

**PENGARUH PEMBEBANAN TIDAK SEIMBANG DAN
KERUSAKAN *BEARING* PADA GETARAN *BEARING*
BERBASIS *FOURIER TRANSFORM***

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin**



Disusun Oleh :

Nama : Emeraldo Ilham Pamungkas

No. Mahasiswa : 14525042

NIRM : 2014010725

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

2021

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH PEMBEBANAN TIDAK SEIMBANG DAN
KERUSAKAN *BEARING* PADA GETARAN *BEARING*
BERBASIS *FOURIER TRANSFORM***

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Emeraldo Ilham Pamungkas
No. Mahasiswa : 14525042
NIRM : 2014010725

Yogyakarta, 19 September 2021

Dosen Pembimbing



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

NIP. 115250101

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Emeraldo Ilham Pamungkas

NIM : 14525042

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknologi Industri

Judul Skripsi : Pengaruh Pembebanan Tidak Seimbang dan Kerusakan
Bearing pada Getaran *Bearing* Berbasis *Fourier Transform*

Dengan ini saya menyatakan bahwa hasil penulisan skripsi ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari ditemukan bahwa penulisan skripsi ini merupakan hasil plagiasi atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggung jawabkan dan bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan yang berlaku di Universitas Islam Indonesia.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya dan tidak dipaksakan.

Yogyakarta, 19 September 2021




Emeraldo Ilham Pamungkas

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

PENGARUH PEMBEBANAN TIDAK SEIMBANG DAN KERUSAKAN *BEARING* PADA GETARAN *BEARING* BERBASIS *FOURIER TRANSFORM*

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Emeraldo Ilham Pamungkas

No. Mahasiswa : 14525042

NIRM : 2014010725

Tim Penguji

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

Ketua



Tanggal : 5-10-2021

Agung Nugroho Adi, S.T., M.T.

Anggota I



Tanggal : 4 Oktober 2021

Purtojo, S.T., M.Sc.

Anggota II



Tanggal : 05-10-2021

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Eng. Risdiono, S.T., M.Eng.

HALAMAN PERSEMBAHAN



untuk Papi dan Mami

HALAMAN MOTTO

“Berakit-rakit ke hulu, berenang-renang ke tepian”



KATA PENGANTAR

Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh

Alhamdulillah rabbilalamin, segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Laporan Tugas Akhir ini. Tak lupa juga penulis panjatkan *shalawat* dan salam pada junjungan kita Nabi Muhammad SAW yang telah memberi kita petunjuk dan ajaran yang benar di sisi Allah SWT.

Laporan ini disusun dari data-data faktual yang dikumpulkan dari eksperimen di lapangan dengan tujuan untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.

Selanjutnya, selama penulisan laporan ini banyak pihak yang sudah membantu penulis dalam melalui prosesnya. Maka izinkan penulis untuk mengucapkan terimakasih kepada:

1. Papi dan Mami yang sudah sabar, percaya, dan selalu mendukung apapun yang terjadi.
2. Ellen dan Mbak Iya yang sudah memberikan dukungan dan do'anya.
3. Ein yang sudah menemani, mendukung, dan membantu selama proses penulisan laporan ini.
4. Bapak Dr. Eng. Risdiyono, S.T., M.Eng., selaku Kaprodi Jurusan Teknik Mesin.
5. Bapak Mohammad Faizun, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku dosen pembimbing yang sudah sangat sabar dan suportif dalam membimbing penulis menyelesaikan laporan ini.
6. Sdr. Muchamad Zakky Hilmawan dan sdr. Ozzie Gian Ega Azhar sebagai *partner* penelitian yang tanpa mereka penulis akan sangat kesulitan.
7. Teman-teman Jurusan Teknik Mesin angkatan 2014 yang telah mendukung dan membantu.
8. Dan pihak-pihak lain yang telah turut membantu yang penulis tidak dapat sebutkan satu persatu.

Penulis berharap laporan ini dapat membantu pihak-pihak yang sekiranya membutuhkan. Penulis juga menyadari bahwa laporan ini masih sangat jauh dari kata sempurna sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran yang sifatnya membangun dan dapat disampaikan melalui e-mail emeraldoilham@gmail.com.
Akhir kata saya ucapkan *wabillahi taufiq wal hidayah*,
Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Yogyakarta, 19 September 2021



Emeraldo Ilham Pamungkas



ABSTRAK

Bearing adalah komponen yang berfungsi untuk meminimalisir friksi. *Bearing* bekerja dengan cara menjadi penyambung antar poros yang berputar dengan benda statis sehingga poros dapat berputar dengan lancar dan tanpa hambatan. Getaran berlebih dapat terjadi jika *bearing* mengalami kerusakan. Getaran berlebih juga dapat terjadi jika di ujung poros yang berputar tersebut diberi beban yang tidak seimbang. Tidak seimbang artinya beban tersebut memiliki *center of mass* yang tidak berada tepat pada sumbu putar poros. Data getaran diambil dari *bearing* menggunakan sensor getaran GY-521 MPU 6050. Data yang didapatkan adalah getaran dengan satuan G yang lalu dirubah menjadi amplitudo dengan satuan m/s^2 . Grafik yang didapatkan dari hasil pengolahan data sensor menggunakan Python adalah amplitudo terhadap waktu. Untuk mendapatkan gambaran yang jelas, maka sumbu waktu harus dirubah menjadi frekuensi menggunakan *Fourier Transform* (FT) yang lalu diberikan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT). Hasil yang didapatkan adalah perbandingan getaran kondisi normal dengan getaran pada kondisi *bearing* memiliki kerusakan dan perbandingan getaran antara kondisi normal dan kondisi pembebanan yang memiliki penyebaran massa tidak seimbang. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa jika *bearing* memiliki kerusakan, maka getaran yang ditimbulkan juga semakin besar. Penyebaran massa tidak seimbang juga menyebabkan hal serupa.

