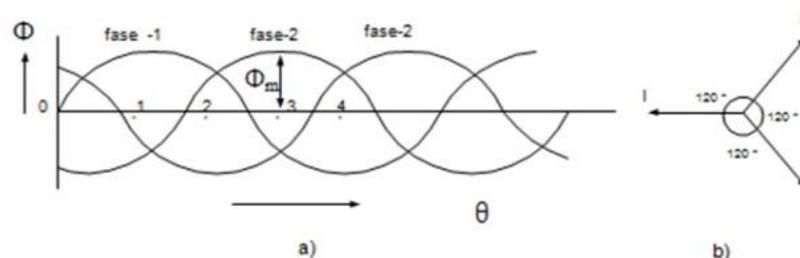
1. Sumber 3- fase



Gambar 2.10 Bentuk hubungan sederhana kumparan motor induksi 3 fase dengan dua kutub stator.

Sumber 3-fase ini biasanya digunakan oleh motor induksi 3-fase. Motor induksi 3- fase ini mempunyai kumparan 3-fase yang terpisah antar satu sama lainnya sejarak 120° listrik yang dialiri oleh arus listrik 3-fase yang berbeda 120° listrik antar fasenya, sehingga keadaan ini menghasilkan resultan fluks magnet yang berputar seperti halnya kutub magnet actual yang berputar secara mekanik. Bentuk gambaran sederhana hubungan kumparan motor induksi 3-fase dengan dua kutub stator diperlihatkan pada gambar 2.9.

Bentuk gambaran fluk yang terjadi pada motor induksi 3- fase diperlihatkan pada gambar 2.11 (fluks yang terjadi pada kumparan 3- fase diasumsikan sinusoidal seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.11a dengan arah fluks positif seperti gambar 2.11b)



Gambar 2.11 Fluks yang dihasilkan motor induksi 3 fase dari gambar 2.10

Bila dimisalkan nilai fluks maksimum yang terjadi pada salah satu fasenya disebut ϕ_m , maka resultan fluks ϕ_r pada setiap saat diperoleh dengan menambahkan vector dari masing - masing fluks ϕ_1 , ϕ_2 dan ϕ_3 akibat dari pengasutan 3 fasenya. Apabila nilai dari ϕ_r dihitung setiap $1/6$ periode dari gambar 2.11a dengan mengambil titik - titik 0, 1, 2 dan 3 maka akan diperoleh bentuk gambaran perputaran fluks stator seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.11 sehingga didapatkan sebagai berikut.

(i) Saat $\theta = 0^\circ$ pada gambar 2.11a akan diperoleh :

$$\phi_1 = 0, \phi_2 = -\left[\frac{\sqrt{3}}{2}\right] x \phi_m, \phi_3 = \left[\frac{\sqrt{3}}{2}\right] x \phi_m$$

Penjumlahan vector dari ketiga vector ϕ_1 , ϕ_2 dan ϕ_3 ini menghasilkan vector ϕ_r seperti yang di perlihatkan pada gambar 2.11(i) dengan perhitungan :

$$\phi_r = 2 x \left[\frac{\sqrt{3}}{2}\right] x \phi_m x \cos(60^\circ/2) = \sqrt{3} x \left[\frac{\sqrt{3}}{2}\right] x \phi_m = (3/2) \phi_m$$

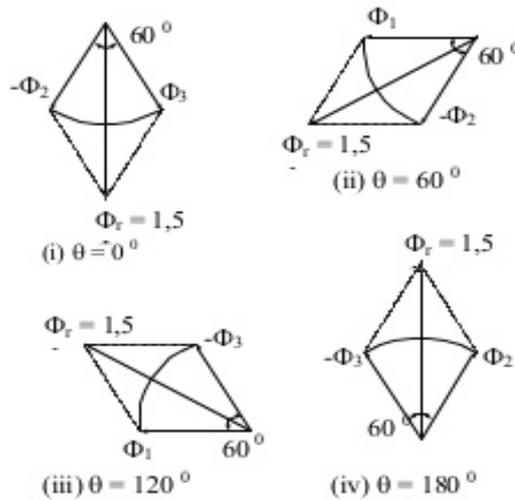
(ii) Saat $\theta = 60^\circ$ pada gambar 2.11a akan diperoleh :

$$\phi_1 = \left[\frac{\sqrt{3}}{2}\right] x \phi_m, \phi_2 = -\left[\frac{\sqrt{3}}{2}\right] x \phi_m, \phi_3 = 0$$

Penjumlahan vector dari ketiga vector ϕ_1 , ϕ_2 dan ϕ_3 ini menghasilkan vector ϕ_r seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.11 (ii) dengan perhitungan :

$$\phi_r = 2 x \left[\frac{\sqrt{3}}{2}\right] x \phi_m x \cos(60^\circ/2) = \sqrt{3} x \left[\frac{\sqrt{3}}{2}\right] x \phi_m = (3/2) \phi_m$$

Disini dapat disimpulkan bahwa resultan fluks yang dihasilkan adalah tetap sebesar $(3/2) \phi_m$ dan berputar searah jarum jam dengan besar sudut sebesar 60° .



Gambar 2.12 Bentuk perputaran fluks stator dari gambar 2.7

Saat $\theta = 120^\circ$ pada gambar 2.11a akan di peroleh :

$$\phi_1 = \left[\frac{\sqrt{3}}{2} \right] x \phi_m, \phi_2 = 0, \phi_3 = - \left[\frac{\sqrt{3}}{2} \right] x \phi_m$$

Penjumlahan vector dari ketiga vector ϕ_1 , ϕ_2 dan ϕ_3 ini menghasilkan vector ϕ_r seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.12(iii) dengan perhitungan :

$$\phi_r = 2 x \left[\frac{\sqrt{3}}{2} \right] x \phi_m x \cos(60^\circ/2) = \sqrt{3} x \left[\frac{\sqrt{3}}{2} \right] x \phi_m = (3/2) \phi_m$$

Disini dapat dilihat bahwa resultan fluks yang dihasilkan adalah tetap lagi sebesar $(3/2) \phi_m$ dan berputar lagi searah dengan putaran jarum jam dengan nilai sudut sebesar 60° atau 120° dari saat awal.

(iii) Saat $\theta = 180^\circ$ pada gambar 2.11a akan diperoleh :

$$\phi_1 = \left[\frac{\sqrt{3}}{2} \right] x \phi_m, \phi_2 = - \left[\frac{\sqrt{3}}{2} \right] x \phi_m, \phi_3 = 0$$

Penjumlahan vector dari ketiga vector ϕ_1 , ϕ_2 dan ϕ_3 ini menghasilkan vector ϕ_r seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.12(iv) dengan perhitungan :

$$\phi_r = 2 x \left[\frac{\sqrt{3}}{2} \right] x \phi_m x \cos(60^\circ/2) = \sqrt{3} x \left[\frac{\sqrt{3}}{2} \right] x \phi_m = (3/2) \phi_m$$

Disini dapat dilihat bahwa resultan fluks yang dihasilkan adalah tetap lagi sebesar $(3/2) \phi_m$ dan berputar lagi serah dengan putran jarum jam dengan nilai sudut sebesar 60^0 dan 180^0 dari saat awal.

Dari uraian yang telah dijabarkan diatas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Resultan fluks yang dihasilkan konstan sebesar $(3/2) \phi_m$ yaitu 1,5 kali dari fluks maksimum yang terjadi dari setiap fasenya.
2. Resultan fluks yang terjadi akan berputar disekeliling stator dengan kecepatan konstan sebesar 60 f/P sesuai dengan yang sudah dijabarkan diatas.

Besarnya nilai fluks konstan yang terjadi pada motor induksi 3 fase juga bisa dibuktikan secara matematik. Yaitu dengan cara mengambil salah satu fase 1 sebagai refrensi maka didapatkan sebagai berikut.

Misalkan fluks yang dihasilkan oleh kumparan a-a (fase 1) pada saat “t” dapat dinyatakan dalam koordinat polar sebagai berikut :

$$\phi_1 = \phi \cos \phi \tag{2.3}$$

Fluks yang dihasilkan oleh kumparan b-b (fasa 2) dan c-c (fasa 3) masing-masing adalah :

$$\phi_2 = \phi_b \cos(\phi - 120^\circ) \tag{2.4}$$

$$\phi_3 = \phi_c \cos(240^\circ) \tag{2.5}$$

Karena amplitude fluks berubah menurut waktu secara sinusoid, maka amplitude ϕ_a , ϕ_b dan ϕ_c dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\phi_a = \phi_{maks} \cos \omega t \tag{2.6}$$

$$\phi_b = \phi_{maks} \cos(\omega t - 120^\circ) \tag{2.7}$$

$$\phi_c = \phi_{maks} \cos(\omega t - 240^\circ) \tag{2.8}$$

Fluks resultan adalah jumlah ketiga fluks tersebut merupakan fungsi tempat (ϕ) dan waktu (t), sehingga diperoleh:

$$\phi_t(\phi, t) = \phi_m \cos \omega t \cos \phi + \phi_m \cos(\phi - 120^\circ) \cos(\omega t - 120^\circ) + \phi_m \cos(\phi - 240^\circ) \cos(\omega t - 240^\circ)$$

Dengan memakai transformasi trigonometri dari :

$$\cos \alpha \cos \beta = \frac{1}{2} \cos(\alpha - \beta) + \frac{1}{2} \cos(\alpha + \beta) \quad (2.9)$$

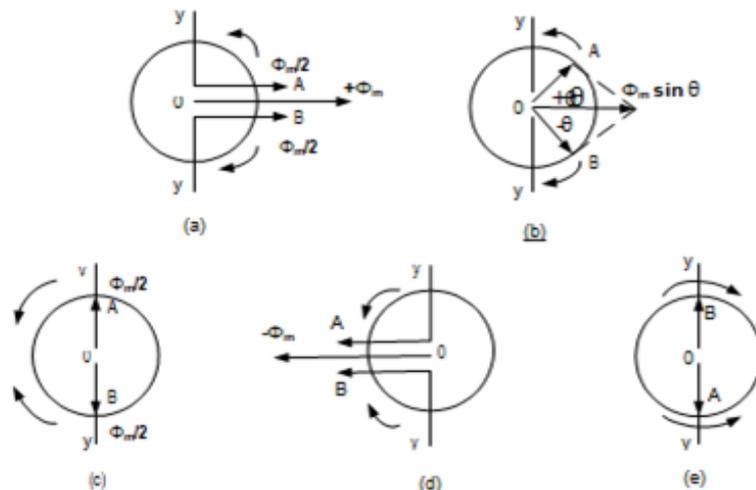
didapat:

$$\begin{aligned} \phi_t(\phi, t) &= \frac{1}{2} \phi_m \cos(\phi - \omega t) + \frac{1}{2} \phi_m \cos(\phi + \omega t) \\ &\quad + \frac{1}{2} \phi_m \cos(\phi - \omega t) + \frac{1}{2} \phi_m \cos(\phi + \omega t - 240^\circ) \\ &\quad + \frac{1}{2} \phi_m \cos(\phi - \omega t) + \frac{1}{2} \phi_m \cos(\phi + \omega t - 480^\circ) \end{aligned}$$

Suk kedua, keempat, dan keenam saling menghapuskan, maka diperoleh:

$$\phi_t(\phi, t) = 1,5 \phi_m \cos(\phi - \omega t) \quad (2.10)$$

2.2.4 Sumber 3 fase atau 1 fase



Gambar 2.13 Teori perputaran medan ganda pada motor induksi 1 fase

Pada dasarnya, prinsip prinsip kerja motor induksi 1- fasa sama dengan motor induksi 2- fasa yang tidak simetris karena pada kumparan

statornya dibuat dua kumparan yaitu kumparan bantu dan kumparan utama yang mempunyai perbedaan secara listrik dimana antara masing-masing kumparannya tidak mempunyai nilai impedansi yang sama dan umumnya motor bekerja dengan satu kumparan stator (kumparan utama). Khusus untuk motor kapasitor- start kapasitor- run, maka motor ini dapat dikatakan bekerja seperti halnya motor induksi 2- fasa yang simetris karena motor ini bekerja dengan kedua kumparannya (kumparan bantu dan kumparan utama) mulai dari start sampai saat jalan (*running*).

Motor induksi 1-fase yang bekerja dengan satu kumparan stator pada saat jalan (*running*) dapat dikatakan bekerja bukan berdasarkan medan putar, tetapi bekerja berdasarkan gabungan medan maju dan medan mundur. Bila salah satu medan tersebut dibuat lebih besar maka rotornya akan berputar mengikuti perputaran medan ini. Bentuk gambaran proses terjadinya medan maju dan medan mundur ini dapat dijelaskan dengan menggunakan teori perputaran medan ganda seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.13.

Gambar 2.13 memperlihatkan bahwa fluks sinusoidal bolak balik dapat ditampilkan sebagai dua fluks yang berputar, dimana masing-masing fluks bernilai setengah dari nilai fluks bolak-baliknya yang berputar dengan kecepatan sinkron dengan arah yang berlawanan. Pada gambar . Gambar 2.13 memperlihatkan bahwa fluks total yang dihasilkan sebesar Φ_m disebabkan oleh pengaruh dari masing – masing komponen fluks A dan B yang bernilai $\frac{\Phi_m}{2}$ yang berputar dengan arah yang berlawanan. Setelah fluks A dan B berputar – putar sebesar $+\theta$ dan $-\theta$ (pada gambar) resultan fluks yang terjadi menjadi $2 \times (\Phi_m / 2) \sin(2\theta/2) = \Phi_m \sin \theta$. Selanjutnya setelah setengah lingkaran (gambar) resultan fluks A dan B akan mempunyai harga yang saling menghilangkan. Setelah setengah lingkaran (gambar) resultan fluks A dan fluks B akan menghasilkan $-2 \times (\Phi_m/2) = -\Phi_m$ (arah berlawanan dengan gambar). Selanjutnya setelah $3/4$ lingkaran (gambar) resultan fluks A dan B yang terjadi adalah medan

maju dan medan mundur karena pengaruh fluks magnet bolak balik yang dihasilkan oleh sumber arus bolak balik.

2.2.5 Slip

Apabila rotor dari motor induksi berputar dengan kecepatan N_r , dan medan magnet stator berputar dengan kecepatan N_s , maka bila ditinjau perbedaan kecepatan relatif antara kecepatan medan magnet putar stator terhadap kecepatan rotor, ini disebut kecepatan slip yang besarnya sebagai berikut. (Rimbawati et al., 2017)

$$\text{Kecepatan slip} = N_s - N_r \quad (2.11)$$

Kemudian slip (s) adalah:

$$S = \frac{N_s - N_r}{N_r} \quad (2.12)$$

Frekuensi yang dibangkitkan pada belitan rotor adalah f_2 dimana

$$f_2 = \frac{(N_s - N_r) p}{120} \quad (2.13)$$

Dengan : p = jumlah kutub magnet stator.

Sedangkan frekuensi medan putar stator adalah f_1 dimana

$$f_1 = \frac{N_s p}{120} \quad (2.14)$$

Dari persamaan – persamaan di atas akan diperoleh :

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{(N_s - N_r) p}{N_s p}, f_2 = sf_1 \quad (2.15)$$

Apabila, slip = 0 (karena $N_s = N_r$) maka $f_2 = 0$. Apabila rotor ditahan slip = 1 (karena $N_r = 0$) maka $f_2 = f_1$. Dari persamaan $f_2 = sf_1$, diketahui bahwa frekuensi rotor dipengaruhi oleh slip. Oleh karena GGL induksi dan reaktansi pada rotor merupakan fungsi frekuensi maka besarnya juga turut dipengaruhi oleh slip. Besarnya GGI induksi efektif pada kumparan stator adalah:

$$E_1 = 4,44 f_1 N_1 \Phi_m \quad (2.16)$$

Selanjutnya, besarnya GGL induksi efektif pada kumparan rotor adalah:

$$\begin{aligned} E_{2s} &= 4,44 f_2 N_2 \Phi_m & (2.17) \\ &= 4,44 s f_1 N_2 \Phi_m \\ &= s \cdot E_2 \end{aligned}$$

dimana:

$E_2 =$ GGL pada saat rotor diam ($N_r = N_s$)

$E_{2s} =$ GGL pada saat rotor berputar

$N_1 =$ Jumlah lilitan primer (lilitan stator)

$N_2 =$ Jumlah lilitan sekunder (lilitan rotor)

Karena kumparan rotor mempunyai reaktansi induktif yang di pengaruhi oleh frekuensi, maka dapat dibuatkan :

$$\begin{aligned} x_{2s} &= 2\pi f_2 L_2 & (2.18) \\ &= 2\pi s \cdot f_1 L_2 \\ &= s x_2 \end{aligned}$$

Dengan :

$x_{2s} =$ Reaktansi pada saat rotor berputar.

$x_2 =$ Reaktansi pada saat motor diam.

2.2.6 Torsi Motor Induksi

Torsi berhubungan dengan kemampuan motor untuk mesuplai beban mekanik, oleh karena itu Torsi (T) secara umum dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$T = \frac{P_m}{\omega_r} \quad (2.19)$$

Dengan: $\omega_r =$ kecepatan sudut (mekanik) dari rotor.

Dari persamaan (2.19) dapat dibuat bahwa $N_r = N_s(1-s)$, sehingga diperoleh pula: $\omega_t = \omega_s (1-s)$ (2.20)

Bila dilihat torsi mekanik yang di transfer pada rotornya (perhatikan gambar) akan diperoleh hasil sebagai berikut.

$$T_g = \frac{1}{\omega_s} \frac{sE_2}{\omega_2 X_2} \quad (2.21)$$

Dimana:

$$k = \frac{E_2}{\omega_2 X_2}$$

$$\alpha = \frac{r^2}{x_2}$$

Torsi start yang dibutuhkan pada motor induksi dapat dihitung dengan memasukkan nilai $s = 1$ pada persamaan (2.21). selanjutnya dengan memperhatikan persamaan (2.22), torsi mekanik yang bermanfaat untuk memutar rotor menjadi

$$T_m = \frac{1}{\omega_s} P_m = P_g(1-s) = \frac{s\alpha}{s^2+a^2} k \quad (2.22)$$

Torsi maksimum dicapai pada $\frac{dT}{ds} = 0$, maka dari persamaan (2.22) diperoleh hasil:

$$\frac{dT}{ds} = \alpha(s^2 + a^2) - s \cdot \alpha (2s) = 0$$

$$s^2 + a^2 - 2s^2 = 0$$

$$s^2 = a^2$$

$$s = \pm a$$

Dari keadaan ini akan diperoleh torsi maksimum (T_{mx}) sebesar:

$$T_{mx} = \frac{ka^2}{2a^2} = 1/2k$$

Torsi maksimum (1/2k) tersebut dicapai pada slip positif (mesin bertindak sebagai motor induksi) dan pada slip negatif (mesin bertindak sebagai generator induksi). Gambar menunjukkan contoh grafik karakteristik kerja

motor hubungan antara torque terhadap kecepatan motor induksi AC tiga fase dengan arus yang sudah ditetapkan.

Dari gambar ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Saat motor mulai menyala (*start*) ternyata arus nyala awal yang tinggi dan *torque* yang rendah ("*pull-up torque*")
2. Mencapai 80% kecepatan penuh, *torque* berada pada tingkat tertinggi ("*pull-out torque*") dan arus mulai turun.
3. Pada kecepatan penuh, atau kecepatan sinkron, arus *torque* dan stator turun ke nol.

Hubungan antara torsi dan slip juga dapat dinyatakan seperti pada gambar sebagai berikut.

Dengan memperhatikan gambar ini dapat dilihat bahwa:

- Pada kecepatan hipersinkro, slipnya negatif biasanya kecil, mesin beroperasi sebagai generator induksi dengan torsi bekerja dengan arah yang berlawanan dengan putaran medan putar
- Saat mesin bekerja pada kecepatan di antara *standstill* dan kecepatan sinkron, dengan slip positif antara 1 dan 0. Mesin berputar pada keadaan tanpa beban sehingga slipnya kecil sekali, GGL rotor juga kecil sekali Z_2 (*rotor circuit impedance*) hampir R murni dan arus cukup untuk membangkitkan torsi memutar rotornya.
- Selanjutnya, beban mekanik dipasang pada porosnya sehingga putaran rotor makin lambat, slip naik, GGL rotor naik (besar maupun frekuensinya), menghasilkan arus dan torsi yang lebih besar.
- Jika motor induksi diputar berlawanan dengan arah putaran medan putar maka masih akan dihasilkan torsi yang bertindak sebagai rem dan terjadi penyerapan tenaga mekanik, misalnya mesin dalam keadaan berputar dengan slip "s", kemudian arah medan putar tiba-tiba dibalik, maka rotor akan mempunyai $(2 - s)$, kecepatan turun menuju nol dan dapat dibawa ke kondisi *standstill*. Cara ini adalah cara pengereman motor yang disebut dengan *plugging*.

2.2.7 Efisiensi pada Motor Induksi

Efisiensi motor dapat didefinisikan sebagai “perbandingan daya keluaran motor yang digunakan terhadap daya yang digunakan terhadap daya masukan pada terminalnya”, yang dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\eta = \frac{P_{OUT}}{P_{IN}} \times 100\% \quad (2.23)$$

Dengan: $\eta = \text{efisiensi motor (\%)}$

Faktor- faktor yang mempengaruhi efisiensi adalah:

1. Usia, Motor baru lebih efisien
2. Kapasitas, Sebagaimana pada hamper kebanyakan peralatan, efisiensi motor meningkat dengan laju kapasitasnya.
3. Kecepatan, Motor dengan kecepatan yang lebih tinggi biasanya lebih efisien.
4. Jenis rotor, Sebagai contoh bahwa dengan rotor sangkar biasanya lebih efisien dari pada motor dengan rotor belitan / cincin geser.
5. Suhu, Motor yang didinginkan oleh fan dan tertutup total (TEFC) lebih efisien daripada motor *Screen Protected Drip-Proof* (SPDP).
6. Penggulungan ulang motor dapat mengakibatkan penurunan efisiensi.
7. Beban, seperti yang dijelaskan dibawah ini.

Efisiensi motor ditentukan oleh rugi atau kehilangan dasar yang hanya dapat dikurangi oleh perubahan pada rancangan dasar motor dan kondisi system operasi. Kehilangan dapat bervariasi dari kurang lebih dua persen hingga 20 persen. (Parekh, 2003)

Tabel 1 memperlihatkan jenis kehilangan untuk motor induksi.

