

**ANALISIS IDENTIFIKASI KECACATAN *BEARING* MOTOR INDUKSI
BERDASARKAN KARAKTERISTIK ARUS STATOR DAN TORSI PADA
RPM BERBASIS *FAST FOURIER TRANSFORM***

(Skripsi)

Oleh

MUHAMMAD MAHKUTA PRAWIRA DARMAWAN

1915031072



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2023

ABSTRAK

ANALISIS IDENTIFIKASI KECACATAN *BEARING* MOTOR INDUKSI BERDASARKAN KARAKTERISTIK ARUS STATOR DAN TORSI PADA RPM BERBASIS *FAST FOURIER TRANSFORM*

Oleh:

MUHAMMAD MAHKUTA PRAWIRA DARMAWAN

Motor induksi adalah salah satu jenis motor listrik yang banyak dipakai di industri. Salah satu kerusakan terbesar yang terjadi pada motor induksi adalah kerusakan *bearing* yang mencapai 41%. Kerusakan *bearing* merupakan salah satu jenis kerusakan terbesar yang sering ditemui pada motor induksi. Dalam penelitian ini penulis membahas karakteristik arus stator dan torsi akibat kerusakan *bearing* motor induksi pada *inner ring* dan *rolling element* yang berpengaruh terhadap RPM yang dihasilkan. Untuk melakukan deteksi kerusakan *bearing* motor induksi menggunakan analisa FFT (*Fast Fourier Transform*). Sehingga dengan metode ini dapat dihasilkan suatu analisa identifikasi dan klasifikasi kerusakan *bearing* yang lebih akurat. Dari hasil analisa didapatkan bahwa pada *bearing* normal dan cacat menunjukkan karakteristik spektrum yang berbeda. Pada *bearing* kondisi normal memiliki nilai arus dan torsi yang lebih kecil dibanding kondisi cacat.

Kata Kunci : Motor Induksi, *Bearing*, Arus Stator, Torsi, *Fast Fourier Transform*

ABSTRACT

ANALYSIS OF DAMAGE IDENTIFICATION INDUCTION MOTOR BEARINGS BASED ON STATOR CURRENT AND TORQUE CHARACTERISTICS AT RPM ON FAST FOURIER TRANSFORM

By:

MUHAMMAD MAHKUTA PRAWIRA DARAMWAN

An Induction motor is one type of electric motor that is widely used in industry. One of the biggest damages that occur in induction motors is bearing damage which reaches 41%. Bearing damage is one of the biggest types of damage that is often encountered in induction motors. In this study, the authors discuss the characteristics of the stator current and torque due to damage to the induction motor bearings on the inner ring and rolling element which affect the resulting RPM. To detect damage to induction motor bearings using FFT (Fast Fourier Transform) analysis. So that with this method a more accurate analysis of the identification and classification of bearing damage can be produced. From the results of the analysis, it was found that the normal and defective bearings show different spectrum characteristics. The normal condition bearings have smaller current and torque values than the damage conditions.

Keyword : *Induction motor, Bearing, Stator Current, Torque, Fast Fourier Transform*

**ANALISIS IDENTIFIKASI KECACATAN *BEARING* MOTOR INDUKSI
BERDASARKAN KARAKTERISTIK ARUS STATOR DAN TORSI PADA
RPM BERBASIS *FAST FOURIER TRANSFORM***

Oleh

MUHAMMAD MAHKUTA PRAWIRA DARMAWAN

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mendapat gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG**

2023

Judul Skripsi : **ANALISIS IDENTIFIKASI KECACATAN
BEARING MOTOR INDUKSI
BERDASARKAN KARAKTERISTIK ARUS
STAROR DAN TORSI BERBASIS FAST
FOURIER TRANSFORM**

Nama Mahasiswa : **M Mahkuta D Prawira D**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1915031072**

Jurusan : **Teknik Elektro**

Fakultas : **Teknik**

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



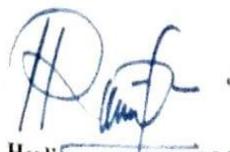
Ir. Noer Soedjarwanto, M.T.
NIP. 19631114 199903 1 001



Syaiful Alam, S.T., M.T.
NIP. 19690416 199803 1 004

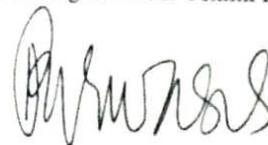
2. Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Herlinawati, S.T., M.T.
NIP. 19710314 199903 2 001

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T.
NIP. 19740422 200012 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

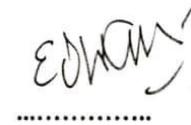
Ketua : **Ir. Noer Soedjarwanto, M.T.**



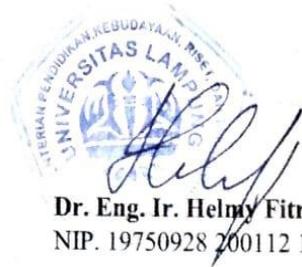
Sekretaris : **Syaiful Alam, S.T., M.T.**



Penguji : **Dr. Eng. Endah Komalasari, S.T.,M.T.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: **19 Januari 2023**

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang sepengetahuan saya tidak terdapat atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 19 Januari 2023



M Mahkuta Prawira D
1915031072

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandarlampung pada tanggal 26 Agustus 2001, sebagai anak kedua dari lima bersaudara, dari pasangan Darmawan dan Catarina Maria Wilujeng Poni Indri Martini. Pendidikan normal penulis dimulai di Pendidikan Taman Kanak-Kanak (TK) Al Hairiah Kota Bandarlampung tahun 2006, Sekolah Dasar (SD) diselesaikan di SD MI Ismaria Al-Quraniyah Kota Bandarlampung pada tahun 2013, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP N 22 Bandarlampung pada tahun 2016, dan Sekolah Menengah Akhir (SMA) di SMA N 5 Bandarlampung pada tahun 2019. Mulai tahun 2019, Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung dengan jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswa Penulis pernah menjadi asisten Laboratorium Sistem Tenaga Listrik dan Konversi Energi Elektrik Universitas Lampung. Selain menjadi asisten, Penulis aktif di Organisasi sebagai anggota Departemen Pengembangan Keteknikan pada tahun 2020-2021, dan sebagai Kepala Departemen Pengembangan Keteknikan Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Lampung (HIMATRO) pada tahun 2021-2022, dan anggota Dinas Kajian Strategis Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Fakultas Teknik pada tahun 2021-2022.

Pada semester 5 Penulis memilih konsentrasi Teknik Tenaga Listrik (TTL) sebagai fokus dalam perkuliahan dan penelitian. Kemudian Penulis juga pernah menjadi

Asisten Lab Sistem Tenaga Listrik dan menjadi asisten mata kuliah Praktikum Menggambar Teknik, dan Penulis juga menjadi Asisten Lab Konversi Energi Elektrik dan menjadi asisten mata kuliah Praktikum Mesin Mesin Listrik, dan Praktikum Elektronika Daya. Pada 20 Juni – 20 Juli penulis melaksanakan kerja praktik di PT Semen Baturaja (Persero) Tbk. Pada saat kerja praktik penulis membuat laporan tentang Sistem Pengontrolan Kecepatan Motor DC Pada *Rotary Kiln* Menggunakan *DC Variabel Speed Drive* PT Semen Baturaja (Persero) Tbk. Dan pada 26 Agustus – 26 September penulis melaksanakan magang di PT SKF Industrial Indonesia dengan fokus penelitian pengaruh vibrasi dan medan magnetik pada *bearing* motor.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji serta syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya serta shalawatku kepada Nabi Muhammad SAW yang senantiasa menjadi penuntun hidupku

Kupersembahkan karya kecilku ini kepada kedua orangtuaku Darmawan dan Catarina Maria Wilujeng Poni Indri Martini sebagai wujud terimakasihku, baktiku, cintaku, dan kasih sayangku kepada Ayah dan Ibu atas segala yang telah diberikan selama ini, serta Kakakku Swarna Darma Utama dan adikku Safitri Mutiara Putri, Muhammad Dimas Prabu Darma dan Safira Permata Putri



MOTTO

“Manusia asalnya dari tanah, makan hasil tanah,
berdiri diatas tanah, akan kembali ke tanah.
Kenapa masih bersifat langit?”

-Hamka

“Alasan nomor satu kenapa banyak orang gagal
dalam hidup adalah karena mereka terlalu
mendengarkan teman, keluarga, dan tetangga.”

-Napoleon Hill

“he best way to get started is to quit talking and
begin doing”

-Walt Disney

“Never stop learning, because life nerver stop
teaching”

-Charles Duhigg

“There is only one thing that makes a dream
impossible to achieve: the fear of failure”

-The Alchemist

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, nikmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Analisis Identifikasi Kecacatan *Bearing* Motor Induksi Berdasarkan Karakteristik Arus Stator dan Torsi Pada RPM Berbasis *Fast Fourier Transform***”. Banyak pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A,IPM. Selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Ibu Herlinawati, S.T, M.T. Selaku Kepala Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
4. Ibu Dr. Eng. Nining Purwasih, S.T., M.T., Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
5. Bapak Ir. Noer Soedjarwanto, M.T. Selaku Pembimbing Utama yang telah memberikan arahan dan bimbingan serta motivasi yang sangat bermanfaat kepada penulis disetiap kesempatannya.
6. Bapak Syaiful Alam, S.T., M.T. Selaku Pembimbing Akademik dan Pembimbing Pendamping atas kesediaannya untuk memberikan bimbingan dalam proses penyelesaian skripsi ini.