Kata kunci: *bearing*, getaran, *Fast Fourier Transform*, kerusakan, pembebanan

ABSTRACT

Bearing is a component used to minimalized friction. Bearing works by connecting a rotating shaft with a static surface so the shaft can rotate smoothly. Excessive vibration can occurs if the bearing has been damaged. It can also occurs when there's an unbalanced weight on the end of a shaft. Unbalanced means that weight's center of mass is not located at the center of the shaft's rotary axis. Vibration data is taken from the bearing using vibration sensor GY-521 MPU 6050. The data acquired is acceleration with G as a unit which the converted to amplitude with unit of m/s^2 . The graph obtained from processing the acceleration data using Python is amplitude-time. To get a clearer picture of the vibrations, the time domain has to be converted to frequency domain using Fourier Transform (FT) which then given Fast Fourier Transform (FFT) algorithm. The result is a comparison between vibration that occurs with normal condition and vibration that occurs when the bearing has been damaged and comparison between vibration that occurs with normal condition and vibration that occurs when the weight has an unbalanced distribution of mass. From this result we can conclude that if the bearing has damages, the vibration is greater. The vibration will also be greater if the mass distribution is not balanced.

Key words: bearing, vibration, Fast Fourier Transform, damage, unbalanced weight

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	ii
Lembar Pengesahan Dosen Penguji	iii
Halaman Persembahan	iv
Halaman Motto	v
Kata Pengantar	vi
Abstrak	viii
Abstract	ix
Daftar Isi	x
Daftar Tabel	xii
Daftar Gambar	xiii
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
Bab 2 Tinjauan Pustaka	4
2.1 Kajian Pustaka	4
2.2 Dasar Teori	5
2.2.1 Python	5
2.2.2 Fast Fourier Transform (FFT)	6
2.2.3 Bearing	7
2.2.4 Motor Listrik YC8024	8
2.2.5 Sensor GY-521 MPU6050	9
Bab 3 Metode Penelitian	10
3.1 Alur Penelitian	10
3.2 Peralatan dan Bahan	11
3.2.1 Peralatan	11

3.2.2	Bahan	11
3.3	Perancangan	12
3.3.1	Perancangan Perangkat Keras	12
3.3.1.1	Model Frame	12
3.3.1.2	Model Kopling	14
3.3.1.3	Sensor MPU6050	14
3.3.2	Perancangan Perangkat Lunak	16
3.3.2.1	Arduino	16
3.3.2.2	Microsoft Excel	18
3.3.2.3	Python	19
Bab 4	Hasil dan Pembahasan	21
4.1	Hasil Alat Pengujian	21
4.2	Hasil Pengujian	24
4.2.1	Kondisi pembacaan beban seimbang dan <i>bearing</i> normal	24
4.2.2	Kondisi pembacaan beban seimbang dan <i>bearing</i> rusak	26
4.2.3	Kondisi pembacaan beban tidak seimbang (bergeser 10 mm)	27
4.2.4	Kondisi pembacaan beban tidak seimbang (bergeser 20 mm)	29
4.3	Analisis	30
4.4	Pembahasan	32
Bab 5	Penutup	34
5.1	Kesimpulan	34
5.2	Saran atau Penelitian Selanjutnya	34
	Daftar Pustaka	35

DAFTAR TABEL

Tabel 4-1: Data perbandingan amplitudo kondisi <i>bearing</i> dalam domain waktu	30
Tabel 4-2: Data hasil FFT perbandingan kondisi <i>bearing</i>	31
Tabel 4-3: Data perbandingan amplitudo kondisi variasi pembebanan dalam domain waktu	31
Tabel 4-4: Data hasil FFT perbandingan kondisi variasi pembebanan	32



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1: Python	6
Gambar 2-2: Kerusakan pada <i>bearing</i>	8
Gambar 2-3: Arah sumbu MPU6050	9
Gambar 3-1: <i>Drawing frame</i> besi (a), tampak atas (b), tampak depan (c).....	13
Gambar 3-2: <i>Drawing</i> kopling normal	14
Gambar 3-3: Sensor yang terpasang pada <i>bracket</i>	16
Gambar 3-4: Skematik sambungan MPU6050 dan Arduino Uno.....	16
Gambar 4-1: Sensor MPU-6050	21
Gambar 4-2: Arduino Uno.....	22
Gambar 4-3: Beban kubus	22
Gambar 4-4: Kopling.....	22
Gambar 4-5: Poros pejal dan pengunci.....	23
Gambar 4-6: Rangkaian alat uji.....	23
Gambar 4-7: Grafik amplitudo-waktu kondisi normal	25
Gambar 4-8: Grafik FFT kondisi normal	25
Gambar 4-9: Grafik amplitudo-waktu kondisi <i>bearing</i> rusak	26
Gambar 4-10: Grafik FFT kondisi <i>bearing</i> rusak.....	27
Gambar 4-11: Grafik amplitudo-waktu kondisi beban bergeser 10 mm.....	28
Gambar 4-12: Grafik FFT kondisi beban bergeser 10 mm	28
Gambar 4-13: Grafik amplitudo-waktu kondisi beban bergeser 20 mm.....	29
Gambar 4-14: Grafik FFT kondisi beban bergeser 20 mm	30

DAFTAR NOTASI



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bearing atau disebut juga *rolling-element bearing* banyak digunakan oleh alat yang memiliki gerak rotasi dari alat kecil sampai mesin industri berukuran besar. *Rolling-element bearing* memiliki peran penting, yaitu meminimalisir friksi. Jika terjadi kerusakan pada suatu *bearing* maka hal tersebut dapat menghambat kinerja suatu alat bahkan membuatnya tidak dapat berfungsi.