Jenis kehilangan	Presentase Kehilangan Total (100%)
Kehilangan tetap atau kehilangan inti	25
Kehilangan variabel: kehilangan stator I^2R	34
Kehilangan variabel: kehilangan rotor I^2R	21
Kehilangan gesekan & penggulangan ulang	15
Kehilangan beban yang menyimpang	5

Terdapat hubungan yang jelas antara efisiensi motor dan beban. Pabrik motor membuat rancangan motor untuk beroperasi pada beban 50-100% dan akan efisien jika beban berada diantara 75% sampai dengan 80%. Tetapi, jika beban turun dibawah 50% efisiensi turun dengan cepat seperti ditunjukkan pada gambar. Mengoperasikan motor dibawah laju beban 50% memiliki dampak pada faktor dayanya. Efisiensi motor yang tinggi dan faktor daya yang mendekati 1 sangat diinginkan untuk operasi yang efisien dan untuk menjaga biaya rendah untuk seluruh pihak, tidak hanya untuk motor. Bentuk perbandingan karakteristik antara motor induksi yang berefisiensi tinggi dengan motor standar diperlihatkan pada gambar.

Untuk alasan ini maka dalam mengkaji kinerja motor akan bermanfaat bila menentukan beban dan efisiensinya. Pada hamper kebanyakan negara, merupakan persyaratan bagi pihak pembuat untuk menuliskan efisiensi beban penuh pada plat label/ plat motor. Namun demikian, bila motor beroperasi untuk waktu yang cukup lama kadang kala tidak mungkin untuk mengetahui efisiensi tersebut sebab plat label motor sering sudah hilang atau sudah di cat. Untuk mengukur efisiensi motor,

maka motor harus dilepaskan sambungannya dari beban dan dibiarkan untuk melalui serangkaian uji. Hasil dari uji tersebut kemudian dibandingkan dengan grafik kinerja standar yang diberikan oleh pembuatnya. Jika tidak memungkinkan untuk memutuskan sambungan motor dari beban, perkiraan nilai efisiensi didapat dari table khusus untuk nilai efisiensi motor.

2.3 Kerusakan Pada Motor Induksi

Dalam berbagai macam pengaplikasian motor induksi, sesuai masa pakai serta lingkungan keberadaan motor yang jauh dari operator dan faktor cuaca motor induksi tersebut tentunya tidak sedikit pula masalah yang akan terjadi. Meskipun dilakukannya perawatan berkala (*prevention maintenance*) secara maksimal yang dilakukan teknisi terkait tetapi pada fakta yang penulis jumpai dilapangan kerusakan yang terjadi tidak dapat dihindari. Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Ulfiana, 2010) kerusakan motor induksi pada tahap awal tidak terdeteksi sehingga menyebabkan kerusakan yang lebih parah.

Berdasarkan survei yang dilakukan oleh *Electrical Power Research Insitute* (EPRI) dari total keseluruhan 6312 kasus kerusakan motor induksi, sekitar 41% diantaranya kerusakan tersebut disebabkan masalah pada bearing. Jumlah ini diperkuat dengan data survei dari IEEE-IAS menemukan sekitar 44% dari total 1141 kasus kerusakan motor diakibatkan kerusakan pada rotornya. (Adhitya & Darwito, 2015)

Tabel 2. Persentase kerusakan pada komponen

Failed Component	IEEE-IAS (%)	EPRI (%)
Bearings related	44%	41%
Winding related	26%	36%
Rotor related	8%	9%
Other	22%	14%

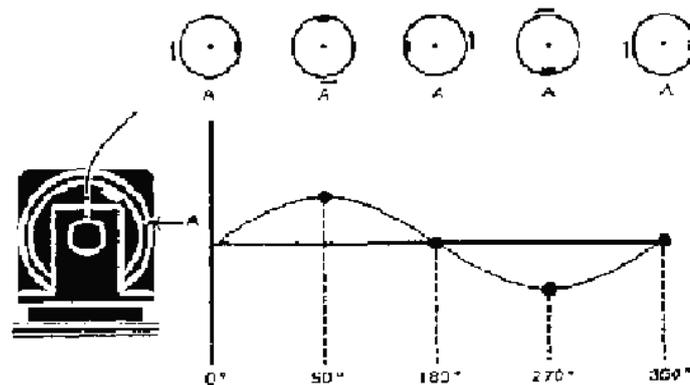
Kebanyakan pengguna motor jarang memperhatikan tentang penyebab terjadinya kerusakan pada motor itu sendiri dan adakalanya juga pengguna tidak mengetahui sebab – sebab kerusakan dari motor tersebut.

2.4 Parameter Kerusakan Pada Motor Induksi

Kerusakan pada motor induksi dapat di minimalisir serta terdeteksi sedini mungkin dengan memperhatikan dan memonitoring secara realtime setiap perubahannya. Dalam hal ini ada 3 parameter umum yang dapat menjadi acuan dalam menentukan motor induksi tersebut rusak atau tidak yaitu getaran, suhu dan arus(Cahyo, 2016)

2.4.1 Getaran Pada Motor Induksi (*Vibration On Induction Motor*)

Secara visual vibrasi mekanik adalah gerakan bolak – balik dari suatu partikel dari titik acuannya (*osilation*) yang lemahnya getaran dipengaruhi oleh gaya yang diberikan. Vibrasi pada motor induksi dapat disebabkan oleh beberapa hal diantaranya seperti *misalignment* dan *looseness*. Misalignment kondisi dimana dua poros yang dihubungkan tidak dalam satu sumbu yang selaras, sehingga menimbulkan vibrasi diatas dari batas normal pada suatu motor.



Gambar 2.14 Ilustrasi vibrasi dengan piringan hitam

Sebagai ilustrasi, pada sebuah piringan yang sedang berputar pada pinggiranya diberi sebuah pemberat hingga *unbalance*. Maka timbullah gaya sentripetal oleh pemberat tersebut yang berusaha menarik piringan itu keluar dari perputarannya secara radial.

Ada 3 kategori utama untuk membedakan parameter vibrasi mekanik yaitu jarak vibrasi (*Displacement*), kecepatan vibrasi (*Velocity*) dan percepatan vibrasi (*Acceleration*). Ketiga kategori ini dapat diperhatikan sebelum menganalisa penyebab terjadinya vibrasi yang tidak normal. (Wachjoei & Sianturi, n.d.)

2.4.1.1 Perpindahan Getaran (*Vibration Displacement*)

Perpindahan atau jarak vibrasi adalah jarak yang ditempuh oleh gerakan bolak – balik atau jarak tempuh dari suatu puncak ke puncak yang lainnya . Hal ini jika didemonstarikan pada gambar 2.14 adalah jarak pergeseran titik putar piringan karena gaya sentripetal, dalam pengukuran vibrasi kita hanya dapat mengukur *peak to peak displacement*, yaitu jarak dari positif maksimum ke negatif maksimum atau sama dengan $2 \times A$.

Perpindahan tersebut pada umumnya dinyatakan dalam satuan micron (μm) atau mils.

$$1 \mu\text{m} = 0,001\text{mm}$$

$$1 \text{ mils} = 0,001 \text{ inch}$$

Parameter ini didapatkan dengan melakukan pengukuran jarak pergeseran titik putar pada piringan yang disebabkan oleh gaya sentripetal melalui persamaan berikut:

$$\textit{Displacement} (\mu) = A \textit{Sin} (2\pi ft) \quad (2.24)$$

Dimana : A= panjang jarak radius pergeseran. (μ)

f= Frekuensi gerakan bolak – balik. (Hertz)

t= Waktu. (Second)

2.4.1.2 Kecepatan Getaran (*Vibration Velocity*)

Karena getaran merupakan suatu gerakan, maka getaran memiliki kecepatan. Kecepatan ini biasanya dalam satuan mm/det (peak). Karena kecepatan ini selalu berubah secara sinusoida, maka seringkali digunakan pula satuan mm/sec (rms). Nilai peak = 1,414 x nilai rms. Terkadang juga digunakan satuan inch/sec (peak) atau inc/sec (rms) 1 inch = 25,4 mm. Parameter kecepatan selalu berubah sepanjang

jarak yang ditempuhnya, dimana pada posisi positif maximum dan negatif maximum kecepatan sama dengan nol, sedangkan pada posisi gerakan melewati daerah netral kecepatan adalah maximum. Kecepatan vibrasi dapat ditentukan melalui persamaan berikut :

$$\mathbf{Velocity} \left(\frac{mm}{s} \right) = 2\pi f A \cos (2\pi f t) \quad (2.25)$$

Dimana : A = panjang jarak radius pergeseran.(μ)

f = Frekuensi gerakan bolak – balik.(Hertz)

t = Waktu.(Second)

2.4.1.3 Percepatan Getaran (*Acceleration Vibration*)

Percepatan getaran adalah percepatan gerak secara bolak – balik pada periode waktu tertentu. Percepatan selalu berubah sepanjang jarak tempuhnya, dimana maksimum pada saat *displacement* mencapai positif maksimum atau mendekati negatif maksimum. Secara teknis percepatan ialah laju perubahan dari kecepatan, Percepatan getaran pada umumnya dinyatakan dalam satuan gaya "g" peak, dimana satuan dari "g" adalah percepatan yang disebabkan oleh gaya gravitasi pada permukaan bumi. Sesuai dengan isi perjanjian internasional satuan gravitasi pada permukaan bumi adalah 980,665 *cm/det*².

$$\mathbf{Acceleration} \left(\frac{mm}{s^2} \right) = -(2\pi f)^2 A \sin (2\pi f t) \quad (2.26)$$

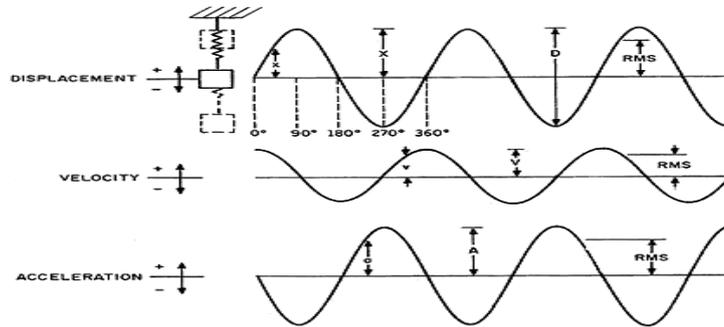
Dimana: A = Panjang jarak radius pergeseran.(μ)

f = Frekuensi gerakan bolak-balik.(hertz)

t = Waktu.(second)

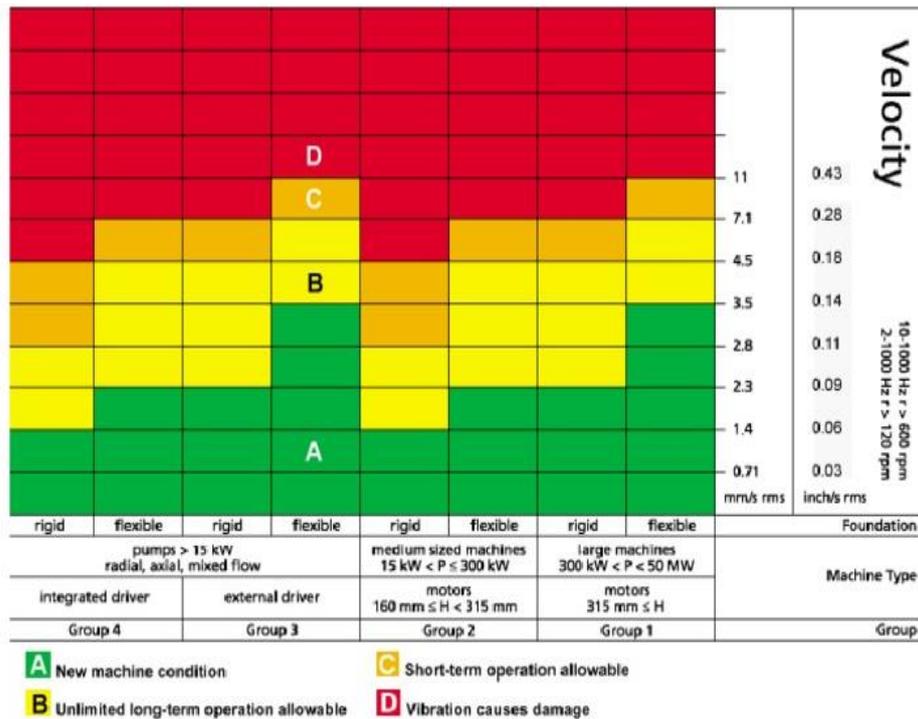
Dalam kondisi suatu mesin yang sedang beroperasi sehingga menimbulkan vibrasi, hubungan antara *Displacement*, *Velocity* dan *Acceleration* sebagai parameter yang menjadi suatu kesatuan. Ketiga parameter ini selalu ada dan tidak bisa berdiri sendiri – sendiri, ketiganya mempunyai hubungan urutan difrensial. Ketiga rumusan itu telah diuraikan diatas dan jika digambarkan, masing – masing dari ketiga

parameter tersebut merupakan kurva sinusoidal seperti pada gambar berikut.



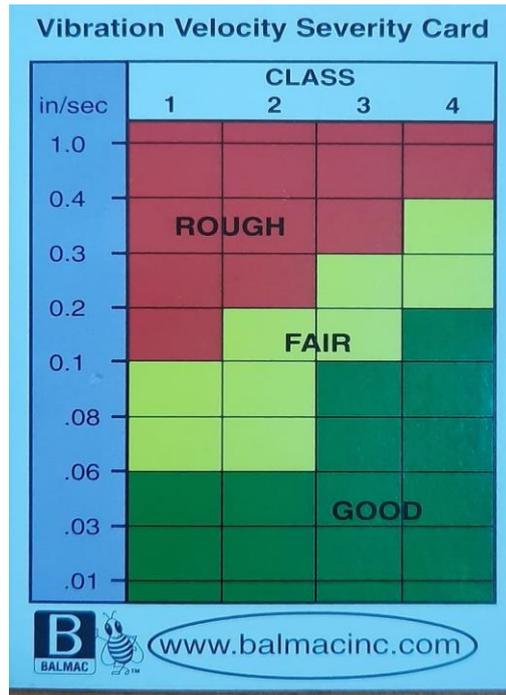
Gambar 2.15 Hubungan Fase Antara Displacement, Velocity, dan Acceleration.

Berdasarkan Standard Internasional ISO 10816-3, 2003 , nilai standard kecepatan vibrasi terhadap kelayakan operasi pada suatu motor listrik ditampilkan pada gambar 2.16.



NORMA ISO 10816-3

Gambar 2.16 Nilai vibrasi pada suatu motor induksi berdasarkan ISO 10816-3.



Gambar 2.17 Nilai tingkat keparahan kecepatan getaran motor listrik berdasarkan standard yang dikeluarkan balmac inc untuk alat vibrasi meter model 200.

Melihat buku manual yang dikeluarkan balmac inc untuk pengoperasian alat ukur vibrasi meter model 200, kelas yang dimaksud pada gambar 2.17 akan dijelaskan pada gambar 2.18.

Machinery Class Definitions

- CLASS 1** - Small size machines on fabricated steel foundations. Up to 20 HP.
- CLASS 2** - Medium size machines on fabricated steel foundations. 20 - 100 HP.
- CLASS 3** - Large machines on heavy solid foundations. Above 400 HP.
- CLASS 4** - Large machines on soft foundations. Above 400 HP.

BALMAC  **Balmac Inc.**
 8205 Estates Pkwy, Ste N
 Plain City, Ohio 43064 USA
 614-873-8222 Fax: 614-873-2519

Gambar 2.18 Definisi kelas motor induksi

Dari sekian banyak penyebab terjadinya vibrasi mekanik salah satu diantaranya adalah *misalignment*, pada kondisi ini adanya penyimpangan pada titik pusat antara dua poros atau shaft yang dihubungkan dimana dua poros tersebut terlatak tidak pada satu sumbu horizontal yang selaras. *Misalignment* terdiri dari dari tiga jenis yaitu *Offset/parrale misalignment* pada kondisi ini garis sumbu dua poros berputar sejajar tetapi tidak berada dalam satu garis sumbu, kondisi ini terjadi akibat kedua garis poros tidak dalam keadaan satu sumbu. *Angular misalignment* kondisi pada kopling tidak segaris dan berpotongan membentuk sudut tertentu sedangkan *Combination misalignment* terjadi jika dua poros berputar tidak dalam poisisi berhadapan.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Lu et al., 2017) tentang “Pengaruh ketidak sejajaran pada dinamika nonlinier dari system kopling roda gigi bantalan rotor dua poros dengan gangguan tumbukan” umur mesin akan berkurang sejalan dengan meningkatnya vibrasi mekanik yang timbul dari mesin tersebut. Begitu pula dengan konsumsi energy listrik akan meningkat dengan kenaikan vibrasi mekanik.

2.4.2 Kenaikan Suhu belitan pada stator

Pada motor induksi yang digunakan secara berulang ataupun masa pengoperasian yang tinggi akan menimbulkan panas. Oleh karena itu, tiap – tiap motor induksi memiliki batas suhu aman pada saat motor induksi tersebut digunakan dengan persamaan berikut.

$$J = I^2 \cdot R \cdot t \text{ (joule)} \quad (2.27)$$

Keterangan persamaan diatas :

J = Panas (Joule)

I = Arus (Ampere)

R = Tahanan/Beban(Ohm)

t = Waktu(Detik)

Apabila motor induksi dioperasikan, suhu pada motor induksi berbanding lurus dengan waktu pengoperasian dari motor induksi tersebut. Sehingga jika motor beroperasi, kenaikan suhu aman pada motor yang dioperasikan tersebut dapat diketahui dengan cara mengukur *resistance* pada *coil* motor sebelum dioperasikan dan setelah motor selesai dioperasikan dengan catatan setelah motor selesai beroperasi harus segera diukur *resistance* nya, setelah itu dapat menggunakan suatu persamaan berikut.

$$\frac{R_c}{R_h} = \frac{1+a(t_1)}{1+a(t_2)} \quad (2.28)$$

Keterangan :

R_c = Resistance coil motor sebelum dioperasikan (

R_h = Resistance coil motor setelah dioperasikan

a = Koefesien temperatur tahanan tembaga (0,00428ohm/ohm/C)

t_1 = Temperatur awal ruangan

t_2 = Temperatur ruangan setelah motor dioperasikan

Panas yang ada pada saat motor induksi beroperasi berpengaruh pada keselamatan serta *lifetime* motor itu sendiri. Oleh sebab itu perlu adanya pemastian tingkat panas yang dihasilkan oleh *coil stator* sehingga panas yang dihasilkan tidak menimbulkan bahaya pada penggunaan motor tersebut(Aji, 2014). Berdasarkan standard NEMA (*The National Electrical Manufacture Association*) pengelompokan atau pembagian kelas untuk ketahanan maksimal *coil* selectro motor pada suhu tertentu diperlihatkan pada Gambar 2.19 berikut.

Tabel Insulation Class				
Temperature Tolerance Class	Maximum Operation		Allowable Temperature Rise at full load	Allowable Temperature Rise at full load
	Temperature Allowed		1.0 service factor motor 1)	1.15 service factor motor 1)
	°C	°F	°C	°C
A	105	221	60	70
B	130	266	80	90
F	155	311	105	115
H	180	356	125	-

Gambar 2.19 Kelas Isolasi Motor Standard NEMA

Banyak sekali metode yang dikembangkan dalam pengukuran suhu pada *coil* motor elektrik. Berdasarkan standar SNI IEC 60335-1:2009 yang menggunakan metode resistansi dinyatakan bahwa pengukuran resistance coil motor diwajibkan segera setelah motor dimatikan sehingga kurva dari resistansi terhadap waktu bisa diplotkan untuk konstantering resistansi pada saat dimatikan. Setelah mendapatkan nilai resistansi dari motor induksi maka kita bisa menghitung nilai kenaikan suhu pada *coil* stator motor dengan memakai persamaan berikut.

$$T_t = T_b + \left(\frac{R_t - R_b}{R_b} \right) (T_b + K) \quad (2.29)$$

Keterangan :

T_t = Temperatur total kumparan motor (°C)

T_b = Temperatur pada saat motor belum dioperasikan (°C)

R_t = nilai resistansi belitan saat motor selesai dioperasikan (ohm)

R_b = nilai resistansi belitan saat motor belum dioperasikan (ohm)

k = konstanta k

Pada penelitian ini, jenis *coil* motor adalah tembaga dengan nilai $k = 234,5$. t_2 diukur setelah suhu dalam keadaan stabil (Iec et al., 2013)

2.4.3 Arus Maksimum Pada Motor Induksi

Berdasarkan peraturan dan ajuran dari *National Electrical Manufacture Association* (NEMA), *rated value* dari sebuah motor untuk

bekerja di kondisi normal memiliki nilai *unbalance voltage* yang tidak boleh melebihi satu persen (<1%) dari nilai normal dan dikatakan normal jika motor beroperasi dengan nilai *unbalance voltage* dibawah 1%. Berdasarkan sumber referensi dari NEMA jika nilai *unbalance voltage* sebesar 1% maka motor induksi tersebut akan memiliki nilai *unbalance current* sebesar 6%-10% karena satu nilai tegangan yang tidak seimbang setara dengan 6-10 kali nilai arus yang tidak seimbang.

NEMA juga menetapkan nilai perbandingan arus mula motor dengan arus nominal untuk motor induksi 3 phase pada tabel 3 berikut.

Kelas Motor Induksi	I _{asut} /I _{nominal}
A	5 – 7
B	4,5 – 5
C	3,5 – 5
D	3 – 8
E	2 – 4

Tabel 3. Perbandingan arus asut dengan arus nominal motor induksi standar NEMA(Sianipar, 2014)

Dalam pengaplikasiannya di lapangan, aspek yang menjadi perhatian lebih untuk peralatan proteksi ialah arus beban penuh pada saat motor beroperasi. Arus beban penuh dapat dihitung dengan persamaan berikut.(Tiyono, 2013)

$$I_{fl} = \frac{\left(\frac{P_{rated}}{\eta}\right) \cos \varphi}{\sqrt{3} \cdot V_{LL}} \quad (2.30)$$

Keterangan

I_{fl} = arus beban penuh (A),

P_{rated} = daya motor pada name plate (KW),

η = efesiensi motor pada beban penuh (%),

$\cos \varphi$ = faktor daya,

V_{LL} = tegangan antar fase (kV).