7. Ibu Dr. Eng. Endah Komalasari.S.T.,M.T. Selaku Penguji Utama yang telah memberikan koreksi, kritik, dan saran untuk kemajuan dalam penyelesaian skripsi ini.
8. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung atas pengajaran dan bimbingannya yang diberikan selama ini kepada Penulis.
9. Kedua orang tua Penulis, Ayah Darmawan dan Ibu Indri tercinta yang selalu memberikan kasih sayang, semangat, dan tak henti-hentinya mendoakan serta mengingatkan penulis.
10. Kakak dan Adek penulis, Ka Arna, Putri, Dimas dan Safira yang selalu menjadi tempat bercanda, bercerita dan bertukar pikiran.
11. Arni Maulina Saputri, perempuan spesial dalam hidup penulis yang selalu menjadi tempat berbagi cerita, tertawa, dan banyak belajar tentang hidup. Serta tidak pernah bosan menemani, menyemangati, mengingatkan, dan mendoakan penulis.
12. Keluarga Laboratorium Konversi Energi Elektrik Ka Farhan,Ka Aby,Ka Mardi, Ka Ali, Ka Bani, Ka Ridho, Ka Rausyan, Usman, Rio, Abum, Irham, Zein dan lainnya yang tidak bisa penulis tuliskan satu persatu atas segala bantuan dan kenangan yang telah dilalui bersama.
13. The Zulfi Family Muchlas, Ridho, Hafizh, Aqilla, Alhadi, Adrian atas tawa canda dan saling supportnya.
14. Keluarga Eternity 19 yang sudah seperti saudara sendiri bagi penulis atas segala kebersamaannya.
15. Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (Himatro) atas segala pengalaman dan pembelajarannya yang sangat berharga.

16. Semua pihak yang telah membantu serta mendukung penulis dari awal kuliah hingga terselesaikannya skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna dikarenakan terbatasnya ilmu dan pengalaman yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan segala bentuk saran serta masukan yang membangun agar skripsi dapat menjadi lebih baik lagi. Di balik kekurangan tersebut, penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca sebagai referensi dalam bidang Teknik elektro

Bandar Lampung, 19 Januari 2023
Penulis,

M Mahkota Prawira D
1915031072

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
SURAT PERNYATAAN	vi
RIWAYAT HIDUP	vii
PERSEMBAHAN.....	ix
MOTTO	x
SANWACANA	xi
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan.....	2
1.3 Rumusan Masalah	3
1.4 Batasan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Hipotesis.....	4
1.7 Sistematika Penulisan	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terkait	5
2.1.1 Fault diagnostic and monitoring methods of induction motor.....	5
2.1.2 Lubrication performance of short journal bearings considering in the effects of surface roughness and magnetic field	5
2.1.3 Simulation Bearing Fault Model for Induction Motor With Externally Induced Vibration.....	6
2.2 Motor Induksi	6
2.3 <i>Bearing</i>	7
2.4 Klasifikasi <i>Bearing</i>.....	9

2.5	Jenis jenis Kerusakan <i>Bearing</i> Motor Induksi.....	11
2.6	Kecacatan pada <i>bearing</i>	12
2.7	Analisa kerusakan <i>bearing</i>	13
2.8	Software Arduino IDE	14
2.9	Software Matlab dan Simulink	15
III. METODELOGI PENELITIAN.....		16
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	16
3.2	Alat dan Bahan.....	17
3.3	Tahapan Penelitian	17
3.4	Diagram Alir Penelitian	19
3.5	Fast Fourier Transform	20
3.6	Vibrasi.....	21
3.6.1	Pengukuran vibrasi motor	24
3.7	Kuat Medan Magnetik	26
3.8	Pengukuran radial clearance	27
3.9	Mikrokontroller	28
3.10	Sensor Arus ACS 712.....	29
3.11	Sensor vibrasi sw18010p	31
V. METODELOGI PENELITIAN.....		16
DAFTAR PUSTAKA		34

DAFTAR GAMBAR

2.1	Konstruksi <i>Bearing</i>	8
2.2	Kereta celtic dan <i>bearing</i> kayu pada kereta celtic	8
2.3	Bucket wheel excavator dan jenis bearing pada excavator	9
2.4	Arah beban pada <i>bearing</i>	10
2.5	Konstruksi <i>ball bearing</i> dan <i>roller bearing</i>	11
2.6	Model <i>rotor system spall defect outer race inner race</i>	12
2.7	tampilan software Arduino IDE	14
2.8	tampilan software matlab simulink	15
3.1	Diagram Alir Percobaan	19
3.2	Getaran pada system pegas massa sederhana	21
3.3	Karakteristik getaran	22
3.4	Posisi pengukuran vertikal	24
3.5	Posisi pengukuran axial	24
3.6	<i>Bearing</i> magnetik	25
3.7	<i>Radial clearance measurement</i>	27
3.8	Arduino mega 2560	28
3.9	ACS712	30
3.10	Sensor vibrasi sw18010p	31

DAFTAR TABEL

2.1	Tabel Data Statistik Kerusakan Motor Induksi.....	11
3.1	Tabel Jadwal Pelaksanaan Penelitian	16

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Motor induksi adalah jenis mesin listrik yang paling umum ditemukan di semua jenis industri karena strukturnya yang sederhana, operasi yang andal, efisiensi tinggi, pembuatan yang mudah dan biaya rendah. Dalam praktik industri, ada kasus yang diketahui kegagalan motor induksi disebabkan karena adanya jenis kerusakan yakni kerusakan listrik dan kerusakan mekanik [1]. Kegagalan mekanis adalah yang paling sering terjadi. Jenis kesalahan ini biasa terjadi di pabrik karena kondisi operasi yang sulit dan servis motor yang tidak benar.

Kerusakan *bearing* merupakan salah satu jenis kerusakan mekanik terbesar yang sering ditemui pada motor induksi. Hampir sekitar 41-44% [1] kerusakan motor induksi terjadi pada *bearing*. *Bearing* merupakan komponen motor induksi yang membantu rotor agar dapat bergerak secara bebas. Kerusakan *bearing* dapat menyebabkan terjadinya vibrasi, *noise* (bising), peningkatan suhu kerja, dan timbulnya bunga api yang dapat menyebabkan kerusakan pada bagian lain motor induksi.

Analisis sinyal vibrasi merupakan metode yang handal dalam menemukan cacat pada mesin. Ada serangkain metode pendukung yang digunakan untuk mengolah data sinyal vibrasi dalam menganalisis cacat pada *bearing*. Seperti dalam jurnal penelitian yang berjudul “Pemantauan Kondisi Mesin Berdasarkan Sinyal Getaran” [2] merumuskan bahwa setiap pemantauan kondisi *bearing* mempunyai hasil data yang berbeda-beda. Jika *bearing* dalam kondisi normal, frekuensi cacat *bearing* tidak terlihat sedangkan jika kondisi dalam keadaan rusak/cacat, frekuensi cacat *bearing* akan muncul sesuai dengan kondisi cacat.

Dalam jurnal yang berjudul “Mendeteksi Kerusakan *Bearing* Dengan Menggunakan Sinyal Vibrasi” melakukan analisis cacat pada *bearing* seri 2205-K-2RS-TVH-C3 dengan 4 macam kondisi yaitu 2 *bearing* dengan kondisi normal dan 2 *bearing* dengan cacat 30% (*outer race*, *inner race*) [3]. Metode yang digunakan adalah domain frekuensi dan statistik domain waktu dengan fitur RMS. Hasil yang didapat adalah bantalan cacat 30% pada *outer race* dan *rolling element* memberikan nilai amplitudo cenderung bervariasi. Bantalan yang cacat 30% pada *outer race* dan *rolling* akan menghasilkan spektrum FFT dengan garis puncak frekuensi berimpitan masing-masing dengan garis frekuensi impuls BPFO dan BSF.

Oleh karena itu, pemantauan kondisi awal sangat penting untuk meningkatkan keamanan mesin berputar yang digerakkan oleh motor induksi [4]. Dengan menganalisis karakteristik arus stator dan torsi pada *bearing* motor induksi dengan cara menganalisis perubahan nilai arus stator dan torsi yang dihasilkan pada *bearing* motor induksi dengan kondisi normal dan kondisi kecacatan yang direkonstruksi secara bervariasi berupa kecacatan *inner race* dan *rolling element*, yang kemudian disimulasikan menggunakan *software* arduino ide untuk mengambil data normal dan data kecacatan yang dihasilkan kemudian data tersebut di program menggunakan *software* matlab dan simulink yang kemudian dapat dianalisis untuk menentukan pengaruh kondisi normal dan kondisi kecacatan pada *bearing* motor induksi.

1.2 Tujuan

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi dan menganalisis penyebab terjadinya kecacatan multi jenis yaitu cacat pada *rolling element* dan lintasan dalam (*inner race*) pada *bearing*.
2. Mengidentifikasi dan menganalisis pengaruh arus dan torsi pada kondisi *bearing* normal dan kondisi yang cacat.
3. Mengidentifikasi dan menganalisis hasil pengukuran *radial clearance* yang dihasilkan pada *bearing* yang cacat multi jenis yaitu cacat pada *rolling element* dan lintasan dalam (*inner race*) pada *bearing*.

1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Apa yang menyebabkan terjadinya kecacatan *bearing* pada motor induksi?
2. Bagaimana pengaruh karakteristik arus dan torsi untuk mendeteksi kecacatan *bearing* pada motor induksi?