Banyak macam kerusakan yang dapat terjadi pada sebuah *bearing*. Kerusakan dapat terjadi berdasarkan lokasi kerusakan. Kerusakan dapat terjadi pada satu komponen pada *bearing* atau beberapa komponen. Selain lokasi, kerusakan juga dapat dibedakan oleh jenis kerusakan contohnya seperti lubang, retakan, atau pecahan material.

Deteksi kerusakan dini pada *bearing* dapat dilakukan menggunakan 2 cara pengukuran yaitu emisi akustik dan sinyal getaran. Analisis kerusakan dapat dilakukan dalam 2 tahap, pertama adalah ekstraksi fitur dari sinyal mentah hasil pengukuran untuk mendapatkan sinyal yang diperlukan. Kedua, adalah mengolah fitur tersebut menggunakan teknik-teknik yang ada untuk mendiagnosis kerusakan yang akan terjadi (Kankar, Sharma, & Harsha, 2011b).

Bearing yang telah mengalami kerusakan baik itu karena cacat saat proses produksi, kesalahan penggunaan, ataupun umur, akan menimbulkan getaran yang berlebihan. Hal ini dikarenakan komponen-komponen dalam *bearing* sudah tidak dapat menjalankan tugasnya yaitu meminimalisir friksi secara maksimal. Getaran yang berlebihan ini jika terus berlanjut dapat mempengaruhi komponen-komponen dalam mesin yang dapat menurunkan efisiensi mesin tersebut atau bahkan membuat mesin berhenti bekerja.

Selain karena *bearing* yang rusak, getaran juga dapat disebabkan oleh beban yang tidak seimbang. Jika sebuah *bearing* digunakan pada sebuah poros yang berputar dan diujung poros tersebut diberikan beban, maka beban yang berputar tersebut harus memiliki beban yang terdistribusi seimbang sehingga

center of mass terletak tepat pada sambungan beban tersebut pada poros. Jika tidak, beban tidak hanya akan berputar pada poros tetapi juga terjadi gerakan mengayun. Gerakan tersebut dapat menimbulkan getaran yang berlebihan. Selain getaran, beban yang tidak terdistribusi secara seimbang juga dapat menambah beban kerja pada *bearing* yang akhirnya dapat memperpendek umur *bearing*.

1.2 Rumusan Masalah

1. Apa saja perubahan yang terjadi karena kerusakan *bearing* dan ketidakseimbangan beban?
2. Bagaimana pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap bantalan *bearing*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah diberikan agar penelitian menjadi lebih fokus dan maksimal. Batasan masalah yang diberikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Software yang digunakan dalam pembacaan data ini adalah Arduino, Microsoft Excel, dan Python 3.9.6, dan Visual Studio Code.
2. Hanya membahas tentang grafik getaran dari pendataan yang telah dibaca oleh sensor MPU-6050 Gyroscope 3 Axis.
3. Tidak membahas tentang analisis *frame*.
4. Hanya membahas perbandingan data yang telah diolah.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui perubahan yang terjadi pada data getaran yang disebabkan oleh kerusakan *bearing* dan ketidakseimbangan beban.
2. Mengetahui pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap bantalan *bearing*.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Dapat menentukan kondisi *bearing* menggunakan data getaran.
2. Dapat menganalisis grafik getaran yang dihasilkan oleh alat uji.
3. Mendapatkan ilmu tentang bagaimana cara mengolah data menggunakan *Fast Fourier Transform*.

1.6 Sistematika Penulisan

Penulisan Tugas Akhir ini dibagi menjadi 5 bagian (bab) yang disusun berurutan untuk mempermudah pembahasan. 5 bagian yaitu adalah:

1. Bab 1: Pendahuluan
Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.
2. Bab 2: Tinjauan Pustaka
Bab ini berisikan tinjauan pustaka dan dasar teori yang digunakan dalam penelitian ini.
3. Bab 3: Metode Penelitian
Bab ini berisi tentang langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian dan metode penelitian yang digunakan.
4. Bab 4: Hasil dan Pembahasan
Bab ini berisi tentang hasil dan pembahasan hasil dari penelitian yang sudah dilakukan.
5. Bab 5: Penutup
Bab ini berisikan kesimpulan dari penelitian yang sudah dilakukan dan saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Pustaka

Penelitian tentang deteksi kerusakan *bearing* telah banyak diteliti oleh peneliti-peneliti terdahulu. Metode yang digunakan untuk mendeteksi kerusakan juga sudah banyak digunakan. Hal ini disebabkan karena *bearing* adalah komponen vital dalam sebuah mesin. Kerusakan yang terjadi pada *bearing* dapat menyebabkan mesin harus berhenti bekerja dan menimbulkan kerugian yang tidak sedikit. Maka dari itu dibutuhkan sistem untuk mendeteksi kerusakan sebelum kerusakan tersebut menyebabkan kerugian.

