

**DETEKSI KERUSAKAN *BEARING* DARI SINYAL GETARAN
MENGUNAKAN FITUR *FAST FOURIER TRANSFORM***

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin



Disusun Oleh :

Nama : Farhan Akhmad Sujio
No. Mahasiswa : 15525083
NIRM : 2015060548

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2021

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

**DETEKSI KERUSAKAN *BEARING* DARI SINYAL GETARAN
MENGUNAKAN FITUR FOURIER TRANSFORM**

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Farhan Akhmad Sujio
No. Mahasiswa : 15525083
NIRM : 2015060548

Yogyakarta, 28 September 2021

Dosen Pembimbing



Mohammad Faizun. S.T., M.Eng., Ph.D.

NIP. 115250101

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

DETEKSI KERUSAKAN *BEARING* DARI SINYAL GETARAN MENGUNAKAN FITUR FOURIER TRANSFORM

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Farhan Akhmad Sujjo

No. Mahasiswa : 15525083

NIRM : 2015060548

Tim Penguji

Mohammad Faizun, S.T., M.Eng., Ph.D.

Ketua

Tanggal : 28 September 2021

Arif Budi Wicaksono, S.T., M.Eng.

Anggota I

Tanggal : 28 September 2021

Purtojo, S.T., M.Sc.

Anggota 2

Tanggal : 28 September 2021

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Ing. Ridyono, S.T., M.Eng.

PERNYATAAN KEASLIAN

PERNYATAAN KEASLIAN

“Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam laporan tugas akhir tidak dapat karya yang pernah diajukan orang lain untuk memperoleh gelar sarjana disuatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali secara tertulis diacu didalam penulisan naskah ini dan disebutkan sebagai referensi. Apabila dikemudian harti ada terbukti pernyataan ini tidak benar saya sanggup menerima sanksi atau hukuman sesuai hokum yang berlaku”

Yogyakarta, 28 September 2021



Farhan Akhmad Sujio

NIM : 15525083

الجمهورية الإسلامية اندونيسية

HALAMAN PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Karyaku ini ku persembahkan teruntuk :

Bapak dan Almh Ibu, yang aku sayang selalu. Yang telah memberikan dukungan, doa, materi dan kasih sayang maupun perhatiannya. Sehingga aku dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Maaf jikalau memang anakmu ini sedikit terlambat daam menempuh gelar sarjana, namun aku tetap berusaha semaksimal mungkin. Untuk kakak-kakak ku, Almh. Fatimah Akhmad Sujio dan Furqon Akhmad Sujio. Yang mau membantu dalam menangani alat untuk tugas akhir. Kepada seluruh keluarga dan rekan-rekan ku, aku harap aku jadi anak yang berguna untuk kalian semua. Semoga apa yang telah diekspektasikan terhadap ku, dapat terwujudkan.

HALAMAN MOTTO

“JANGAN MENJELASKAN TENTANG DIRIMU KEPADA SIAPAPUN.
KARENA YANG MENYUKAIMU TIDAK BUTUH ITU, DAN YANG
MEMBENCIMU TIDAK PERCAYA ITU.”

(ali bin abi thalib)

“ .. Allah meninggikan orang yang beriman diantara kamu dan orang yang diberi
ilmu pengetahuan beberapa derajat .. “

QS Al Mujaadilah : 11

الجمعة الاستدالانية

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

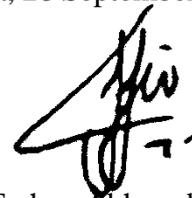
Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT karena hanya dengan rahmat dan hidayah-Nya, Tugas Akhir ini dapat terselesaikan tanpa halangan berarti. Keberhasilan dalam menyusun laporan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak yang mana dengan tulus dan ikhlas memberikan masukan guna sempurnanya Tugas Akhir ini. Oleh karena itu dalam kesempatan ini, dengan kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Risdiyono, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia,
2. Bapak Mohammad Faizun, S.T., M.Eng., Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak bantuan, bimbingan, serta arahan dalam Tugas Akhir ini,
3. Ibu Yustiasih Purwaningrum, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademis penulis,
4. Seluruh Dosen di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia, yang tidak bisa disebutkan satu-satu, atas ilmu dan bimbingannya selama penulis berkuliah di Jurusan Teknik Mesin FTI UII,
5. Ibu dan Bapak yang selama ini telah sabar membimbing, mengarahkan, dan mendoakan penulis tanpa kenal lelah untuk selama-lamanya.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini jauh dari sempurna. Kritik dan saran dapat ditujukan langsung pada e-mail saya. Akhir kata penulis mohon maaf yang sebesar-besarnya apabila ada kekeliruan di dalam penulisan Tugas Akhir ini.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 28 September 2021



Farhan Akhmad Sujio

ABSTRAK

Mesin berputar banyak di aplikasikan di industri besar di Indonesia. Dalam pemaikannya akan mengalami keausan dan penurunan performa, yang berupa kerusakan seperti *bearing* rusak yang disebabkan oleh gerakan yang tidak relative. Oleh karena itu, monitoring getaran itu sangat penting dilakukan untuk mengetahui kondisi mesin tanpa mengganggu jalannya mesin itu bergerak. Sistem *monitoring* ini dilakukan menggunakan sensor *accelerometer* MPU-6050 *Gyroscope 3 Axis* sebagai pengukur data akselerasi berupa getaran yang dihasilkan oleh mesin yang berputar dan Arduino UNO sebagai penerima data serta *Bearing* UCP 204-12 sebagai tolak ukur *bearing* yang digunakan. Data hasil pengukuran akan berbentuk *data sheet* yang akan diolah ke satuan kecepatan. Data hasil pengukuran tersebut selanjutnya akan diolah oleh Software Python yang berbasis FFT (*Fast Fourier Transform*). Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada kondisi normal cenderung stabil dalam berputar yaitu minimal di atas $-1000 \text{ m/s}^2 - 500 \text{ m/s}^2$. Pada kondisi mengalami keausan hasil pengujian menunjukkan bahwa kondisi *bearing* semakin tidak stabil pada putarannya yang diduga mengalami keausan yaitu grafik menunjukkan pada skala $-3000 \text{ m/s}^2 - 1000 \text{ m/s}^2$.

Kata kunci: *Bearing*, FFT (*Fast Fourier Transform*), sensor, getaran, Python

ABSTARCT

Rotating machines are widely applied in large industries in Indonesia. In its use, it will experience wear and tear and a decrease in performance, in the form of damage such as damaged bearings caused by non-relative movements. Therefore, vibration monitoring is very important to know the condition of the machine without disturbing the running of the machine. This monitoring system is carried out using the MPU-6050 Gyroscope 3 Axis accelerometer sensor as a measurement of acceleration data in the form of vibrations generated by a rotating machine and Arduino UNO as a data receiver and Bearing UCP 204-12 as a benchmark for bearings used. The measurement data will be in the form of a data sheet which will be processed into units of speed. The measurement data will then be processed by Python software based on FFT (Fast Fourier Transform). The test results show that under normal conditions it tends to be stable in rotating, which is at least above $-1000 \text{ m/s}^2 - 500 \text{ m/s}^2$. In conditions of wear, the test results show that the condition of the bearing is increasingly unstable in its rotation which is suspected to be experiencing wear, namely the graph shows on a scale of $-3000 \text{ m/s}^2 - 1000 \text{ m/s}^2$.

Keywords: Bearing, FFT (Fast Fourier Transform), sensor, vibration, Python

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| Halaman Judul..... | i |
| Lembar Pengesahan Dosen Pembimbing | ii |
| Lembar Pengesahan Dosen Penguji | iii |
| Pernyataan Keaslian..... | iv |
| Halaman Persembahan | vi |
| Halaman Motto | vii |
| Kata Pengantar | viii |
| ABSTRAK..... | ix |
| Daftar Isi | x |
| Daftar Tabel | xii |
| Daftar Gambar..... | xiii |
| Daftar Notasi..... | xiv |
| Bab 1 Pendahuluan..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah | 2 |
| 1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan | 2 |
| 1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan | 2 |
| 1.6 Sistematika Penulisan..... | 3 |
| 1.6.1 Bab 1: Pendahuluan..... | 3 |
| 1.6.2 BAB 3: Tinjauan Pustaka | 3 |
| 1.6.3 Bab 3: Metode Penelitian | 3 |
| 1.6.4 Bab 4: Hasil dan Pembahasan..... | 3 |
| 1.6.5 Bab 5: Penutup..... | 3 |
| Bab 2 Tinjauan Pustaka | 4 |
| 2.1 Kajian Pustaka | 4 |
| 2.2 Dasar Teori | 5 |
| 2.2.1 <i>Fast Fourier Transform</i> | 5 |
| 2.2.2 <i>Machine Learning</i> | 5 |

| | | |
|---------------------------------|---|----|
| 2.2.3 | Python 3.0..... | 7 |
| 2.2.4 | Sensor Sinyal getaran MPU-6050 3 Axis Gyroscope..... | 7 |
| 2.2.5 | <i>Bearing</i> ASB UCP 204-12 | 7 |
| 2.2.6 | Jenis Kerusakan Bantalan Bola <i>Bearing</i> | 9 |
| Bab 3..... | | 13 |
| Metode Penelitian | | 13 |
| 3.1 | Alur Penelitian | 13 |
| 3.1.1 | Studi Pustaka | 13 |
| 3.1.2 | Perancangan Perangkat Keras..... | 13 |
| 3.1.3 | Perancangan Perangkat Lunak..... | 13 |
| 3.1.4 | Pengujian Alat dan Pengukuran Parameter | 13 |
| 3.1.5 | Analisa Data Menggunakan Metode <i>Fast Fourier Transform</i> | 14 |
| 3.2 | Peralatan dan Bahan | 15 |
| 3.3 | Perancangan Sistem | 17 |
| 3.3.1 | Perancangan Perangkat Keras..... | 17 |
| 3.3.2 | Perancangan Perangkat Lunak..... | 19 |
| Bab 4 Hasil dan Pembahasan..... | | 23 |
| 4.1 | Hasil Alat Pengujian..... | 23 |
| 4.2 | Hasil Data Pengujian..... | 29 |
| 4.2.1 | Data awal | 30 |
| 4.2.2 | Data Tengah..... | 31 |
| 4.2.3 | Data Akhir | 33 |
| 4.3 | Analisis | 34 |
| Bab 5 PENUTUP | | 36 |
| 5.1 | Kesimpulan..... | 36 |
| 5.2 | Saran..... | 37 |
| Daftar Pustaka..... | | 38 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2. 1 Spesifikasi <i>Bearing</i> | 8 |
| Tabel 2. 2 Spesifikasi Dalam <i>Bearing</i> | 9 |
| Tabel 3. 1 Alat Pendukung pengujian | 17 |
| Tabel 3. 2 List Program Pembacaan Sensor Gyroscope Arduino | 21 |
| Tabel 3. 3 List Program Pembacaan Phytion menggunakan basis FFT | 22 |
| Tabel 4. 1 Data domain waktu | 34 |
| Tabel 4. 2 Data domain frekuensi | 35 |



DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2. 1 Spesifikasi <i>Bearing</i> | 8 |
| Gambar 2. 2 Komponen Bantalan <i>Bearing</i> | 10 |
| Gambar 2. 3 Komponen Kecepatan pada Bantalan Bola | 12 |
| Gambar 2. 4 Tren Kenaikan Amplitudo Getaran Akibat Kerusakan Komponen. 12 | |
| Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian..... | 14 |
| Gambar 3. 2 Drawing frame penyangga motor AC | 18 |
| Gambar 3. 3 <i>Drawing Coupling</i> | 18 |
| Gambar 4. 1 Sensor MPU-6050..... | 23 |
| Gambar 4. 2 Arduino UNO..... | 23 |
| Gambar 4. 3 Kopleng penyambung poros motor dan poros <i>bearing</i> | 24 |
| Gambar 4. 4 Gambaran total panjang dari coupling dan pengunci beban..... | 24 |
| Gambar 4. 5 Poros pejal serta pengunci beban | 25 |
| Gambar 4. 6 Drawing Poros pejal | 25 |
| Gambar 4. 7 Drawing Poros pejal untuk pembebanan | 26 |
| Gambar 4. 8 Drawing pengunci beban 1 | 26 |
| Gambar 4. 9 Drawing pengunci beban 2 | 27 |
| Gambar 4. 10 Alat pengujian | 27 |
| Gambar 4. 11 Ilustrasi Momen Gaya | 28 |
| Gambar 4. 12 Ilustrasi Momen Gaya dengan sudut | 29 |
| Gambar 4. 13 Grafik data awal terhadap waktu..... | 30 |
| Gambar 4. 14 Grafik FFT data awal..... | 31 |
| Gambar 4. 15 Grafik data tengah terhadap waktu..... | 32 |
| Gambar 4. 16 Grafik FFT data tengah..... | 32 |
| Gambar 4. 17 Grafik data akhir..... | 33 |
| Gambar 4. 18 Grafik FFT data akhir | 33 |

DAFTAR NOTASI

| | |
|----------------------|---|
| $S(f)$ | = Sinyal dalam domain frekuensi (<i>frequency domain</i>) |
| $s(t)$ | = Sinyal dalam domain waktu (<i>time domain</i>) |
| $s(t) e^{-j2\pi ft}$ | = Konstanta nilai sebuah sinyal |
| f | = frekuensi |
| t | = Waktu. |
| V_C | = Kecepatan Linier Cage (pemisah) |
| V_{IR} | = Kecepatan Linier lintasan dalam |
| ω_C | = Kecepatan Putar Cage (pemisah) |
| α | = Sudut kontak bantalan |
| ω_{IR} | = Kecepatan sumbu putar bola terhadap sumbu poros |
| τ | = Torsi atau momen gaya (Nm) |
| r | = Lengan gaya (m) |
| F | = Gaya yang diberikan tegak lurus dengan lengan gaya (N) |
| θ | = Sudut antara gaya dengan lengan gaya |

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mesin merupakan sebuah perangkat yang mengkonversi energi elektrik ke energi mekanik. Sebuah mesin yang ideal pada prinsipnya mengkonversikan seluruh energi yang dihasilkan menjadi energi gerak. Bagaimanapun, dalam praktiknya mesin memiliki gerakan relatif antar komponen yang menghasilkan gesekan. Gesekan tersebut dapat menurunkan efisiensi seperti meningkatnya temperatur, keausan, dan berbagai efek negatif lainnya. Salah satu bentuk ketidak efisienan konversi energi tersebut adalah munculnya getaran yang tidak diinginkan. Sehingga, upaya untuk meningkatkan efisiensi mesin adalah mengurangi getaran yang terjadi pada mesin. Salah satu upaya untuk mengurangi getaran tersebut adalah merancang sebuah sistem pendeteksi getaran mesin.

Sistem pendeteksi getaran mesin merupakan perangkat yang dapat mengukur kemampuan sebuah mesin ketika keadaan normal ataupun sesaat sebelum terjadi kerusakan. Cara kerja sistem pendeteksi getaran tersebut adalah mengukur amplitudo getaran pada mesin hingga mencapai batas getaran yang diinginkan. Sehingga, apabila suatu batasan mesin telah tercapai maka kerusakan pada mesin dapat terprediksi dan dicegah.

Salah satu metode yang digunakan untuk menganalisa getaran adalah metode *Fast Fourier Transform* (FFT). FFT merupakan salah satu metode analisis yang mengkonversikan suatu data domain waktu ke domain frekuensi. Sehingga, metode FFT dapat mendeteksi frekuensi mesin pada saat keadaan normal dan sesaat terjadi getaran signifikan. Selanjutnya, metode FFT dapat digunakan sebagai pendeteksi kerusakan pada poros motor dengan tambahan *machine learning*.

Pada penelitian ini, perangkat yang akan dideteksi getarannya adalah *bearing* mesin AC. Getaran pada *bearing* akan dideteksi menggunakan sensor *gyroscope* untuk mengetahui amplitudo getaran. Percobaan yang dilakukan pada penelitian ini adalah pendeteksian sinyal getaran yang di hasilkan oleh poros motor yang di bebani oleh pemberat dan bergerak secara terus menerus dalam 6 jam

perhari selama 8 hari sebelum rusak. Sehingga, keadaan getaran mesin pada keadaan normal serta sesaat sebelum rusak dapat terprediksi oleh sistem.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana cara mengetahui perbedaan sinyal getaran mesin ketika dalam kondisi normal serta pada saat akan terjadi kerusakan?
2. Bagaimana cara menganalisa sinyal getaran pada *bearing* menggunakan metode *Fast Fourier Transform*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perangkat lunak yang digunakan adalah Aplikasi Arduino, Ms. Excel, Tableau, dan Python 3.0
2. Penelitian ini hanya membahas tentang grafik sinyal getaran dari pendataan yang telah di baca oleh sensor MPU-6050 Gyroscope 3 Axis.
3. Penelitian ini menggunakan *Bearing* UCP 204-12 yang sudah memiliki *Housing Bearing* dan ukuran yang cocok dengan poros penyambung ke mesin

1.4 Tujuan Penelitian atau Perancangan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui perbedaan sinyal getaran dalam kondisi normal serta saat akan terjadi kerusakan.
2. Mendapatkan hasil analisa perbandingan 2 sinyal getaran amplitudo dan frekuensi pada *bearing* menggunakan metode *Fast Fourier Transform*

1.5 Manfaat Penelitian atau Perancangan

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagi peneliti, penelitian ini bermanfaat untuk mengembangkan pengetahuan peneliti tentang keadaan putaran *bearing* serta analisis metode *Fast Fourier Transform*.

2. Bagi praktisi, metode yang digunakan dapat digunakan untuk membantu proses prediksi keadaan mesin yang berputar secara terus menerus, baik dalam keadaan normal ataupun akan terjadi kerusakan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab, yaitu:

1.6.1 Bab 1: Pendahuluan

Bab ini membahas tentang pengenalan dan latar belakang dari laporan tugas akhir ini.

1.6.2 BAB 3: Tinjauan Pustaka

Bab ini membahas tentang dasar teori yang berhubungan dengan pemrograman Python dan juga dasar teori tentang kendali sensor yang digunakan.

1.6.3 Bab 3: Metode Penelitian

Bab ini membahas tentang alur proses perancangan, baik perangkat keras maupun perangkat lunak.

1.6.4 Bab 4: Hasil dan Pembahasan

Bab ini membahas tentang hasil pengujian dan analisa dari grafik yang dihasilkan dibandingkan dengan dasar teori ataupun uraian ilmiah lain.

1.6.5 Bab 5: Penutup

Bab ini berisi kesimpulan dari pembahasan yang dilakukan serta saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Bearing merupakan salah satu komponen penting dalam sebuah mesin. Sehingga, komponen tersebut harus selalu pada keadaan efisien karena apabila terdapat kerusakan maka akan membahayakan komponen lain. Salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi *Bearing* adalah kerusakan *Bearing* itu sendiri yang disebabkan oleh umur bantalan *bearing* yang sudah tua. Kegagalan fungsi tersebut dapat di definisikan sebagai kejadian sewaktu komponen *bearing* yang sudah tidak mampu lagi menopang poros sebagaimana mestinya. Hal ini dikarenakan patahan atau deformasi berlebih ataupun deteriorasi. Kerusakan atau keausan serta deformasi akan mengubah karakteristik dinamik sistem dan cenderung meningkatkan energi sinyal getaran. Pada dunia permesinan saat ini, mesin sudah dirancang otomatis dan sangat efektif untuk bekerja lebih keras dan berkecepatan tinggi. Hal ini mengakibatkan getaran akan timbul sangat banyak dan berfrekuensi tinggi sehingga membutuhkan alat untuk mendeteksi kerusakan dapat lebih awal di tangani.

Salah satu cara mengatasi masalah antara mesin berkecepatan tinggi yang bekerja terus menerus adalah dengan mengembangkan alat pendeteksi kerusakan *bearing* dengan mendeteksi jenis kerusakan dan tingkat kerusakan bantalan bola dari karakteristik sinyal getarannya. Selanjutnya metode ini banyak diaplikasikan pada *condition based maintenance* yang ekonomis.

Metode analisis dengan menggunakan model dalam domain waktu dapat dilakukan dikarenakan sinyal yang cukup kompleks. Sehingga, model tersebut harus dikonversikan ke domain lain seperti frekuensi. Untuk menganalisa sistem dalam domain frekuensi maka diperlukan transformasi sinyal domain waktu tersebut. Fungsi yang digunakan untuk melihat spektrum sinyal getaran dari sinyal domain waktu adalah (FFT) *Fast Fourier Transform*. FFT mampu menunjukkan kandungan frekuensi yang terkandung di dalam sinyal dan menunjukkan berapa banyak komponen frekuensi di dalam sinyal.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 *Fast Fourier Transform*

Dalam pengamatan model matematika terdapat domain model yang biasa digunakan yaitu pengamatan model dalam domain waktu $F(t)$. Dalam penggunaannya, pengamatan terhadap domain waktu memiliki perhitungan yang sangat kompleks. Sehingga sangat diperlukan metode untuk analisis data hasil pengamatan dalam domain waktu menjadi lebih mudah dibaca dan diolah. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mempermudah analisis tersebut ialah Transformasi *Fourier*. *Fast Fourier Transform* (FFT) merupakan suatu algoritma atau teknik perhitungan operasi matematika yang digunakan untuk mentransformasikan sinyal analog berbasis domain waktu diskrit menjadi sinyal digital berbasis domain frekuensi. *Fast Fourier Transform* (FFT) membagi sebuah sinyal menjadi frekuensi yang berbeda-beda dalam fungsi eksponensial yang kompleks. Selain itu algoritma ini dapat menghitung transformasi fourier diskrit dengan cepat dan efisien karena sinyal dalam sistem komunikasi bersifat kontinyu. *Fast Fourier Transform* (FFT) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-j2\pi ft} dt$$

$S(f)$ = Sinyal dalam domain frekuensi (*frequency domain*)

$s(t)$ = Sinyal dalam domain waktu (*time domain*)

$s(t) e^{-j2\pi ft}$ = Konstanta nilai sebuah sinyal

f = Frekuensi

t = Waktu

2.2.2 *Machine Learning*

Machine Learning (ML) diartikan sebagai disiplin ilmu yang menugaskan komputer untuk belajar dan bertindak seperti manusia. ML dapat meningkatkan kemampuan belajarnya dari waktu ke waktu secara otomatis, dengan cara

menyuplai data dan informasi sebagai bentuk pengalaman serta interaksi dunia nyata. *Machine Learning* dapat dikelompokkan menjadi 3 kategori utama yaitu:

1. Pembelajaran terarah (*Supervised Learning*)

Supervised Learning merupakan suatu pembelajaran yang diawasi oleh pengguna ketika keadaan output yang diharapkan telah diketahui sebelumnya. Biasanya pembelajaran ini dilakukan dengan menggunakan data yang telah ada. *Supervised Learning* dibagi menjadi 2 bagian, yaitu klasifikasi dan regresi.