2.5 Sensor Accelerometer ADXL 335

Sensor Accelerometer adalah sebuah alat yang berfungsi untuk mengukur percepatan, mendeteksi serta mengukur getaran (*vibration*) dan juga mengukur percepatan yang diakibatkan oleh gravitasi (*inklinasi*). Pada sensor ini mengukur percepatan akibat gerakan benda yang melekat pada sensor itu sendiri. Percepatan pada sensor accelerometer ini suatu keadaan dimana berubahnya kecepatan terhadap waktu (m/s), bertambahnya suatu kecepatan dalam rentang waktu juga dikatakan suatu percepatan. Percepatan juga berkaitan dengan pada arah atau orientasi hal ini dikarenakan penurunan kecepatan yang merupakan sebuah vector.



Gambar 2.20 Module ADXL 335

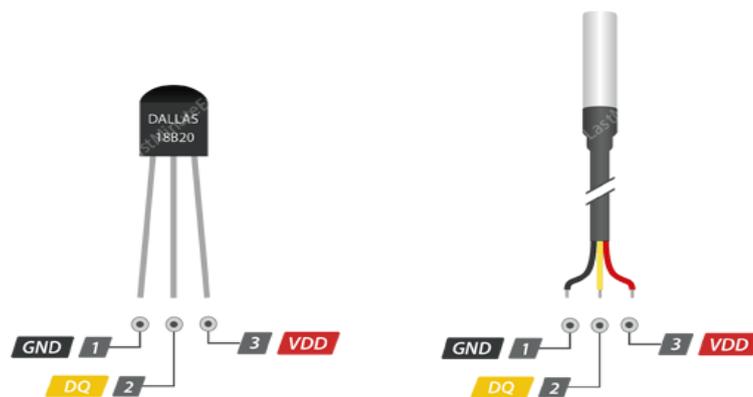
Module ADXL 335 yang akan penulis gunakan pada perancangan ini merupakan sebuah module yang sensor accelerometer yang memiliki 3 axis *motion processing unit* dengan penambahan rangkaian regulator tegangan serta beberapa komponen pendukung lainnya sehingga module ini bisa menggunakan *power input* di *range* 3-5 VDC dengan keluaran sinyal output analog yang sangat flexible dihubungkan ke Arduino Uno R3., module ini memiliki hasil pembacaan yang presisi.

2.6 Sensor Suhu DS18B20

Sensor suhu DS18B20 adalah suatu komponen elektronika yang dapat menangkap perubahan temperatur lingkungan kemudian dikonversikan menjadi besaran listrik. Sensor ini merupakan sensor suhu dengan sinyal output digital yang

menggunakan 1 kabel untuk berkomunikasi dengan perangkat MCU, keunikan dari sensor ini pada tiap sensor memiliki kode serial yang memungkinkan user untuk penggunaan module DS18B20 lebih dari satu dalam satu komunikasi 1 kabel.

Module sensor suhu DS18B20 ini merupakan sensor suhu digital yang di produksi oleh Dallas Semiconductor, untuk pembacaan suhunya, module sensor ini mempunyai protocol komunikasi 1 kabel sehingga dalam beberapa module hanya satu kabel saja sebagai bus data sinyal keluarannya. Kaki-kaki module sensor DS18B20 ini ditampilkan pada Gambar 2.26.



Gambar 2.21 Module Sensor Suhu DS18B20

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Kurnia Utama, 2016) tentang “ Perbandingan Kualitas Antar Sensor Suhu Dengan Menggunakan Arduino Pro Mini” yang membandingkan sensor LM35, Sensor DHT11, Sensor DHT22 dan Sensor DS18B20 disimpulkan bahwa sensor DS18B20 merupakan sensor dengan ketelitian yang tinggi diantara pembandingnya dengan rata-rata nilai eror berkisar 1,6%.

2.7 Sensor Arus YHDC SCT 013-000

Sensor SCT 013-000 merupakan sensor yang di gunakan untuk mengukur arus bolak-balik (AC), bagian dalam dari sensor arus ini berupa *current transformer* yang mampu membaca nilai dari arus AC yang mengalir pada sensor. Sensor arus SCT 013-000 dapat membaca nilai arus hingga 100A, rasio putaran dari sensor ini 100A : 0,05A. (Harahap et al., 2020)



Gambar 2.22 Sensor Arus YHDC SCT 013-000

2.8 Vibrasi Meter Balmac Model 200M

Balmac Model 200M merupakan sebuah alat ukur standard industry yang berfungsi untuk mengukur getaran pada mesin maupun moto. Alat ini dikeluarkan oleh Balmac.Inc, yang bertujuan untuk memberikan pemeriksaan yang cepat terhadap kondisi mesin. Pembacaan dari model 200M ini digunakan untuk analisa dan tren getaran yang ada pada suatu mesin.

Pengukur getaran model 200M ini mudah dioperasikan, alat ini dapat digunakan oleh hampir semua orang untuk memeriksa tingkat getaran dan kondisi getaran secara keseluruhan. Instrument genggam ini ini ringan dan bertenaga baterai, alat ini bisa mengukur percepatan getaran (g), kecepatan getaran (inchi/detik) dan perpindahan getaran (mil). Balmac Model 200M ini dikalibrasi dalam satuan METRIC, alat ukur ini diperlihatkan pada gambar 2.29.



Gambar 2.23 Balmac Vibration Meter Model 200M

2.9 Clamp On Tester *Yokogawa CL-150*



Gambar 2.24 *Clamp On Tester YOKOGAWA CL-150*

Clamp On Tester adalah alat ukur kelistrikan yang dikhususkan untuk mengukur arus listrik atau biasa dijumpai dengan sebutan tang ampere. Alat ukur kelistrikan merk Yokogawa tipe CL-150 ini sudah standar industry dan sudah memenuhi standard keselamatan EN61010-1, EN61010-2-031, EN61010-2-32 (CAT.m 600V, CAT. II 1000V).

2.10 Arduino Uno R3

Arduino Uno R3 merupakan papan mikrokontroller yang dikembangkan untuk berbagai project yang menarik berbasis chip Atmega328P. Arduino Uno versi 3 ini memiliki 14 pin digital I/O serta memiliki 6 pin *output* PWM diantara 14 pin tersebut dan memiliki 6 pin input analog menggunakan crystal 16 MHz yaitu pin A0 sampai A5, koneksi data USB, 2 pin 12c (SDA/SCL), jack power input dan ICSP header untuk mendukung berjalanya sistem mikrokontroller pada Arduino Uno.



Gambar 2.25 Arduino Uno R3

Operasi tegangan pada tiap pin Arduino yaitu 5VDC dengan rentang power *input* antara 7 – 12 VDC, arus maksimal pada pin arduino yaitu 50mA. Arduino Uno R3 ini memiliki memori flash sebesar 32KB, EEPROM 1KB, SRAM 2KB dan kecepatan clock pada versi 3 ini sebesar 16 MHZ. (Manual, 2021)

2.11 Microsoft Visual Basic

Microsoft Visual Basic atau sering disingkat menjadi VB merupakan software bahasa pemrograman yang bersifat *event driven* dengan menawarkan *Integrated Development Environment* (IDE) visual untuk membuat program aplikasi berbasis sistem operasi dari Windows Microsoft dengan menggunakan model pemrograman *Common Object Model* (COM). Visual Basic merupakan turunan dari bahasa pemrograman BASIC dan menawarkan pengembangan perangkat lunak komputer berbasis grafik dengan cepat. (Syahputra et al., 2020) Dengan software ini para scientist dan engineer semakin mudah dalam merancang dan memprogram *Human Machine Interface* (HMI) dan *Supervisory Control And Data Acquisition* (SCADA). Untuk tampilan VB pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.32.



Gambar 2.26 Microsoft Visual Basic

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu

3.1.1 Tempat

Tempat di laksanakan kegiatan penelitian ini dilaksanakan bertempat pada Komp. Griya Marelan 3 Blok B Chrisant No.25 dan pengujian alat bertempat di Workshop Rewinding MM Kim- 2.

3.1.2 Waktu

Waktu pelaksanaan penelitian ini yaitu dimulai dari tanggal disahkannya usulan judul penelitian oleh ketua program studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara dan waktu pelaksanaan pengerjaan penelitian ini lebih kurang 6 bulan sampai dinyatakan selesai

Tabel 3.1 Waktu Pelaksanaan

No.	Uraian Kegiatan	Waktu					
		1	2	3	4	5	6
1	Pengajuan Judul						
2	Studi Literature						
3	Penulisan BAB I s/d BAB III						
4	Seminar Proposal						
5	Desain dan Perakitan Alat						
6	Pengujian Alat						
7	Pengolahan Data						
8	Penulisan Laporan						
9	Seminar Hasil dan Sidang						

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat

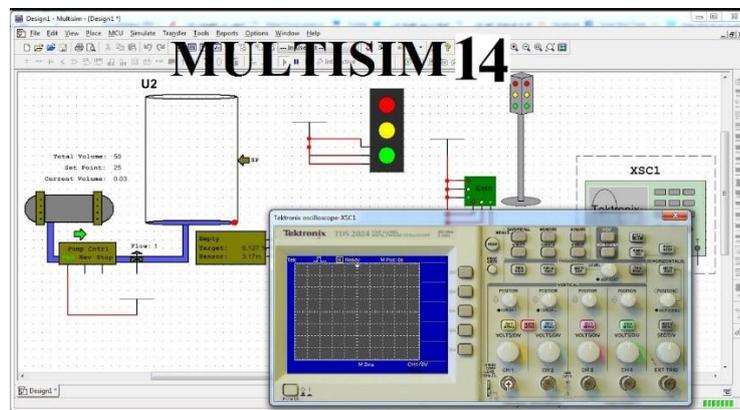
Alat yang akan dipergunakan dalam perancangan dan analisis dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

A. Perangkat Lunak (*Software*)

Berikut beberapa perangkat lunak yang akan penulis gunakan dalam penelitian ini.

1. Multisim

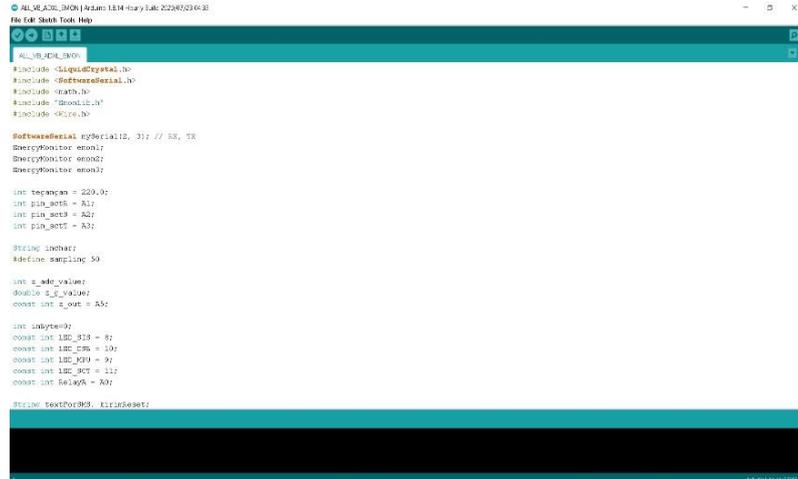
Multisim merupakan software untuk simulasi rangkaian elektronik lengkap dengan fasilitas layaknya sebuah lab yang nyata serta perancangan design pcb, software multisim ini dikeluarkan oleh National Instrument. Pada penelitian ini software multisim hanya digunakan untuk simulasi rangkaian elektronik yang akan di aplikasikan.



Gambar 3.1 Tampilan Software Multisim Versi 14

2. Arduino Ide

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan software *open source* yang berfungsi untuk memudahkan penulisan kode dan mengunggahnya ke papan Arduino. Perangkat lunak ini dapat digunakan dengan papan Arduino apa pun.



Gambar 3.2 Tampilan Arduino IDE

3. Microsoft Visual Basic

Microsoft Visual Basic atau biasa disebut VB merupakan software pemrograman yang menyajikan *Integrated Development Environment* visual yang nyata berbasis sistem operasi microsoft windows, dalam penelitian ini VB digunakan sebagai software yang menampilkan keseluruhan kerja sistem monitoring.



Gambar 3.3 Visual Basic

B. Perangkat Keras (*Hardware*)

Adapun alat perangkat keras yang akan digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Laptop

Laptop digunakan sebagai alat pengolahan seluruh data serta pembuatan program alat penelitian. Pada Gambar 3.3 ditampilkan laptop yang akan penulis gunakan.



Gambar 3.4 Laptop

2. Tang Potong

Dalam penelitian ini tang potong digunakan untuk memotong kabel dalam proses perangkaian alat penelitian, tang potong keluaran plato dengan ukuran 5 inchi ini sudah dilengkapi dengan *safety glasses* pada tangkai pegangan dan dapat dengan mudah digunakan untuk memotong kaki atau pin komponen elektronik yang terlalu panjang pada papan pcb. Berikut ditampilkan gambar tang potong plato pada Gambar 3.4



Gambar 3.5 Tang Potong Plato

3. Obeng Kombinasi

Obeng digunakan untuk membuka dan menutup socket terminal pada peralatan yang akan di rancang dalam penelitian ini. Obeng kombinasi dapat dilihat pada gambar 3.5



Gambar 3.6 Obeng Kombinasi

4. Solder Listrik

Solder digunakan untuk menterminasi kabel pada papan pcb maupun untuk menyangbung kabel. Solder listrik dapat dilihat pada Gambar 3.6.



Gambar 3.7 Solder Listrik

5. Tang Ampere

Tang ampere atau *clamp on multimeter* digunakan untuk mengukur ampere pada beban yang akan diujikan, tidak hanya itu tang ampere yang penulis gunakan juga dipergunakan sebagai alat pengukuran lainya dalam penelitian ini. Merk tang ampere yang digunakan Yokogawa CL-150, tang ampere ini dapat dilihat pada Gambar 2.30

6. Vibrasi Meter

Vibrasi meter yang akan penulis gunakan dalam penelitian ini yaitu merk Balmac tipe 200M yang di produksi Balmac,Inc. Vibrasi meter ini digunakan sebagai pembanding nilai getaran dari alat yang akan dirancang. Vibrasi meter dapat dilihat pada Gambar 2.19.

Untuk keseluruhan alat yang digunakan serta spesifikasinya dapat dilihat pada tabel 3.3 berikut.

Tabel 3.3 Perangkat dan Alat Yang Digunakan

No.	Nama Peralatan	Merk	Spesifikasi	Jumlah	Satuan
1	Laptop	Asus Vivo Book 14	Core i5 10 th Gen, RAM 4GB and NVIDIA GeForce MX 250	1	Unit
2	Tang pengupas kabel	Plato	5 inch	1	Buah
3	Obeng Kombinasi	-	-	1	Buah
4	Solder listrik	Krisbow	60 Watt	1	Unit
5	Tang ampere	Yokogawa	CL-150	1	Unit
6	Vibrasi Meter	Balmac,inc	200M	1	Unit

3.2.2 Bahan

Adapun bahan serta komponen pendukung yang akan penulis gunakan pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Sensor *Accelerometer*

Sensor Accelerometer berfungsi sebagai sensor yang bisa membaca percepatan getaran 3 axis, dalam rancangan ini penulis menggunakan

sensor accelerometer dengan module ADXL 335 seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.20

2. Sensor Suhu

Sensor suhu pada penelitian ini digunakan untuk membaca temperature dari coil motor induksi yang akan diujikan nanti. Jenis sensor yang digunakan yaitu tipe DS18B20 dengan sitem komunikasi data 1 kabel, Sensor suhu ini dapat dilihat pada Gambar 2.26.

3. Sensor Arus

Sensor arus yang digunakan pada penelitian ini yaitu sensor arus YHDC SCT 013-000, bagian sensor ini berupa *current transformer* dengan rasio 100A /50mA. Untuk gambar sensor dapat dilihat pada Gambar 2.17.

4. Motor Induksi

Motor induksi digunakan sebagai benda yang dipergunakan untuk di monitoring sensor, suhu dan getarnya dengan alat yang akan di rancang. Motor induksi dapat dilihat pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2.

5. Kabel Listrik

Kabel listrik akan digunakan sebagai perantara penghubung antar tiap komponen. Ukuran kabel yang digunakan pada penelitian ini yaitu AWG 22 dengan panjang ± 17 meter untuk kabel positif (+), negative(-) dan data pada rangkaian. Kabel listrik AWG 22 dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.8 Kabel AWG 22

6. Akrilik

Akrilik digunakan sebagai wadah untuk merakit semua komponen sehingga alat yang dirancang menjadi sebuah kit percobaan yang flexible dengan ukuran A3 dengan ketebalan 3mm. Akrilik dapat dilihat pada Gambar 3.8



Gambar 3.9 Akrilik Ukuran A3

7. *Power Supply* 12VDC

Power supply(PSU) 12 VDC digunakan sebagai pengubah tegangan AC menjadi tegangan DC 12 V yang kemudian di turunkan lagi menggunakan rangkaian penurun tegangan sebagai power untuk alat yang akan di rancang. PSU ini dapat dilihat pada Gambar 3.9.



Gamabar 3.10 *Power Supply* 12 VDC 5 A

8. *Miniature Circuit Breaker (MCB) 2 Ampere*

MCB digunakan sebagai pengaman dari beban berlebih pada alat perancangan yang menggunakan sumber AC. MCB dapat dilihat pada gambar 3.10 berikut.



Gambar 3.11 MCB 2 Ampere.

9. *Aviation Plug Conector*

Aviation Plug Conector merupakan soket konektor yang memiliki beberapa pin pada soket jantan dan betinya, konektor ini digunakan untuk seluruh sensor yang digunakan agar flexible dalam penggunaannya. *Aviation plug connector* dapat dilihat pada Gambar 3.11 berikut.



Gambar 3.12 Aviation Connector

10. Kipas Pendingin 5VDC

Kipas Pendingin ini digunakan untuk menjaga suhu ic Raspberry PI agar tetap dalam suhu normal operasi hal ini untuk menjaga terjadinya

overheat pada saat pengujian alat yang dirancang ini. Kipas pendingin ini dapat dilihat pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13 Kipas Pendingin

11. Magnet Base

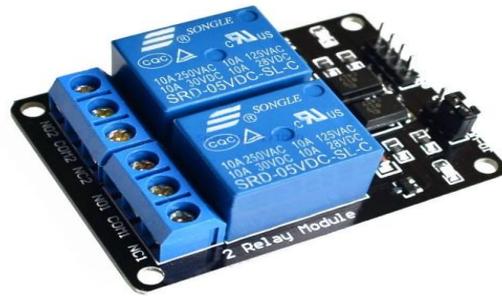
Magnet Base dalam penelitian ini digunakan untuk menjadi tumpuan sensor getar yang akan ditumpukan pada bagian luar cover bearing pada motor induksi yang akan diujikan. Magnet Neodymium dapat dilihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14 Magnet MountBase

12. Relay 5 VDC

Relay ini berfungsi sebagai keluaran yang menerima sinyal Raspberry PI untuk menghubungkan dan memutus arus yang mengalir pada sistem kontrol motor induksi. Relay ini dapat dilihat pada Gambar 3.15.



Gambar 3.15 Relay 5VDC

Detail spesifikasi dari tiap bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.4 berikut.