Sebuah penelitian menggunakan 3 jenis *machine learning* yaitu *support vector machine* (SVM), *artificial neural network* (ANN), dan *self-organizing maps* (SOM) untuk klasifikasi kerusakan. Data getaran yang diambil lalu diseleksi menggunakan 2 kriteria yaitu *Maximum Energy to Shannon Entropy ratio* dan *Maximum Relative Wavelet Energy*. Hasil yang didapatkan adalah seleksi menggunakan *Maximum Energy to Shannon Entropy ratio* adalah pilihan terbaik karena memberikan efisiensi klasifikasi yang lebih baik. *Machine learning* yang terbaik untuk mengklasifikasikan kerusakan adalah SVM dikarenakan kemampuan generalisasinya yang baik (Kankar et al., 2011b).

Penelitian lain mengungkapkan bahwa teknik *machine learning* jenis *support vector machine* (SVM) lebih akurat dalam mengklasifikasikan kerusakan pada *bearing* menggunakan sinyal getaran dibandingkan dengan *artificial neural network* (ANN). Tetapi akurasi dari 2 metode *machine learning* ini berkurang jika kerusakan yang terjadi pada *bearing* terjadi pada lebih dari 1 lokasi, contohnya seperti retakan pada *inner race* dan korosi pada bola *bearing* (Kankar, Sharma, & Harsha, 2011a).

Penelitian menyebutkan *k-nearest neighbour* (KNN) merupakan metode *supervised machine learning* dengan akurasi terbaik untuk mengklasifikasikan kerusakan *bearing* menggunakan data emisi akustik dan *intrinsic mode function*. Akurasi tersebut lalu dapat ditingkatkan lebih lanjut dengan memodifikasi

algoritma KNN menggunakan *asymmetric proximity function* (APP). Hasilnya adalah KNN yang telah dimodifikasi dengan APP mengalahkan KNN tanpa modifikasi dengan keunggulan 96.6667% tanpa mengorbankan waktu klasifikasi dan memori komputasi (Wang, Chen, & Dong, 2014).

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Python

Python adalah bahasa pemrograman yang kuat dan mudah untuk dipelajari. Python memiliki struktur data efisien yang berlevel tinggi dan pendekatan yang sederhana tetapi efektif untuk pemrograman yang berorientasi ke objek. Python adalah bahasa yang ideal untuk *scripting* dan pengembangan aplikasi secara cepat (Rossum & Drake, 2003).

Python adalah program yang bersifat *open-source*. Artinya siapa saja bebas untuk menggunakan dan memodifikasi Python. Python secara otomatis ada pada distribusi Linux, komputer berbasis Macintosh, dan banyak produk lainnya. Karena besarnya jumlah pengguna dan umur Python yang sudah lebih 2 dekade, maka Python dewasa ini sangat stabil dan memiliki komunitas yang sangat aktif. Python juga digunakan oleh perusahaan-perusahaan besar seperti Google, Dropbox, Netflix, bahkan NASA (Lutz, 2013).

Walaupun Python banyak memiliki keunggulan, bukan berarti Python tanpa kekurangan. Salah satu kekurangan Python adalah kecepatan eksekusi program yang relatif lambat dibandingkan bahasa pemrograman lain seperti C dan C++. Hal ini dikarenakan Python berbasis interpreter sedangkan bahasa pemrograman seperti C berbasis *compiler*. Tetapi karena perkembangan Python yang sangat cepat, perbedaan kecepatan ini sudah tidak terlalu dipermasalahakan lagi (Lutz, 2013).



Gambar 2-1: Python

2.2.2 Fast Fourier Transform (FFT)

Sinyal yang berada dalam satuan waktu dapat diubah menjadi satuan frekuensi dengan menggunakan *Fourier Transform* (FT). *Discrete Fourier Transform* (DFT) dapat digunakan untuk mengubah sinyal diskrit (diskrit dalam waktu) menjadi sinyal diskrit frekuensi. Ada beberapa cara untuk menghitung DFT, salah satu cara yang efisien adalah menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) (Hongwei, 2009).

Untuk sinyal waktu diskrit, spektrum frekuensi dapat dihitung dengan persamaan berikut (Al-qadi, Xie, & Elseifi, 2008):

$$x[n] = x(nT_s) \quad (2.2.2.1)$$

$$X(\omega) = \sum_{n=0}^{\infty} x[n] \cdot e^{-j\omega n} \quad (2.2.2.2)$$

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cdot e^{-2\pi n j k / N} = X(\omega) \Big|_{\omega = \frac{2\pi k}{N}} \quad (2.2.2.3)$$

$$\omega = \frac{2\pi f}{f_s} \quad (2.2.2.4)$$

$$X(f) = |X(f)|e^{-j\theta} = FFT(x[n]) \quad (2.2.2.5)$$

Di mana:

x = sinyal waktu diskrit dari *stress pull* vertikal

n, k = integer

T_s = *sampling period*

ω = frekuensi angular normal relatif terhadap *sampling* frekuensi

f = frekuensi (siklus/s)

$X(f)$ = spektrum frekuensi kompleks dari sinyal x

$|X(f)|$ = amplitudo dari spektrum frekuensi

θ = sudut fase

2.2.3 Bearing

Bearing atau lebih tepatnya *rolling-element bearing* adalah sebuah komponen yang digunakan untuk mengurangi friksi yang tercipta khususnya pertemuan antara komponen yang berputar dan kerangkanya. *Rolling-element bearing* memiliki banyak jenis, salah satunya adalah *ball bearing*. Secara umum *ball bearing* terdiri dari 4 komponen: (i) *race* bagian dalam, (ii) *race* bagian luar, (iii) bola, dan (iv) sangkar yang berfungsi untuk memberi jarak antar bola agar tidak bersentuhan (Cerrada et al., 2018).