2. Pembelajaran tidak terarah (*Unsupervised Learning*)

Unsupervised Learning merupakan pembelajaran yang dilakukan komputer secara sepenuhnya serta tidak memerlukan target output. Tujuan metode *Unsupervised Learning* adalah agar kita dapat mengelompokkan unit-unit yang hampir sama dalam satu area tertentu. Pembelajaran ini biasanya sangat cocok untuk klasifikasi pola. *Unsupervised Learning* terbagi menjadi 2 bagian yaitu asosiasi dan *clustering*.

3. *Reinforcement Learning*

Reinforcement Learning bertujuan untuk menggunakan pengamatan dan mengumpulkan data melalui interaksi langsung dengan lingkungan untuk mengambil tindakan yang akan memaksimalkan *reward* dan meminimalkan resiko. Algoritma *reinforcement learning* terus belajar dari lingkungan secara *iterative*. Dengan menggunakan algoritma ini, mesin dilatih untuk membuat keputusan yang lebih spesifik sehingga akan didapatkan keputusan yang akurat.

Ciri khas dari *Machine Learning* adalah adanya proses pelatihan pembelajaran, atau *training*. Sehingga *Machine Learning* sangat membutuhkan data untuk dapat dipelajari atau yang biasa disebut data training. Terdapat beberapa proses untuk membangun sebuah sistem Machine Learning, yaitu:

1. Mengumpulkan data (*Collect data*)
2. Mempersiapkan data masukkan (*Prepare input data*)
3. Menganalisis data masukkan (*Analyse input data*)
4. Mengikutsertakan keterlibatan manusia (*Human involvement*)
5. Melatih algoritma (*Train algorithm*)
6. Menguji algoritma (*Test algorithm*)
7. Menggunakan algoritma (*Use it*)

2.2.3 Python 3.0

Python merupakan sebuah bahasa pemrograman komputer yang dikembangkan khusus untuk membuat *source code* mudah dibaca. Bahasa pemrograman python memiliki *library* yang lengkap sehingga memudahkan seorang *programmer* untuk membuat sebuah aplikasi sesuai dengan keinginan dengan menggunakan *source code* yang terlihat sederhana.

2.2.4 Sensor Sinyal getaran MPU-6050 3 Axis Gyroscope

Sensor MPU6050 adalah sensor mampu membaca kemiringan sudut berdasarkan data dari sensor *accelerometer* dan sensor *gyroscope*. Sensor ini juga dilengkapi oleh sensor suhu yang dapat digunakan untuk mengukur suhu dikeadaan sekitar.

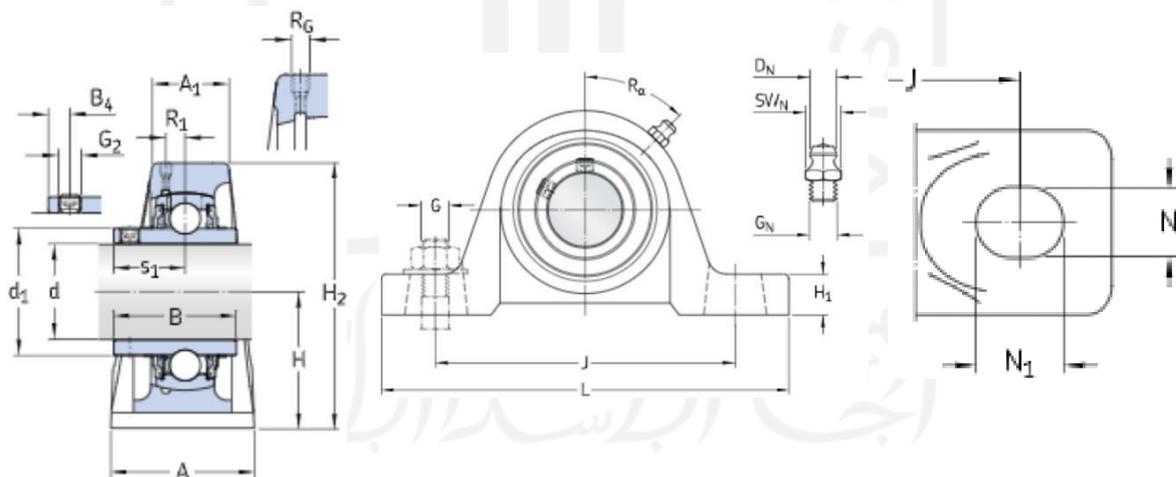
2.2.5 Bearing ASB UCP 204-12

Bearing atau biasa yang kita kenal yaitu Bantalan (Laher) merupakan salah satu elemen mesin yang banyak digunakan pada dunia otomotif atau permesinan. Fungsinya yang sangat membantu ialah menjaga poros (*shaft*) agar selalu berputar terhadap sumbu porosnya. Selain itu juga berfungsi untuk membatasi ruang gerak antara 2 buah atau lebih komponen mesin agar dapat bergerak pada arah yang kita tentukan. Berikut adalah spesifikasi *bearing* yang digunakan.

| Technical Specification | |
|--|---|
| Compliance with standard | JIS |
| Purpose specific | For material handling applications |
| Housing material | Cast iron |
| Sealing solution | Standard seals with additional flingers |
| CALCULATION DATA | |
| Basic dynamic load rating (C) | 12,7 kN |
| Basic static load rating (C ₀) | 6,7 kN |
| Fatigue load limit (P _u) | 0,285 kN |

| | |
|---|------------|
| Limiting speed | 6500r/min |
| MASS | |
| Mass <i>bearing</i> unit | 0,61 kg |
| MOUNTING INFORMATION | |
| Set screw (G_2) | 1/4-28 UNF |
| Hexagonal key size for side screw (N) | 3,225 mm |
| Recommended tightening torque for set screw | 4 Nm |
| Recommended diameter for attachment bolts, mm (G) | 10 mm |
| Recommended diameter for attachment bolts, inch (G) | 0,375 in |
| INCLUDED PRODUCTS | |
| Housing | P 204/Y |
| <i>Bearing</i> | UC 204-12 |

Tabel 2. 1 Spesifikasi *Bearing*



Gambar 2. 1 Spesifikasi *Bearing*

| DIMENSIONS | |
|-------------------|-------------------|
| d | 19,05 mm |
| d_1 | $\approx 28,7$ mm |

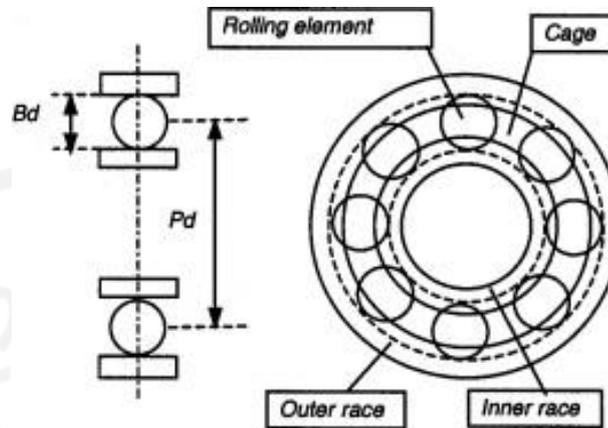
| | |
|-----------------------|-------------|
| A | 34 mm |
| A ₁ | 23 mm |
| B | 31 mm |
| B ₄ | 5 mm |
| H | 33,3 mm |
| H ₁ | 13,5 mm |
| H ₂ | 64,5 mm |
| J | 95 mm |
| J | max. 100 mm |
| J | Min. 90 mm |
| L | 127 mm |
| N | 13 mm |
| N ₁ | 18 mm |
| s ₁ | 18,3 mm |
| THREADED HOLE | |
| R _G | ¼-28 UNF |
| R ₁ | 2 mm |
| R _a | 45 ° |
| GREASE FITTING | |
| D _N | 6,6 mm |
| SW _N | 7,94 mm |
| G _N | ¼-28 UNF |

Tabel 2. 2 Spesifikasi Dalam *Bearing*

2.2.6 Jenis Kerusakan Bantalan Bola *Bearing*

Beberapa penyebab kerusakan bantalan diantaranya adalah keretakan bantalan, keausan, pemasangan yang tidak sesuai, pelumasan yang tidak cocok, kerusakan dalam pembuatan komponen, diameter bola yang tidak sama. Getaran yang timbul disebabkan oleh adanya gaya kontak pada kerusakan tersebut. Bila pada bantalan bola terdapat kerusakan maka besarnya gaya kontak tidak lagi

seragam. Hal inilah yang menimbulkan getaran yang tidak beraturan. Komponen bantalan *bearing* dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2. 2 Komponen Bantalan *Bearing*

Cacat pada bantalan bola dapat dikelompokkan dalam dua kategori yaitu:

1. Cacat Lokal

Cacat lokal adalah cacat yang terjadi karena adanya goresan ataupun lubang pada lintasan dalam, lintasan luar dan bola. Sinyal yang dibangkitkan akibat cacat lokal ini berupa impuls, yaitu pada saat elemen rotasi bersentuhan dengan cacat lokal tersebut.

2. Cacat Terdistribusi

Cacat terdistribusi adalah cacat yang timbul karena ketidakbulatan lintasan luar dan lintasan dalam, ketidaksamaan sumbu (*misalignment*) antara sumbu lintasan luar dan lintasan dalam, serta ketidaksamaan dimensi bola. Karena pada bantalan ini getaran yang dibangkitkan berhubungan erat dengan kecepatan putar bola dan *cage* (pemisah), maka terlebih dahulu perlu ditentukan kecepatan putar bola dan pemisah tadi. Jika ω_{OR} adalah kecepatan putar lintasan luar (*outer race*) dan ω_{IR} kecepatan putar lintasan dalam (*inner race*), serta diasumsikan bahwa $\omega_{OR} = 0$ dan $\alpha = 0$ (sudut kontak), maka:

$$V_{IR} = \omega_{IR} \cdot \left[\frac{P_d}{2} - \frac{B_d}{2} \right] \quad (1)$$

$$V_c = \frac{1}{2} \cdot V_{IR} \quad (2)$$

selanjutnya

$$V_C = \frac{1}{2} \cdot \omega_{IR} \cdot \left[\frac{P_d}{2} - \frac{B_d}{2} \right] \quad (3)$$

Atau

$$V_C = \omega_C \cdot \frac{P_d}{2} \quad (4)$$

Dari persamaan (3) dan (4), maka didapat:

$$\frac{1}{2} \cdot \omega_{IR} \cdot \left[\frac{P_d}{2} - \frac{B_d}{2} \right] = \omega_C \cdot \frac{P_d}{2}$$

Atau

$$\frac{1}{2} \cdot \left[\omega_{IR} \cdot \frac{P_d}{2} - \omega_{IR} \cdot \frac{B_d}{2} \right] = \omega_C \cdot \frac{P_d}{2}$$

Sehingga

$$\omega_C = \frac{1}{2} \cdot \omega_{IR} \cdot \left[1 - \frac{B_d}{P_d} \right] \quad (5)$$