13. Arduino Uno R3

Arduino Uno R3 ini digunakan sebagai otak dari segala sistem yang mengatur jalanya sistem monitoring ini dengan code dan parameter yang sudah disesuaikan untuk penelitian ini. Gambar Arduino Uno R3 ini dapat dilihat pada gambar 2.25

14. LCD Matrix 16 X 2

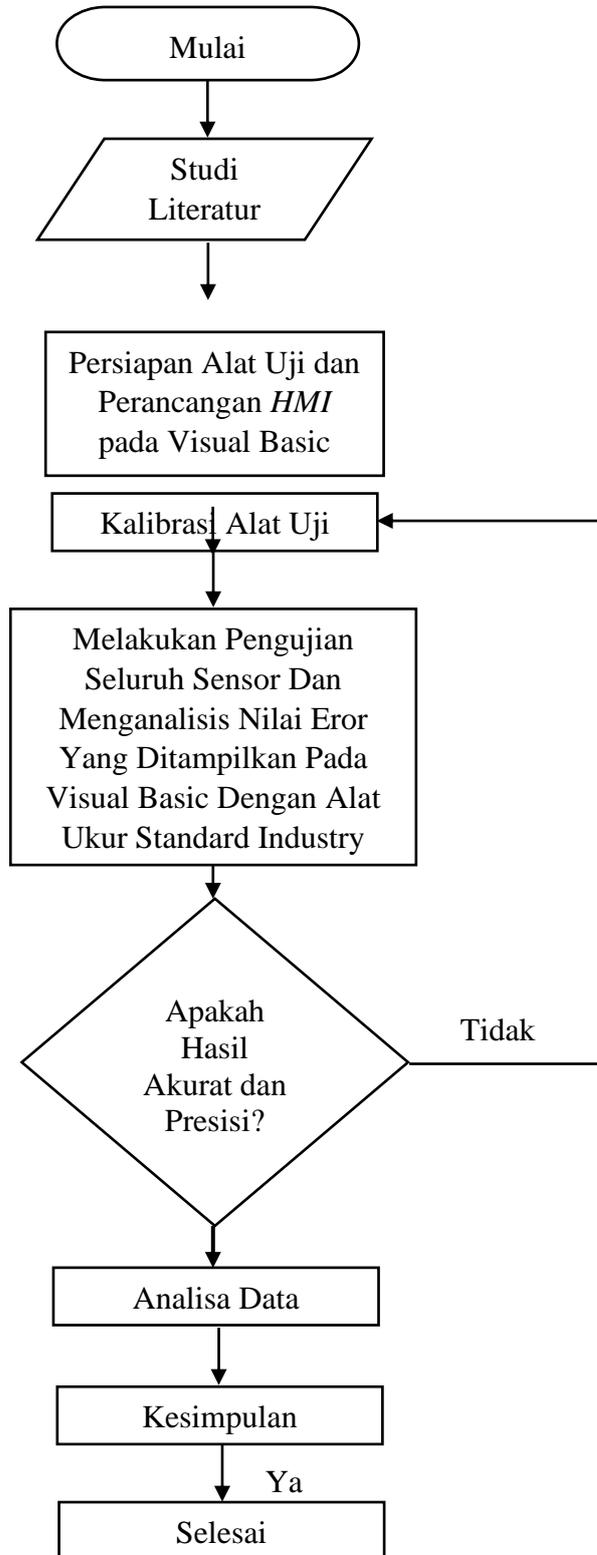
LCD Matrix 16X2 ini digunakan sebagai media untuk menampilkan nilai yang di baca oleh seluruh sensor pada penelitian ini sehingga ketika software mengalami masalah bisa memantau melalau display tersebut. Gambar LCD 16X2 dapat dilihat pada Gambar

Tabel 3.4 Bahan Yang Digunakan

No.	Nama Komponen	Merk	Spesifikasi / Tipe	Jumlah	Satuan
1	Sensor accelerometer	-	MPU 6050	1	Unit
2	Sensor suhu	Dallas	DS18B20	1	Unit
3	Sensor arus	YHDC	SCT 013	1	Unit
4	Motor Induksi	ABB	0,18 KW 1 Phase	1	Unit

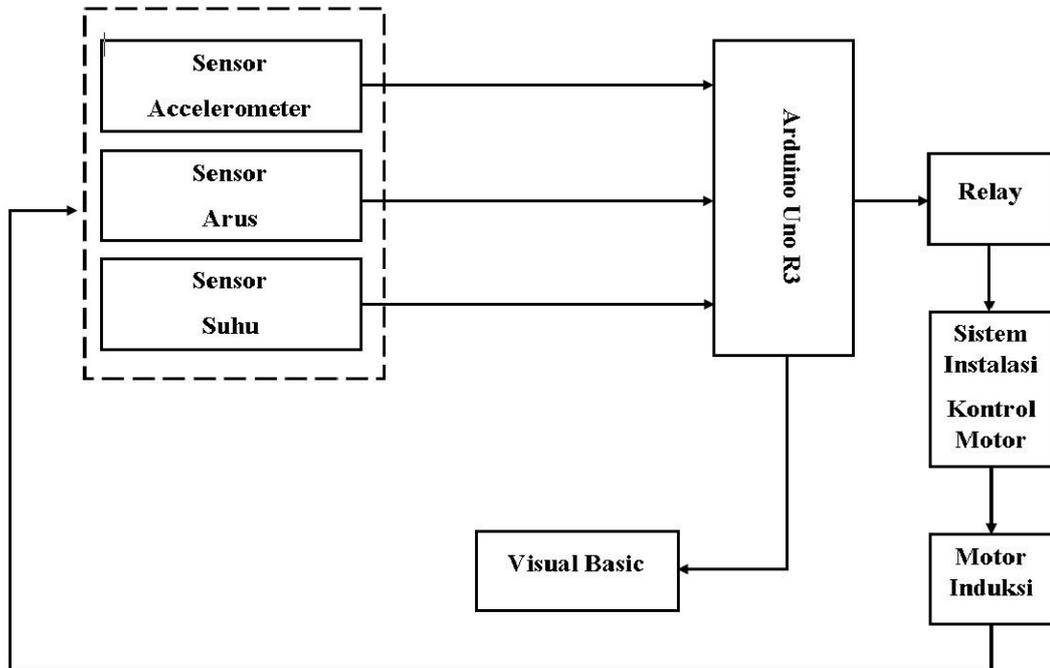
No.	Nama Komponen	Merk	Spesifikasi / Tipe	Jumlah	Satuan
5	Kabel Listrik (+, -, Data)	Supreme	AWG 22	± 17	Meter
6	Acrylic	-	Uk. A3	2	Lembar
7	Power Supply RDC	Meanwell	12 VDC 20 A	1	Unit
8	MCB	Schenider	2A	1	Buah
9	Aviation plug connector	-	GX 10 Pin	5	Buah
10	Kipas pendingin dc	-	5 VDC	1	Unit
11	Magnet Base	Vertex	VMB-00	1	Unit
12	Relay 5 VDC	-	2 Channel	1	Module
13	Arduino Uno	Arduino®	Uno Ver.3	1	Unit
14	LCD	-	16 X 2	1	Module

3.3 Alur Penelitian



3.4 Alur Perancangan Alat

Alur perancangan alat pada penelitian ini ditampilkan pada blok diagram dibawah sebagai berikut.



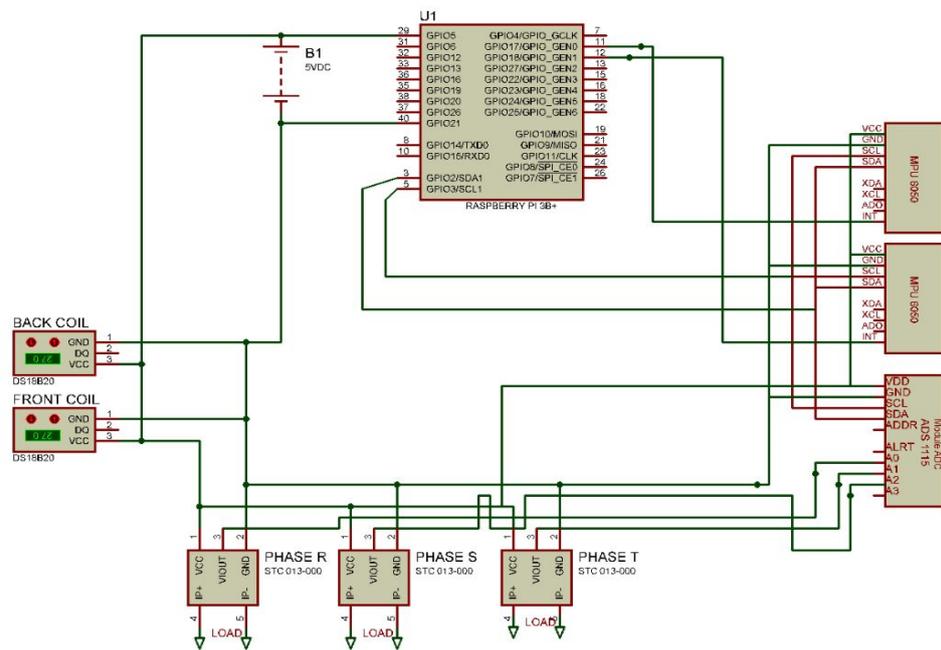
Pada blok diagram diatas terdapat 4 bagian yang memiliki peran serta fungsi berbeda-beda yang apabila digabungkan menjadi suatu system yang dapat berkerja dengan baik. Berikut fungsi tiap-tiap bagian blok diagram diatas.

1. Bagian Sensor, pada bagian ini sensor berfungsi membaca nilai perannya masing – masing kemudian sinyal keluaran dari sensor ini akan diteruskan ke Arduino Uno R3 sebagai *input* parameter sistem.
2. Arduino Uno R3, berfungsi sebagai tempat pengolahan parameter yang ada atau sebagai otak dari perancangan alat ini.
3. Relay, relay berfungsi sebagai penerima sinyal *output* dari Arduino Uno R3. Relay akan memutus arus yang mengalir pada system control motor apabila pada bagian sensor mengirim nilai diluar batas toleransi dari parameter sensor tersebut.

4. Visual Basic, dalam bagian ini Visual Basic sebagai HMI (*Human Machine Interface*) dimana seluruh system yang berkerja akan ditampilkan pada bagian ini.

3.5 Skema Rangkaian

Skema diagram alat pada penelitian ini ditambahkan pada gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Skema Rangkaian Alat

Prosedur perangkaian alat yang akan penulis lakukan sebagai berikut.

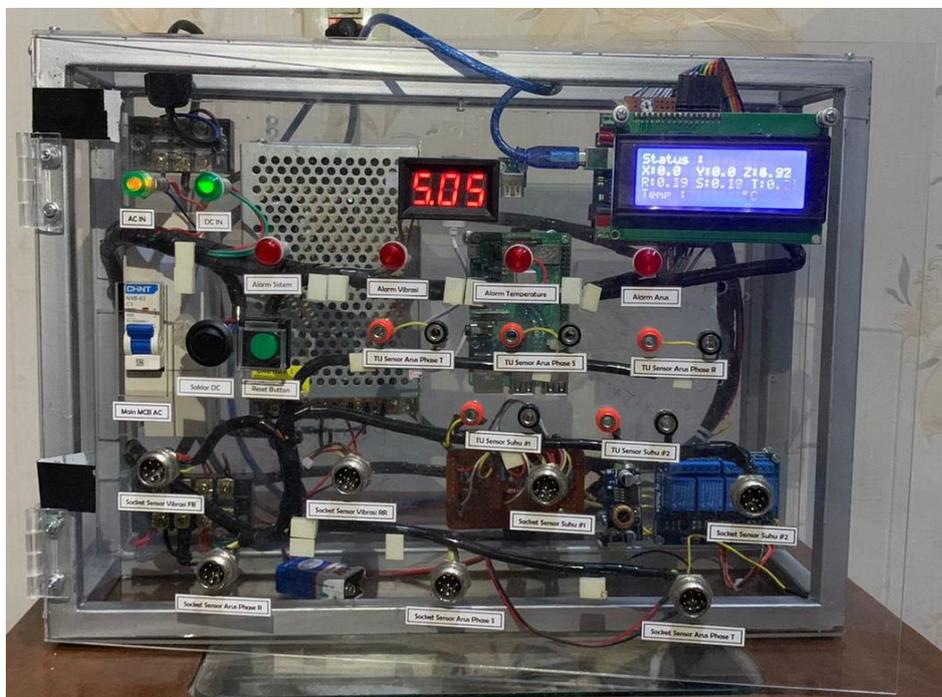
1. Menghubungkan seluruh pin *source* (vcc) dan *ground* module ke power 5 VDC.
2. Menghubungkan seluruh pin data tiap module dan led indikator ke GPIO Arduino Uno.
3. Pada sensor arus SCT-013 dihubungkan pada analog input module ADC pin A0, A1 dan A3.
4. Seluruh rangkaian sudah terkoneksi selanjutnya menghubungkan Arduino Uno ke laptop untuk proses pemograman dan pembuatan tampilan interface pada Visual Basic.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Rancangan Alat

Hasil dari rancangan alat Sistem Monitoring Getaran, Suhu dan Arus Pada Motor Induksi ini dijabarkan sebagai berikut :

1. Membuat rangka besi untuk media tempat akrilik diletakan.
2. Membuat dudukan komponen dan module-module pada media akrilik.
3. Meletakkan komponen dan module-module dari alat Sistem Monitoring Getaran, Suhu dan Arus pada Motor Induksi
4. Mengkoneksikan/menghubungkan tiap module dan komponen sehingga saling terintegrasi.
5. Membuat *code* pada Arduino Ide.
6. Membuat HMI (*Human Machine Information*) pada software Visual Basic.
7. Mengsinkronasikan tampilan pada Visual Basic ke Arduino Uno R3.
8. Setelah semua sudah terintegrasi dan dipastikan berjalan dengan baik, alat siap untuk di uji coba kan.



Gambar 4.1 Kit Alat Simulasi

4.2 Cara Kerja Alat

Cara kerja alat pada Sistem Monitoring Getaran, Suhu dan Arus Pada Motor Induksi ini dapat dilihat dari diagram alir pada sub bab 3.4. Dimana, sensor getar ADXL 335 di letakan pada badan ataupun kopling motor dengan posisi yang rata melalui media magnet base yang diatasnya dipasangkan sensor getar tersebut sehingga sensor mengirimkan nilai getaran ke Arduino Uno.

Sensor suhu DS18B20 diletakan pada kumparan motor ataupun badan stator motor induksi yang dimonitoring kemudian sensor membaca suhu temperatur motor tersebut kemudian dikirimkan ke Arduino Uno. Sensor arus SCT 013, di gantungkan pada kabel motor fasa R, S dan T kemudian data yang dibaca sensor dikirimkan ke Arduino Uno. Setelah semua sensor mengirim data ke Arduino Uno lalu, Arduino Uno mengirimkan semua data ke Visual Basic untuk menampilkan nilai yang dibaca dan untuk memberi batasan parameter dari tiap sensor bisa dilakukan pada tampilan sistem di Visual Basic sehingga apabila sensor membaca nilai diatas parameter akan menghidupkan relay untuk memutus arus listrik yang mengalir pada sistem instalai kontrol motor. Tampilan sistem pada Visual Basic dapat dilihat pada gambar 4.2 .

4.3 Kode Program Alat

4.3.1 Kode Program Alat Pada Arduino IDE

```
#include <LiquidCrystal.h>

#include <SoftwareSerial.h>

#include <math.h>

#include "EmonLib.h"

#include <Wire.h>

SoftwareSerial mySerial(2, 3); // RX, TX

EnergyMonitor emon1;

EnergyMonitor emon2;
```

```
EnergyMonitor emon3;

int tegangan = 220.0;

int pin_sctR = A1;

int pin_sctS = A2;

int pin_sctT = A3;

String inchar;

#define sampling 50

int z_adc_value;

double z_g_value;

const int z_out = A5;

int inByte=0;

const int LED_SIS = 8;

const int LED_DSB = 10;

const int LED_MPU = 9;

const int LED_SCT = 11;

const int RelayA = A0;

String textForSMS, kirimReset;

float iR, iS, iT;

String tempA;

const int Button_Reset = 12;

int buttonState = 0;

const int rs = 3, en = 4, d4 = 5, d5 = 6, d6 = 7, d7 = 13;

LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);
```

```
void setup(void)
{
  Serial.begin(115200);
  mySerial.begin(115200);
  lcd.begin(20, 4);
  lcd.clear();
  delay(1000);

  pinMode(LED_SIS, OUTPUT);
  pinMode(LED_DSB, OUTPUT);
  pinMode(LED_MPU, OUTPUT);
  pinMode(LED_SCT, OUTPUT);
  pinMode(RelayA, OUTPUT);
  pinMode(Button_Reset, INPUT);

  emon1.current(pin_sctR, 60);
  emon2.current(pin_sctS, 60);
  emon3.current(pin_sctT, 60);

  digitalWrite(RelayA, LOW);
  digitalWrite(LED_SIS, HIGH);
  digitalWrite(LED_DSB, HIGH);
  digitalWrite(LED_MPU, HIGH);
  digitalWrite(LED_SCT, HIGH);
```

```

delay(200);

digitalWrite(RelayA, HIGH);

digitalWrite(LED_SIS, LOW);

digitalWrite(LED_DSB, LOW);

digitalWrite(LED_MPU, LOW);

digitalWrite(LED_SCT, LOW);

 kirimReset = "0";

}

void loop(void)

{

  lcd.clear();

  lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Status :");

  read_adxl335();

  read_emon();

  scan_Reset();

  read_Serial();

  read_DS18B20();

  textForSMS = tempA + ";" + z_g_value + ";" + "0.00" + ";" +
"0.00" + ";" + iR + ";" + iS + ";" + iT + ";" + kirimReset + ";";

  Serial.print(textForSMS);

  Serial.println();

  textForSMS = "";

  delay(20);

```

```

        kirimReset = "0";
    }

void read_DS18B20(){
    lcd.setCursor(0,3); lcd.print("Temp :");
    lcd.setCursor(7,3);
    lcd.print(tempA);
    lcd.setCursor(12,3); lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(13,3); lcd.print((char)223); lcd.setCursor(14,3);
    lcd.print("C ");
}

= digitalRead(Button_Reset);
    if (buttonState == LOW) {
        digitalWrite(LED_SIS, LOW);
        digitalWrite(LED_DSB, LOW);
        digitalWrite(LED_MPU, LOW);
        digitalWrite(LED_SCT, LOW);
        kirimReset = "1";
    }
}

void read_Serial()
{

```

```
if(mySerial.available() > 0){  
while (mySerial.available())  
{  
char reading;  
reading = mySerial.read();  
inchar += reading;  
delay(1);  
}  
tempA = inchar;  
inchar="";  
}
```

```
if (Serial.available() > 0) {  
inByte=Serial.read();  
Serial.write(inByte);
```

```
if (inByte==65) //A  
{  
digitalWrite(LED_SIS, HIGH);  
digitalWrite(LED_SCT, HIGH);  
digitalWrite(RelayA, LOW);  
}
```

```
if (inByte==66) //B
```

```

{
    digitalWrite(LED_SIS, HIGH);
    digitalWrite(LED_DSB, HIGH);
    digitalWrite(RelayA, LOW);
}

if (inByte==67) //C
{
    digitalWrite(LED_SIS, HIGH);
    digitalWrite(LED_MPU, HIGH);
    digitalWrite(RelayA, LOW);
}

if (inByte==88) //X
{
    digitalWrite(LED_SIS, LOW);
    digitalWrite(LED_SCT, LOW);
    digitalWrite(LED_DSB, LOW);
    digitalWrite(LED_MPU, LOW);
    digitalWrite(RelayA, HIGH);
}
}

}

void read_adxl335(){

```

```

z_adc_value = analogRead(z_out);

z_g_value = (((double)(z_adc_value * 5)/1024) - 1.65 ) / 0.330
);

lcd.setCursor(0,1); lcd.print("X:0.0");

lcd.setCursor(7,1); lcd.print("Y:0.0");

lcd.setCursor(13,1); lcd.print("Z:");

lcd.setCursor(15,1); lcd.print(z_g_value);

void read_emon(){

double IrmsR = emon1.calcIrms(70);

double IrmsS = emon2.calcIrms(70);

double IrmsT = emon3.calcIrms(70);

lcd.setCursor(0,2); lcd.print("R:");

lcd.setCursor(2,2); lcd.print(IrmsR,2);

lcd.setCursor(7,2); lcd.print("S:");

lcd.setCursor(9,2); lcd.print(IrmsS,2);

lcd.setCursor(14,2); lcd.print("T:");

lcd.setCursor(16,2); lcd.print(IrmsT,2);

iR = IrmsR;

iS = IrmsS;

iT = IrmsT;

}

```

4.3.2 Tampilan HMI (*Human Machine Interface*) Pada Visual Basic



Gambar 4.2 Tampilan HMI pada Visual Basic

Tampilan HMI menggunakan software visual basic digunakan untuk memberi parameter dan menampilkan hasil pembacaan sensor secara visual. Untuk mengkoneksikanya, klik tombol scan kemudian pilih port yang terdeteksi setelah itu klik connect untuk mensinkronasikan visual basic ke hardware. Sebelum mengklik start, terlebih dahulu mengisi parameter tiap sensor sehingga apabila sensor membaca nilai di atas parameter yang diizinkan maka alarm sistem dan alarm lainnya yang membaca nilai diluar toleransi tersebut menyala dan relay akan memutuskan arus listrik ke sistem instalasi kontrol motor induksi yang terkoneksi. Untuk menghilangkan alarm yang ada, hanya perlu menekan tombol reset pada kit simulasi ataupun pada visual basic.

4.4 Hasil *Monitoring*

Dalam penelitian simulai Sistem *Monitoring* Getaran, Suhu dan Arus Pada Motor induksi ini dilakukan dengan menggunakan software Visual Basic sebagai media yang telah di program untuk menampilkan keseluruhan sistem simulasi ini, Pengujian pada alat yang di rancang ini dengan menggunakan motor induksi 1,1 KW menggunakan inverter dengan durasi waktu monitoring ± 1 jam (3600 detik). Ada 3 parameter yang diujicoba pada simulasi alat monitoring ini yaitu getaran, suhu dan arus.

Untuk pembanding pembacaan sensor getar ADXL 335 yaitu vibrasi meter Balmac.Inc model 200M, untuk sensor arus SCT 013 sebagai pembandingnya menggunakan clamp on tester Yokogawa CL150 dan untuk sensor suhu DS18B20 dibandingkan dengan nilai tegangan pada pin datanya sesuai dengan persamaan 2.31 .

4.4.1 Monitoring Getaran

Tabel 4.1 Hasil ujicoba *monitoring* sensor getar

Waktu Percobaan		Hasil Pembacaan Sensor (mm/s ²)	
menit	detik	ADXL 335	Balmac 200 M
5	300	0.67	0.68
10	600	0.5	0.7
15	900	0.52	0.64
20	1200	0.55	0.61
25	1500	0.48	0.6
30	1800	0.47	0.62
35	2100	0.51	0.67
40	2400	0.44	0.61
45	2700	0.5	0.66
50	3000	0.58	0.67
55	3300	0.49	0.62
60	3600	0.54	0.59

Pada tabel 4.1 ditampilkan sampel hasil uji coba monitoring getaran pada motor induksi yang dilakukan selama ± 1 jam (3600 detik), didapatkan angka percepatan getaran (*acceleration vibration*) yang direkam oleh sensor ADXL 335 paling tinggi sebesar 0.67 mm/s^2 dan hasil dari vibrasi meter Balmac 200m nilai terbesarnya yaitu 0.68 mm/s^2 . Pada uji coba ini menggunakan motor induksi 3 phase dengan daya 1.1 KW atau setara 1.47 HP dengan kelas isolasi tipe F. Dengan spesifikasi motor yang digunakan tersebut berdasarkan ISO 10816-3 nilai maksimal getaran pada motor yang digunakan sebesar 1.4 mm/s^2 . Dari nilai terbesar yang dibaca oleh sensor ADXL 335 dan vibrasi meter Balmac 200M masi dibawah batas aman dengan nilai batas acuan yang tertera pada Gambar 2.16 sesuai dengan ISO 10816-3.

4.4.2 Monitoring Suhu

Pada ujicoba *monitoring* temperatur motor ini dilakukan selama ± 1 jam (3600 detik) dengan cara meletakkan sensor pada kumparan motor, dengan spesifikasi motor yang digunakan dalam pengujian ini memiliki kelas insulasi tipe F. Nilai hasil dari sensor DS18B20 sudah terkalibrasi oleh Dallas Semiconductor dengan tingkat akurasi ± 0.5 derajat celcius dari rentang pengukuran -10 derajat celcius sampai 85+ derajat celcius berdasarkan data yang penuliskan peroleh dari *datasheet* sensor yang diterbitkan oleh Produsenyanya yaitu Dallas Semiconductor.

Tabel 4.2 Hasil ujicoba *monitoring* sensor suhu

Waktu Percobaan		Hasil Pembacaan Sensor (°C)	
menit	detik	DS18b20 (°C)	Tt (°C)
5	300	31.31	32.48
10	600	31.87	32.92
15	900	32.13	33.05
20	1200	32.06	33.34
25	1500	32.25	33.47
30	1800	32.56	33.75
35	2100	32.81	33.92
40	2400	32.94	33.99
45	2700	33.00	34.11
50	3000	33.50	34.21
55	3300	33.81	34.66
60	3600	34.88	34.97

Data hasil monitoring temperatur yang di ujicobakan dapat dilihat pada tabel 4.2 . Pada tabel tersebut didapat nilai temperatu terbesar yang dibaca oleh DS18B20 yaitu 34.88°C dan pada analisa kenaikan temperatu total kumparan motor menggunakan metode resistansi nilai terbesarnya sebesar 34.97°C Nilai ini masi jauh dari nilai maksimal dari temperatur kelasnya berdasarkan nilai standar NEMA untuk insulasi motor tipe F nilai maksimal temperatur kerjanya 155°C atau dapat dilihat pada gambar 2.19 .