Pada dasarnya kerusakan pada *bearing* terbagi menjadi 3, (i) kerusakan pada satu titik, (ii) kerusakan pada banyak titik, dan (iii) kerusakan rata. Kerusakan pada satu titik terjadi jika ada kerusakan pada salah satu komponen *bearing*. Jenis kerusakannya dapat berupa retakan, lubang, atau kelebihan material. Jenis kerusakan satu titik akan menimbulkan getaran yang dapat diprediksi dan tergantung dari komponen mana kerusakan itu terjadi (Stack, Habetler, & Harley, 2004). *Bearing* juga dapat memiliki banyak kerusakan satu titik sehingga kerusakan ini disebut juga kerusakan pada banyak titik. Kerusakan jenis ini biasanya akan menimbulkan pola getaran yang berbeda dari jenis kerusakan satu titik. Pola getaran dapat muncul dengan frekuensi yang relatif sama dengan kerusakan satu titik, tetapi amplitudonya dapat berbeda (McFadden & Smith, 1985). Terakhir, kerusakan rata terjadi karena menurunnya kondisi *bearing*. Kondisi ini terjadi pada permukaan *bearing* dengan area yang luas sehingga tidak bisa ditentukan titik kerusakan secara tepat. Contoh dari kerusakan ini adalah kontaminasi, kurangnya pelumas, atau perkembangan dari kerusakan lokal (McFadden & Smith, 1985).



Gambar 2-2: Kerusakan pada *bearing*

2.2.4 Motor Listrik YC8024

Motor listrik berfungsi untuk merubah energi listrik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini akan disalurkan oleh motor dalam bentuk gerak berputar. Motor listrik ini digunakan untuk pekerjaan skala ringan. Motor listrik YC8024 4P memiliki tenaga 0.5 HP, memiliki daya listrik 375 watt, 1 fase, memiliki kecepatan putar tanpa beban sebesar 1400 rpm, dengan tegangan AC sebesar 220V. Motor listrik ini juga berukuran kecil dengan berat hanya 12 kg. Dengan daya dan tegangan yang diketahui maka besar arus listrik motor dapat diketahui dengan rumus:

$$I = \frac{P}{V} \quad (2.2.4.1)$$

Di mana:

I = Besar arus listrik (ampere)

P = Daya listrik (watt)

V = Tegangan listrik (volt)

Dengan menggunakan rumus 2.2.4.1, maka motor ini memiliki besar arus listrik senilai 1.705 ampere.

Lalu karena kecepatan motor dan jumlah *pole* atau kutub diketahui, maka frekuensi motor dapat dihitung dengan rumus:

$$RPM = \frac{120F}{P} \quad (2.2.4.2)$$

$$120F = P * RPM \quad (2.2.4.3)$$

$$F = \frac{P * RPM}{120} \quad (2.2.4.4)$$

Di mana:

F = Frekuensi motor (Hz)

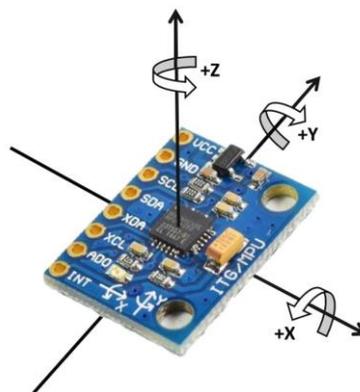
RPM = Kecepatan putar motor (rpm)

P = *Pole*

Dengan menggunakan rumus 2.2.4.4 maka frekuensi dari motor YC8024 adalah 46.67 Hz.

2.2.5 Sensor GY-521 MPU6050

GY-521 adalah sebuah modul *Inertial Measurement Unit (IMU)* yang menggunakan chip MPU6050 dengan 3-axis. MPU 6050 juga sudah memiliki *Digital Motion Processors (DMP)* yang akan mengolah data mentah dari masing-masing sensor. Memiliki tegangan DC sebesar 3.3-5V. MPU6050 adalah sebuah *Micro Electro-Mechanical System (MEMS)*. Sensor ini memiliki 3 sumbu *accelerometer* dan 3 sumbu *gyroscope*. Arah sumbu-sumbu sensor dapat dilihat pada gambar 2-3.