Jika $\alpha \neq 0$, maka

$$\omega_C = \frac{1}{2} \cdot \omega_{IR} \cdot \left[1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \alpha \right] \quad (6)$$

Dimana,

V_C : Kecepatan Linier *Cage* (pemisah)

V_{IR} : Kecepatan Linier lintasan dalam

ω_C : Kecepatan Putar *Cage* (pemisah)

α : Sudut kontak bantalan

ω_{IR} : Kecepatan sumbu putar bola terhadap sumbu poros

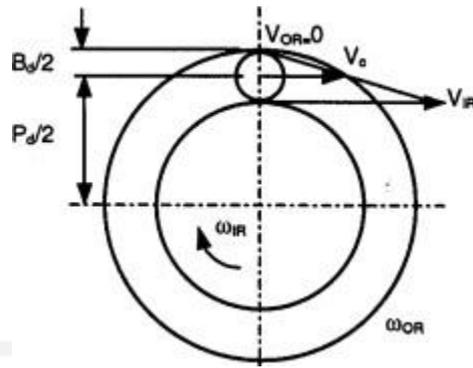
Dengan cara yang sama untuk kasus dimana $\omega_{IR} = 0$, maka didapat:

$$\omega_C = \frac{1}{2} \cdot \omega_{IR} \cdot \left[1 + \frac{B_d}{P_d} \cos \alpha \right] \quad (7)$$

Sedangkan jika lintasan dalam dan lintasan sama-sama berputar, maka,

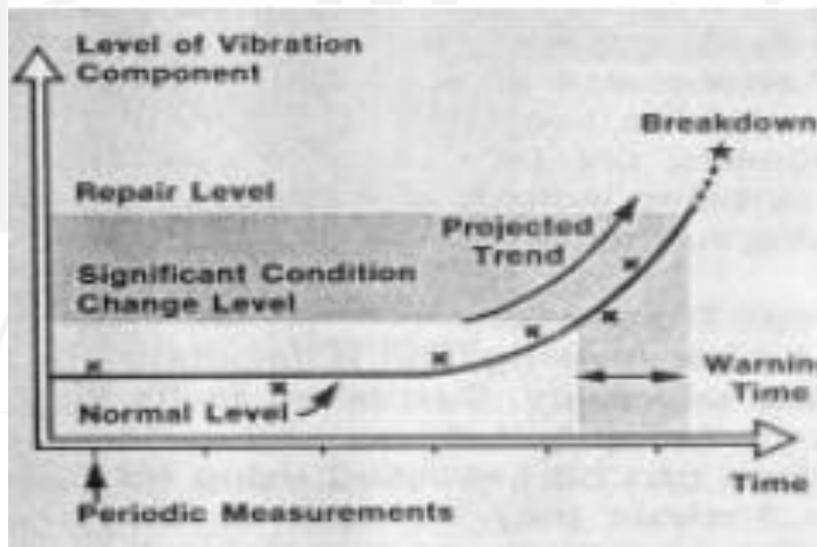
$$\omega_C = \frac{1}{2} \cdot \omega_{IR} \cdot \left[1 - \frac{B_d}{P_d} \cos \alpha \right] + \frac{1}{2} \cdot \omega_{IR} \cdot \left[1 + \frac{B_d}{P_d} \cos \alpha \right] \quad (8)$$

Bentuk komponen kecepatan pada bantalan bola dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2. 3 Komponen Kecepatan pada Bantalan Bola

Tingkat kerusakan dapat dideteksi dengan adanya kenaikan amplitudo getaran, dimana frekuensi getaran tetap konstan sesuai dengan jenis kerusakan pada komponen yang mana. Berdasarkan “*Machine Condition Monitoring*” gambar 2.3, terlihat bahwa untuk mesin normal (kondisi baik) menunjukkan amplitudo getaran yang relatif konstan selama kondisi normal, tetapi saat mulai terjadi kerusakan pada saat itu juga mulai menunjukkan kenaikan amplitudo getaran (*vibration level*) yang cukup besar. Jika amplitudo getaran sampai pada batas *repair level*, maka mesin harus direparasi (*breakdown*) atau komponen harus diganti.



Gambar 2. 4 Tren Kenaikan Amplitudo Getaran Akibat Kerusakan Komponen.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa tahap yang akan dilakukan yaitu studi pustaka, perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, pengujian alat & pengukuran parameter serta analisa data menggunakan metode *Fast Fourier Transform*.

3.1.1 Studi Pustaka

Langkah pertama dari penelitian ini adalah melakukan studi pustaka mengenai perangkat penelitian. Studi pustaka tersebut meliputi pembacaan *datasheet* perangkat keras serta materi-materi terkait pemrograman dan metode analisis *Fast Fourier Transform*.

3.1.2 Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras yang akan dirancang yaitu YC8024 ½ HP (mesin AC) yang diletakkan di atas *frame* penyangga. Selanjutnya terdapat *coupling* pada motor untuk memasang sensor MPU 6050 Gyroscope 3 Axis. Sensor tersebut digunakan untuk mendeteksi getaran yang terjadi pada mesin. Selanjutnya, hasil pembacaan sensor akan direkam menggunakan *microcontroller* Aduino Uno untuk dilakukan analisa.

3.1.3 Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang akan dirancang meliputi pembuatan program pembacaan sensor getaran pada mesin serta program analisis *Fast Fourier Transform* menggunakan bahasa pemrograman *python*.

3.1.4 Pengujian Alat dan Pengukuran Parameter

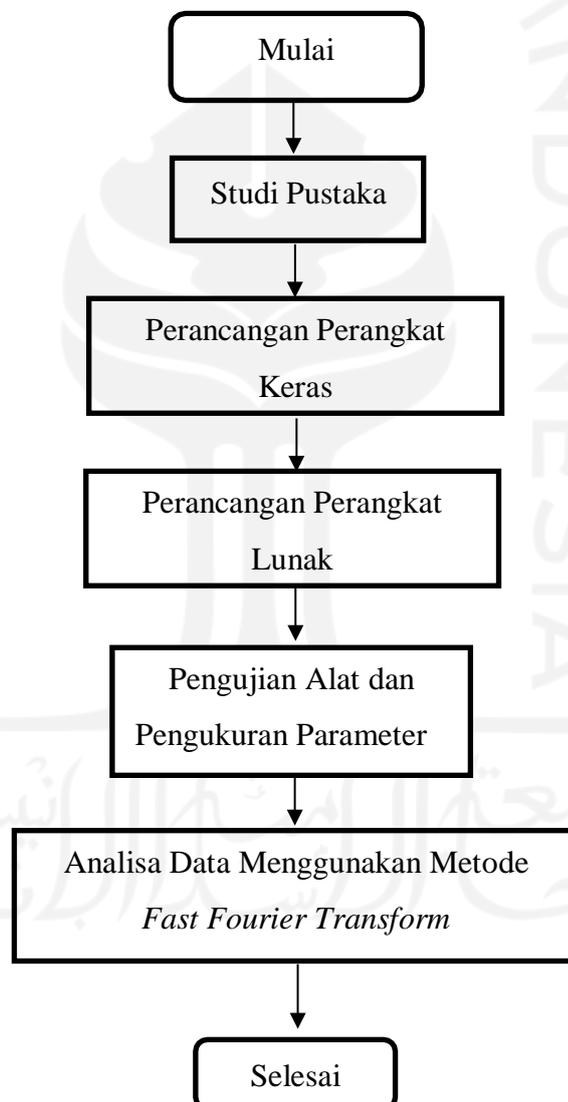
Setelah perancangna perangkat keras dan lunak dilakukan, langkah selanjutnya adalah pengujian alat dan pengukuran parameter. Langkah ini

bertujuan untuk merekam getaran yang terjadi pada mesin. Hasil pengukuran tersebut akan dijadikan acuan langkah selanjutnya yaitu analisis data.

3.1.5 Analisa Data Menggunakan Metode *Fast Fourier Transform*

Pada penelitian ini, data yang telah dikumpulkan akan dianalisa menggunakan metode *Fast Fourier Transform*. Metode ini akan mengkonversi data getaran ke dalam domain frekuensi kemudian akan didapatkan hasil pendeteksian kerusakan *bearing* pada mesin.

Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada gambar 3.1.

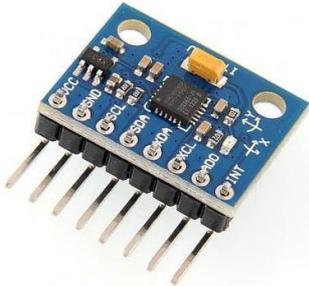


Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian.

3.2 Peralatan dan Bahan

Penelitian ini menggunakan beberapa alat dan bahan untuk mendukung tercapainya tujuan penelitian. Adapun alat dan bahan tersebut dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Peralatan dan Bahan Penelitian

| No. | Nama Bahan | Gambar |
|-----|--|--|
| 1. | YC8024 ½ HP (mesin AC) |  |
| 2. | Sensor MPU 6050 Gyroscope 3 Axis |  |
| 3. | Arduino UNO |  |
| 4. | Housing Sensor MPU 6050 Gyroscope 3 axis |  |

| | | |
|----|---|--|
| 5. | <i>Bearing UCP 204-12</i> |  |
| 6. | Coupling penyambung poros motor dengan poros <i>bearing</i> |  |
| 7. | Pengunci pembebanan dengan poros |  |
| 8. | Poros <i>bearing</i> dengan beban |  |

| | | |
|----|-----------------------|--|
| 9. | Frame penyangga motor |  |
|----|-----------------------|--|

Tabel 3. 1 Alat Pendukung pengujian

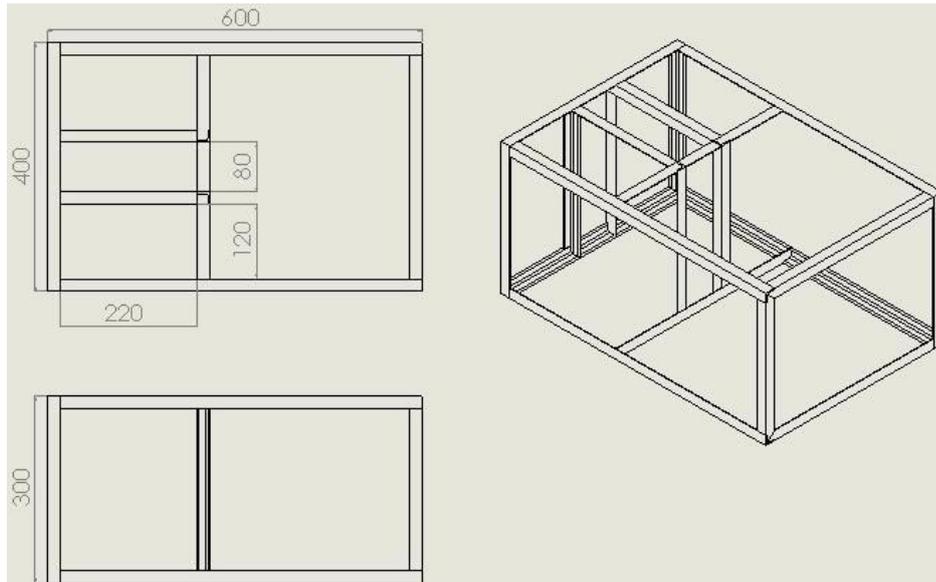
3.3 Perancangan Sistem

3.3.1 Perancangan Perangkat Keras

3.3.1.1. Model Frame Penyangga Motor

Perangkat keras pertama yang dirancang adalah frame penyangga motor. Frame tersebut berfungsi sebagai penyangga dalam proses pengambilan data getaran *bearing*. Frame yang dirancang memiliki dimensi panjang, lebar dan tinggi sebesar 600 mm, 400 mm dan 300 mm, secara berurutan.