4.4.3 Monitoring Arus

Tabel 4.3 Hasil ujicoba *monitoring* sensor arus phase R

Waktu Percobaan		Hasil Pembacaan Sensor Arus Phase R	
menit	detik	STC-013 Phase R	Clamp Meter Yokogawa CL 150
5	300	2.63	2.2
10	600	2.42	2.1
15	900	2.56	2.1
20	1200	2.29	2.1
25	1500	2.09	2
30	1800	2.17	2.1
35	2100	2.19	2.1
40	2400	2.24	2.1
45	2700	2.3	2.1
50	3000	2.2	2.1
55	3300	2.25	2
60	3600	2.08	2

Tabel 4.4 Hasil ujicoba *monitoring* sensor arus phase S

Waktu Percobaan		Hasil Pembacaan Sensor Arus Phase S (Amper)	
menit	detik	STC-013 Phase R	Clamp Meter Yokogawa CL 150
5	300	2.06	1.9
10	600	2.19	2.1
15	900	2.07	2
20	1200	2.05	2
25	1500	2.36	2.1
30	1800	2.11	1.9
35	2100	2.23	1.99
40	2400	2.27	2.1
45	2700	2.59	2.2
50	3000	2.05	2
55	3300	2.09	2
60	3600	1.94	1.9

Tabel 4.5 Hasil ujicoba *monitoring* sensor arus phase T

Waktu Percobaan		Hasil Pembacaan Sensor Arus Phase T (Amper)	
menit	detik	STC-013 Phase R	Clamp Meter Yokogawa CL 150
5	300	2.79	2
10	600	2.58	2
15	900	2.31	2
20	1200	2.46	1.9
25	1500	2.01	1.9
30	1800	2.12	2.1
35	2100	2.75	2.1
40	2400	2.47	2.1
45	2700	2.54	2.1
50	3000	2.69	2.1
55	3300	2.78	2.1
60	3600	2.15	2.1

Tabel 4.3 , Tabel 4.4 dan Tabel 4.5 diatas merupakan sampel hasil ujicoba *monitoring* yang dilakukan selama ± 1 jam (3600 detik) dengan

cara mengaitkan sensor arus SCT 013 sama seperti penggunaan *clamp meter* pada umumnya. Motor induksi induksi yang digunakan dalam uji coba dengan spesifikasi : 1.1 KW, 400/690 VAC, Kelas insulasi F, Efisiensi 75% dan AMP 3.2/1.84. Pada tabel 4.3 nilai amper terbesar di phase R yaitu 2.63 A, Phase S 2.36 A dan Phase T 2.79 A nilai-nilai terbesar yang dibaca oleh SCT-013 tersebut masi dalam batas aman pengasutan.

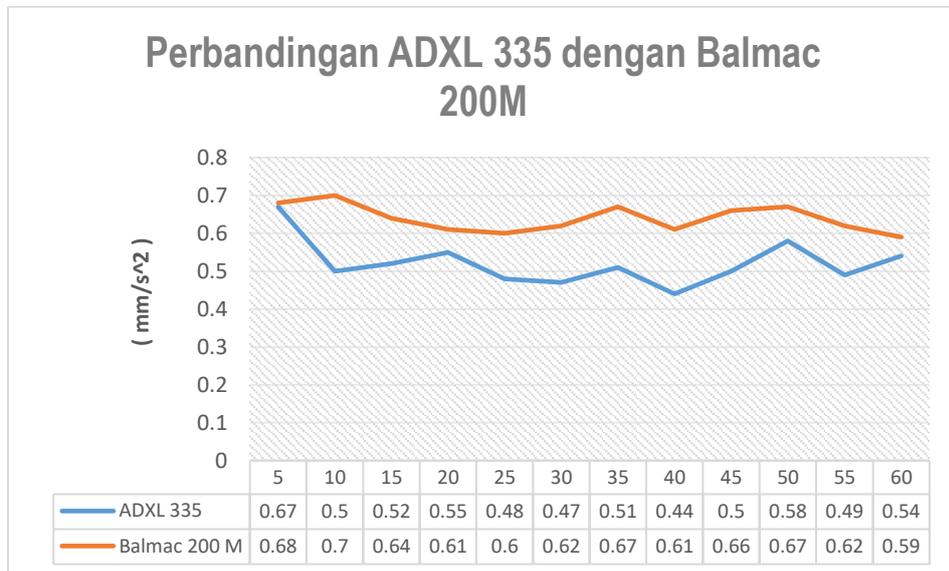
4.5 Persentase Error Sensor

4.5.1 Persentase Error Sensor Getar ADXL 335

Tabel 4.6 Persentase eror sensor getar ADXL 335

Waktu Percobaan		Hasil Pembacaan Sensor (mm/s ²)		Selisih Nilai Output Sensor	Persentasi nilai Eror sensor (%)
menit	detik	ADXL 335	Balmac 200 M		
5	300	0.67	0.68	0.01	0.01
10	600	0.5	0.7	0.2	0.29
15	900	0.52	0.64	0.12	0.19
20	1200	0.55	0.61	0.06	0.10
25	1500	0.48	0.6	0.12	0.20
30	1800	0.47	0.62	0.15	0.24
35	2100	0.51	0.67	0.16	0.24
40	2400	0.44	0.61	0.17	0.28
45	2700	0.5	0.66	0.16	0.24
50	3000	0.58	0.67	0.09	0.13
55	3300	0.49	0.62	0.13	0.21
60	3600	0.54	0.59	0.05	0.08
Hasil rata - rata		0.52	0.64	0.12	0.18

Grafik 4.2 Perbandingan ADXL 335 dengan vibrasi meter Balmac



Pada tabel 4.6 diatas menunjukkan persentase nilai yang dihasilkan oleh sensor getar ADXL 335 yang dipasang pada motor induksi yang diujicobakan dengan perbandingan menggunakan vibrasi meter merk Balmac tipe 200M dengan total 12 sampel yang diambil dengan durasi *monitoring* selama 1 jam/3600 detik, dengan rata-rata nilai pembacaan pada sensor ADXL 335 yaitu 0.52 mm/s^2 dan rata-rata Balmac 200M sebesar 0.64 mm/s^2 . Dengan spesifikasi motor induksi yang digunakan pada saat uji coba alat ini dengan daya 1.1 KW atau 1.47 HP. Berdasarkan spesifikasi motor yang digunakan nilai maksimal getarannya berdasarkan ISO 10816-3 sebesar 1.4 mm/s^2 sehingga nilai rata-rata hasil pembacaan sensor getar pada monitoring getaran ini masi dalam batas aman. Nilai maksimal dari getaran motor induksi berdasarkan dayanya dapat dilihat dalam gambar 2.16. Dari data yang didapatkan tersebut, selisih nilai pembacaan antara sensor ADXL 335 dan vibrasi meter Balmac 200M sebesar 0.12 mm/s^2 dengan persentase rata-rata nilai eror pada sensor sebesar 0.18%. Posisi penempatan sensor pada permukaan motor yang berbeda dengan vibrasi meter memungkinkan terjadinya eror saat proses *monitoring* ini, nilai eror yang dihasilkan antar kedua sensor $\leq 2\%$.

4.5.2 Persentase Eror Sensor Suhu DS18B20

Berdasarkan data spesifikasi dari sensor DS18B20 (*datasheet*) yang diterbitkan oleh Dallas Semiconductor yang merupakan produsen dari sensor suhu DS18B20 yang berbasis di US, tingkat akurasi dari sensor ini pada rentang pengukuran -10°C sampai $+85^{\circ}\text{C}$ sebesar $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Sensor ini merupakan sensor dengan sinyal keluaran digital dengan komunikasi unik 1 kabel, sehingga tidak ada opsi untuk mengukur tegangan pin data tiap keliptan suhunya. Maka pada penelitian ini penulis membandingkan nilai pembacaan sensor suhu DS18B20 dengan menghitung kenaikan temperatur kumparan motor induksi metode resistansi dengan menggunakan persamaan 2.29 berikut.

Tabel 4.7 Parameter metode resistansi

menit(T_t)	detik	T_b	R_t	R_b	K
5	300	31.31	18,479	18,398	234,5
10	600	31.31	18,510	18,398	234,5
15	900	31.31	18,519	18,398	234,5
20	1200	31.31	18,539	18,398	234,5
25	1500	31.31	18,548	18,398	234,5
30	1800	31.31	18,567	18,398	234,5
35	2100	31.31	18,579	18,398	234,5
40	2400	31.31	18,584	18,398	234,5
45	2700	31.31	18,592	18,398	234,5
50	3000	31.31	18,599	18,398	234,5
55	3300	31.31	18,630	18,398	234,5
60	3600	31.31	18,652	18,398	234,5

Setelah mengukur resistansi motor induksi yang diujicobakan tiap lima menit selama satu jam, didapatkan 12 sampel resistansi motor yang berubah pada saat motor selesai dioperasikan maka temperatur motor induksi yang diujicobakan dengan perhitungan dibawah ini :

$$T_t = T_b + \left(\frac{R_t - R_b}{R_b} \right) (T_b + K)$$

$$T_5 = 31.31 + \left(\frac{18,479 - 18,398}{18,398} \right) (31.31 + 234,5) = 32,48^{\circ}\text{C}$$

$$T_{10} = 31.31 + \left(\frac{18,510 - 18,398}{18,398} \right) (31.31 + 234,5) = 32,92 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{15} = 31.31 + \left(\frac{18,519 - 18,398}{18,398} \right) (31.31 + 234,5) = 33,05 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{20} = 31.31 + \left(\frac{18,539 - 18,398}{18,398} \right) (31.31 + 234,5) = 33,34 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{25} = 31.31 + \left(\frac{18,548 - 18,398}{18,398} \right) (31.31 + 234,5) = 33,47 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{30} = 31.31 + \left(\frac{18,567 - 18,398}{18,398} \right) (31.31 + 234,5) = 33,75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{35} = 31.31 + \left(\frac{18,579 - 18,398}{18,398} \right) (31.31 + 234,5) = 33,92 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{40} = 31.31 + \left(\frac{18,584 - 18,398}{18,398} \right) (31.31 + 234,5) = 33,99 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{45} = 31.31 + \left(\frac{18,592 - 18,398}{18,398} \right) (31.31 + 234,5) = 34,11 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{50} = 31.31 + \left(\frac{18,599 - 18,398}{18,398} \right) (31.31 + 234,5) = 34,21 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{55} = 31.31 + \left(\frac{18,630 - 18,398}{18,398} \right) (31.31 + 234,5) = 34,66 \text{ } ^\circ\text{C}$$

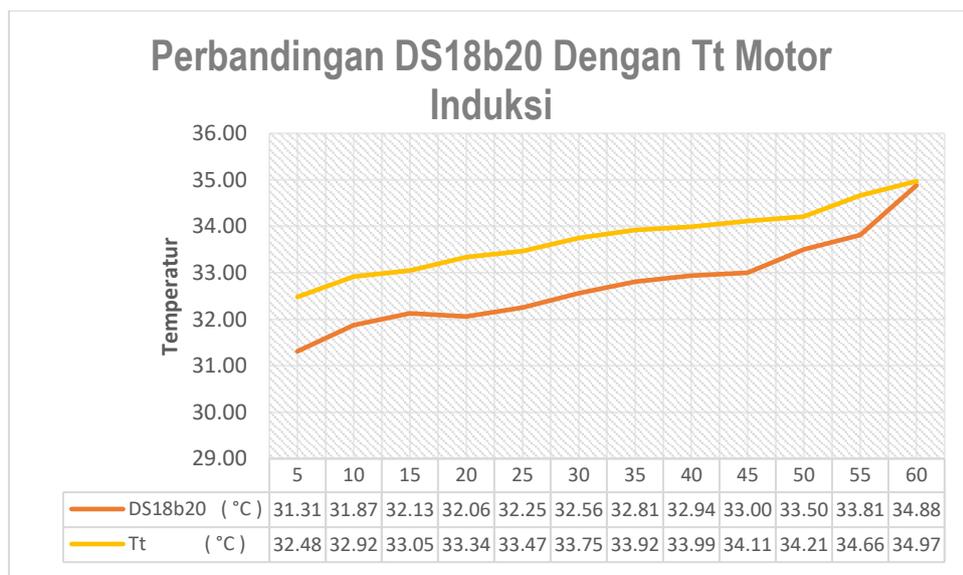
$$T_{60} = 31.31 + \left(\frac{18,652 - 18,398}{18,398} \right) (31.31 + 234,5) = 34,87 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Dari hasil Analisa kenaikan suhu temperature kumparan motor menggunakan metode resistansi diatas, didapatkan perbandingan pembacaan nilai sensor suhu DS18B20 dengan temperatur motor sebenarnya ditampilkan pada tabel 4.8

Tabel 4.8 Perbandingan sensor DS18B20 dengan Temperatur total kumparan

Waktu Percobaan		Hasil Pembacaan Sensor (°C)		Selisih Nilai Output Sensor	Persentasi nilai Eror sensor (%)
menit	detik	DS18b20 (°C)	Tt (°C)		
5	300	31.31	32.48	1.17	0.04
10	600	31.87	32.92	1.05	0.03
15	900	32.13	33.05	0.92	0.03
20	1200	32.06	33.34	1.28	0.04
25	1500	32.25	33.47	1.22	0.04
30	1800	32.56	33.75	1.19	0.04
35	2100	32.81	33.92	1.11	0.03
40	2400	32.94	33.99	1.05	0.03
45	2700	33.00	34.11	1.11	0.03
50	3000	33.50	34.21	0.71	0.02
55	3300	33.81	34.66	0.85	0.02
60	3600	34.88	34.97	0.09	0.00
Hasil rata-rata		32.76	33.74	0.98	0.03

Grafik 4.2 Perbandingan sensor suhu DS18B20 dengan Tt motor induksi



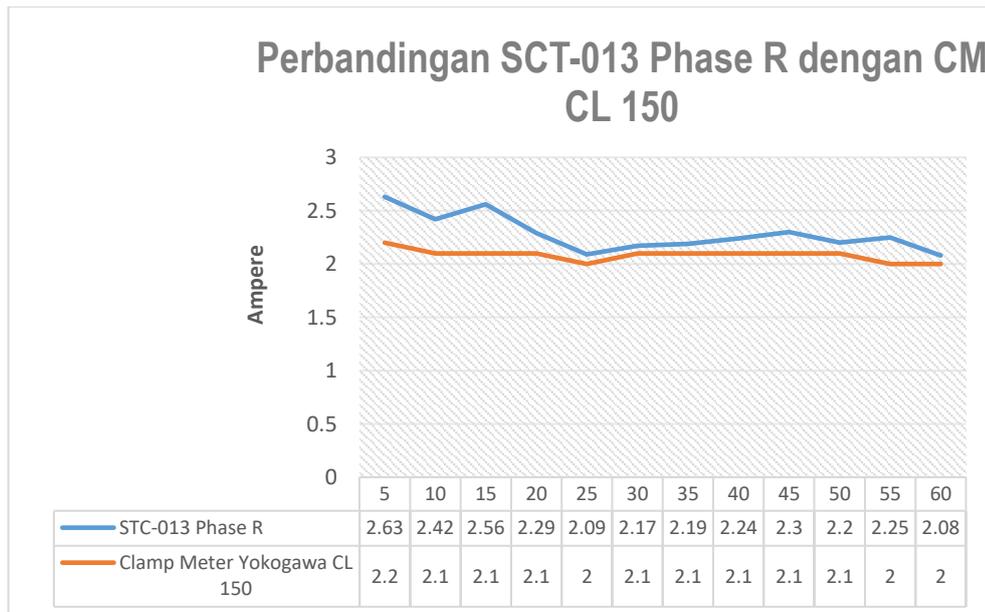
Berdasarkan hasil *monitoring* pada kumparan motor ini, nilai persentase eror yang dibandingkan dengan temperatur total menggunakan metode resistansi sebesar 0.03%. Dengan rata-rata total pembacaan DS18B20 sebesar 32.76°C dan total rata-rata berdasarkan hasil Analisa kenaikan temperatur kumparan motor menggunakan metode resistansi sebesar 33.74°C. Berdasarkan standard kenaikan temperature yang berpedoman pada NEMA, spesifikasi motor induksi yang diujikan tertera pada *name plate* motor yang digunakan dengan isolasi kelas F, yang berarti jika motor dalam beban penuh dan power faktornya mendekati 1, maka suhu maksimalnya sebesar 105°C. Jadi suhu terbesar yang dibaca oleh sensor masi jauh dibawah suhu maksimalnya. Nilai eror dari pembacaan sensor DS18B20 $\leq 1\%$, hal ini selaras dengan *datasheet* yang diterbitkan oleh Dallas Semiconductor untuk produk ini.

4.5.3 Persentase Error Sensor Arus SCT 013

Tabel 4.9 Persentase nilai eror sensor arus phase R

Waktu Percobaan		Hasil Pembacaan Sensor Arus Phase R (Amper)		Selisih Nilai Output Sensor	Persentasi nilai Error sensor (%)
menit	detik	STC-013 Phase R	Clamp Meter Yokogawa CL 150		
5	300	2.63	2.2	0.43	0.16
10	600	2.42	2.1	0.32	0.13
15	900	2.56	2.1	0.46	0.18
20	1200	2.29	2.1	0.19	0.08
25	1500	2.09	2	0.09	0.04
30	1800	2.17	2.1	0.07	0.03
35	2100	2.19	2.1	0.09	0.04
40	2400	2.24	2.1	0.14	0.06
45	2700	2.3	2.1	0.2	0.09
50	3000	2.2	2.1	0.1	0.05
55	3300	2.25	2	0.25	0.11
60	3600	2.08	2	0.08	0.04
Hasil rata-rata		2.29	2.08	0.20	0.08

Grafik 4.3 Perbandingan sensor SCT-013 phase R dengan CM CL 150

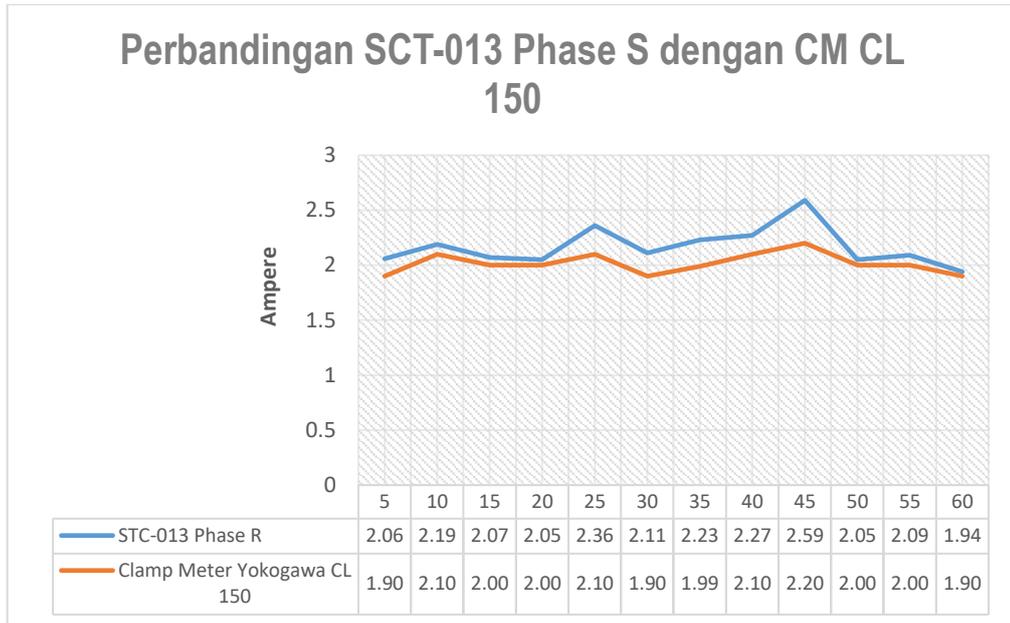


Pada tabel 4.9 nilai hasil pengukuran dari sensor SCT-013 phase R terbesar 2.63 Ampere dengan nilai total rata-rata pada pembacaannya sebesar 2.29 Ampere, hasil pembacaan terbesar pada *clamp meter* Yokogawa CL 150 2.2 Ampere dengann total rata-rata sebesar 2.08 Ampere. Persentase eror pada pengujian sensor SCT-013 pada phase R ini sebesar 0.08%. Motor induksi induksi yang digunakan dalam uji coba dengan spesifikasi : 1.1 KW 3 Phase, 400/690 VAC, Kelas insulasi F, Efesiensi 75% dan AMP 3.2/1.84. Total rata-rata Persentase nilai eror pembacaan sensor SCT-013 phase R sebesar 0.08% nilai eror hasil pembacaan STC-013 dibandingkan *clampmeter* Yokogawa CL-150 $\leq 2\%$.