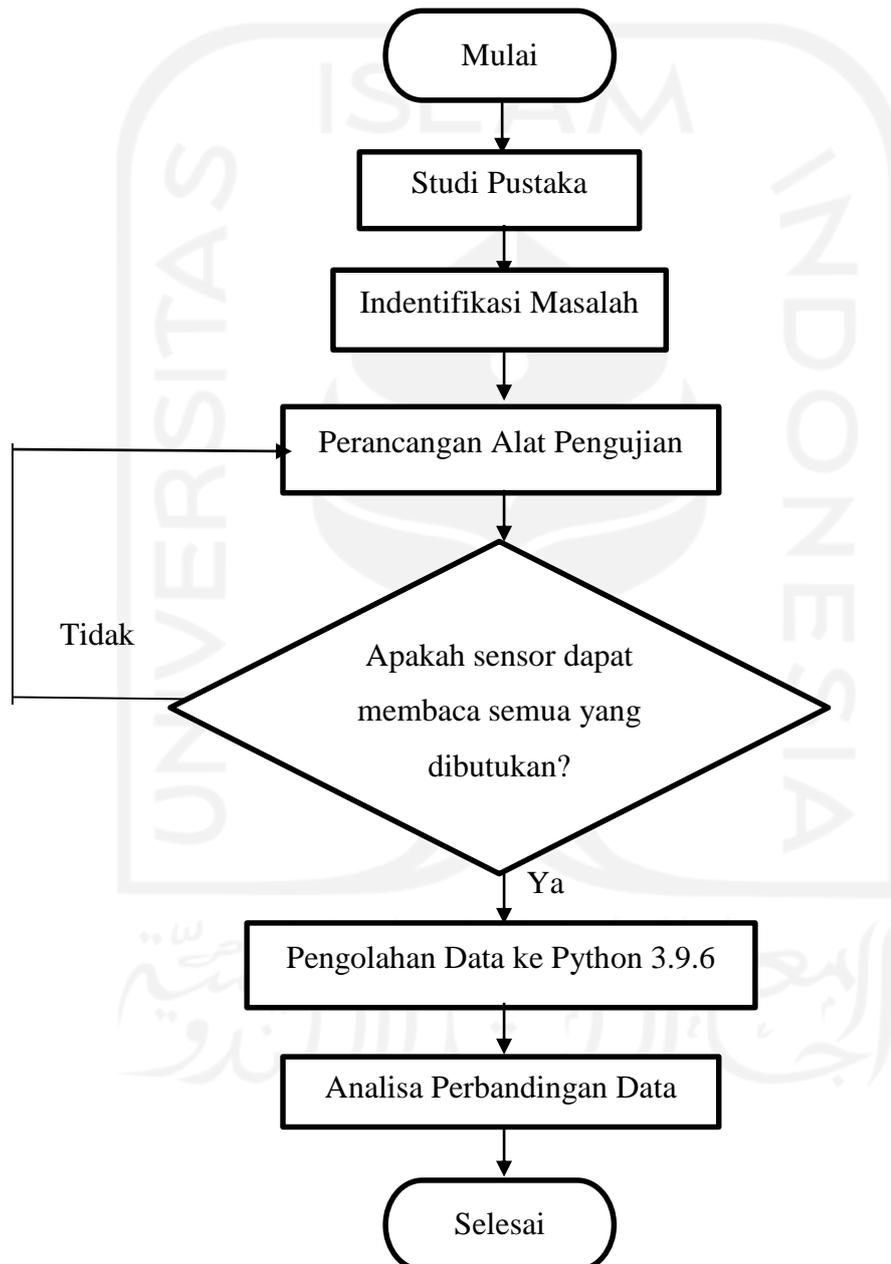


Gambar 2-3: Arah sumbu MPU6050

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Alur penelitian dapat dilihat pada diagram alir di bawah ini:



3.2 Peralatan dan Bahan

3.2.1 Peralatan

- Kunci baut 10 mm, 12 mm, 14 mm
- Mesin gerinda
- Tang potong
- Mesin CNC Roughing
- Kunci baut L
- Solder listrik
- Bor duduk
- Mesin las listrik dan peralatan las listrik
- *Waterpass*
- Jangka sorong
- Mesin bubut

3.2.2 Bahan

- Besi L Frame 32x55 mm
- Besi L frame 32x55 mm
- Motor penggerak model YC8024 ½ HP
- Poros besi pejal 19 mm (1120 g)
- Kubus besi pejal 40 mm (394 g)
- Pengunci besi
- Baut 10 mm, 12 mm, 14 mm beserta ring
- Baut L 4 mm
- *Bearing* ASB UCP-204
- Ban roda 4
- Karet ban
- Kopleng
- Arduino Uno
- Kabel jumper 30 cm male-female
- Sensor GY-521 MPU-6050

- PCB *single layer*
- *Thermocouple*
- Kabel *port* USB

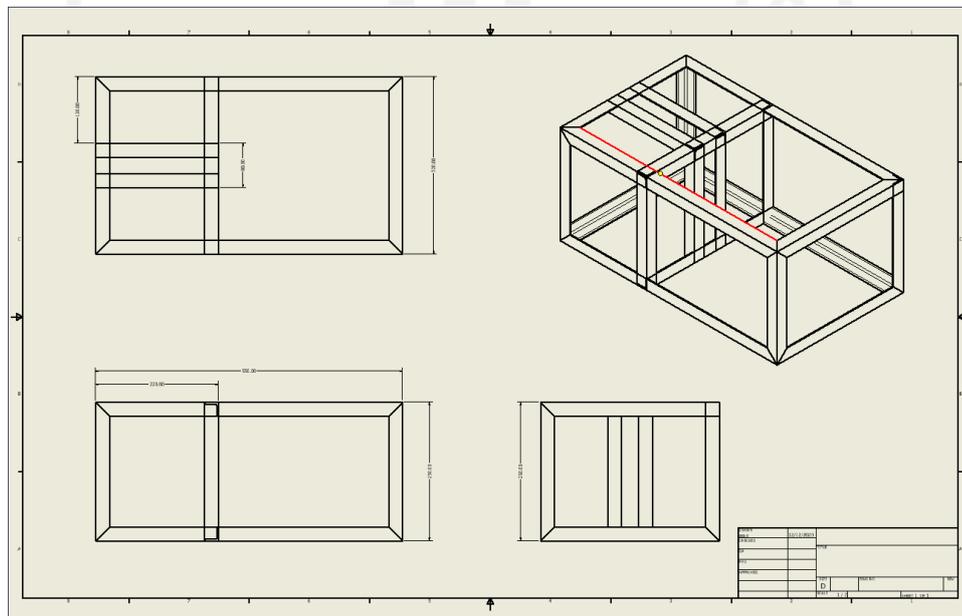
3.3 Perancangan

Pada tahap ini, perancangan perangkat keras adalah langkah awal untuk merancang sebuah alat pengujian guna mendapatkan data yang diinginkan. Berikut adalah tahap-tahap perancangan pada perangkat keras.