1.4 Batasan Penelitian

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dalam penelitian ini hanya membahas bagaimana mendeteksi cacat multi jenis pada bantalan *self-aligning single row ball bearing*, merek SKF, seri 6201 - RS1/MTVC 626.
2. Cacat pada bantalan bersifat multi jenis yaitu cacat pada *rolling element* (*cage* dan *ball*) dan lintasan dalam (*inner race*).
3. Data yang digunakan sebagai bahan analisis adalah data dari pengukuran vibrasi dalam format *waveform* atau *time series*.
4. Nilai intensitas medan magnet yang digunakan sebagai bahan analisa adalah nilai pengukuran *inner ring* (lintasan dalam) dan *rolling element* (*cage and ball*)

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat meningkatkan kemanan dan keandalan pada sistem motor induksi.
2. Dapat mendeteksi cacat multi jenis pada *bearing*
3. Dapat menghasilkan nilai *radial clearance* yang berguna untuk mengklasifikasikan jenis kegunaan *bearing*.
4. Dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya di tahun yang akan datang.

1.6 Hipotesis

Pada penelitian ini diharapkan dapat mendeteksi kecacatan pada *element bearing* motor induksi yang ditinjau melalui karakteristik arus dan torsi beserta jenis pengklasifikasian kegunaan *bearing*.

1.7 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

I. PENDAHULUAN

Pada bab ini menjelaskan latar belakang, tujuan penelitian, manfaat penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, hipotesis, dan sistematika penulisan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini memaparkan beberapa teori pendukung dan referensi materi yang diperoleh dari berbagai sumber buku, jurnal dan penelitian ilmiah yang digunakan untuk penulisan laporan tugas akhir ini.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini memaparkan waktu dan tempat, alat dan bahan, metode penelitian dan pelaksanaan serta pengamatan dalam pengerjaan tugas akhir.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menganalisa dan menjelaskan hasil data dari perhitungan dan analisis sebagai pembahasan dari penelitian ini.

V. PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan kesimpulan dan saran yang didasarkan pada hasil data pembahasan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

2.1.1 *Fault diagnostic and monitoring methods of induction motor*

Penelitian ini dilakukan oleh Partha Sarathee Bhowmik¹, Sourav Pradhan² dan Mangal Prakash³ dari Teknik Elektro *National Institute of Technology* India. Penelitian ini menjelaskan tentang bahwasannya motor industri rentan terhadap kesalahan, oleh karena itu pemantauan kondisi motor induksi telah banyak digunakan dalam mendeteksi kesalahan. Pada penelitian ini bahwasannya menyelidiki berbagai kesalahan dan mempelajari teknik konvensional dan inovatif untuk motor induksi.

2.1.2 *Lubrication performance of short journal bearings considering in the effects of surface roughness and magnetic field*

Penelitian ini dilakukan oleh Tze Chi Hsu¹, Jing Hong Chen², Hsin Lu Chiang³, Tsu Liang Chou⁴ pada tahun 2013 dari Yuan Ze University Taiwan. Pada penelitian ini menganalisis kinerja fero fluida yaitu berupa gabungan dari kekasaran permukaan dan medan magnet. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pengaruh gabungan mempengaruhi distribusi atau tekanan yang meningkatkan kapasitas pemuatan dan mengurangi koefisien gesekan yang dimodifikasi sehingga dapat meningkatkan desain *bearing* dalam medan magnetik.

2.1.3 *Simulation Bearing Fault Model for Induction Motor With Externally Induced Vibration*

Penelitian ini dilakukan oleh Fabio Immovilli¹, Claudio Bianchini², Marco Cocconcelli³, Alberto Bellini⁴, dan Riccardo Rubin⁵, pada tahun 2013 dari *Associate of the IEEE*. Melakukan penelitian dengan menyelidiki hubungan antara getaran dan arus pada motor induksi yang dioperasikan di bawah *vibration* eksternal selain itu juga pada penelitian ini juga menyelidiki hubungan antara vibration dan arus pada motor induksi yang dioperasikan di bawah getaran eksternal dengan dimodelkan dan divalidasi dengan eksperimen di mana sumber *vibration* eksternal digunakan, bersama dengan perubahan *bearing* untuk mengurangi kekakuan penyangga di sepanjang arah radial.

2.2 **Motor Induksi**

Motor induksi merupakan motor listrik arus bolak balik (AC) yang paling banyak digunakan penamaannya berasal dari kenyataan bahwa motor ini bekerja berdasarkan induksi medan magnet stator ke rotornya, dimana arus rotor motor ini bukan diperoleh dari sumber tertentu, tetapi merupakan arus yang terinduksi sebagai akibat adanya perbedaan relatif antara putaran rotor dengan medan putar (*rotating magnetic field*) yang dihasilkan oleh arus stator [5]. Motor induksi sangat banyak digunakan di dalam kehidupan sehari-hari baik di industri maupun di rumah tangga.

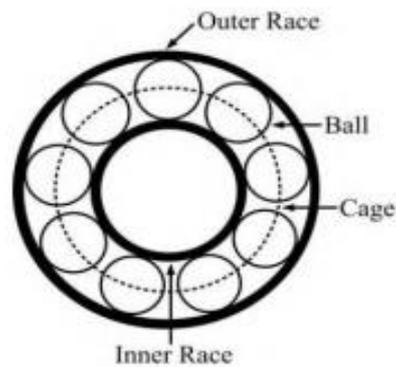
Motor induksi yang umum dipakai adalah motor induksi tiga fasa dan motor induksi satu fasa. Motor induksi tiga fasa dioperasikan pada sistem tenaga tiga fasa dan banyak digunakan di dalam berbagai bidang industri dengan kapasitas daya yang besar. motor induksi satu fasa dioperasikan pada sistem tenaga satu fasa dan banyak digunakan terutama untuk peralatan rumah tangga seperti kipas angin, lemari es, pompa air, mesin cuci dan sebagainya karena motor induksi satu fasa mempunyai daya keluaran yang rendah.

Motor induksi bekerja berdasarkan induksi elektromagnetik dari kumparan stator kepada kumparan rotornya. Bila kumparan stator motor induksi 3-fasa yang dihubungkan dengan suatu sumber tegangan 3-fasa, maka kumparan stator akan menghasilkan medan magnet yang berputar. Garis-garis gaya fluks yang diinduksikan dari kumparan stator akan memotong kumparan rotornya sehingga timbul emf (ggl) atau tegangan induksi. Karena penghantar (kumparan) rotor merupakan rangkaian yang tertutup, maka akan mengalir arus pada kumparan rotor. Penghantar (kumparan) 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 dan sesuai dengan hukum lenz, rotor pun akan turut berputar mengikuti medan putar stator. Perbedaan putaran relatif antara stator dan rotor disebut slip.

Bertambahnya beban, akan memperbesar kopel motor yang oleh karenanya akan memperbesar pula 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 rangka stator terdapat kumparan stator yang ditempatkan pada slot-slotnya yang dililitkan pada sejumlah kutup tertentu. Jumlah kutup ini menentukan kecepatan berputarnya medan stator yang terjadi yang diinduksikan ke rotornya. Makin besar jumlah kutup akan mengakibatkan makin kecilnya kecepatan putar medan stator dan sebaliknya. Kecepatan berputarnya medan putar ini disebut kecepatan sinkron.

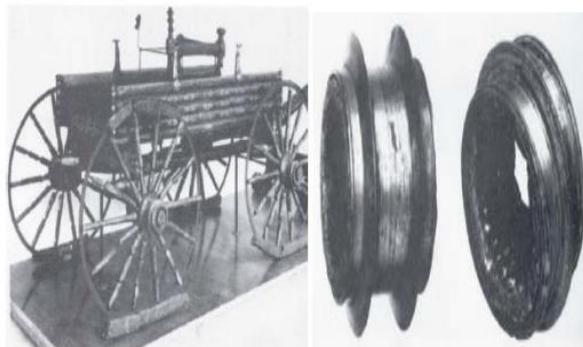
2.3 *Bearing*

Bearing adalah suatu elemen mesin yang menumpu poros dan mempunyai beban, sehingga menghasilkan rotasi atau putaran atau gerakan secara bolak-balik yakni berlangsung secara halus, aman, mengurangi adanya gesekan dan mempunyai umur yang panjang. *Bearing* juga harus cukup kuat atau kokoh untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya bekerja dengan baik. Jika *bearing* tidak berfungsi dengan baik maka kinerja seluruh sistem tidak dapat bekerja secara semestinya [6].



Gambar 2.1 Konstruksi *Bearing*

Sejarah pemakaian *bearing* untuk mengurangi efek gesekan dapat ditelusuri dari hasil penemuan kereta sederhana yang telah berumur 5000 tahun di Euphrates didekat Sungai Tigris. Dimana penggunaan *bearing* yang lebih maju terlihat pada kereta Celtic sekitar 2000 tahun yang lalu seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2. Kereta ini menggunakan bantalan kayu dan pelumas dari lemak [7].



Gambar 2.2 Kereta celtic dan bearing kayu yang digunakan pada kereta celtic

Dalam sejarah modern, desain dan penggunaan *bearing* yang terdokumentasi dengan baik dimulai oleh pelukis Leonardo Davinci [7]. Dia menggunakan *roller bearing* untuk kincir angin dan penggilingan gandum.

Penemuan hak paten pertama tentang *bearing* didaftarkan di Perancis 400 tahun kemudian. Selanjutnya katalog *bearing* pertama di dunia dipublish di Inggris pada tahun 1900. Hingga saat ini, penggunaan *bearing* sebagai komponen anti gesek

telah digunakan secara luas dengan berbagai macam variasi mulai dari variasi ukuran, variasi beban, variasi putaran yang sangat lebar.

Adapun contoh penggunaan *bearing* untuk peralatan berat dipertambangan ditunjukkan pada Gambar 2.3 dimana *bearing* untuk peralatan ini haruslah mampu menahan beban yang amat berat serta umur teknis penggunaan yang lama.