Tabel 4.10 Persentase nilai eror sensor arus phase S

Waktu Percobaan		Hasil Pembacaan Sensor Arus Phase S (Amper)		Selisih Nilai Output Sensor	Persentasi nilai Eror sensor (%)
menit	detik	STC-013 Phase R	Clamp Meter Yokogawa CL 150		
5	300	2.06	1.90	0.16	0.08
10	600	2.19	2.10	0.09	0.04
15	900	2.07	2.00	0.07	0.03
20	1200	2.05	2.00	0.05	0.02
25	1500	2.36	2.10	0.26	0.11
30	1800	2.11	1.90	0.21	0.10
35	2100	2.23	1.99	0.24	0.11
40	2400	2.27	2.10	0.17	0.07
45	2700	2.59	2.20	0.39	0.15
50	3000	2.05	2.00	0.05	0.02
55	3300	2.09	2.00	0.09	0.04
60	3600	1.94	1.90	0.04	0.02
Hasil rata-rata		2.17	2.02	0.15	0.07

Grafik 4.4 Perbandingan sensor SCT-013 phase S dengan CM CL 150

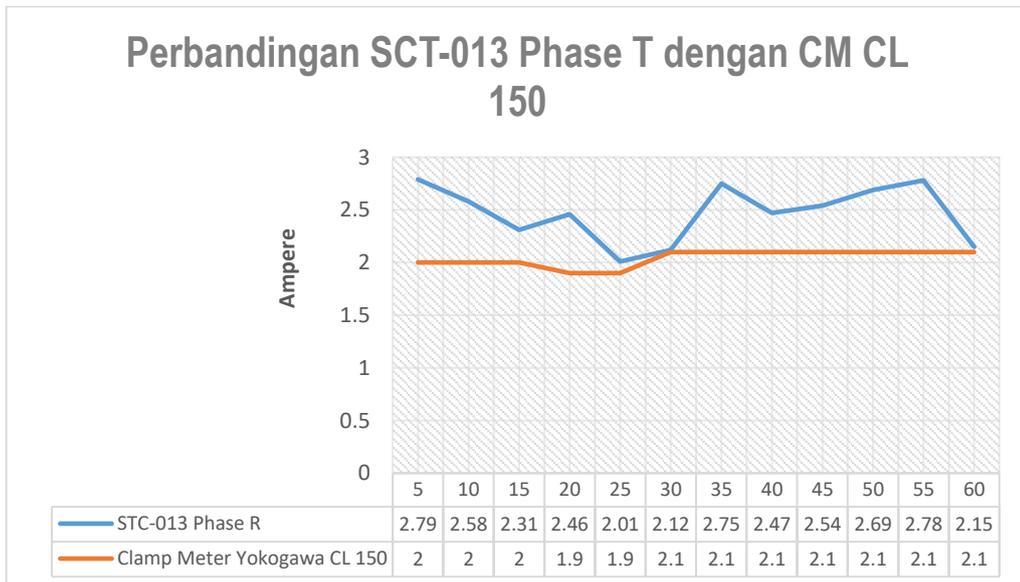


Pada tabel 4.10 hasil pengukuran sensor SCT-013 phase S dengan nilai paling besar 2.59 Ampere , nilai terbesar dari pembacaan dari *clampmeter* Yokogawa CL 150 2.2 Ampere. Dengan total rata-rata pembacaan dari SCT-013 phase S 2.17 Ampere dan pada *clampmeter* Yokogawa CL 150 sebesar 2.02 Ampere. Motor induksi induksi yang digunakan dalam uji coba dengan spesifikasi : 1.1 KW 3 Phase, 400/690 VAC, Kelas insulasi F, Efisiensi 75% dan AMP 3.2/1.84. Total rata-rata Persentase nilai eror pembacaan sensor SCT-013 phase R sebesar 0.07% nilai eror hasil pembacaan STC-013 dibandingkan *clampmeter* Yokogawa CL-150 $\leq 2\%$.

Tabel 4.11 Persentase nilai eror sensor arus phase T

Waktu Percobaan		Hasil Pembacaan Sensor Arus Phase T (Amper)		Selisih Nilai Output Sensor	Persentase nilai Error sensor (%)
menit	detik	STC-013 Phase R	Clamp Meter Yokogawa CL 150		
5	300	2.79	2	0.79	0.28
10	600	2.58	2	0.58	0.22
15	900	2.31	2	0.31	0.13
20	1200	2.46	1.9	0.56	0.23
25	1500	2.01	1.9	0.11	0.05
30	1800	2.12	2.1	0.02	0.01
35	2100	2.75	2.1	0.65	0.24
40	2400	2.47	2.1	0.37	0.15
45	2700	2.54	2.1	0.44	0.17
50	3000	2.69	2.1	0.59	0.22
55	3300	2.78	2.1	0.68	0.24
60	3600	2.15	2.1	0.05	0.02
Hasil rata-rata		2.47	2.04	0.43	0.17

Grafik 4.5 Perbandingan sensor SCT-013 phase T dengan CM CL 150



Pada tabel 4.11 nilai terbesar hasil pembacaan sensor SCT-013 phase T yaitu 2.79 Ampere dan nilai terbesar pembacaan pada *clampmeter* Yokogawa CL 150 sebesar 2.1 Ampere . Total rata-rata pembacaan dari sensor SCT-013 phase T sebesar 2.47 Ampere dan pada *clampmeter* Yokogawa CL150 sebesar 2.04 Ampere. Persentase rata-rata nilai eror dari

sensor SCT-013 phase T ini sebesar 0.17%, Motor induksi induksi yang digunakan dalam uji coba dengan spesifikasi : 1.1 KW 3 Phase, 400/690 VAC, Kelas insulasi F, Efisiensi 75% dan AMP 3.2/1.84. Nilai eror hasil pembacaan STC-013 dibandingkan *clampmeter* Yokogawa CL-150 $\leq 2\%$.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari uji coba monitoring getaran, suhu dan arus pada motor induksi ini diperoleh beberapa kesimpulan yaitu :

1. Pada alat simulasi monitoring getaran, suhu dan arus ini menggunakan Arduino Uno R3 sebagai otak dari keseluruhan system yang menerima pembacaan dari sensor getar ADXL 335, sensor suhu DS18B20 dan Sensor Arus SCT-013 keseluruhan sistem yang bekerja di tampilkan pada software Visual Basic dan juga sebagai media untuk memasukan nilai maksimal dari 3 parameter tersebut sehingga apabila sensor membaca nilai diatas parameter maksimalnya, Arduino akan memberi sinyal *HIGH* pada pin yang dihubungkan ke relay sehingga relay memutus arus listrik yang mengalir pada sistem instalasi control motor tersebut.
2. Berdasarkan *The International Organization for Standardization* (ISO) nomor 10816-3, dengan spesifikasi motor induksi yang digunakan pada saat uji coba alat ini dengan daya 1.1 KW atau 1.47 HP nilai maksimal getarannya sebesar 1.4 mm/s^2 . Nilai kenaikan suhu maksimal motor induksi berpedoman pada The National Electrical Manufacture Association (NEMA) sesuai spesifikasi motor induksi yang digunakan Kelas F nilai maksimalnya 105°C dan parameter ampere dari motor induksi sebesar 2 kali maksimal arus hasutnya.
3. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi karakteristik motor induksi jika dilihat dari faktor kondisi motor induksi berada yaitu suhu sekitar, cuaca, efek vibrasi dari mesin-mesin lain dan beban mekanis yang di hubungkan ke motor. Jika dilihat dari faktor kelistrikan motor yaitu lonjakan tegangan, tegangan kedip dan lonjakan frekuensi. Hal-hal ini yang sering dijumpai sehingga harus diminimalisirkan untuk mendapatkan hasil *monitoring* yang baik sehingga penentuan karakteristik suatu motor induksi sesuai dengan kondisi dari motor induksi tersebut.

5.2 Saran

Acuan nilai maksimal getaran motor induksi saat beroperasi yang berpedoman dengan ISO 10816-3 dinilai pedoman yang presisi yang harus digunakan sebagai pedoman dari parameter getaran. Untuk probe sensor getar perlu adanya *design probe* sensor getar yang lebih flexible untuk semua motor induksi sehingga hasil pembacaanya akan lebih akurat. Pada sensor suhu untuk pengukuran suhu pada kumparan motor induksi harus menggunakan sensor tanpa menggunakan cover almunim sehingga tidak membahayakan akan terjadinya *short body* pada motor induksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhitya, R. Y., & Darwito, P. A. (2015). Deteksi Kegagalan Motor Induksi Jenis Squirrel Cage Berbasis Motor Current Signature Analysis (MCSA). *Seminar Nasional Teknologi Informasi Dan Multimedia 2015*, 6–8.
- Aji, Z. P. (2014). *Teknik Pengukuran Kenaikan Temperature Belitan Motor Induksi Menggunakan Metode Resistansi (Measurement Method of Winding Temperature Rise of Induction Motor Using Resistance Method)*. 57–62.
- Cahyo, W. (2016). *Kerusakan Pada Motor Listrik*. 1(1), 12–17.
- Cendana, U. N. (2018). *MOTOR-MOTOR LISTRIK*. March.
- Fasa, I., Sensor, D., & Berbasis, L. M. (n.d.). 0 -70 0.
- Harahap, P., Pasaribu, F. I., & Adam, M. (2020). Prototype Measuring Device for Electric Load in Households Using the Pzem-004T Sensor. *Budapest International Research in Exact Sciences Journal*, 2(3), 347–361.
- Iec, S. N. I., Study, C., Machine, W., & Bakti, P. (2013). *METODE RESISTANSI UNTUK PENGUKURAN KENAIKAN TEMPERATUR LILITAN BERDASARKAN SNI IEC 60335-1 : 2009 , STUDI KASUS : MESIN CUCI Resistance Methods for Increasing Temperature of Winding Measurement Based on*. 169–176.
- Kurnia Utama, Y. A. (2016). Perbandingan Kualitas Antar Sensor Suhu dengan Menggunakan Arduino Pro Mini. *E-NARODROID*, 2(2). <https://doi.org/10.31090/narodroid.v2i2.210>
- Lu, X., Zhang, J., Ma, L., Lin, J., Wang, J., Wang, J., & Dai, H. (2017). 2720 . *Effects of misalignment on the nonlinear dynamics of a two-shaft rotor-bearing-gear coupling system with rub-impact fault*. 5960–5977. <https://doi.org/10.21595/jve.2017.18476>

- Manual, P. R. (2021). *Arduino ® UNO R3 Target areas : Arduino ® UNO R3 Features*. 1–13.
- Meidiasha, D., Rif, M., & Subekti, M. (2020). Alat Pengukur Getaran, Suara Dan Suhu Motor Induksi Tiga Fasa Sebagai Indikasi Kerusakan Motor Induksi Berbasis Arduino. *Journal of Electrical and Vocational Education and Technology*, 5(1), 366–370.
- Parekh, R. (2003). 00887a. *AC Induction Motor Fundamental*, 1–24.
- Prayogo, D. (2019). Analisis Pengaruh Kerusakan Rotor Pada Motor Induksi 3 Fasa Dengan Metode Motor Current Signature Analysis (Mcsa). *EPIC : Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control*, 2(2), 1–11. <https://doi.org/10.32493/epic.v2i2.2888>
- Rachmanu, F., Suherman, M., Permana, Y., Studi, P., Mesin, T., & Enjinereng, P. (2017). *STUDI SISTEM MONITORING GETARAN PADA MODUL MESIN*. 2(2), 32–41.
- Rimbawati, R., Hutasuhut, A. A., Pasaribu, F. I., Cholish, C., & Muharnif, M. (2017). Design of motor induction 3-Phase from waste industry to generator for microhydro at isolated village. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 237(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/237/1/012021>
- Septianto, F. (2015). Analisa Penurunan Efisiensi Motor Induksi Akibat Cacat Pada Cage Ball Bantalan. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 4(4), 398. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jtm>
- Setiono, A. M., Rijanto, A., & Zulfika, D. N. (2020). *ANALISIS AMPLITUDO GETARAN TERHADAP JENIS KERUSAKAN UNBALANCE , LOOSENESS , DAN KERUSAKAN BEARING PADA MOTOR INDUKSI 3 PHASE Universitas Islam Majapahit , Mojokerto Email Dkmardian@gmail.com PENDAHULUAN Dalam perkembangan teknologi saat ini , ilmu getaran. 2*, 19–31.
- Sianipar, R. (2014). *PENENTUAN DAYA MAKSIMUM MOTOR INDUKSI*

UNTUK DIASUT SECARA LANGSUNG. 12, 71–88.

Syahputra, M., Komputer, N. S., Sains, F., & Teknologi, D. (2020). *Application of Attendance Monitoring System Using RFID (Radio Frequency Identification) and Interface*. 4(3), 1837–1842.
<https://iocscience.org/ejournal/index.php/mantik>

Tiyono. (2013). Perancangan Seting Rele Proteksi Pada Beban Lebih. *Transmisi*, 1, 40–46.

<https://www.bing.com/search?q=perancangan+setting+rele+proteksi+pada+beban+lebih&qsn=&form=QBRE&sp=1&pq=perancangan+setting+rele+proteksi+pada+beban+lebih&sc=0-50&sk=&cvid=9F1C4FDF68FD40D8B70A0E99A9CF763B>

Ulfiana, A. (2010). *Analisis Pengaruh Misalignment Terhadap Vibrasi Dan Kinerja Motor Induksi*. 10(3).

Wachjoei, C. K., & Sianturi, M. Z. (n.d.). *Dampak Vibrasi Mekanik Terhadap Konsumsilistrik Motor Induksi Pompa Air Pendingin*. 204–209.

SIMULASI SISTEM MONITORING GETARAN, SUHU DAN ARUS PADA MOTOR INDUKSI

Riza Fikri Maulana¹, Faisal Irsan Pasaribu, S.T.,M.T.²

^{1,2} Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Jl. Kapt. Muctar Basri No. 3, Glugur Darat II, Kec. Medan Timur, Medan, Sumatera Utara, Indonesia
e-mail: mr.aseng27@gmail.com

Abstrak— Pada dunia industri pemeliharaan motor induksi sangatlah penting dengan cara mengetahui getaran, suhu dan arus pada motor induksi yang dioperasikan secara berkala. Perlu adanya alat yang bisa memantau getaran, suhu dan arus pada motor induksi yang digunakan secara berkala sehingga pengoperasiannya dapat di pantau dengan memberi batas maksimal dari 3 parameter tersebut. Dalam penelitian ini penulis merancang alat simulasi untuk me mantau getara, suhu dan arus yang di dihasilkan pada saat motor induksi di operasikan dengan nilai maksimal dari 3 parameter tersebut mengacu pada nilai getaran berpedoman pada ISO 10816-3, kenaikan temperatur motor menggunakan perhitungan temperatur total kumparan menggunakan metode resistansi dan pada arus maksimal motor induksi disesuaikan dengan name plat motor yang digunakan sehingga menimalisir human eror pada saat pelaksanaan prefentiv pada motor induksi yang dioperasikan. Untuk membaca nilai getaran penulis menggunakan sensor ADXL 335, untuk suhu menggunakan sensor DS18B20 dan untuk arus menggunakan sensor SCT-013. *Setelah dilakukan pengujian rata-rata nilai eror dari masing-masing sensor yang digunakan $\leq 2\%$.*

Kata kunci : Sistem Monitoring, Getaran, Suhu, Arus, Motor Induksi.

Abstract— *In the industrial world, induction motor maintenance is very important by knowing the vibration, temperature and current in an induction motor that is operated regularly. It's necessary to have a tool that can monitor vibration, temperature and current on an induction motor that is used periodically so that it's operation can be monitored by giving a maximun limit of these 3 parameters. In this study the autors designed a simulation tool to monitor the vibration, temperature and current generated when the induction motor is operated with the maximun value of the 3 parameters referring to the vibration value guided by ISO 10816-3, the increase in motor temperature using the calculation of the total coil temperature. Using the resistance method and at the maximum current the induction motor is adjusted to the name plate of the motor used so as to minimize human errors during preventive implementation on the induction motor that is operated. To read the vibration value the author uses the ADXL 335 sensor, for temperature uses the DS18B20 sensor for current uses the SCT-013 sensor. After testing, the average error value of each sensor used in this study was only 2%*

Keywords : System Monitoring, Vibration, Temperature, Current, Induction Motor

PENDAHULUAN

Motor induksi merupakan alat listrik yang mengubah energi listrik menjadi energy mekanik yang berupa tenaga putar (Meidiasha et al., 2020). Motor induksi bekerja berdasarkan induksi medan elkeromanetik dari kumparan stator ke rotornya, motor induksi digunakan di seluruh dunia dalam berbagai aplikasi untuk mengubah energy listrik menjadi energy mekanik. Pada dewasa ini, perkembangan industri di Indonesia semakin meningkat, banyak ditemukan penggunaan motor listrik untuk berbagai macam keperluan. Pada perkembangannya, motor induksi telah mendominasi bidang konversi energy elektromekanik dengan penggunaan sekitar 80% dari berbagai jenis motor listrik yang digunakan di perindustrian (Septianto, 2015). Pemakaiannya meliputi banyak hal yang berkaitan dengan tenaga putar. Motor induksi memang di rancang untuk memiliki banyak keunggulan, adapun kelebihan motor induksi adalah memiliki konstruksi yang sederhana, kehandalan

yang tinggi, biaya yang relatif lebih murah dibandingkan dengan motor jenis yang lain. Disamping keunggulannya, motor induksi juga dapat mengalami gangguan. Lingkungan kerja, instalasi dan faktor produksi bisa menyebabkan kerusakan pada rotor dan stator. Kerusakan tersebut tidak hanya menurunkan efesiensi kerja dari motor induksi, melainkan bisa menimbulkan pengaruh bahaya untuk produksi yang berkelanjutan dan keamanannya.

Ada beberapa hal yang dapat mempengaruhi kerusakan pada motor yaitu tegangan, arus, frekuensi, temperature, getaran, kebisingan (*noise*). (Meidiasha et al., 2020) Sehingga perlu adanya preventif untuk mengetahui kerusakan dini pada motor-motor induksi yang di operasikan di lapangan. Temperatur atau suhu berpengaruh terhadap motor induksi, bila motor induksi terus mengalami suhu yang tinggi makan akan menyebabkan arus pada motor naik dan belitan

pada motor induksi mengalami kerusakan (Imam Faqih, 2020). Dalam pemakainya motor induksi akan mengalami keausan dan penurunan kemampuan berupa gangguan atau kerusakan pada *bearing* dan *unbalce* dapat terjadi pada mesin tersebut tanpa terlihat secara visual, maka dapat dilakukan pencegahan dengan pengecekan getaran induksi yang di opsikan. Perawatan yang dapat dilakukan dengan cara sistem *monitoring* motor induksi (Rachmanu et al., 2017).

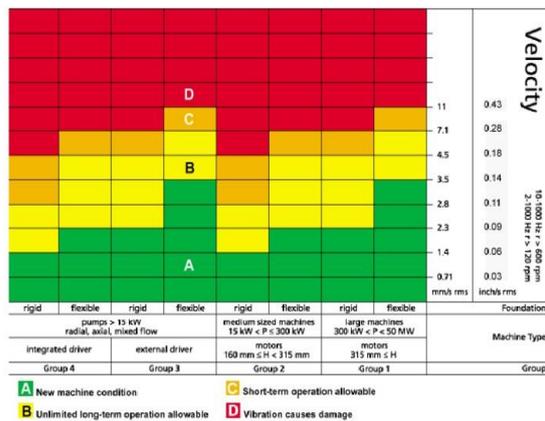
Pada setiap pengoperasian motor induksi pasti dilaksanakannya preventif untuk meminimalisir kerusakan pada motor induksi yang dilakukan oleh teknisi elektrik yang ada. Tetapi pada kasus-kasus kerusakan yang didapati penulis dilapangan, sulitnya mendeteksi dini nilai tidak wajar dari getaran, temperature belitan, dan arus pada motor induksi secara *real time*. Sehingga menurunkan persentase tingkat keefektifitasan dari kegiatan preventif yang dilakukan. Perlu adanya suatu system *monitoring* yang memantau getaran, suhu dan arus secara *realtime*.

STUDI PUSTAKA

Dalam menentukan kelayakan serta karakteristik motor induksi yang digunakan, dalam hal ini penulis menggunakan 3 parameter yaitu.

A. Parameter Getaran

Berdasarkan *International Standard Organisation* (ISO) nilai standard kecepatan vibrasi terhadap kelayakan operasi pada suatu motor listrik dapat dilihat pada gambar berikut.



NORMA ISO 10816-3
Gambar 1 ISO 10816-3

B. Parameter Temperatur

Pada motor induksi yang digunakan secara berulung dengan masa pengoperasian yang tinggi maka akan timbul panas. Oleh karena itu, tiap-tiap motor induksi memiliki batas kelas temperaturnya masing-masing. Berdasarkan standard *The National*

Electrical Manufacture Association (NEMA) dapat dilihat pada gambar 2.

Temperature Tolerance Class	Maximum Operation Temperature Allowed		Allowable Temperature Rise at full load	Allowable Temperature Rise at full load
	°C	°F	1.0 service factor motor 1)	1.15 service factor motor 1)
A	105	221	60	70
B	130	266	80	90
F	155	311	105	115
H	180	356	125	-

Gambar 2 Kelas Isolasi Motor Standard NEMA

Ada banyak metode untuk mengukur kenaikan suhu temperature kumparan motor, salah satunya menggunakan metode resistansi pada persamaan berikut.

$$T_t = T_b + \left(\frac{R_t - R_b}{R_b} \right) (T_b + K)$$

Keterangan :

T_t = Temperatur total kumparan motor (°C)

T_b = Temperatur pada saat motor belum dioperasikan (°C)

R_t = nilai resistansi belitan saat motor selesai dioperasikan (ohm)

R_b = nilai resistansi belitan saat motor belum dioperasikan (ohm)

k = konstanta k

Pada penelitian ini, jenis *coil* motor adalah tembaga dengan nilai $k = 234,5$. t_2 diukur setelah suhu dalam keadaan stabil (Iec et al., 2013)

C. Parameter arus

Pada motor induksi nilai arus maksimal sudah tertera pada *nameplat* dari motor induksi itu sendiri tapi seiring dengan masa pengoperasianya *nameplat* tersebut hilang atau sudah rusak. Berdasarkan standard NEMA perbandingan arus mula motor dengan arus nominal motor induksi 3 phase pada table berikut.

Tabel 1 Perbandingan arus nominal

Kelas Motor Induksi	Iasut/Inominal
A	5 – 7
B	4,5 – 5
C	3,5 – 5
D	3 – 8
E	2 – 4

B. Sensor Accelerometer ADXL 335

Sensor Accelerometer adalah sebuah alat yang berfungsi untuk mengukur percepatan, medeteksi serta mengukur getaran (*vibration*) dan juga mengukur percepatan yang diakibatkan oleh

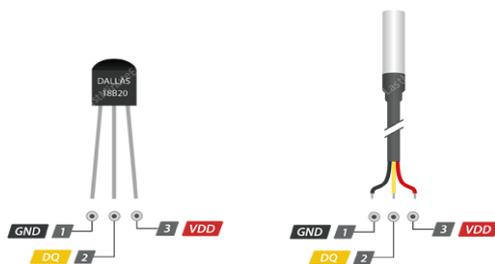
gravitasi (*inklinasi*). Pada sensor ini mengukur percepatan akibat gerakan benda yang melekat pada sensor itu sendiri. Percepatan pada sensor accelerometer ini suatu keadaan dimana berubahnya kecepatan terhadap waktu (m/s), bertambahnya suatu kecepatan dalam rentang waktu juga dikatakan suatu percepatan. Percepatan juga berkaitan dengan pada arah atau orientasi hal ini dikarenakan penurunan kecepatan yang merupakan sebuah vector.