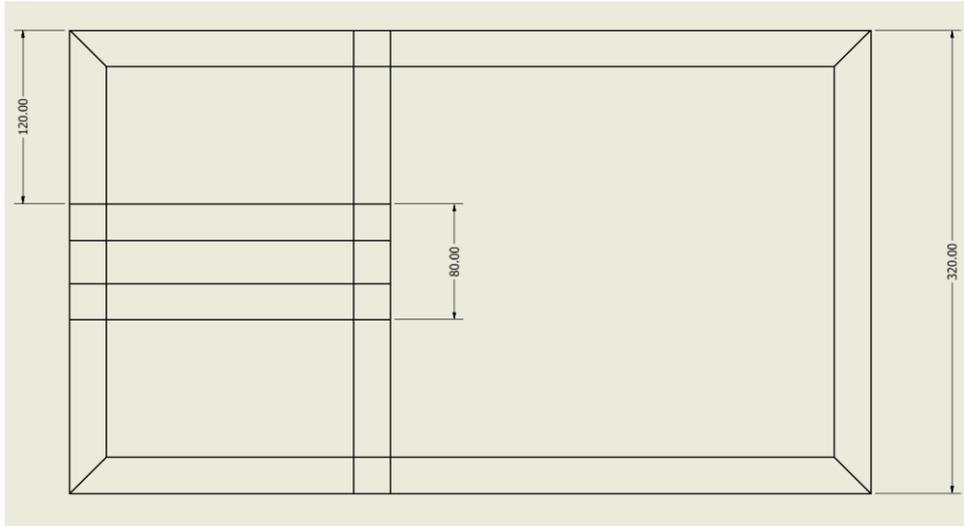
3.3.1 Perancangan Perangkat Keras

3.3.1.1 Model Frame

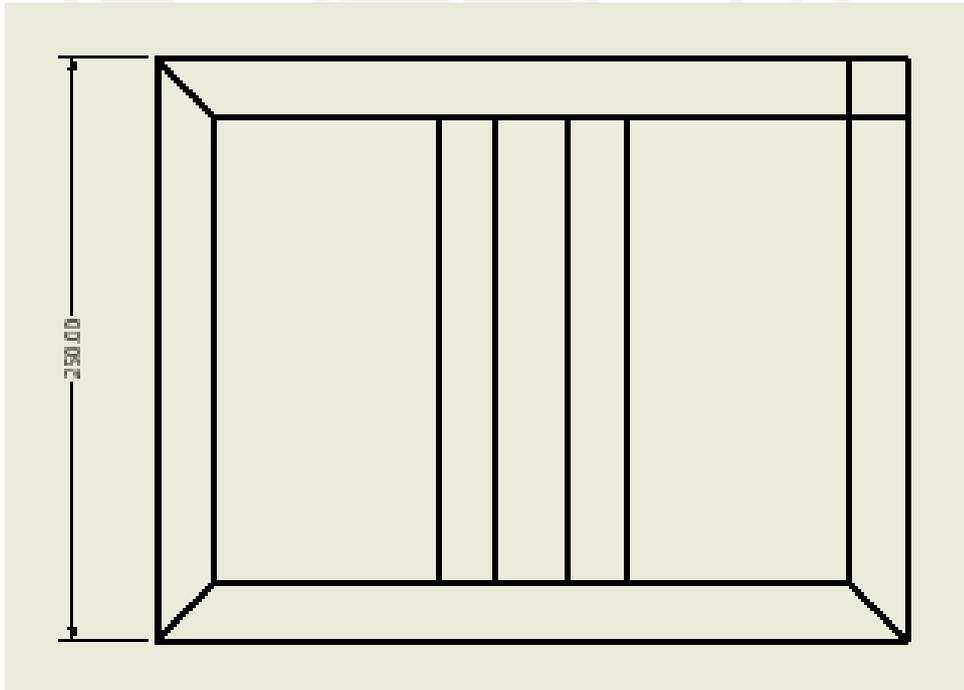
Gambar 3.1 menunjukkan bentuk *drawing* dari perancangan pembuatan frame pengujian alat dengan prespektif tampak depan, atas, dan samping. Menggunakan panjang 550 mm dan lebar 320 mm serta tinggi 250 mm yang telah disesuaikan dengan hasil studi pustaka yang dilakukan peneliti. Dengan menggunakan frame besi L untuk meminimalisir biaya dan ditinjau dari segi kekuatan beban sehingga cukup untuk menampung beban pada frame tersebut.