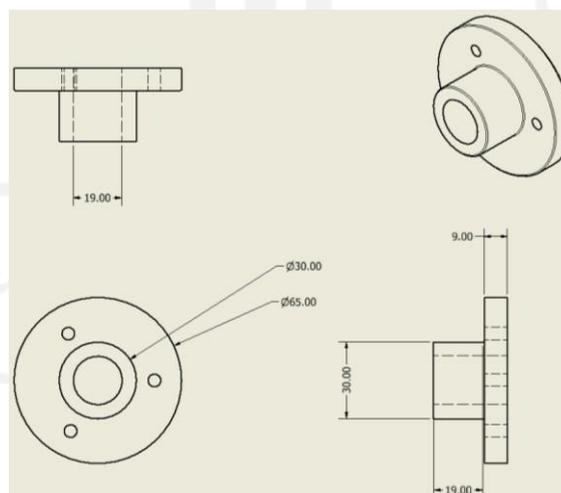
Bahan yang digunakan untuk membuat frame penyangga motor pada penelitian ini menggunakan besi L. Pemilihan bahan tersebut berdasarkan pertimbangan biaya serta ketahanan frame dalam menahan beban motor. Gambar (*drawing*) dimensi penyangga motor dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Drawing frame penyangga motor AC.

3.3.1.2. Model Coupling

Perangkat keras kedua yang dirancang pada penelitian ini adalah *coupling*. *Coupling* merupakan perangkat yang digunakan sebagai penghubung antara poros *bearing* dengan poros mesin. Dengan menggunakan *coupling* tersebut, *bearing* dapat berputar sesuai dengan kecepatan putar pada mesin AC yang digunakan. Gambar perancangan *coupling* dapat dilihat pada gambar 3.4.



Gambar 3. 3 Drawing Coupling

3.3.2 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak dilakukan untuk proses perekaman serta analisa data. Perangkat lunak yang dirancang adalah program Arduino untuk pembacaan Sensor Gyroscope MPU-6050. Program tersebut akan merekam setiap putaran *bearing* sehingga amplitudo getaran dapat terdeteksi. Setelah mendapatkan data tersebut, langkah selanjutnya adalah merancang program *Python* yang akan digunakan sebagai analisa data dengan metode *Fast Fourier Transform*. Program Arduino untuk pembacaan sensor getaran dapat dilihat pada tabel 3.2.

```
#include "max6675.h"
#include <Wire.h>
#include <MPU6050.h>

MPU6050 mpu;
int thermoDO = 12;
int thermoCS = 11;
int thermoCLK = 10;

MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);

void setup()
{
  Serial.begin(115200);

  // Initialize MPU6050
  Serial.println("Initialize MPU6050");
  while(!mpu.begin(MPU6050_SCALE_2000DPS, MPU6050_RANGE_2G))
  {
    Serial.println("Could not find a valid MPU6050 sensor, check wiring!");
    delay(500);
  }

  // If you want, you can set gyroscope offsets
  // mpu.setGyroOffsetX(155);
  // mpu.setGyroOffsetY(15);
  // mpu.setGyroOffsetZ(15);

  // Calibrate gyroscope. The calibration must be at rest.
  // If you don't want calibrate, comment this line.
  mpu.calibrateGyro();

  // Set threshold sensivty. Default 3.
  // If you don't want use threshold, comment this line or set 0.
```

```

mpu.setThreshold(3);

// Check settings
checkSettings();
}

void checkSettings()
{
  Serial.println();

  Serial.print(" * Sleep Mode:");
  Serial.println(mpu.getSleepEnabled() ? "Enabled" : "Disabled");

  Serial.print(" * Clock Source:");
  switch(mpu.getClockSource())
  {
    case MPU6050_CLOCK_KEEP_RESET: Serial.println("Stops the clock and keeps the timing generator in reset"); break;
    case MPU6050_CLOCK_EXTERNAL_19MHZ:Serial.println("PLL with external 19.2MHz reference"); break;
    case MPU6050_CLOCK_EXTERNAL_32KHZ:Serial.println("PLL with external 32.768kHz reference"); break;
    case MPU6050_CLOCK_PLL_ZGYRO:Serial.println("PLL with Z axis gyroscope reference"); break;
    case MPU6050_CLOCK_PLL_YGYRO:Serial.println("PLL with Y axis gyroscope reference"); break;
    case MPU6050_CLOCK_PLL_XGYRO:Serial.println("PLL with X axis gyroscope reference"); break;
    case MPU6050_CLOCK_INTERNAL_8MHZ:Serial.println("Internal 8MHz oscillator"); break;
  }

  Serial.print(" * Gyroscope: ");
  switch(mpu.getScale())
  {
    case MPU6050_SCALE_2000DPS:Serial.println("2000 dps"); break;
    case MPU6050_SCALE_1000DPS:Serial.println("1000 dps"); break;
    case MPU6050_SCALE_500DPS:Serial.println("500 dps"); break;
    case MPU6050_SCALE_250DPS:Serial.println("250 dps"); break;
  }

  Serial.print(" * Gyroscope offsets: ");
  Serial.print(mpu.getGyroOffsetX());
  Serial.print(" / ");
  Serial.print(mpu.getGyroOffsetY());
  Serial.print(" / ");
}

```

```

Serial.println(mpu.getGyroOffsetZ());

Serial.println();
}

void loop()
{
  Vector rawGyro = mpu.readRawGyro();
  Vector normGyro = mpu.readNormalizeGyro();

  Serial.print(" Xraw = ");
  Serial.print(rawGyro.XAxis);
  Serial.print(" Yraw = ");
  Serial.print(rawGyro.YAxis);
  Serial.print(" Zraw = ");
  Serial.println(rawGyro.ZAxis);

  Serial.print(" Xnorm = ");
  Serial.print(normGyro.XAxis);
  Serial.print(" Ynorm = ");
  Serial.print(normGyro.YAxis);
  Serial.print(" Znorm = ");
  Serial.println(normGyro.ZAxis);
  delay(10);
  suhu();
}

void suhu(){
  Serial.print("C = ");
  Serial.println(thermocouple.readCelsius());
  delay(500);
}

```

Tabel 3. 2 List Program Pembacaan Sensor Gyroscope Arduino

Pada program Python terdapat berbagai macam *library* yang dapat dijalankan untuk mempermudah dalam melakukan pembacaan data yang diinginkan. Pada penelitian kali ini menggunakan salah satu *library* yang ada yaitu *numpy array*. Fungsi *library* tersebut ialah guna memudahkan operasi komputasi tipe data numerik. Berikut merupakan bentuk program Python yang digunakan untuk menghasilkan data grafik getaran dari *domain* waktu ke *domain* frekuensi.

```

import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from scipy.fft import fft, fftfreq

df = pd.read_csv("~/Desktop/1juli05.csv")

Yraw = pd.to_numeric(df.Yraw, errors='coerce')

dt = Yraw.values
t = np.arange(len(dt))

plt.figure()
plt.plot(t, dt)
plt.ylabel("Amplitudo (m/s^2)")
plt.xlabel("Time (s)")
plt.xlim(t[0], t[-1])
plt.show()

freqs = np.fft.fftfreq(len(t))
mask = freqs > 0
fft_vals = fft(dt)
fft_theo = np.abs(fft_vals/len(t))

plt.figure()
plt.plot(freqs[mask], fft_theo[mask])
plt.ylabel("Amplitudo (m/s^2)")
plt.xlabel("Frekuensi (Hz)")
plt.show()

```

Tabel 3. 3 List Program Pembacaan Phyton menggunakan basis FFT

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Alat Pengujian

Dalam suatu alat pengujian dibutuhkan berbagai komponen-komponen yang tersusun secara terstruktur untuk dapat menghasilkan data yang diinginkan. Adapun komponen-komponen penting agar mendapatkan hasil data sinyal getaran yang dicapai, diantaranya:

a. Sensor GY-521 MPU-6050

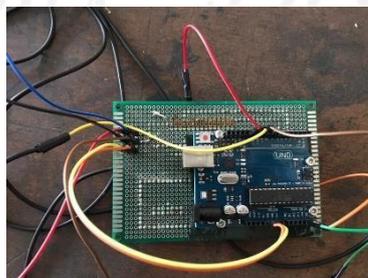
Pada sensor ini digunakan untuk pembacaan data ketika menjalankan alat uji yang kemudian data terbaca pada *software* Arduino serta setelah terbaca nantinya data tersebut disimpan dalam *notepad*. Dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.**



Gambar 4. 1 Sensor MPU-6050

b. Arduino Uno

Mikrokontroler yang berfungsi untuk menerima sinyal dari sensor. Dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.**



Gambar 4. 2 Arduino UNO

d. Kopling penyambung poros motor dan poros *bearing*

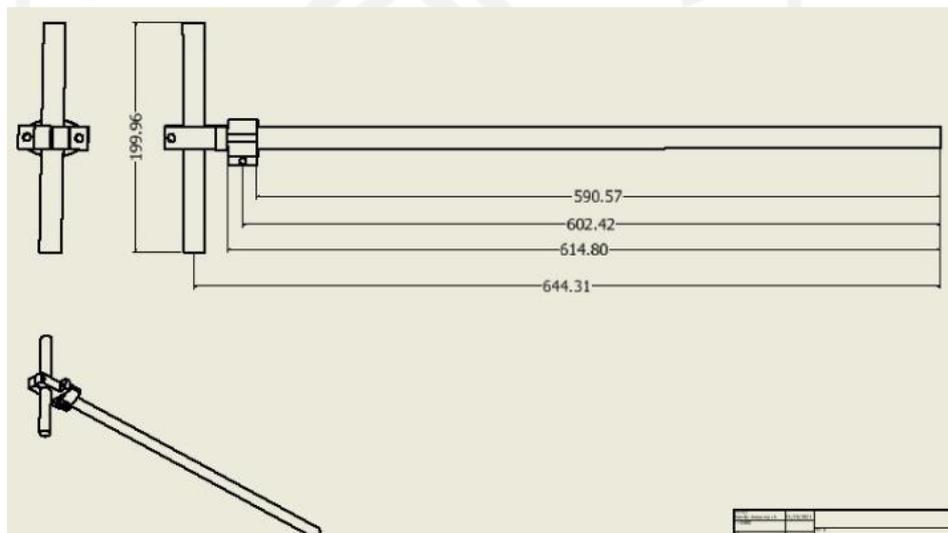
Dalam pengujian ini penyambung poros pada mesin dan poros pada penghubung *bearing* menggunakan kopling berdiameter dalam 19mm dan diameter luar 65mm sebagai daun penghubungnya. Dapat dilihat pada gambar 4-3.



Gambar 4. 3 Kopling penyambung poros motor dan poros *bearing*

e. Poros pejal 19mm serta pengunci

Dua komponen yang saling berkaitan ini digunakan untuk menunjang posisi beban poros agar dapat menyatu dengan poros utama. Poros ini akan di tambahkan dengan sebuah pengunci yang dapat dilihat di gambar 4.7 dan gambar 4.8 dengan berat total sekitar 9kg beban menggantung. Jarak total dari beban pengunci ke poros mesin adalah 660mm. Dapat dilihat pada gambar 4-4 untuk assembly poros serta pengunci beban.