Gambar 2 Modul Sensor Accelerometer ADXL 335

C. Sensor suhu DS18B20

Sensor suhu DS18B20 merupakan sensor suhu dengan sinyal output digital yang menggunakan 1 kabel untuk berkomunikasi dengan perangkat MCU, keunikan dari sensor ini pada tiap sensor memiliki kode serial yang memungkinkan user untuk penggunaan module DS18B20 lebih dari satu dalam satu komunikasi 1 kabel. Sensor ini penggunaannya sangat mudah dan fleksibel jika digunakan untuk mengukur suhu kumparan motor.



Gambar 3 Module Sensor Suhu DS18B20

D. Sensor Arus SCT-013

Sensor SCT 013-000 merupakan sensor yang di gunakan untuk mengukur arus bolak-balik (AC), bagian dalam dari sensor arus ini berupa *current transformer* yang mampu membaca nilai dari arus AC yang mengalir pada sensor. Sensor arus SCT 013-000 dapat membaca nilai arus hingga 100A, rasio putaran dari sensor ini 100A : 0,05A.

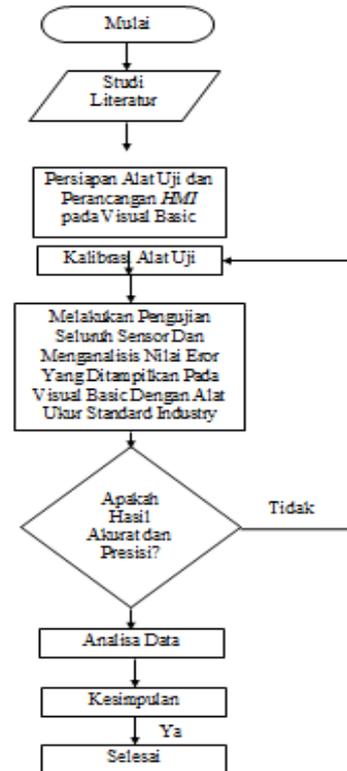


Gambar 4 Sensor Arus SCT-013

METODE

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

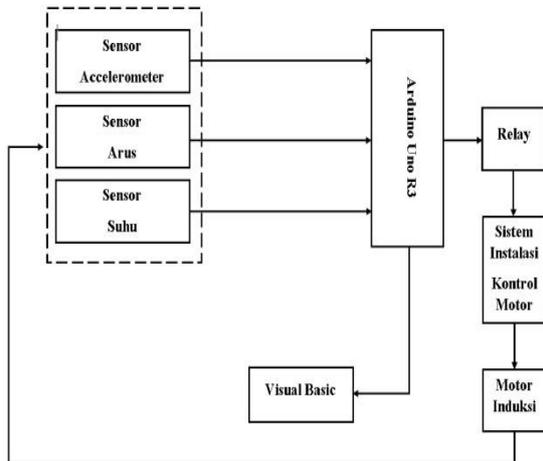
Dalam pelaksanaan penelitian ini dilakukan dengan melakukan simulasi perancangan Sistem Monitoring Getaran, Suhu Dan Arus Pada Motor Induksi di Workshop Rewinding MM Kim- 2. Kelurahan Mabar, Kecamatan Medan Deli, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara. Waktu pelaksanaan penelitian tugas akhir ini berlangsung dimulai dari bulan 18 Oktober 2021 sampai 20 April 2022.



Gambar 5 Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Perancangan Sistem Monitoring



Gambar 6 Alur Kerja Sistem Monitoring

Pada blok diagram diatas terdapat 4 bagian yang memiliki peran serta fungsi berbeda-beda yang apabila digabungkan menjadi suatu system yang dapat berkerja dengan baik. Berikut fungsi tiap-tiap bagian blok diagram diatas.

5. Bagian Sensor, pada bagian ini sensor berfungsi membaca nilai perannya masing – masing kemudian sinyal keluaran dari sensor ini akan diteruskan ke Arduino Uno R3 sebagai *input* parameter sistem.
6. Arduino Uno R3, berfungsi sebagai tempat pengolahan parameter yang ada atau sebagai otak dari perancangan alat ini.
7. Relay, relay berfungsi sebagai penerima sinyal *output* dari Arduino Uno R3. Relay akan memutus arus yang mengalir pada system control motor apabila pada bagian sensor mengirim nilai diluar batas toleransi dari parameter sensor tersebut.
8. Visual Basic, dalam bagian ini Visual Basic sebagai HMI (*Human Machie Interface*) dimana seluruh system yang berkerja akan ditampilkan pada bagian ini.



Gambar 7 Alat Hasil Rancangan



Gambar 8 Tampilan HMI Pada Labview

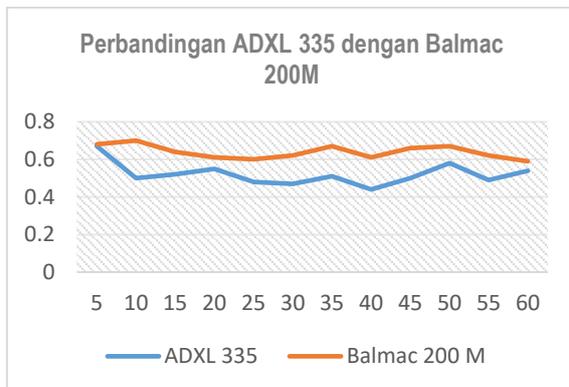
Pada HMI yang dibuat melalui software Labview ini berfungsi sebagai tampilan dari semua sistem yang berjalan. Hasil pembacaan dari semua sensor ditampilkan pada HMI tersebut dan untuk memasukan nilai parameter di isi pada kolom disamping hasil pembacaan sensor.

B. Hasil Perbandingan Persentase Error Getaran

Tabel 2 Persentase error sensor getar ADXL 335

Waktu Percobaan		Hasil Pembacaan Sensor (mm/s ²)		Selisih Nilai Output Sensor	Persentase nilai Error sensor (%)
menit	detik	ADXL 335	Balmac 200 M		
5	300	0.67	0.68	0.01	0.01
10	600	0.5	0.7	0.2	0.29
15	900	0.52	0.64	0.12	0.19
20	1200	0.55	0.61	0.06	0.10
25	1500	0.48	0.6	0.12	0.20
30	1800	0.47	0.62	0.15	0.24
35	2100	0.51	0.67	0.16	0.24
40	2400	0.44	0.61	0.17	0.28
45	2700	0.5	0.66	0.16	0.24
50	3000	0.58	0.67	0.09	0.13
55	3300	0.49	0.62	0.13	0.21
60	3600	0.54	0.59	0.05	0.08
Hasil rata - rata		0.52	0.64	0.12	0.18

Grafik 1 Perbandingan ADXL 335 dengan vibrasi meter Balmac



Pada tabel 6 diatas menunjukkan persentase nilai yang dihasilkan oleh sensor getar ADXL 335 yang dipasang pada motor induksi yang diujicobakan dengan perbandingan menggunakan vibrasi meter merk Balmac tipe 200M dengan total 12 sampel yang diambil dengan durasi *monitoring* selama 1 jam/3600 detik, dengan rata-rata nilai pembacaan pada sensor ADXL 335 yaitu 0.52 mm/s^2 dan rata-rata Balmac 200M sebesar 0.64 mm/s^2 . Dengan spesifikasi motor induksi yang digunakan pada saat uji coba alat ini dengan daya 1.1 KW atau setara 1.47 HP nilai maksimal getarannya berdasarkan ISO 10816-3 sebesar 1.4 mm/s^2 sehingga nilai rata-rata hasil pembacaan sensor getar pada monitoring getaran ini masi dalam batas aman. Nilai maksimal dari getaran motor induksi berdasarkan dayanya dapat dilihat dalam gambar 2.16. Dari data yang didapatkan tersebut, selisih nilai pembacaan antara sensor ADXL

335 dan sensor vibrasi meter Balmac 200M sebesar 0.12 mm/s^2 dengan persentase rata-rata nilai error pada sensor sebesar 0.18%. Posisi penempatan sensor pada permukaan motor yang berbeda dengan vibrasi meter memungkinkan terjadinya error saat proses *monitoring* ini, nilai error yang dihasilkan antar kedua sensor $\leq 2\%$.

C. Hasil Persentase Error Sensor Suhu DS18B20

Berdasarkan *datasheet* yang diterbitkan oleh Dallas Semiconductor yang merupakan produsen dari sensor suhu DS18B20 yang berbasis di US, tingkat akurasi dari sensor ini pada rentang pengukuran -10°C sampai $+85^{\circ}\text{C}$ sebesar $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Sensor ini merupakan sensor dengan sinyal keluaran digital dengan komunikasi unik 1 kabel, sehingga tidak ada opsi untuk mengukur tegangan pin data tiap keliptan suhunya. Maka pada penelitian ini penulis membandingkan nilai pembacaan sensor suhu DS18B20 dengan menghitung kenaikan temperatur kumparan motor induksi metode resistansi.

Tabel 3 Parameter metode resistansi

menit(Tt)	detik	Tb	Rt	Rb	K
5	300	31.31	18,479	18,398	234,5
10	600	31.31	18,510	18,398	234,5
15	900	31.31	18,519	18,398	234,5
20	1200	31.31	18,539	18,398	234,5
25	1500	31.31	18,548	18,398	234,5
30	1800	31.31	18,567	18,398	234,5
35	2100	31.31	18,579	18,398	234,5
40	2400	31.31	18,584	18,398	234,5
45	2700	31.31	18,592	18,398	234,5
50	3000	31.31	18,599	18,398	234,5
55	3300	31.31	18,630	18,398	234,5
60	3600	31.31	18,652	18,398	234,5

Setelah mengukur resistansi motor induksi yang diujicobakan tiap lima menit selama satu jam, didapatkan 12 sampel resistansi motor yang berubah pada saat motor selesai dioperasikan maka temperatur motor induksi yang diujicobakan dengan perhitungan dibawah ini :

$$T_t = T_b + \left(\frac{R_t - R_b}{R_b} \right) (T_b + K)$$

$$T_5 = 31.31 + \left(\frac{18,479 - 18,398}{18,398} \right) (31.31 + 234,5) = 32,48^{\circ}\text{C}$$

$$T_{10} = 31.31 + \left(\frac{18,510 - 18,398}{18,398} \right) (31.31 + 234,5) = 32,92^{\circ}\text{C}$$

$$T_{15} = 31.31 + \left(\frac{18,519 - 18,398}{18,398} \right) (31.31 + 234,5) = 33,05^{\circ}\text{C}$$

$$T_{520} = 31.31 + \left(\frac{18,539 - 18,398}{18,398} \right) (31.31 + 234,5) = 33,34^{\circ}\text{C}$$

$$T_{25} = 31.31 + \left(\frac{18,548 - 18,398}{18,398} \right) (31.31 + 234,5) = 33,47 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{30} = 31.31 + \left(\frac{18,567 - 18,398}{18,398} \right) (31.31 + 234,5) = 33,75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{35} = 31.31 + \left(\frac{18,579 - 18,398}{18,398} \right) (31.31 + 234,5) = 33,92 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{40} = 31.31 + \left(\frac{18,584 - 18,398}{18,398} \right) (31.31 + 234,5) = 33,99 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{45} = 31.31 + \left(\frac{18,592 - 18,398}{18,398} \right) (31.31 + 234,5) = 34,11 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{50} = 31.31 + \left(\frac{18,599 - 18,398}{18,398} \right) (31.31 + 234,5) = 34,21 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{55} = 31.31 + \left(\frac{18,630 - 18,398}{18,398} \right) (31.31 + 234,5) = 34,66 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{60} = 31.31 + \left(\frac{18,652 - 18,398}{18,398} \right) (31.31 + 234,5) = 34,87 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Dari hasil Analisa kenaikan suhu temperature pada kumparan motor menggunakan metode resistansi, didapat perbandingan pembacaan suhu DS18B20 pada tabel 8 berikut.

Tabel 4 Perbandingan sensor DS18B20 dengan Temperatur total kumparan

Waktu Percobaan		Hasil Pembacaan Sensor (°C)	Tt (°C)	Selisih Nilai Output Sensor	Persentase nilai Error sensor (%)
menit	detik	DS18b20			
5	300	31.31	32.48	1.17	0.04
10	600	31.87	32.92	1.05	0.03
15	900	32.13	33.05	0.92	0.03
20	1200	32.06	33.34	1.28	0.04
25	1500	32.25	33.47	1.22	0.04
30	1800	32.56	33.75	1.19	0.04
35	2100	32.81	33.92	1.11	0.03
40	2400	32.94	33.99	1.05	0.03
45	2700	33.00	34.11	1.11	0.03
50	3000	33.50	34.21	0.71	0.02
55	3300	33.81	34.66	0.85	0.02
60	3600	34.88	34.97	0.09	0.00
Hasil rata-rata		32.76	33.74	0.98	0.03

Berdasarkan hasil *monitoring* pada kumparan motor ini, nilai persentase error yang dibandingkan dengan temperatur total menggunakan metode resistansi sebesar 0.03%. Dengan rata-rata total pembacaan DS18B20 sebesar 32.76°C dan rata-rata total berdasarkan perhitungan kenaikan temperatur

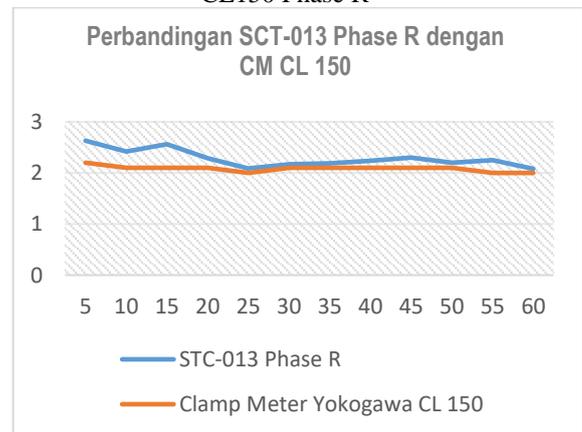
kumparan motor menggunakan metode resistansi sebesar 33.74°C. Dari standard kenaikan temperature yang berpedoman pada NEMA, spesifikasi motor induksi yang diujikan tertera pada *name plate* - nya isolasi kelas F yang berarti jika motor dalam beban penuh dan power faktornya mendekati 1, maka suhu maksimalnya sebesar 105°C. Nilai error dari pembacaan sensor DS18B20 ≤ 1%, hal ini selaras dengan *datasheet* yang diterbitkan oleh Dallas Semiconductor untuk produk ini..

D. Persentase Error Sensor Arus SCT-013 Phase R

Tabel 5 Persentase Nilai Error Phase R

Waktu Percobaan		Hasil Pembacaan Sensor Arus Phase R (Amper)		Selisih Nilai Output Sensor	Persentase nilai Error sensor (%)
menit	detik	STC-013 Phase R	Clamp Meter Yokogawa CL 150		
5	300	2.63	2.2	0.43	0.16
10	600	2.42	2.1	0.32	0.13
15	900	2.56	2.1	0.46	0.18
20	1200	2.29	2.1	0.19	0.08
25	1500	2.09	2	0.09	0.04
30	1800	2.17	2.1	0.07	0.03
35	2100	2.19	2.1	0.09	0.04
40	2400	2.24	2.1	0.14	0.06
45	2700	2.3	2.1	0.2	0.09
50	3000	2.2	2.1	0.1	0.05
55	3300	2.25	2	0.25	0.11
60	3600	2.08	2	0.08	0.04
Hasil rata-rata		2.29	2.08	0.20	0.08

Grafik 2 Perbandingan SCT 0-13 dengan CM CL150 Phase R



Dari sampel diatas nilai hasil pengukuran dari sensor SCT-013 phase R terbesar 2.63 Ampere dengan nilai total rata-rata pada pembacaannya sebesar 2.29 Ampere, hasil pembacaan terbesar pada *clammeter* Yokogawa CL 150 2.2 Ampere dengann total rata-rata sebesar 2.08 Ampere. Persentase error pada pengujian sensor SCT-013 pada phase R ini sebesar 0.08%. Total rata-rata Persentase nilai error pembacaan sensor SCT-013 phase R sebesar 0.08%

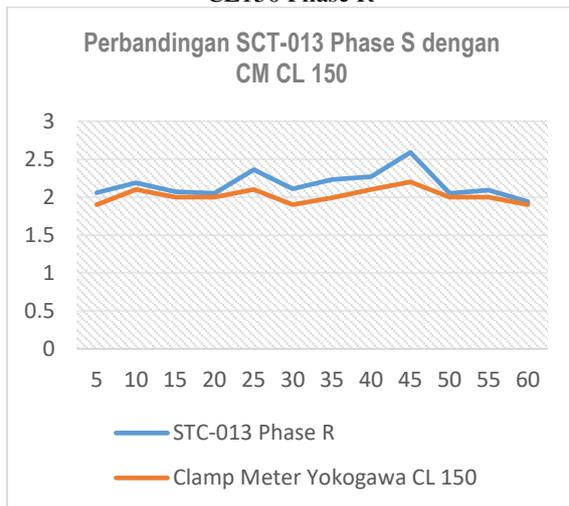
nilai eror hasil pembacaan STC-013 dibandingkan *clampmeter* Yokogawa CL-150 $\leq 2\%$.

E. Persentase Error Sensor Arus SCT-013 Phase S

Tabel 6 Persentase Nilai Error Phase S

Waktu Percobaan		Hasil Pembacaan Sensor Arus Phase S (Amper)		Selisih Nilai Output Sensor	Persentase nilai Error sensor (%)
menit	detik	STC-013 Phase R	Clamp Meter Yokogawa CL 150		
5	300	2.06	1.90	0.16	0.08
10	600	2.19	2.10	0.09	0.04
15	900	2.07	2.00	0.07	0.03
20	1200	2.05	2.00	0.05	0.02
25	1500	2.36	2.10	0.26	0.11
30	1800	2.11	1.90	0.21	0.10
35	2100	2.23	1.99	0.24	0.11
40	2400	2.27	2.10	0.17	0.07
45	2700	2.59	2.20	0.39	0.15
50	3000	2.05	2.00	0.05	0.02
55	3300	2.09	2.00	0.09	0.04
60	3600	1.94	1.90	0.04	0.02
Hasil rata-rata		2.17	2.02	0.15	0.07

Grafik 3 Perbandingan SCT 0-13 dengan CM CL150 Phase R



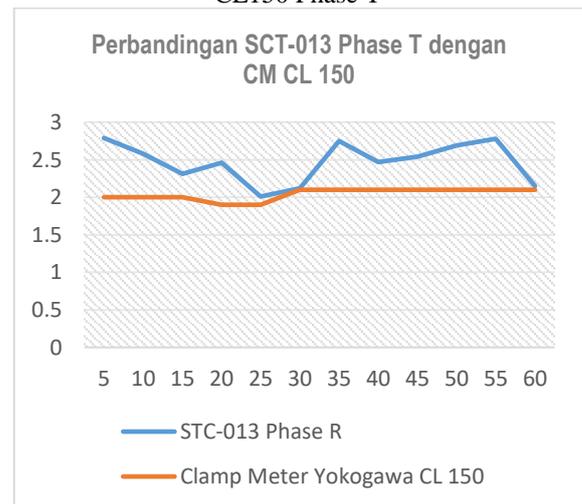
Dari sampel diatas nilai hasil pengukuran dari sensor SCT-013 phase S terbesar 2.59 Ampere dengan nilai total rata-rata pada pembacaannya sebesar 2.17 Ampere, hasil pembacaan terbesar pada *clampmeter* Yokogawa CL 150 2.2 Ampere dengann total rata-rata yaitu 2.02 Ampere pada STC-013 phase S. Persentase eror pada pengujian sensor SCT-013 pada phase R ini sebesar 0.08%. Total rata-rata Persentase nilai eror pembacaan sensor SCT-013 phase R sebesar 0.08% nilai eror hasil pembacaan STC-013 dibandingkan *clampmeter* Yokogawa CL-150 $\leq 2\%$.

F. Persentase Error Sensor Arus SCT-013 Phase T

Tabel 7 Persentase Nilai Error Phase T

Waktu Percobaan		Hasil Pembacaan Sensor Arus Phase T (Amper)		Selisih Nilai Output Sensor	Persentase nilai Error sensor (%)
menit	detik	STC-013 Phase R	Clamp Meter Yokogawa CL 150		
5	300	2.79	2	0.79	0.28
10	600	2.58	2	0.58	0.22
15	900	2.31	2	0.31	0.13
20	1200	2.46	1.9	0.56	0.23
25	1500	2.01	1.9	0.11	0.05
30	1800	2.12	2.1	0.02	0.01
35	2100	2.75	2.1	0.65	0.24
40	2400	2.47	2.1	0.37	0.15
45	2700	2.54	2.1	0.44	0.17
50	3000	2.69	2.1	0.59	0.22
55	3300	2.78	2.1	0.68	0.24
60	3600	2.15	2.1	0.05	0.02
Hasil rata-rata		2.47	2.04	0.43	0.17

Grafik 4 Perbandingan SCT 0-13 dengan CM CL150 Phase T



Nilai terbesar hasil pembacaan sensor SCT-013 phase T yaitu 2.79 Ampere dan nilai terbesar pembacaan pada *clampmeter* Yokogawa CL 150 sebesar 2.1 Ampere . Total rata-rata pembacaan dari sensor SCT-013 phase T sebesar 2.47 Ampere dan pada *clampmeter* Yokogawa CL150 sebesar 2.04 Ampere. Persentase rata-rata nilai eror dari sensor SCT-013 phase T ini sebesar 0.17%. Nilai eror hasil pembacaan STC-013 dibandingkan *clampmeter* Yokogawa CL-150 $\leq 2\%$.

KESIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

Dari uji coba monitoring getaran, suhu dan arus pada motor induksi ini diperoleh beberapa kesimpulan yaitu :

4. Pada alat simulasi monitoring getaran, suhu dan arus ini menggunakan Arduino Uno R3 sebagai otak dari keseluruhan system yang menerima pembacaan dari sensor getar ADXL 335, sensor suhu DS18B20 dan Sensor Arus SCT-013 keseluruhan sistem yang bekerja di tampilkan pada software Visual Basic dan juga sebagai media untuk memasukan nilai maksimal dari 3 parameter tersebut sehingga apabila sensor membaca nilai diatas parameter maksimalnya, Arduino akan memberi sinyal *HIGH* pada pin yang dihubungkan ke relay sehingga relay memutuskan arus listrik yang mengalir pada sistem instalasi control motor tersebut.
5. Berdasarkan *The International Organization for Standardization* (ISO) nomor 10816-3, dengan spesifikasi motor induksi yang digunakan pada saat uji coba alat ini dengan daya 1.1 KW atau 1.47 HP nilai maksimal getarannya sebesar 1.4 mm/s^2 . Nilai kenaikan suhu maksimal motor induksi berpedoman pada The National Electrical Manufacture Association (NEMA) sesuai spesifikasi motor induksi yang digunakan Kelas F nilai maksimalnya 105°C dan parameter ampere dari motor induksi sebesar 2 kali maksimal arus hasutnya.
6. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi karakteristik motor induksi jika dilihat dari faktor kondisi motor induksi berada yaitu suhu sekitar, cuaca, efek vibrasi dari mesin-mesin lain dan beban mekanis yang di hubungkan ke motor. Jika dilihat dari faktor kelistrikan motor yaitu lonjakan tegangan, tegangan kedip dan lonjakan frekuensi. Hal-hal ini yang sering dijumpai sehingga harus diminimalisirkan untuk mendapatkan hasil *monitoring* yang baik sehingga penentuan karakteristik suatu motor induksi sesuai dengan kondisi dari motor induksi tersebut.

SARAN

Acuan nilai maksimal getaran motor induksi saat beroperasi yang berpedoman dengan ISO 10816-3 dinilai pedoman yang presisi yang harus digunakan sebagai pedoman dari parameter getaran. Untuk probe sensor getar perlu adanya *design probe* sensor getar yang lebih flexible untuk semua motor induksi sehingga hasil pembacaanya akan lebih akurat. Pada sensor suhu untuk pengukuran

suhu pada kumparan motor induksi harus menggunakan sensor tanpa menggunakan cover almunim sehingga tidak membahayakan akan terjadinya *sort body* pada motor induksi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhitya, R. Y., & Darwito, P. A. (2015). Deteksi Kegagalan Motor Induksi Jenis Squirrel Cage Berbasis Motor Current Signature Analysis (Mcsa). *Seminar Nasional Teknologi Informasi Dan Multimedia 2015*, 6–8.
- Aji, Z. P. (2014). *Teknik Pengukuran Kenaikan Temperature Belitan Motor Induksi Menggunakan Metode Resistansi (Measurement Method Of Windingtemperature Rise Of Induction Motor Using Resistance Method)*. 57–62.
- Cahyo, W. (2016). *Kerusakan Pada Motor Listrik*. 1(1), 12–17.
- Cendana, U. N. (2018). *Motor-Motor Listrik*. March.
- Fasa, I., Sensor, D., & Berbasis, L. M. (N.D.). 0 -70 0.
- Harahap, P., Pasaribu, F. I., & Adam, M. (2020). Prototype Measuring Device For Electric Load In Households Using The Pzem-004t Sensor. *Budapest International Research In Exact Sciences Journal*, 2(3), 347–361.
- Iec, S. N. I., Study, C., Machine, W., & Bakti, P. (2013). *Metode Resistansi Untuk Pengukuran Kenaikan Temperatur Lilitan Berdasarkan Sni Iec 60335-1 : 2009 , Studi Kasus : Mesin Cuci Resistance Methods For Increasing Temperature Of Winding Measurement Based On*. 169–176.
- Kurnia Utama, Y. A. (2016). Perbandingan Kualitas Antar Sensor Suhu Dengan Menggunakan Arduino Pro Mini. *E-Narodroid*, 2(2). <https://doi.org/10.31090/Narodroid.V2i2.210>
- Lu, X., Zhang, J., Ma, L., Lin, J., Wang, J., Wang, J., & Dai, H. (2017). 2720 . *Effects Of Misalignment On The Nonlinear Dynamics Of A Two-Shaft Rotor-Bearing-Gear Coupling System With Rub-Impact Fault*. 5960–5977. <https://doi.org/10.21595/Jve.2017.18476>
- Manual, P. R. (2021). *Arduino ® Uno R3 Target Areas : Arduino ® Uno R3 Features*. 1–13.

- Meidiasha, D., Rif, M., & Subekti, M. (2020). Alat Pengukur Getaran, Suara Dan Suhu Motor Induksi Tiga Fasa Sebagai Indikasi Kerusakan Motor Induksi Berbasis Arduino. *Journal Of Electrical And Vocational Education And Technology*, 5(1), 366–370.
- Parekh, R. (2003). 00887a. *Ac Induction Motor Fundamental*, 1–24.
- Prayogo, D. (2019). Analisis Pengaruh Kerusakan Rotor Pada Motor Induksi 3 Phasa Dengan Metode Motor Current Signature Analysis (Mcsa). *Epic : Journal Of Electrical Power, Instrumentation And Control*, 2(2), 1–11. <https://doi.org/10.32493/epic.V2i2.2888>
- Rachmanu, F., Suherman, M., Permana, Y., Studi, P., Mesin, T., & Enjinereng, P. (2017). *Studi Sistem Monitoring Getaran Pada Modul Mesin*. 2(2), 32–41.
- Rimbawati, R., Hutasuhut, A. A., Pasaribu, F. I., Cholish, C., & Muharnif, M. (2017). Design Of Motor Induction 3-Phase From Waste Industry To Generator For Microhydro At Isolated Village. *Iop Conference Series: Materials Science And Engineering*, 237(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899x/237/1/012021>
- Septianto, F. (2015). Analisa Penurunan Efisiensi Motor Induksi Akibat Cacat Pada Cage Ball Bantalan. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 4(4), 398. <http://ejournal-S1.Undip.Ac.Id/Index.Php/Jtm>
- Setiono, A. M., Rijanto, A., & Zulfika, D. N. (2020). *Analisis Amplitudo Getaran Terhadap Jenis Kerusakan Unbalance , Looseness , Dan Kerusakan Bearing Pada Motor Induksi 3 Phase Universitas Islam Majapahit , Mojokerto Email Dkmardian@Gmail.Com Pendahuluan Dalam Perkembangan Teknologi Saat Ini , Ilmu Getaran*. 2, 19–31.
- Sianipar, R. (2014). *Penentuan Daya Maksimum Motor Induksi Untuk Diasut Secara Langsung*. 12, 71–88.
- Syahputra, M., Komputer, N. S., Sains, F., & Teknologi, D. (2020). *Application Of Attendance Monitoring System Using Rfid (Radio Frequency Identification) And Interface*. 4(3), 1837–1842. <https://iocscience.org/Ejournal/Index.Php/Mantik>
- Tiyono. (2013). Perancangan Setting Rele Proteksi Pada Beban Lebih. *Transmisi*, 1, 40–46. <https://www.bing.com/search?q=Perancangan+Setting+Rele+Proteksi+Pada+Beban+Lebih&qs=N&form=Qbre&sp=1&pq=Perancangan+Setting+Rele+Proteksi+Pada+Beban+Lebih&sc=0-50&sk=&cvid=9f1c4fdf68fd40d8b70a0e99a9cf763b>
- Ulfiana, A. (2010). *Analisis Pengaruh Misalignment Terhadap Vibrasi Dan Kinerja Motor Induksi*. 10(3).
- Wachjoei, C. K., & Sianturi, M. Z. (N.D.). *Dampak Vibrasi Mekanik Terhadap Konsumsilistrik Motor Induksi Pompa Air Pendingin*. 204–209.

LAMPIRAN

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

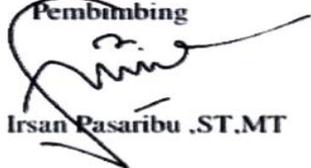
Simulasi Sistem Monitoring Getaran, Suhu Dan Arus Pada Motor Induksi

Nama : Riza Fikri Maulana

NPM : 1707220015

Dosen Pembimbing : Faisal Irsan Pasaribu ,ST.MT

NO	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1	09 September 2021	Penambahan teori untuk BAB II tentang poin 1 dan 2 pada ruang lingkup pada BAB I	
2	10 September 2021	Penambahan teori tentang prinsip kerja motor induksi pada BAB II	
3	11 September 2021	Perbaikan format jenis citasi	
4	20 September 2021	Penambahan gambar dan keterangan dari alat dan bahan yang digunakan pada BAB III	
5	22 September 2021	Perbaikan flowchat penelitian	
6	23 September 2021	Memperbaiki penulisan kata yang salah pada BAB III	
7	25 September 2021	ACC seminar Proposal	
8			

Pembimbing

Faisal Irsan Pasaribu ,ST.MT

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

Simulasi Sistem Monitoring Getaran, Suhu Dan Arus Pada Motor Induksi

Nama : Riza Fikri Maulana

NPM : 1707220015

Dosen Pembimbing : Faisal Irsan Pasaribu ,ST,MT

NO	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1	28 Februari 2022	Perbaikan margin dan spasi pada bab 4	
2	02 Maret 2022	Penambahan cara kerja tiap sensor	
3	12 Maret 2022	Penambahan cara kerja dan penggunaan alat yang di ujikan	
4	14 Maret 2022	Tampilkan grafik perbedaan dari hasil pembacaan sensor dengan alat pembandingnya	
5	19 Maret 2022	Penambahan foto pada saat pengujian alat <i>Abstract, kesimpulan daftar isi</i>	
6	22 Maret 2022	<i>ACE untuk seminar Hasil</i>	
7			
8			

Pembimbing


Faisal Irsan Pasaribu ,ST,M

LEMBAR ASISTENSI TUGAS AKHIR

“SIMULASI SISTEM MONITORING GETARAN, SUHU DAN ARUS PADA MOTOR INDUKSI”

Nama : RIZA FIKRI MAULANA

NPM : 1707220015

Dosen Pembimbing : FAISAL IRSAN PASARIBU, ST., M.T.

NO	Hari/Tanggal	Kegiatan	Paraf
1	Senin, 11 April 2022	Perbaikan table data hasil monitoring BAB IV	
2	Selasa, 12 April 2022	Penambahan penjelasan pada table data hasil monitoring BAB IV	
3	Rabu, 13 April 2022	Perbaikan point-point kesimpulan	
4	Kamis, 14 April 2022	ACC SIDANG TUGAS AKHIR	
5			
6			
7			
8			

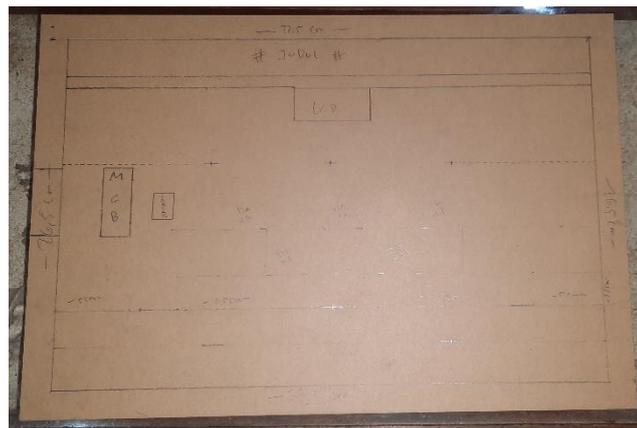
Pembimbing



FAISAL IRSAN PASARIBU, ST., M.T.



Gambar komponen sebelum menjadi module



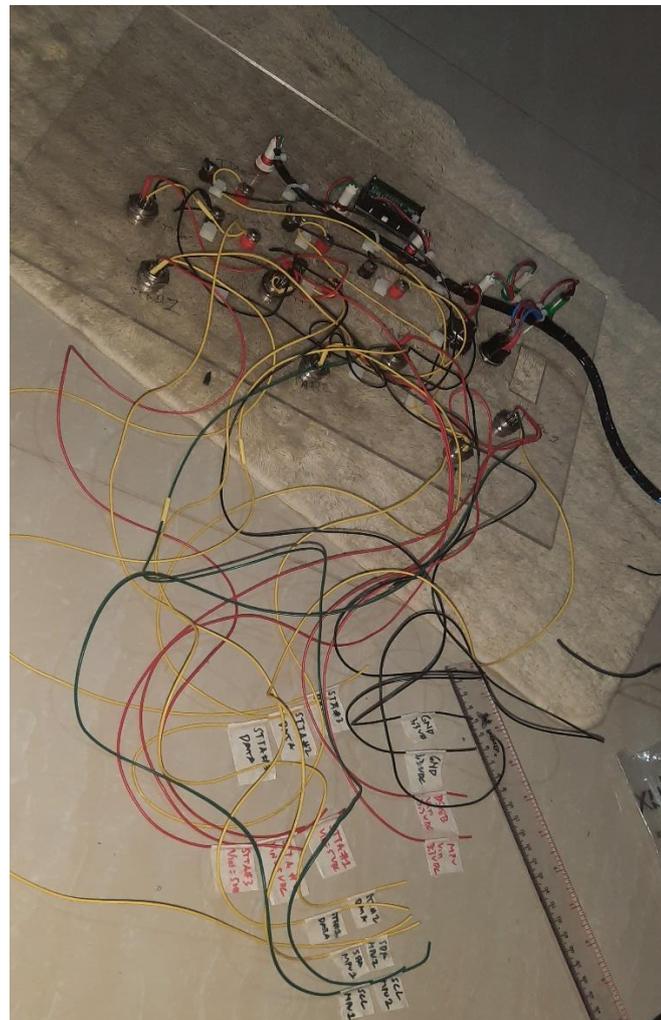
Gambar akrilik bagian depan kit simulasi



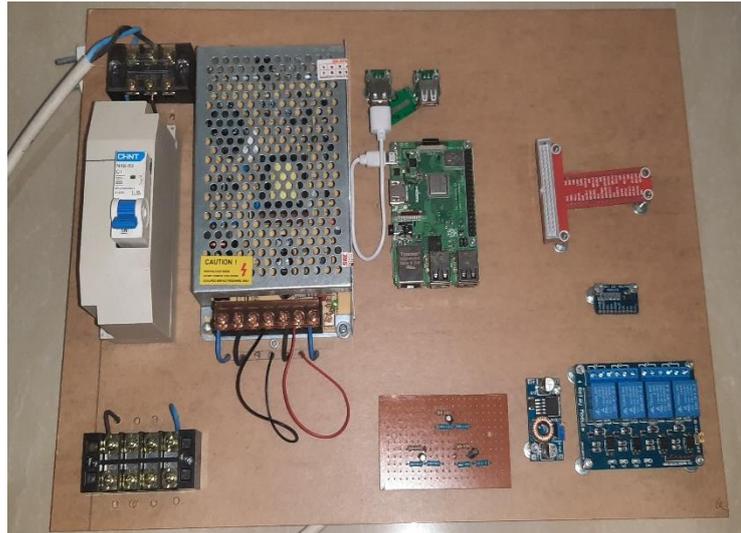
Gambar proses melubangi akrilik bagian depan



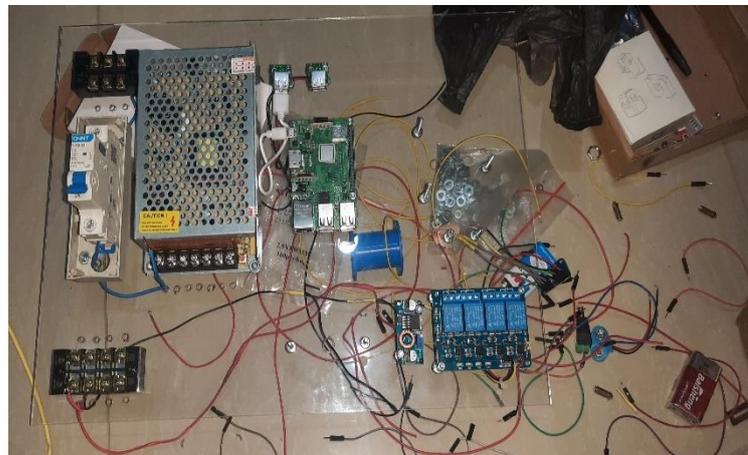
Gambar akrilik bagian depan setelah dilubangi



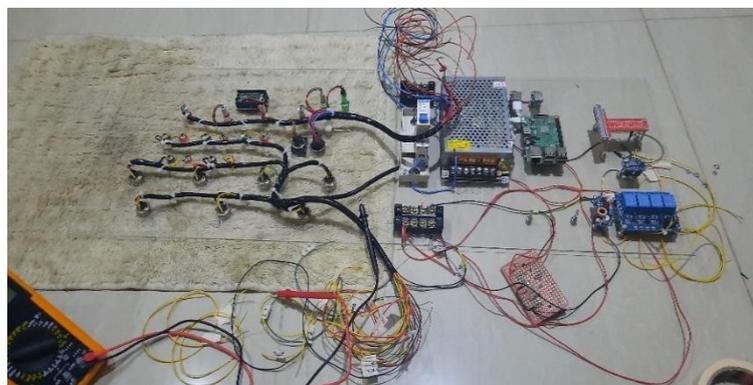
Gambar akrilik bagian depan setelah di pasang komponen
Bagian depan kit simulasi



Gambar komponen kontrol pada akrilik bagian tengah



Gambar komponen kontrol setelah di pasang pada bagian Akrilik bagian tengah



Gambar proses mengkoneksikan socket sensor pada akrilik bagian depan dengan komponen kontrol pada akrilik bagian tengah



Gambar kit simulasi setelah di pasang pada rangkanya dilihat dari bagian bawah



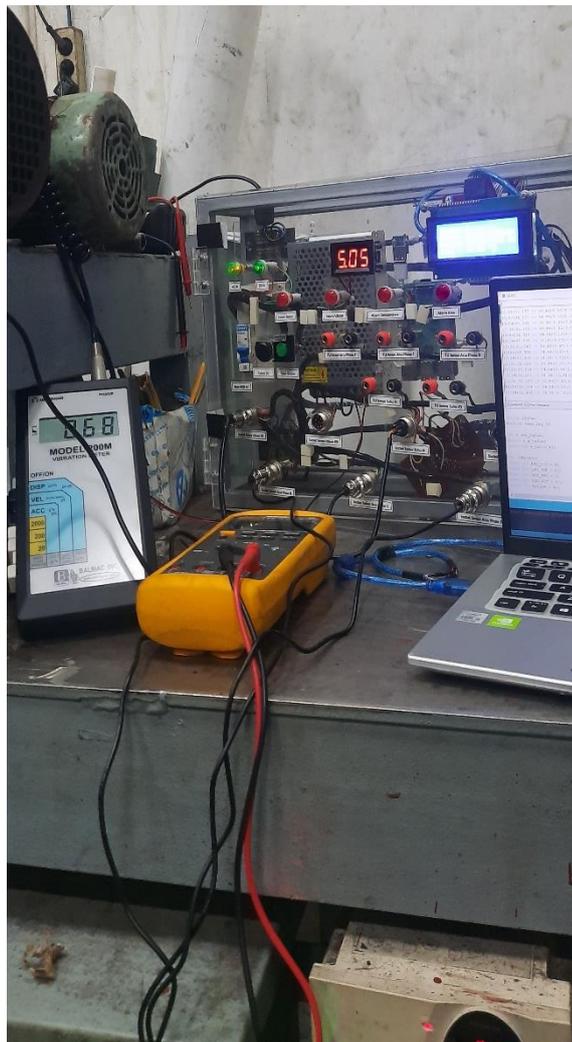
Gambar kit simulasi dilihat dari bagian depan



Gambar proses uji coba alat



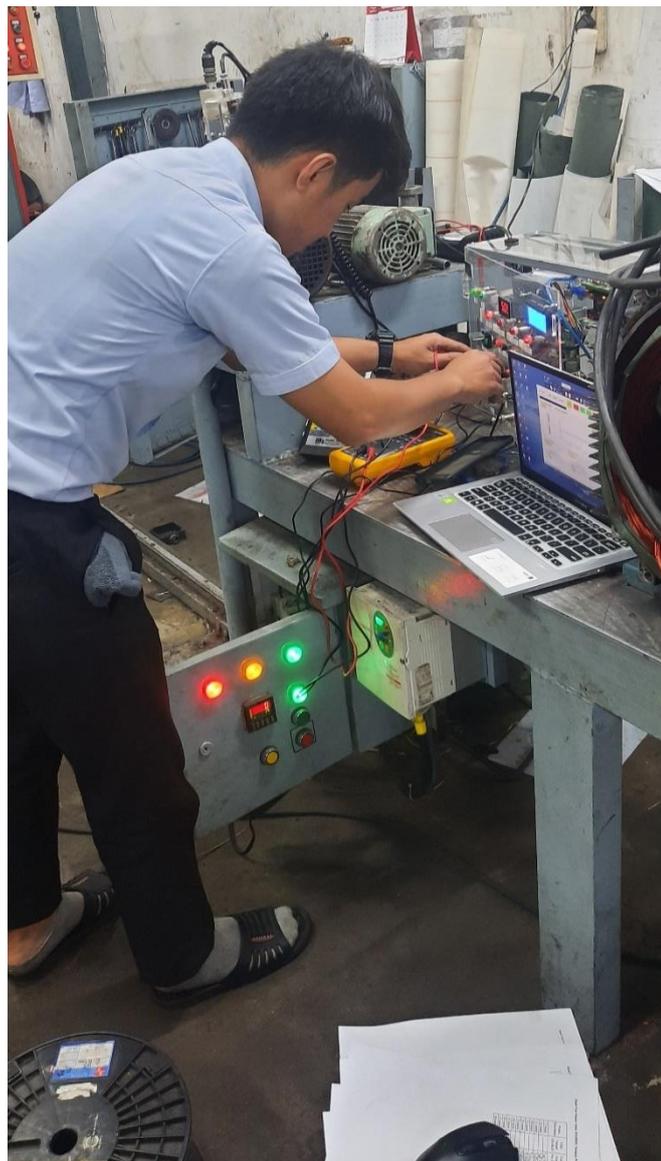
Gambar uji coba alat



Gambar uji coba alat dilihat dari dekat



Gambar proses setting parameter pada HMI



Gambar pengambilan data pada saat uji coba

RIWAYAT HIDUP



Nama : RIZA FIKRI MAULANA
NPM : 1707220015
TTL : Medan, 27 November 1999
Alamat : Jl Inspeksi Komp. Griya Marelان III Blok B Chrisant
No. 25 LK. 29
Email : mr.aseng27@gmail.com

PENDIDIKAN FORMAL

Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
Taman Kanak-Kanak	TK Aisiyah Bustanul Athfal 02	2004-2005
Sekolah Dasar	SD Muhammadiyah 04	2005-2011
Sekolah Menengah Pertama	SMP Negeri 20 Medan	2011-2014
Sekolah Menengah Kejuruan	SMK Negeri 05 Medan	2014-2017
Perguruan Tinggi / Strata 1	Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	2017-2022