Gambar 2.3 Bucket wheel excavator dan jenis *bearing* yang digunakan pada excavator

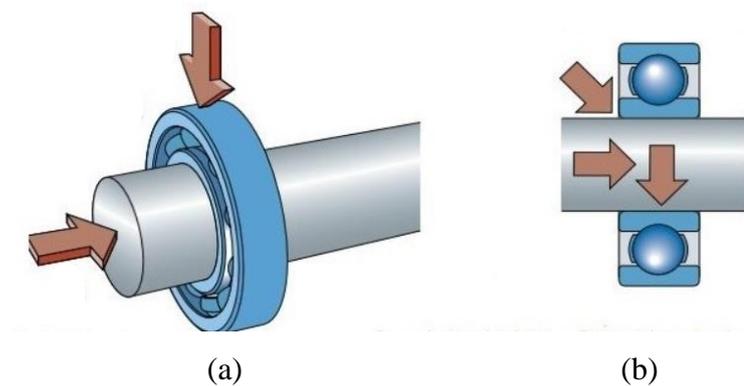
2.4 Klasifikasi *Bearing*

Secara umum *bearing* dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

a. Berdasarkan arah beban yang bekerja pada *bearing* :

Radial bearing: Pada *bearing* radial terjadi gesekan yang sangat besar sehingga dilakukan pelumasan yang tidak begitu sederhana dan memerlukan pendinginan khusus. Pelumasan pada *bearing* ini menggunakan arah dan arah pelumasan pada *bearing* ini yaitu tegak lurus dengan sumbu poros. Arah beban yang ditumpu *bearing* ini adalah jauh lebih banyak mengarah tegak lurus pada garis sumbu poros [8].

Aksial bearing: Pada *bearing* ini juga hampir sama seperti *bearing* radial dan juga menggunakan pelumasan yang tidak begitu sederhana. Arah pelumasan pada bearing ini yaitu sejajar dengan sumbu poros. Arah beban *bearing* ini jauh lebih banyak mengarah sepanjang garis sumbu poros atau sejajar dengan sumbu poros [8].



Gambar 2.4 Arah beban pada *bearing* (a) radial (b) aksial

b. Berdasarkan konstruksi dan mekanisme mengatasi gesekan

Ball bearing menggunakan metode *sliding* dimana dua permukaan komponen mesin saling bergerak relatif sehingga diantara kedua permukaan terdapat pelumas untuk mengurangi gesekan antara kedua permukaan.

Rolling bearing menggunakan metode elemen *rolling* dimana untuk menanggulangi atau mengurangi gesekan antara dua komponen yang berputar atau bergerak. Sehingga diantara kedua permukaan ditempatkan elemen *rolling* sehingga mencegah terjadinya gerakan relatif.



Gambar 2.5 Konstruksi *bearing* (a) *ball bearing* (b) *roller bearing*

2.5 Jenis jenis Kerusakan *Bearing* Motor Induksi

Berdasarkan survei data oleh *Electric Power Research Institute* (EPRI) dan *Institute of Electrical and Electronics Engineers Industry Applications Society* (IEEE-IAS) dari beberapa motor di industri bahwasannya terjadi kerusakan terbesar terletak pada bearing motor[9].

Jenis Kerusakan	Persentase Kerusakan (%)	
	IEEE-IAS	EPRI
Kerusakan <i>Bearing</i>	44	41
Kerusakan Belitan	26	36
Kerusakan Rotor	8	9
Kerusakan Lainnya	14	22

Tabel 2.1 Data Statistik Kerusakan Motor Induksi

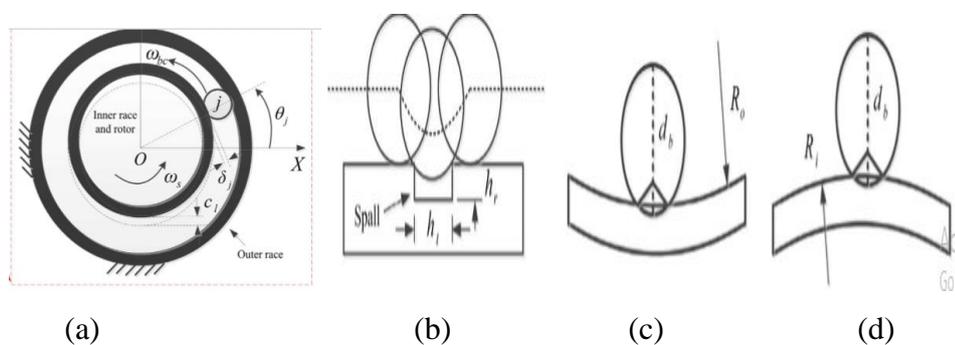
Berdasarkan dari data statistik tersebut pada umumnya kerusakan pada *bearing* dimulai dengan adanya retakan kecil hal ini disebabkan karena motor induksi bekerja di bawah kondisi normal, dimana kondisi pembebanan yang bervariasi dan ketidak sejajaran posisi rotor.

Hal ini tentu saja dapat menjadi penyebab kerusakan pada bagian motor induksi yang lain. Selain faktor mekanis, kerusakan pada *bearing* dapat juga disebabkan karena adanya faktor eksternal seperti kontaminasi, korosi, kesalahan lubrikasi, dan kesalahan instalasi.

2.6 Kecacatan pada *bearing*

Pada umumnya kerusakan pada sebuah *bearing* dapat dilihat atau diindikasikan secara visual setelah *bearing* dilepas dari sebuah *bearing housing* [10]. Biasanya kecacatan pada *bearing* pada umumnya disebabkan kelebihan beban, panas yang berlebihan, pemasangan yang salah, kesalahan pelumas dan lain sebagainya. Kecacatan *bearing* akan menyebabkan timbulnya vibrasi atau getaran pada mesin motor induksi yang mengakibatkan timbulnya noise atau bising. Sehingga perlunya teknologi yang canggih agar bisa menganalisis terjadinya kerusakan elemen pada *bearing* agar tidak merambat ke suatu sistem pada motor yang dapat berakibat fatal.

Pada gambar 2.6 merupakan contoh kecacatan pada suatu elemen *bearing*



Gambar 2.6 (a) Model rotor sistem (b) *Spall defect* (c) *Outer race* (d) *Inner race*

2.7 Kerusakan *bearing*

Kondisi *bearing* dikatakan mengalami kerusakan apabila komponen tersebut tidak memenuhi umur pakai yang telah direncanakan, atau :

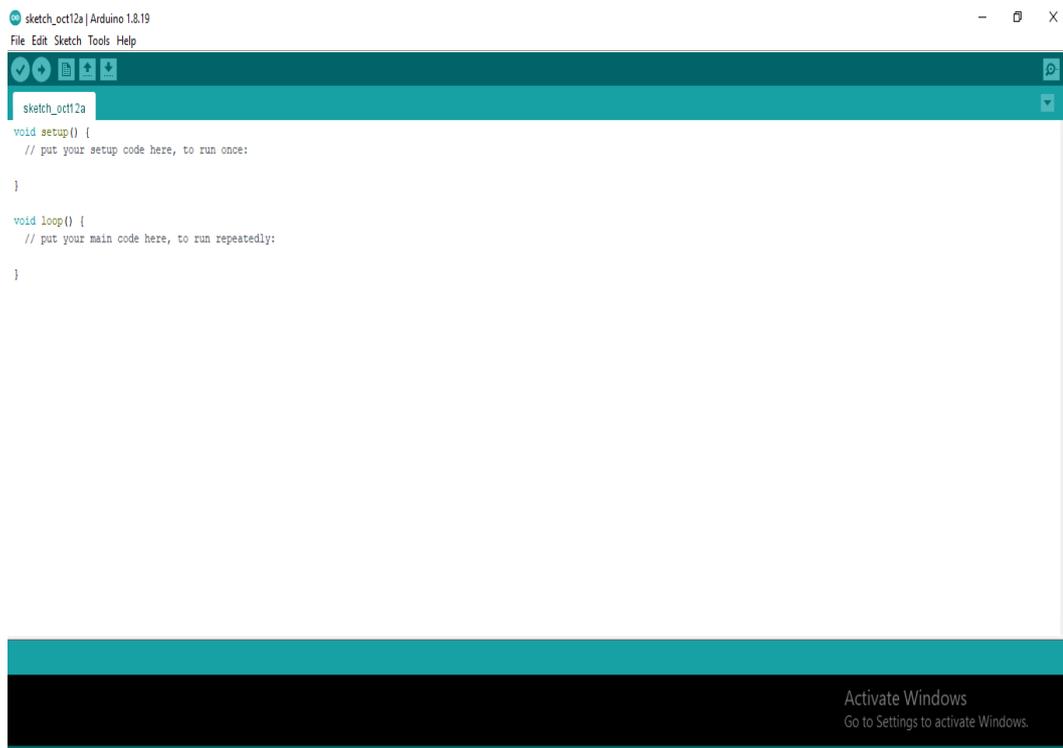
1. Komponen tersebut sudah tidak berfungsi sama sekali.
2. Masih berfungsi tetapi membahayakan.
3. Masih berfungsi tetapi tidak optimal
4. Masih berfungsi tetapi umurnya sudah terbatas (terdapat retakan atau cacat permukaan lainnya).

Kerusakan *bearing* dapat didefinisikan sebagai langkah-langkah pemeriksaan atas komponen yang mengalami kegagalan dan keadaan kegagalannya untuk dicari penyebabnya dan cara penanggulangannya. Analisa kegagalan ini memerlukan pemahaman tentang berbagai aspek seperti :

1. Fungsi komponen sebagai bagian dari suatu sistem peralatan.
 2. Kondisi operasi dan gejala yang teramati menjelang terjadinya kegagalan.
- Pengumpulan data material komponen serta proses pengerjaannya akan banyak membantu dalam menemukan penyebab kegagalan. Sampel yang diambil sedapat mungkin bisa memberikan gambaran mengenai peristiwa kerusakan. Oleh karena itu lokasi pengambilan harus tepat, serta keadaannya harus sebaik mungkin [10].