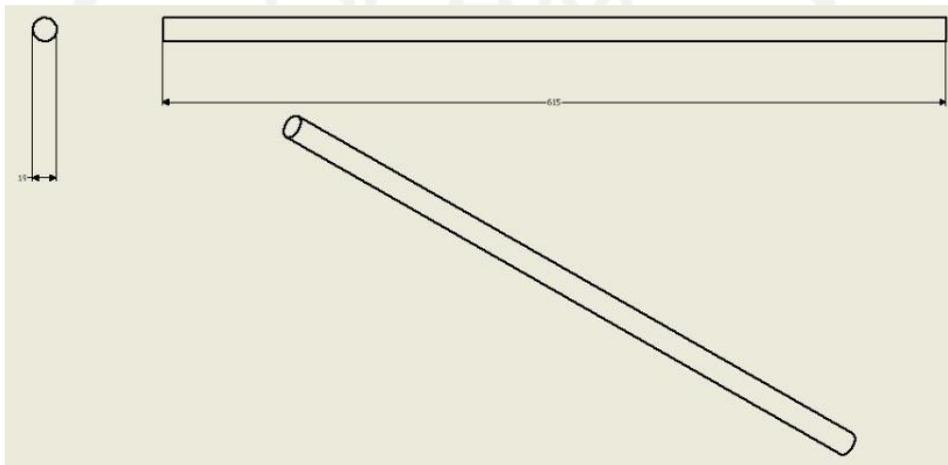


Gambar 4. 4 Gambaran total panjang dari coupling dan pengunci beban



Gambar 4. 5 Poros pejal serta pengunci beban

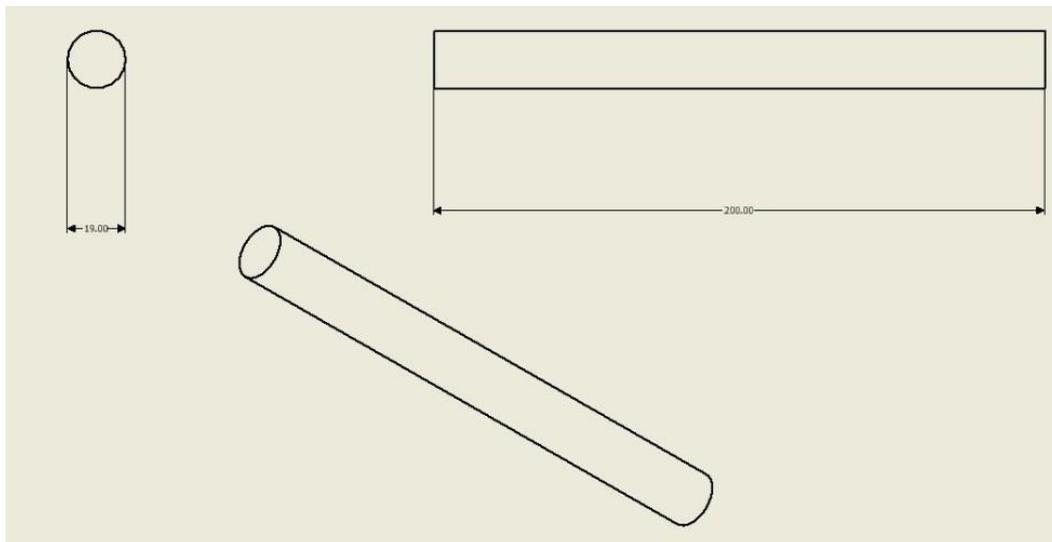
f. Poros pejal



Gambar 4. 6 Drawing Poros pejal

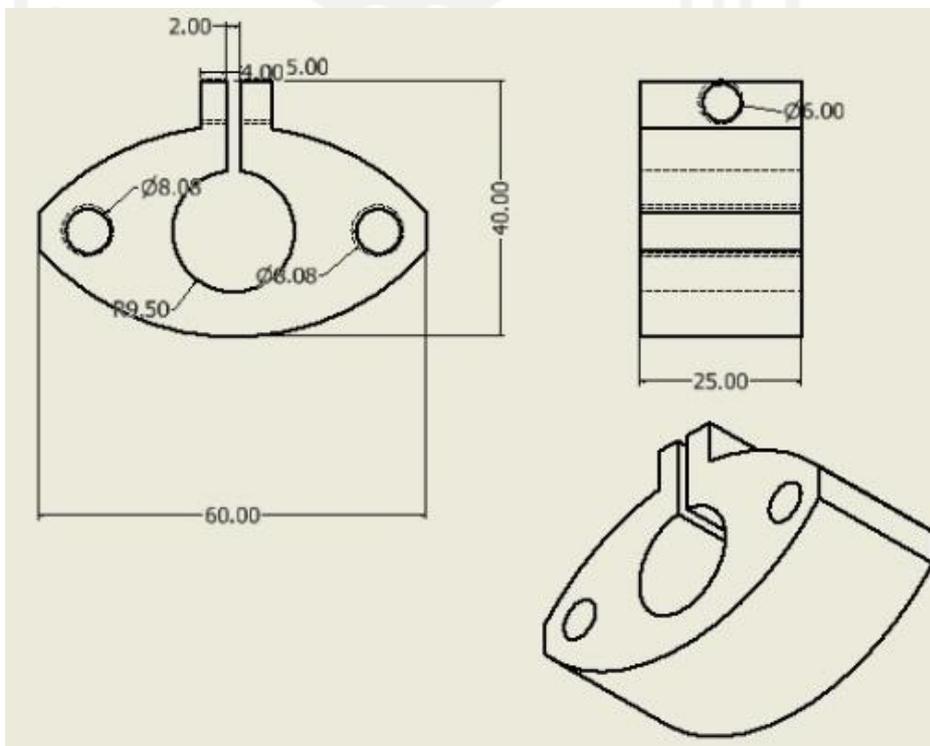
Poros pejal ini memiliki panjang 605mm dan diameter 19mm yang akan tersambung dengan coupling motor dan pengunci beban

g. Beban menggunakan poros pejal

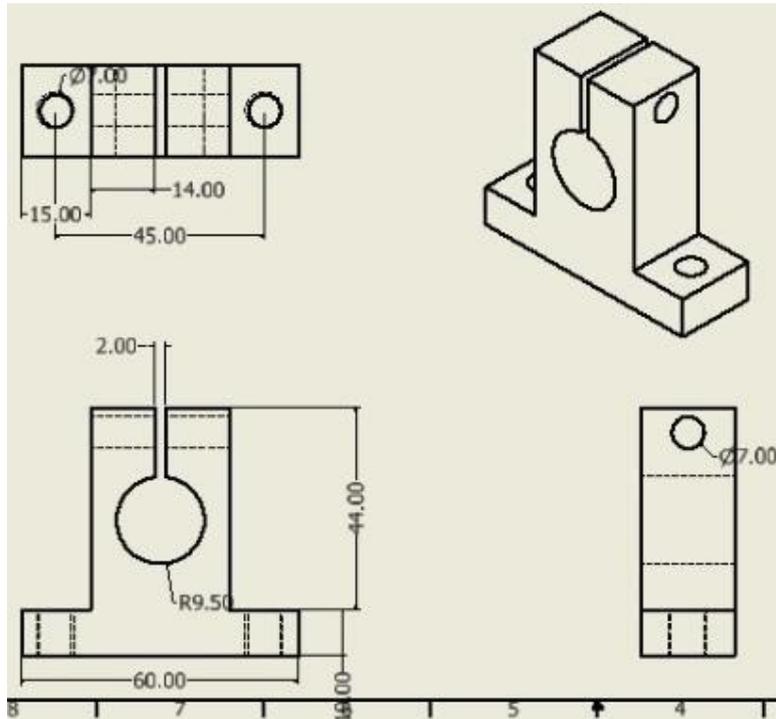


Gambar 4. 7 Drawing Poros pejal untuk pembebanan

Dengan panjang poros 200mm dan diameter 19mm yang akan digunakan sebagai beban putar.



Gambar 4. 8 Drawing pengunci beban 1



Gambar 4. 9 Drawing pengunci beban 2

Dari sekian komponen-komponen tersebut dirangkai menjadi sebuah alat pengujian pada penelitian ini. Dapat dilihat pada **Error! Reference source not found.10.**



Gambar 4. 10 Alat pengujian

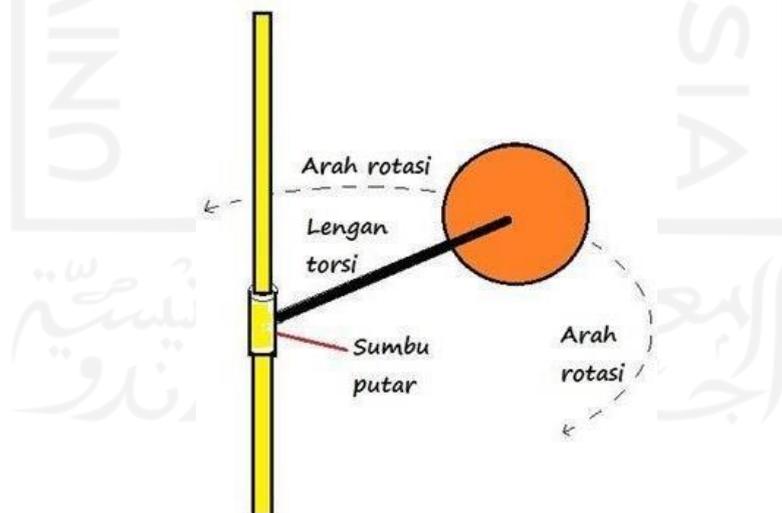
Bentuk mekanisme singkat dari alat pengujian ini yaitu motor penggerak yang telah terpasang pada frame dan telah dialiri listrik guna menghidupkan mesin. Kemudian kopling yang terpasang pada ujung motor penggerak dan juga tersambung pada poros utama. Pada sisi tengah poros utama terdapat *bearing* dan

pada sisi ujung yang lain terdapat poros pejal beserta pengunci. Ketika mesin menyala, sensor yang terletak pada *bearing* dengan otomatis akan membacakan sinyal getaran yang kemudian sinyal tersebut masuk kedalam *software* Arduino pada komputer. Dalam hal ini sinyal getaran bisa disebut dengan data getaran. Setelah mendapatkan hasil data getaran yang telah disimpan pada *notepad*, kemudian data tersebut ditransformasikan kedalam format *excel* untuk dapat diolah di program python menggunakan *file .csv*. Dari hasil tersebut didapatkan hasil data getaran dengan grafik amplitudo terhadap frekuensi.

h. Momen Gaya atau Torsi

Momen gaya atau torsi dapat didefinisikan dengan beberapa pengertian:

Torsi adalah gaya pada sumbu putar yang dapat menyebabkan benda bergerak melingkar atau berputar. Torsi disebut juga momen gaya. Momen gaya atau torsi bernilai positif untuk gaya yang menyebabkan benda bergerak melingkar atau berputar searah dengan putaran jam (*clockwise*), dan jika benda berotasi dengan arah berlawanan putaran jam (*counterclockwise*), maka torsi penyebabnya bernilai negatif. Setiap gaya yang arahnya tidak berpusat pada sumbu putar benda atau titik massa benda dapat dikatakan memberikan Torsi pada benda tersebut.