2.8 Software Arduino IDE

Arduino adalah pengendali mikro single-board yang bersifat *open-source*, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. Hardware dalam arduino memiliki prosesor Atmel AVR dan menggunakan *software* dan bahasa sendiri.



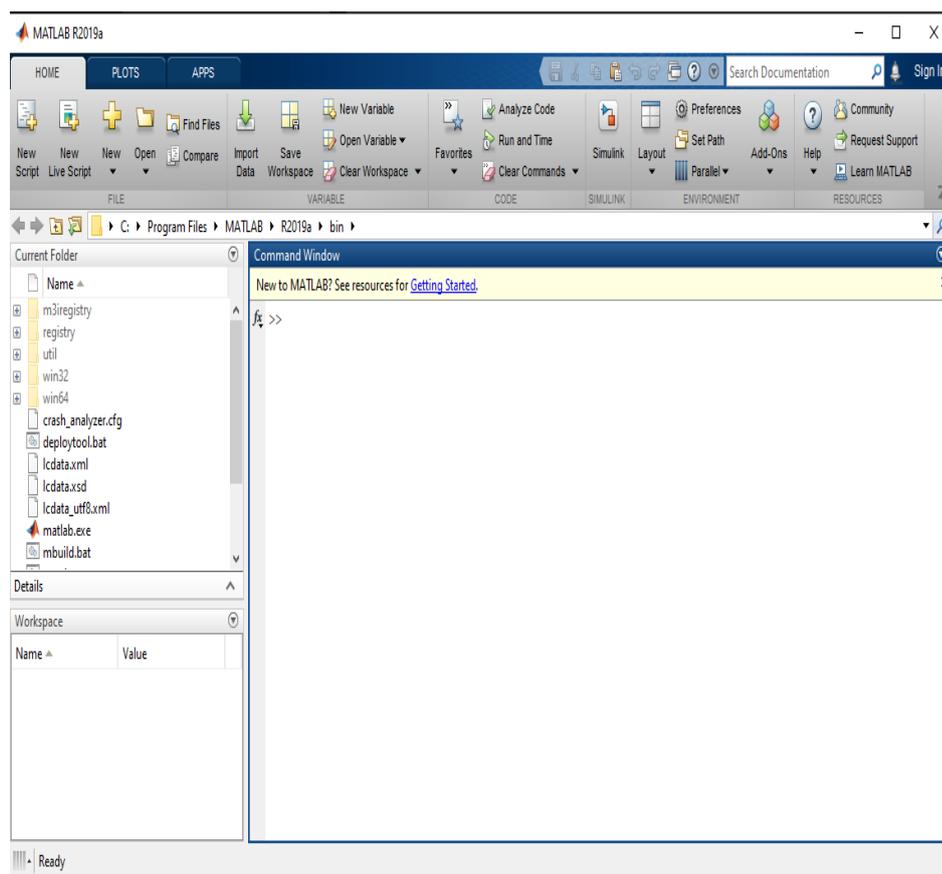
Gambar 2.7 Tampilan Software Arduino IDE

2.9 Software Matlab dan Simulink

Matlab merupakan suatu *software* pemrograman perhitungan dan analisis yang banyak digunakan dalam semua area penerapan didalam berbagai bidang. Dengan menggunakan matlab, maka perhitungan yang akan diimplementasikan ke program akan lebih mudah.

Matlab juga dapat menampilkan grafik dan dapat membuat gambar-gambar dalam 2D dan 3D. Dan matlab juga memiliki beberapa *toolbox* yang sangat berguna untuk pengolahan sinyal (*signal processing*), pengolahan gambar (*image processing*), dan lain-lain.

Pada penelitian kali ini akan menggunakan *software* Matlab dan Simulink 2019a, berikut adalah tampilan software Matlab dan Simulink



Gambar 2.8 Tampilan Software Matlab dan Simulink

III. METODELOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu dan tempat penelitian dilaksanakan sejak bulan Juli 2022 sampai dengan Desember 2022 bertempat di Gedung Laboratorium Terpadu Teknik Elektro Unila, Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.

Tabel 3.1 Jadwal Pelaksanaan Kegiatan

No	Kegiatan	Waktu					
		Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember
1	Studi Literatur	■	■	■	■	■	■
2	Seminar Proposal			■			
3	Penganalisaan dan diagnosa <i>bearing</i>			■	■		
4	Penulisan Laporan, Analisis, dan Pembahasan				■	■	
5	Seminar Hasil					■	
6	Perbaikan laporan					■	
7	Komprehensif						■

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. 1 buah Laptop Asus
2. 1 buah alat MVH 90
3. 1 buah alat Magnetometer
4. 1 buah alat Tachometer
5. 1 buah arduino mega 2560
6. 1 buah sensor acs712
7. 1 buah sensor sw420
8. 1 buah mesin pompa air
9. Perangkat lunak Arduino IDE 1.8.19
10. Perangkat lunak Matlab dan Simulink R2019a
11. Data spesifikasi komponen.

3.3 Tahapan Penelitian

1. Studi Literatur

Pada tahap ini, penulis mempelajari dan mengumpulkan literatur. Sumber yang menjadi referensi diantaranya buku, jurnal ilmiah dan penelitian terdahulu.

2. Lokasi Penelitian

Penulis melakukan penelitian di Gedung Laboratorium Terpadu Jurusan Teknik Elektro Unila, Kota Bandar Lampung. Pada tahapan ini bertujuan untuk mencari data yang diperlukan untuk pensimulasian pada *Bearing*.

3. Pensimulasian Teknis

Pada tahapan ini, penulis melakukan pensimulasian terhadap *bearing* yang terdiri dari 5 *bearing* dengan kondisi 3 *inner ring*, 1 *rolling element* dan 1 normal pada *bearing* motor induksi.

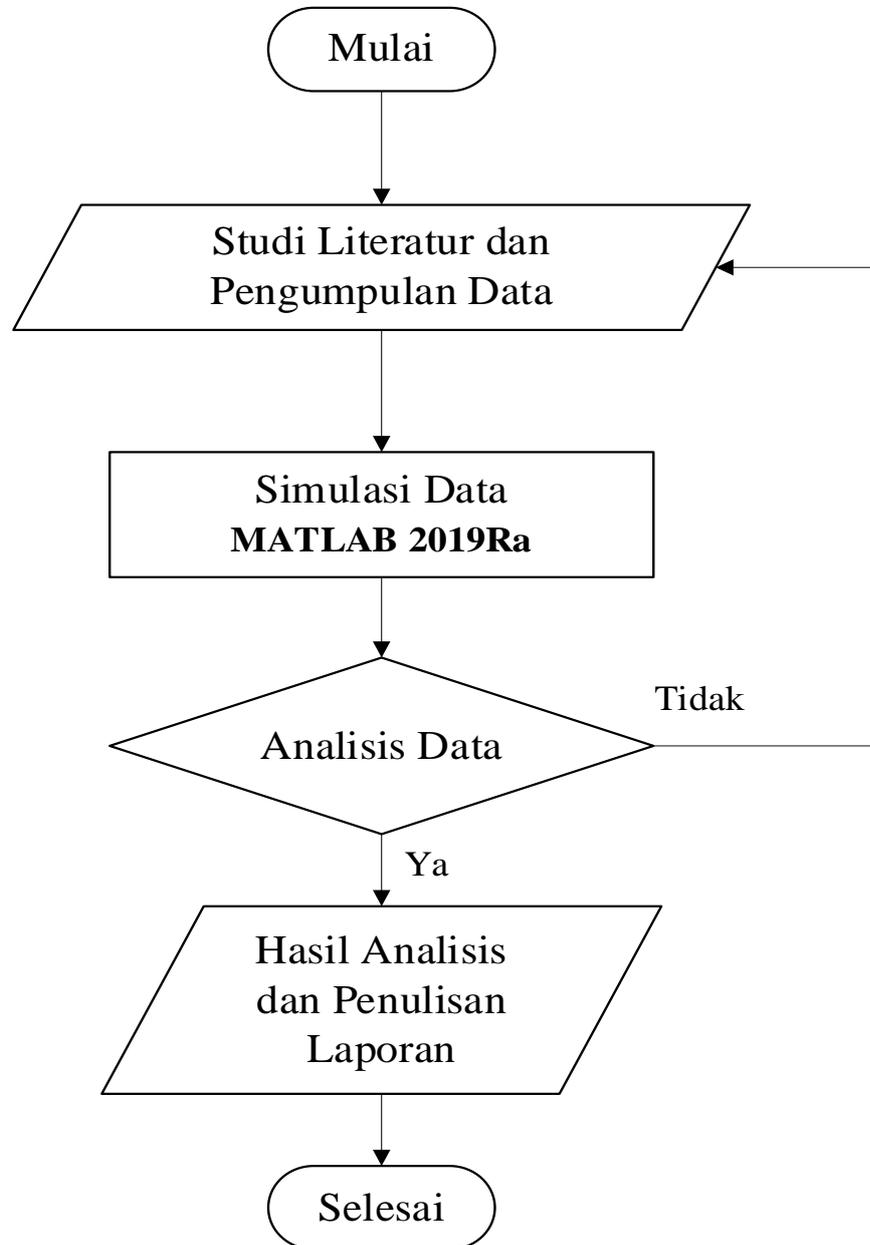
4. Analisis Diagnosa *Bearing*

Hasil analisa akan berguna untuk menentukan apakah pada *bearing* terjadi kecacatan atau tidak pada elemennya serta dengan analisis arus stator dan torsi apakah dapat cepat mendeteksi jika adanya kecacatan pada *bearing* dan jenis kecacatan apa yang dihasilkan kemudian akan dihitung terkait kelayakan atau keandalan pada elemen *bearing*.