Gambar 4. 11 Ilustrasi Momen Gaya

Torsi atau momen gaya dirumuskan dengan:

$$\tau = r \times F$$

dimana:

τ adalah torsi atau momen gaya (Nm)

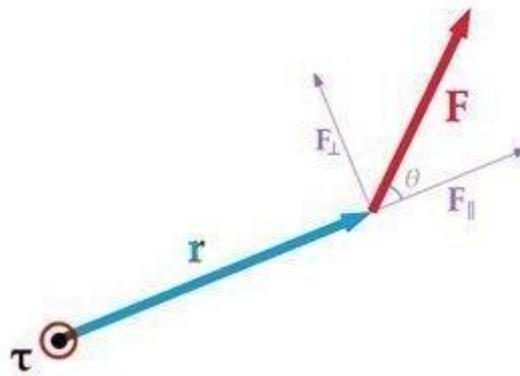
r adalah lengan gaya (m)

F adalah gaya yang diberikan tegak lurus dengan lengan gaya (N)

Jika gaya yang bekerja pada lengan gaya tidak tegak lurus, maka besar torsinya adalah:

$$\tau = r \times F \times \sin \theta$$

dimana θ adalah sudut antara gaya dengan lengan gaya.



Gambar 4. 12 Ilustrasi Momen Gaya dengan sudut

dengan ini pengujian mendapatkan momen gaya dengan hitungan sudut yaitu :

$$\tau = r \times F \times \sin \theta$$

$$\tau = 0.0066 \text{ m} \times 90 \text{ N} \times \sin 90$$

$$\tau = 5.94 \text{ Nm}$$

Jadi, momen gaya atau torsi yang didapatkan dalam pengujian ini sebesar 5.94 Nm dengan gaya arah rotasi positif karena berputar searah dengan arah jarum jam.

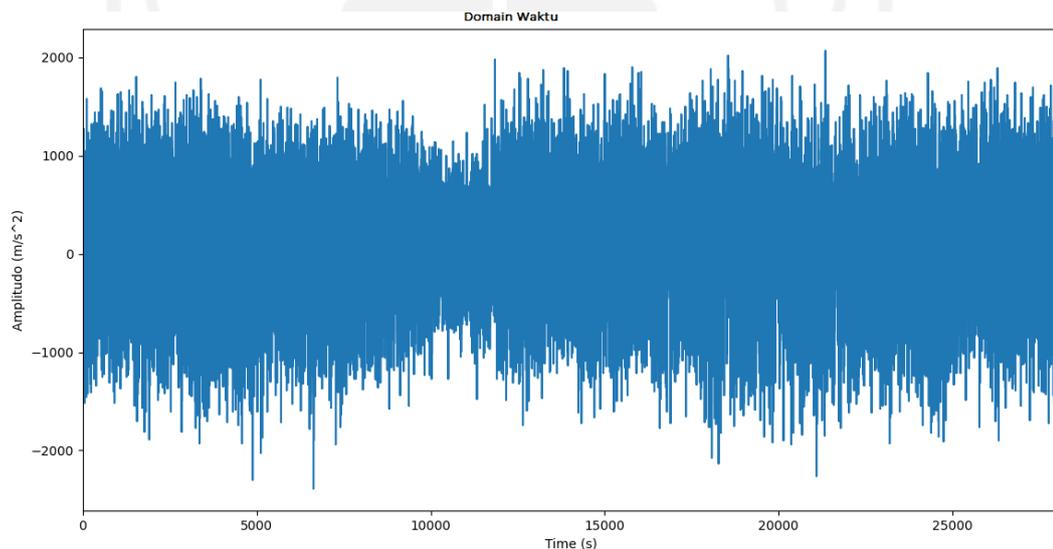
4.2 Hasil Data Pengujian

Pada hasil pengujian sinyal getaran yang telah didapatkan, terbagi menjadi 3 bagian yaitu pada data awal, data tengah, dan data akhir. Dengan data data yang sudah di ambil beberapa mengalami *maintenance* dikarenakan kerusakan yang di sebabkan oleh putaran motor yang kencang menyebabkan kerusakan yang tidak diinginkan seperti penyangga patah, sensor tidak dapat meneruskan pembacaan

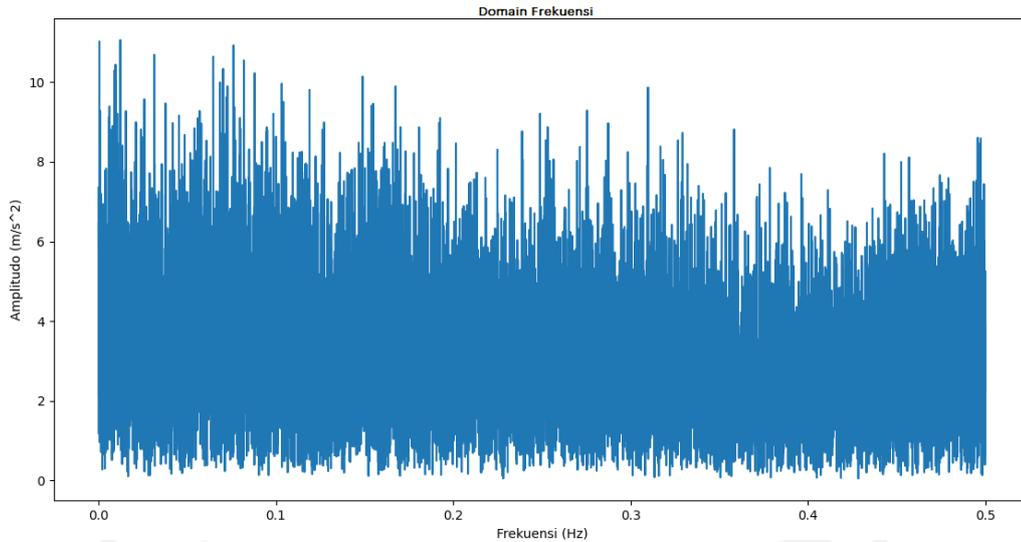
sehingga didapatkan data *delay* beberapa kali pada saat pengujian dan *noise* terhadap lingkungan sangat berpengaruh pada sensor yang saya pakai. Berikut adalah penjelasan data yang saya sudah dapatkan dari pengujian yang sudah saya lakukan.

4.2.1 Data awal

Pada data awal terjadi saat *bearing* dalam normal dengan mengalami sedikit membaca *noise* dari lingkungan sekitar yang sangat berpengaruh pada getaran dilantai *frame* diawal pengujian dan didapatkan data grafik yang telah diolah menggunakan program Python. Dari data ini menunjukkan data waktu terhadap *Amplitudo* tertinggi adalah 2290.75 m/s^2 dan pada titik terendah sebesar -2614.14 m/s^2 . Dapat dilihat pada gambar 4.13.



Gambar 4. 13 Grafik data awal terhadap waktu



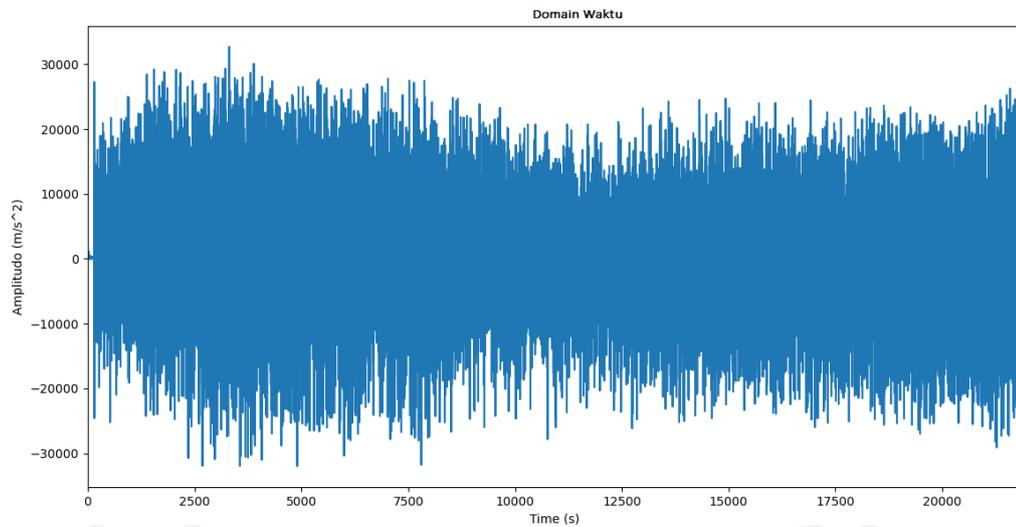
Gambar 4. 14 Grafik FFT data awal

Data diambil pada waktu 10:24:07.656 sampai dengan 16:37:12.585 sebanyak 28069 data yang diambil setiap 0,5 detik, artinya terdapat 2 data setiap detiknya yang dilakukan dalam waktu 6 jam 13 menit 5 detik. Terlihat pada gambar 4-14 grafik FFT data awal didapatkan titik tertinggi pada frekuensi 0,01239 Hz dengan nilai amplitudo sebesar $11,055 m/s^2$.

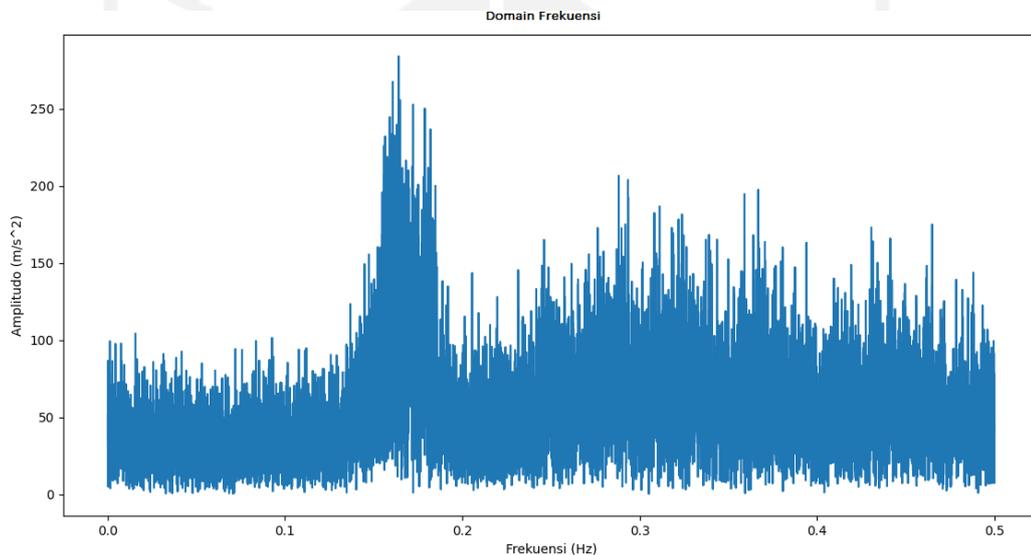
Dalam data ini belum menunjukkan data yang signifikan untuk perubahan amplitudo dan frekuensi pada grafik FFT seperti gambar 4.7 yang di mana mesin masih bergerak secara konstan dan stabil.

4.2.2 Data Tengah

Pada data tengah mulai memiliki tanda tanda kerusakan pada *bearing* yang mempengaruhi gerak dan getarnya *bearing* saat berjalan ditunjukkan pada data grafik yang telah diolah menggunakan program Python. Dari data ini menunjukkan data waktu terhadap *Amplitudo* tertinggi adalah $35927.29 m/s^2$ dan pada titik terendah sebesar $-35231.49 m/s^2$. Dapat dilihat pada gambar 4.15



Gambar 4. 15 Grafik data tengah terhadap waktu



Gambar 4. 16 Grafik FFT data tengah

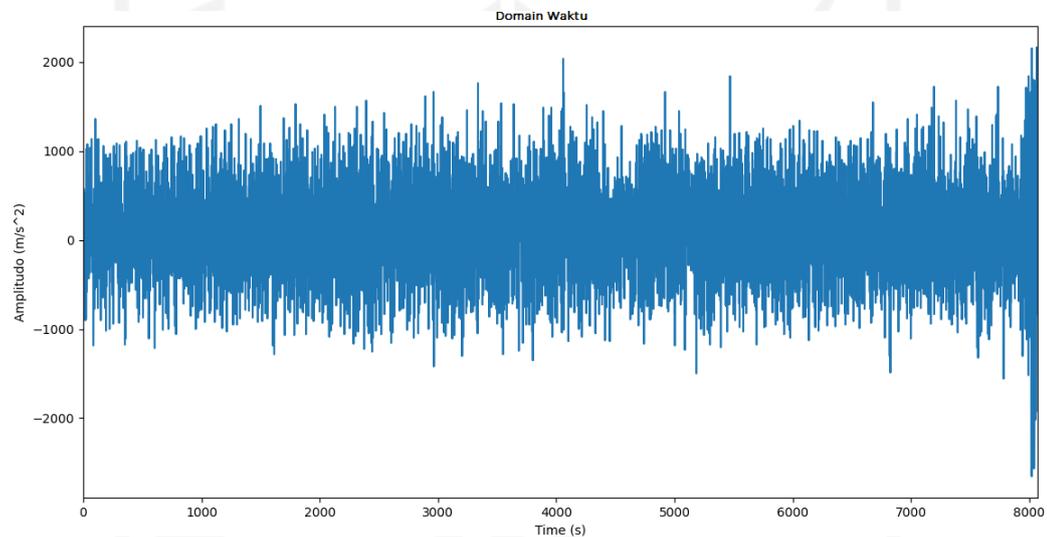
Data diambil pada waktu 10:21:43:631 sampai dengan 13:29:37.783 sebanyak 21884 data yang diambil setiap 0,5 detik, artinya terdapat 2 data setiap detiknya dalam kurun waktu 3 jam 7 menit 50 detik. Terlihat pada gambar 4.16 perubahan sinyal getaran pada grafik FFT mengalami tanda-tanda terjadinya kerusakan dan menunjukkan data perubahan yang signifikan yaitu pada titik tertinggi pada frekuensi 0.1641 Hz dengan nilai amplitudo sebesar $248.1 / s^2$.

Kerusakan ini menimbulkan benturan, sehingga menunjukkan getaran yang signifikan dari data awal. Dari domain waktu, hanya amplitudo mengalami osilasi yang lebih besar. Variasi amplitudo dan frekuensi getaran akibat putusnya

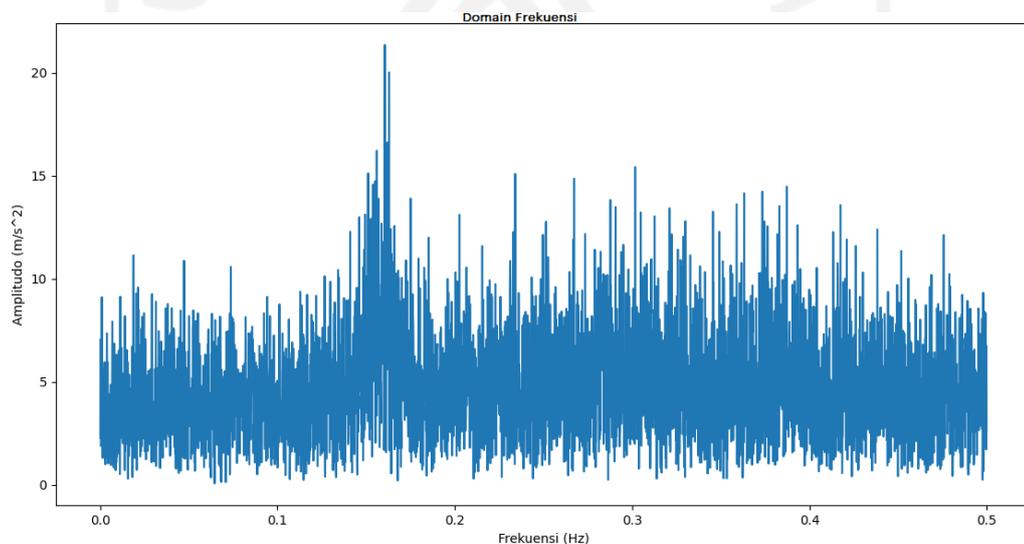
lapisan antara separator dan dua separator yang rusak diabaikan. Mengakibatkan adanya kerusakan yang terjadi pada lingkaran penyambung (*cage*) *ball bearing*.

4.2.3 Data Akhir

Pada data akhir terjadi saat *bearing* dengan mengalami tanda-tanda kerusakan pada pengujian dan didapatkan data grafik yang telah diolah menggunakan program Python. Dari data ini menunjukkan data waktu terhadap *Amplitudo* tertinggi adalah 2406.88 m/s^2 dan pada titik terendah sebesar -2896.88 m/s^2 . Dapat dilihat pada gambar 4.17 .



Gambar 4. 17 Grafik data akhir



Gambar 4. 18 Grafik FFT data akhir

Data diambil pada waktu 13:05:45.570 sampai dengan 14:12:14:43 sebanyak 8027 data. Data diambil setiap 0,5 detik, artinya terdapat 2 data setiap detiknya dalam kurun waktu 1 jam 6 menit 29 detik. Terlihat pada gambar 4.18 perubahan sinyal getaran pada grafik FFT mengalami kondisi perubahan data yang tidak beraturan dimana titik tertinggi pada frekuensi 0.1602 Hz dengan nilai amplitudo sebesar 21.356 m/s^2 .

Dari data terakhir di atas menunjukkan bahwa data mulai menunjukkan bahwa kegagalan perpindahan tidak selalu stabil seperti data awal, berakhir dengan sensor tidak dapat membaca getaran yang disebabkan oleh bantalan. sehingga dapat disimpulkan bahwa getaran menjadi semakin tidak teratur dan peneliti telah menyimpulkan penelitian.

4.3 Analisis

Dari hasil pengujian secara keseluruhan didapatkan analisis sebagai berikut:

Dalam grafik domain waktu, pada data awal penelitian didapatkan kesimpulan hasil nilai seperti pada tabel 4.1.

| Data | Amplitudo (m/s^2) | |
|--------|-----------------------|-----------|
| | Maks | Min |
| Awal | 2290.75 | -2614.14 |
| Tengah | 35927.29 | -35231.49 |
| Akhir | 2406.88 | -2896.88 |

Tabel 4. 1 Data domain waktu

Dapat disimpulkan bahwa karakteristik sinyal getaran pada *bearing* kondisi normal hingga *bearing* mengalami tanda-tanda kerusakan seperti halnya terdapat suara gemuruh yang ada pada saat *bearing* tersebut diputar. Selain itu getaran juga mengalami peningkatan yang dapat dilihat pada tabel 4.2 bahwa amplitudo maksimal dan minimal yang kian meningkat.

| Data | Amplitudo (m/s^2) |
|------|-----------------------|
| Awal | 11.055 |

| | |
|--------|--------|
| Tengah | 248.1 |
| Akhir | 21.356 |

Tabel 4. 2 Data domain frekuensi

Dengan data yang sudah didapatkan dapat dianalisa titik leleh pada *bearing* UCP ASB 204-12 sudah mencapai titik dimana *bearing* sudah tidak mampu berputar secara stabil dalam waktu 14 dengan pembebanan menggantung sebesar 8kg.



BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan kesimpulan ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. *Bearing* berjalan terus menerus tanpa henti tanpa kerusakan diluar maka semakin terlihat jelas amplitudo mengalami kenaikan dengan meningkatnya kerusakan pada *bearing* . Dengan ini menjelaskan semakin lama *bearing* berjalan semakin berkurang umur bantalan maupun umur *bearing*, maka getaran yang terjadi akan semakin tinggi pula sehingga menyebabkan *bearing* menjadi cepat rusak termasuk bantalan *housing bearing* dan partikel lain didalamnya. Artinya semakin tinggi beban, maka getaran yang dihasilkan akan semakin tinggi juga. Hal ini membuat *bearing* juga akan semakin rusak.
2. Pada kondisi normal, grafik cenderung stabil. Nilai amplitudo dan frekuensi dominannya relatif lebih rendah bila dibandingkan dengan kondisi saat *bearing* rusak, nilainya fluktuatif dari adalah 2290.75 m/s^2 sebagai data tertinggi dan pada titik terendah sebesar -2614.14 m/s^2 dan frekuensi menunjukkan angka $0,01239 \text{ Hz}$
3. Pada kondisi *bearing* rusak, nilai amplitudo dominan yang tergambar dalam grafik cenderung menurun (bertingkat), hal tersebut menandakan bahwa ada cacat/kerusakan pada *bearing* dan nilai amplitudo dominannya lebih tinggi bila dibandingkan dengan kondisi normal. Nilai amplitudo yang didapatkan adalah 35927.29 m/s^2 pada data tertinggi dan pada titik terendah sebesar -35231.49 m/s^2 dan frekuensi menunjukkan angka frekuensi 0.1641 Hz

5.2 Saran

Dari penelitian tersebut tentu ada perbaikan yang harus dilakukan guna menunjang penelitian tersebut menjadi lebih baik. Adapaun saran untuk penelitian selanjutnya yaitu:

- Diharapkan melakukan pengujian di ruangan kedap suara, sehingga suara yang menimbulkan getaran dari luar tidak mempengaruhi hasil proses pengujian.
- Untuk penelitian selanjutnya lebih memperhatikan nilai-nilai ukuran dan perhitungan pada alat pengujian untuk meminimalisir adanya kerusakan atau patahan pada *frame* maupun baut.



DAFTAR PUSTAKA

Crowford ,Arthur R., Crowford S, 1992, The Simplified Handbook of Vibration Analysis, Volume 1, Knoxville, SCI.

Mitchell, TM. 1997. Machine Learning. USA. McGraw-Hill Education

Perkovic, Ljubomir (2012). Introduction to Computing Using Python: An Application Development Focus.

Prasetyo, E. 2012. Data Mining – Konsep dan Aplikasi Menggunakan MATLAB. Yogyakarta : Andi.

Pustejovsky, J. 2012. Natural Language Annotation for Machine Learning. California, USA.O'Reilly Media.

Rifqi, Maharani., Shaufiah. 2011. Analisis dan Implementasi Klasifikasi Data Mining Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan dan Evolution Strategis. Institut Teknologi Telkom Bandung.

Syaiffudin, Arif. 2014. *Fast Fourier Transform* (FFT) Untuk Analisis Sinyal Suara Doppler Ultrasonik. Semarang. Universitas Diponegoro.

Zhou, Shaohua Kevin, Rama Chellappa, and Wenyi Zhao (2006). “*Unconstrained face recognition in Machine Learning*”. Vol. 5. Springer Science & Business Media.