5. Penulisan Laporan

Pada tahap ini, penulis menyajikan hasil penelitian dalam bentuk laporan akhir. Hasil penelitian ini dapat memberikan rekomendasi apakah dengan analisis arus stator dan torsi layak dapat mengidentifikasi dengan cepat jika terjadi diagnosa kecacatan pada *bearing*. Laporan ini digunakan sebagai bentuk tanggung jawab penulis terhadap tugas akhir yang telah dilakukan dan digunakan untuk melakukan seminar akhir.

3.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.5 Fast Fourier Transform

Fast Fourier Transform (FFT) adalah suatu teknik perhitungan cepat dari *Discrete Fourier Transform* (DFT) atau dengan kata lain *Fast Fourier Transform* merupakan pengembangan dari DFT. DFT merupakan suatu metode perhitungan yang mengubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi. Biasanya DFT digunakan untuk keperluan analisis spektrum dalam domain frekuensi. Dengan menggunakan DFT, suatu sinyal dapat dilihat sebagai objek dalam domain frekuensi.

Fourier memperlihatkan bahwa suatu fungsi periodik dapat dinyatakan oleh deret sinusoidal tak hingga yang frekuensi – frekuensinya berkaitan secara harmonik, untuk fungsi dengan periode T suatu deret fourier kontinu dapat dituliskan sebagai persamaan (3.1) dan (3.2)

$$f(t) = a_0 + a_1 \cos(\omega_0 t) + b_1 \sin(\omega_0 t) + a_2 \cos(2\omega_0 t) + b_2 \sin(2\omega_0 t) \quad (3.1)$$

Atau secara singkat ditulis dengan

$$f(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} [a_n \cos(\omega_n t) + b_n \sin(\omega_n t)] \quad (3.2)$$

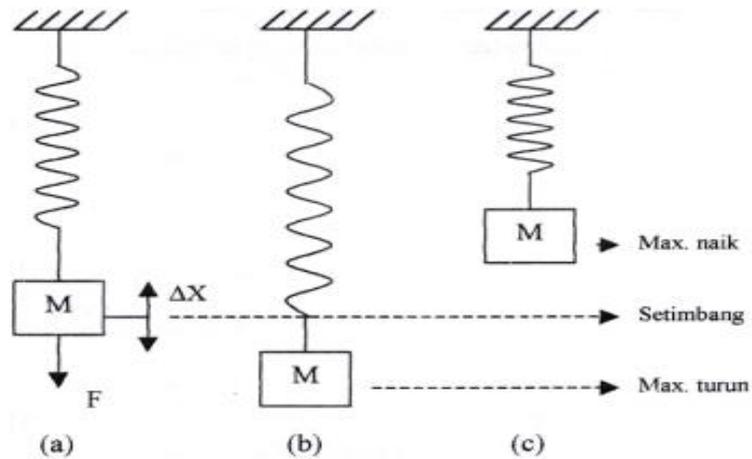
$$\omega = \frac{2\pi f}{T} \quad (3.3)$$

FFT memiliki beban komputasi yang lebih ringan dengan hanya memerlukan sejumlah $\frac{N}{2} \times \log_2 10 N$ perkalian kompleks. FFT dengan beban komputasi tersebut adalah untuk FFT jenis radix-2.

Frekuensi resolusi dari FFT berhubungan dengan total panjang rentang waktu untuk memperhatikan banyaknya jumlah sampel dan frekuensi sampling yang digunakan. Semakin banyak jumlah sampel yang digunakan maka representasi sinyal akan semakin detail, sedangkan semakin besar frekuensi sampling yang digunakan maka rentang frekuensi dalam FFT akan semakin panjang.

3.6 Vibrasi

Getaran adalah osilasi periodik dari suatu sistem mekanis. Contoh sederhana fenomena getaran dapat dilihat pada sebuah pegas yang salah satu ujungnya dijepit dan ujung lainnya diberi massa M seperti gambar 3.2 berikut.

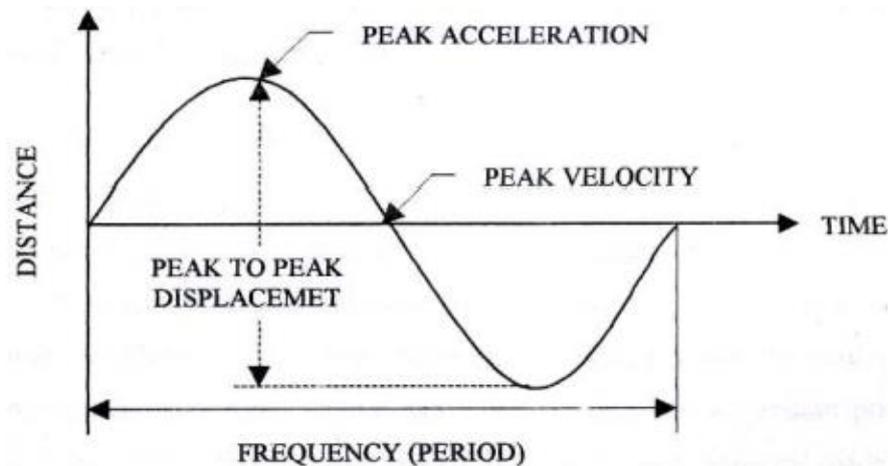


Gambar 3.2 Getaran pada sistem pegas-massa sederhana.

Mula-mula sistem dalam keadaan setimbang (gambar 3.2.a). Jika massa diberi gaya F maka massa akan turun sampai batas tertentu (gambar 3.2.b). Perpindahan maksimum posisi massa bergantung pada besarnya gaya F , massa dan kekuatan tarik pegas melawan gaya F tersebut. Jika gaya sebesar F tidak dikenakan lagi pada massa, maka massa akan ditarik keatas oleh pegas karena tenaga potensial yang tersimpan dalam pegas (gambar 3.2.c).

Massa akan kembali ke posisi kesetimbangan, selanjutnya bergerak keatas sampai batas tertentu. Perpindahan maksimum ke atas dipengaruhi oleh kekuatan tarik pegas dan massa benda. Proses tersebut akan berulang sampai tidak ada pengaruh gaya luar pada sistem. Pergerakan massa naik turun ini disebut osilasi mekanis. Berkaitan dengan mesin, getaran (*machinery vibration*) didefinisikan sebagai gerakan bolak-balik dari mesin atau elemen mesin dari posisi setimbang (diam).

Kondisi mesin dan masalah mekanik dapat diketahui dengan mempelajari karakteristik getarannya. Pada suatu sistem pegas-massa, karakteristik getaran dapat dipelajari dengan memplot pergerakan massa terhadap waktu.



Gambar 3.3 Karakteristik getaran

Gerak massa dari posisi netralnya ke batas atas kemudian kembali ke posisi netral (kesetimbangan) dan bergerak lagi ke batas bawah kemudian kembali ke posisi kesetimbangan, menunjukkan gerakan satu siklus. Waktu untuk melakukan gerak satu siklus ini disebut periode, sedangkan jumlah siklus yang dihasilkan dalam satu interval waktu tertentu disebut frekuensi. Dalam analisis getaran mesin, frekuensi lebih bermanfaat karena berhubungan dengan rpm (putaran) suatu mesin. Karakteristik getaran suatu mesin dapat dilihat pada gambar 3.3

Hubungan torsi terhadap rpm adalah sebagai berikut :

$$T = \frac{5252 \cdot P}{N} \quad (3.4)$$

Dimana :

P = Daya dalam satuan HP

T = Torsi

N = Jumlah putaran per-menit

5252 = Nilai ketetapan (konstanta) untuk daya motor dalam satuan HP

Frekuensi adalah jumlah siklus pada setiap satuan waktu. Besarnya dapat dinyatakan dalam siklus per detik (*cycles per second*) atau siklus per menit (*cycles per minute*). Frekuensi getaran penting diketahui dalam analisa getaran mesin

untuk menunjukkan masalah yang terjadi pada mesin tersebut. Dengan mengetahui frekuensi getaran, akan memungkinkan untuk dapat mengidentifikasi bagian mesin yang rusak (*fault*) dan sekaligus masalah yang menyebabkannya. Gaya yang menyebabkan getaran dihasilkan dari gerak berputar elemen mesin.

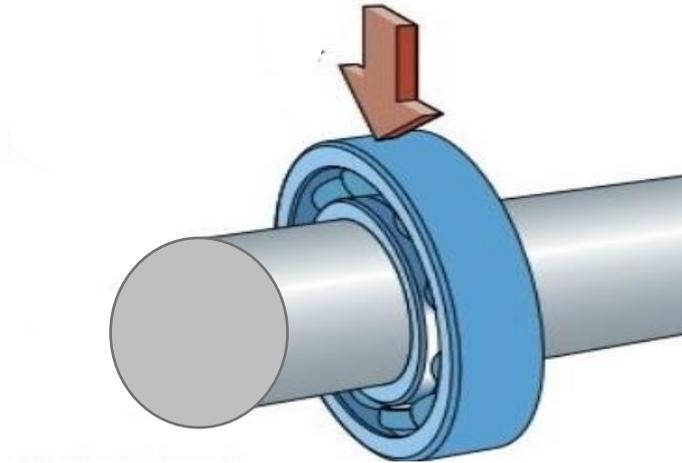
Gaya tersebut berubah dalam besar dan arahnya sebagaimana elemen putar berubah posisinya terhadap titik netral. Akibatnya, getaran yang dihasilkan akan mempunyai frekuensi yang bergantung pada kecepatan putar elemen yang telah mengalami kerusakan. Oleh karena itu, dengan mengetahui frekuensi getaran, akan dapat mengidentifikasi bagian dari mesin yang bermasalah.

Penting untuk diketahui juga, bahwa permasalahan yang berbeda pada suatu mesin menyebabkan frekuensi getaran yang berbeda pula, sehingga permasalahan dasar yang terjadi akan dapat diidentifikasi. Sebagai contoh, kerusakan bantalan akan menyebabkan frekuensi tinggi timbul pada komponen getarannya, *unbalance* dari elemen rotasi akan menghasilkan frekuensi getaran sama dengan kecepatan putar elemen tersebut.

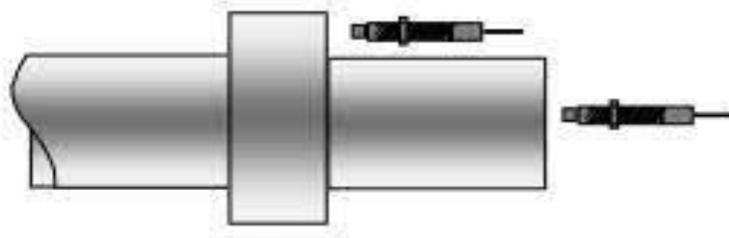
Analisa vibrasi juga merupakan metode yang umumnya digunakan untuk memonitor kondisi dari suatu mesin. Metode ini digunakan untuk mendeteksi kerusakan mekanik seperti *mechanical imbalance*, kerusakan *bearing*, *misalignment* dan lain lain. Dalam penelitian ini digunakan untuk mendapatkan sinyal tegangan dari getaran atau vibrasi yang proporsional dengan percepatan (*acceleration*) dalam m/sec^2 , kecepatan (*velocity*) dalam m/sec maupun simpangan (*displacement*) dalam mm akan tetapi fokus penelitian kali ini lebih membahas mendalam analisa vibrasi terhadap kecepatan (*velocity*) dalam m/sec

3.6.1 Pengukuran vibrasi motor

Posisi pengukuran vibrasi dilakukan ada tiga posisi yaitu horizontal, vertikal dan axial



Gambar 3.4 posisi pengukuran vertikal

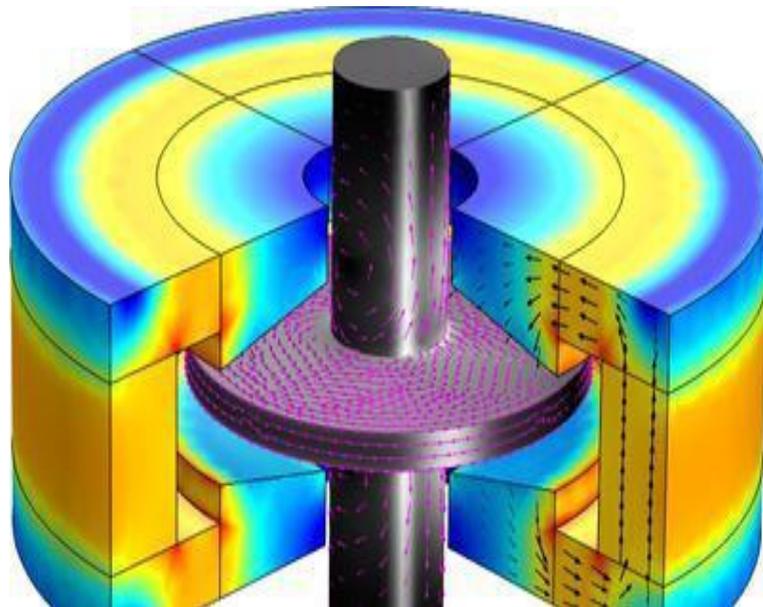


Gambar 3.5 posisi pengukuran axial

3.7 Kuat Medan Magnet

Kuat Medan magnet digunakan untuk memonitor kondisi dari suatu peralatan mesin khususnya pada *bearing*. Ketika *bearing* beroperasi dipengaruhi oleh medan magnet yang berusaha untuk menggeser sumbu poros merupakan sebuah gambaran untuk merepresentasikan bagaimana medan magnet terdistribusi diantara suatu benda bermagnet atau disekitar benda bermagnet tersebut.

Seperti yang sudah diketahui bahwa medan magnet memiliki dua kutub dimana jika di dekatkan dua buah magnet maka dapat terjadi gaya tarik-menarik ataupun gaya tolak-menolak tergantung kutub-kutub yang didekatkan. Pada dasarnya jika kuat atau lemah medan magnet akan berpengaruh pada *bearing*, Akan tetapi dalam fokus penelitian kali ini akan membahas seberapa besar dan pengaruh medan magnet yang dihasilkan pada *bearing* dari segi kondisi normal dan *defect*



Gambar 3.6 *Bearing* magnetik

Kuat medan magnet adalah daerah disekitar magnet yang masih merasakan adanya gaya magnet. Adanya kuat medan magnet dapat ditunjukkan dengan persamaan dibawah ini

$$H = \frac{B}{\mu_0} \quad (3.5)$$

Pada umumnya kerusakan yang terjadi pada bearing motor induksi memiliki frekuensi kerusakan yang berbeda-beda tergantung letak kerusakannya. Frekuensi kerusakan untuk setiap bagian dari *bearing* pada persamaan dibawah ini :

$$BPFI = \left[1 + \frac{d \cos \theta}{D} \right] \quad (3.6)$$

$$BSF = \frac{n}{2d} \left[1 - \left(\frac{d \cos \theta}{D} \right)^2 \right] \quad (3.7)$$

$$FTF = \frac{f_r}{2} \left[1 - \frac{d \cos \theta}{D} \right] \quad (3.8)$$

Keterangan :

H = Kuat medan magnet

μ_0 = Permeabilitas udara = $4 \pi \times 10^{-7}$

N = Jumlah lilitan

I = Arus

a =Jari jari lilitan

BPFFI = *Ballpass frequency, inner race*

BSF = *Ball (roller) spin frequency*

FTF = *Fundamental train frequency*

n = Jumlah *Ball*

f_r = Frekuensi Kecepatan Putaran Shaft

d = Diameter *Ball*

D = Diameter Antar *Ball*

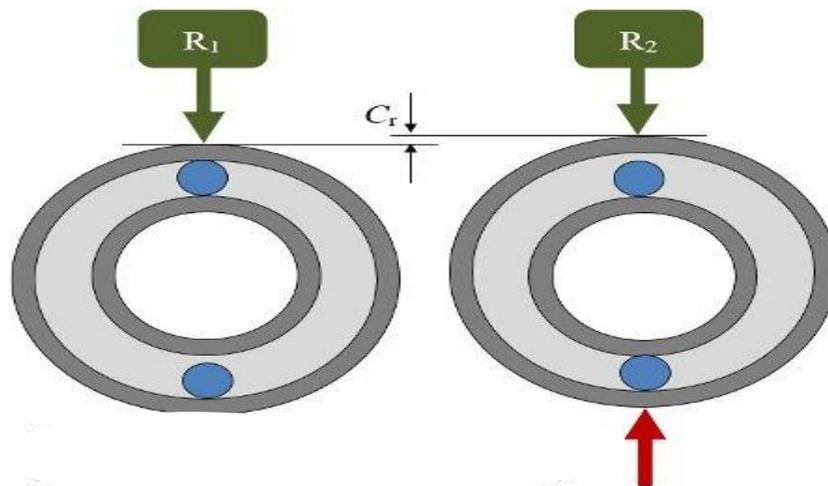
θ = Sudut Kontak *Ball* (Diasumsikan 0°)

3.8 Pengukuran radial *clearance*

Radial *clearance* adalah jarak geometris antara *inner ring* dan *outer ring*. Radial *clearance* merupakan faktor penting dalam pemilihan *bearing* yang akan berdampak langsung pada umur *bearing*. Hal ini sering diabaikan, terutama tentang bagaimana hal itu dikurangi dengan gangguan yang cocok.

Jarak bebas radial adalah permainan antara *ball* dan *raceway* yang tegak lurus terhadap sumbu *bearing*. Jarak bebas aksial adalah jarak putar sejajar dengan sumbu *bearing* dan biasanya setidaknya 10 kali lebih besar dari jarak bebas radial.

Terlalu sedikit atau terlalu banyak jarak bebas internal akan secara signifikan mempengaruhi faktor-faktor seperti panas, getaran, kebisingan, dan umur kelelahan. Dalam aplikasi ekstrim yang melihat suhu tinggi atau rendah, jarak bebas ini perlu dipertimbangkan dalam desain keseluruhan untuk mengimbangi ekspansi termal atau suhu.



Gambar 3.7 radial *clearance*

3.9 Mikrokontroller

Mikrokontroller merupakan suatu rangkaian terpadu elektronik yang berfungsi sebagai pengendali yang mengatur jalanya proses kerja dari suatu rangkaian elektronik. Didalam sebuah rangkaian. Arduino merupakan suatu modul mikrokontroller yang sangat populer saat ini, terdapat beberapa macam arduino sesuai kebutuhan. Jenis Arduino yang digunakan pada penelitian ini adalah Arduino Mega. Arduino Mega adalah mikrokontroler yang memanfaatkan Atmega 2560. Arduino MEGA memiliki total 54 pin digital keluaran / masukan dimana 15 diantaranya dapat dipergunakan sebagai PWM, 16 *input*, dan osilator Kristal 16 MHz. Arduino MEGA menggunakan kabel koneksi USB, sebuah power jack, ICSP *header*, serta tombol reset [11].



Gambar 3.8 Arduino Mega 2560

Mikrokontroler	ATMEGA 2560
Tegangan pengoperasian	5 V
Tegangan masuk	7 – 12 V
Batas tegangan masuk	6 – 20 V
Jumlah pin digital I/O	54
Jumlah pin input analog	16
Arus DC tiap pin I/O	40 Ma
Arus DC untuk pin 3.3 V	50 Ma
<i>Clock Speed</i>	16 Mhz
<i>Flash Memory</i>	256 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB

Tabel 3.2 Tabel Spesifikasi Arduino Mega 2560

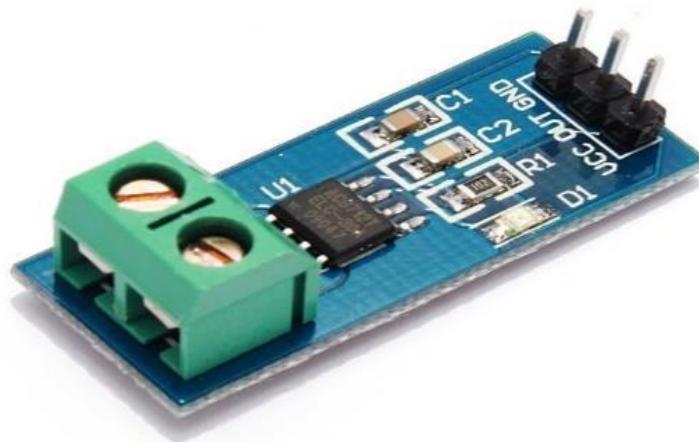
3.10 Sensor Arus ACS 712

Sensor ACS712 adalah Hall Effect current sensor. Hall effect allegro ACS712 merupakan sensor yang presisi sebagai sensor arus AC atau DC dalam pembacaan arus didalam dunia industri, otomotif, komersil dan sistem-sistem komunikasi. Pada umumnya aplikasi sensor ini biasanya digunakan untuk mengontrol motor, deteksi beban listrik, switched-mode power supplies dan proteksi beban berlebih, bentuk fisik dari sensor arus ACS712 dapat dilihat pada gambar 3.9 di bawah ini.

Gambar 3.9 Sensor arus ACS712 Sensor ini memiliki pembacaan dengan ketepatan yang tinggi, karena didalamnya terdapat rangkaian low-offset linear Hall dengan satu lintasan yang terbuat dari tembaga.

Cara kerja sensor ini adalah arus yang dibaca mengalir melalui kabel tembaga yang terdapat didalamnya yang menghasilkan medan magnet yang di tangkap oleh integrated Hall IC dan diubah menjadi tegangan proporsional.

Ketelitian dalam pembacaan sensor dioptimalkan dengan cara pemasangan komponen yang ada didalamnya antara penghantar yang menghasilkan medan magnet dengan hall transducer secara berdekatan. Persisnya, tegangan proporsional yang rendah akan menstabilkan Bi CMOS Hall IC yang 7 didalamnya yang telah dibuat untuk ketelitian yang tinggi oleh pabrik. Berikut terminal list dan gambar pin out ACS712



Gambar 3.9 ACS712

3.11 Sensor vibrasi sw420

Modul sensor digital ini akan menghasilkan keluaran logika *HIGH* pada saat mendeteksi vibrasi / getaran, dapat diaplikasikan pada sistem keamanan, deteksi gempa, pendeteksi malfungsi pada sistem mekanik, analisa struktur konstruksi berdasarkan vibrasi, pengukuran kekuatan tumbukan secara tidak langsung, Inti dari modul ini adalah komponen pendeteksi getaran SW-420 yang bereaksi terhadap getaran dari berbagai sudut.

Pada kondisi statis / tanpa getaran, komponen elektronika ini berfungsi seperti saklar yang berada pada kondisi menutup (*normally closed*) dan bersifat konduktif, sebaliknya pada kondisi terguncang (terpapar getaran) saklar akan membuka / menutup dengan kecepatan pengalihan (*switching frequency*) proporsional dengan kekerapan guncangan. Pengalihan bergantian secara cepat ini mirip seperti cara kerja PWM (*pulse width modulation*) yang merupakan sinyal pseudo-analog berupa tingkat tegangan yang kemudian dibandingkan oleh sirkuit terpadu LM393 (*Voltage Comparator IC*) dengan besar nilai ambang batas (*threshold*) tegangan pembanding diatur oleh sebuah resistor eksternal.



Gambar 3.10 sensor vibrasi sw42

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Setelah semua proses penelitian dilakukan, dari mulai studi literatur, rekonstruksi bearing, akuisisi data & menentukan pola pelatihan, dan pembahasan hasil pengujian, maka terdapat beberapa hal yang dapat disimpulkan terkait penelitian ini, di antaranya:

1. Berdasarkan kerusakan *bearing* akan mempengaruhi nilai kuat medan magnet yang dihasilkan, sehingga akan mempengaruhi nilai *vibration* maka akan menimbulkan terjadinya *noise* dan saat terjadinya *friction bearing* akan menjadi berat sehingga RPM yang ditimbulkan semakin kecil dibanding *bearing* normal.
2. Berdasarkan kerusakan kondisi *bearing* IRD dan RED serta kondisi normal akan mempengaruhi nilai arus yang dihasilkan meskipun tidak signifikan antar satu sama lain.
3. Berdasarkan nilai torsi yang dihasilkan kondisi IRD dan RED yang *defect* mempengaruhi nilai terutama pada RPM, sehingga RPM akan berdampak terhadap torsi awal saat *starting* semakin besar nilai RPM maka nilai torsi yang dihasilkan semakin kecil.
4. Berdasarkan kondisi normal *bearing* sinyal yang dihasilkan memiliki bentuk yang ideal dan tidak terjadi perbedaan lonjakan nilai yang signifikan dan menghasilkan bentuk gelombang dengan frekuensi yang halus serta nilai amplitudo yang kecil.
5. Berdasarkan kondisi *inner race defect bearing* sinyal yang dihasilkan memiliki bentuk gelombang yang tidak ideal yang disebabkan permukaan *inner ring* tergerus sehingga menghasilkan amplitudo getaran bertambah besar dan terjadi perbedaan lonjakan nilai yang sangat signifikan terhadap bagian *inner ring* yang tergerus.

6. Berdasarkan kondisi *rolling element defect bearing* sinyal yang dihasilkan tidak begitu halus dikarenakan mengalami kecacatan pada bola dan sangkar serta terjadi lonjakan nilai meskipun tidak terlalu signifikan

7. Jenis kecacatan yang dihasilkan pada *bearing* akan mempengaruhi klasifikasi nilai *clearance* yang dihasilkan. Pada *bearing* normal menghasilkan toleransi internal *clearance* yang normal, pada cacat bagian lintasan dalam (*inner ring*) dan cacat *rolling element* menghasilkan toleransi internal *clearance* yang lebih besar sehingga semakin besar nilai toleransi internal *clearance* yang dihasilkan maka semakin besar pula beban yang digunakan

5.2 Saran

Dari pengamatan dan analisis terhadap metode yang dilakukan pada penelitian kali ini, penulis memberikan beberapa saran agar nantinya dapat meningkatkan akurasi / efisiensi untuk penelitian selanjutnya antara lain:

1. Untuk penelitian selanjutnya mungkin bisa dikembangkan sebuah model portable untuk mendeteksi kerusakan bearing pada motor induksi yang mana proses deteksinya secara online.
2. Penelitian lebih lanjut dapat dilakukan untuk jenis bantalan dan tingkat kerusakan yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pinjia Zhang, Yi Du, Thomas G. Habetler, Bin Lu,(2011) “A Survey of Condition Monitoring and Protection Methods for Medium-Voltage Induction Motors”, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 47, NO. 1, JANUARY/FEBRUARY.
- [2] Susilo, D.D. 2009. “Pemantauan Kondisi Mesin Berdasarkan Sinyal Getaran”. Jurnal Penelitian Mekanika Vol-8 No.1 hal. 130-134.
- [3] Wahyudi, T., Soeharsono & Noor, E. 2016. “Mendeteksi Kerusakan Bantalan Dengan Menggunakan Sinyal Vibrasi”. Jurnal Penelitian Sinergi Vol-20 No.2
- [4] Knopf E and Nordmann R (2008). Active magnetic bearings for the accurate force measurement in rotating machinery. The Fourth International Conference on Motion and Vibration Control. ETH Zurich.
- [5] Zuhail, Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya. Jakarta: Gramedia, 1988
- [6] He,D.;Bechhoefer,E.;Ma,J.;Zhu,J.Aparticlefilteringbasedapproachforgearprognostics. InDiagnosticsand Prognostics of Engineering Systems: Methods and Techniques; IGI Global: Hershey, PA, USA, 2013; pp. 257–266.
- [7] Hermawan, Sigit. 2012. Studi Karakteristik Hidrodinamika pada Slider Bearing dengan Permukaan Slip dan/atau Permukaan Berstuktur. Semarang.
- [8] Suga , Kiyokatsu dan Sularso. 1978. Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin. Jakarta : Pradnya Paramita
- [9] Da Silva, Aderiano M (2006), “Induction Motor Fault Diagnostic And Monitoring Methods”, Marquette University, Milwaukee, Wisconsin
- [10] Oyo. (2013). Ball and Roller Bearings: Failures,Causes and Countermeasures. JTEKT CORPORATION
- [11] Anonim, “Arduino Mega 2560 rev3”, *Arduino Store*, [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>. [Diakses 30 September 2020]