(a)



(b)

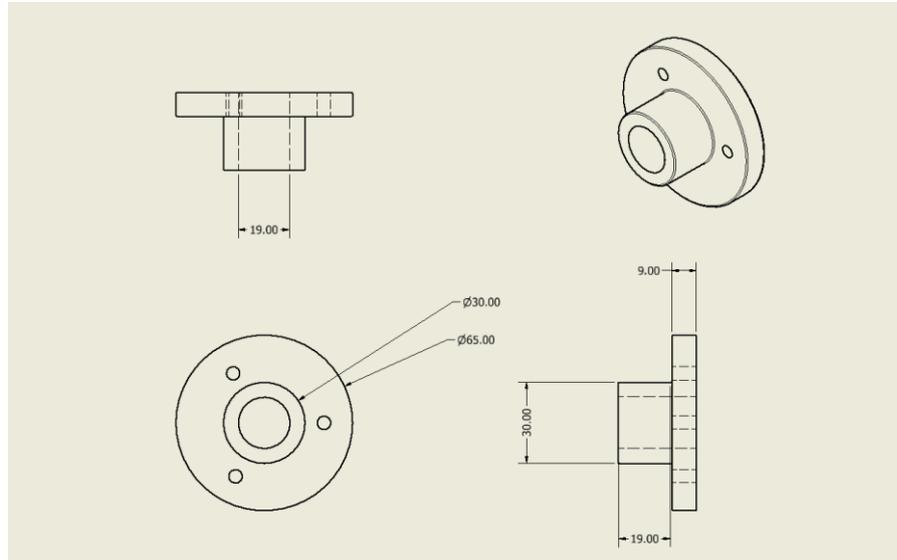


(c)

Gambar 3-1: *Drawing frame* besi (a), tampak atas (b), tampak depan (c)

3.3.1.2 Model Kopling

Model kopling seperti pada gambar 3-2 merupakan *coupling* tanpa eksentrisitas dengan ukuran *couple* yang sama.



Gambar 3-2: *Drawing* kopling normal

3.3.1.3 Beban

Beban pada penelitian ini diletakkan pada ujung poros sesudah *bearing*. Beban ini terdiri dari 2 komponen yaitu,

1. 2 buah kubus besi pejal dengan berat masing-masing sebesar 394 g seperti yang terlihat pada gambar 3-3.



Gambar 3-3: Beban kubus

2. Sebuah poros besi pejal yang disambung ke pengunci dengan menggunakan las listrik dengan berat sebesar 1120 g seperti yang terlihat pada gambar 3-4.



Gambar 3-4: Poros pejal dan pengunci

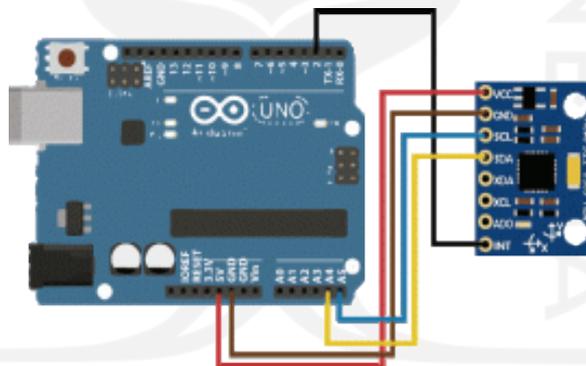
3.3.1.4 Sensor MPU6050

Sensor MPU6050 digunakan sebagai alat pembaca getaran yang dihasilkan oleh *bearing*. Maka agar sensor dapat membaca getaran dengan lebih akurat, sensor diletakkan pada *bearing* menggunakan *bracket* yang dibuat dengan metode *3D printing* seperti yang terlihat pada gambar 3-3.



Gambar 3-5: Sensor yang terpasang pada *bracket*

Sensor MPU6050 lalu dihubungkan ke mikrokontroler Arduino Uno dengan tujuan agar data getaran yang dibaca oleh sensor dapat dibaca oleh komputer. Skematik sambungan antara sensor dan mikrokontroler dapat dilihat pada gambar 3-4.



Gambar 3-6: Skematik sambungan MPU6050 dan Arduino Uno

3.3.2 Perancangan Perangkat Lunak

3.3.2.1 Arduino

Software Arduino digunakan untuk memprogram mikrokontroler Arduino Uno agar dapat membaca sensor *thermocouple* dan sensor getar MPU6050. Berikut adalah program yang digunakan:

```

#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(0);
  // mpu.setGyroOffsetY(0);
  // mpu.setGyroOffsetZ(0);
  // 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);
}

```

Program ini mengeluarkan data getaran dan menampilkannya pada aplikasi Notepad pada komputer. Data yang keluar diantaranya adalah waktu pengambilan data, data akselerasi pada sumbu X, Y, dan Z dalam bentuk *raw* dan *norm*, dan suhu. Untuk penelitian ini data yang dibutuhkan adalah data akselerasi pada sumbu X, Y, Z dalam bentuk *raw*. Data yang telah ditampilkan pada Notepad lalu disimpan dalam format .txt untuk kemudian dimasukkan ke aplikasi Microsoft Excel agar data dapat digunakan.

3.3.2.2 Microsoft Excel

Microsoft Excel adalah aplikasi pengolah angka. Pada penelitian ini Microsoft Excel digunakan untuk mengubah data yang sebelumnya disimpan

dalam *file* dengan format *.txt* menjadi *file* dengan format *.csv*. Langkah-langkah untuk melakukan hal tersebut adalah:

1. Pindahkan data dari Notepad ke Excel dengan cara *copy-paste*.
2. Hapus dan buang data yang tidak diperlukan seperti suhu dan data akselerasi dalam bentuk *norm*.
3. Pastikan tidak ada teks dalam data dengan cara *find-replace*.
4. Simpan data dalam format *.csv*.

Format *file .csv* atau *comma-separated values* adalah *file* teks yang berisikan barisan data yang dipisahkan oleh tanda koma atau tanda titik koma. Data yang digunakan pada penelitian ini harus dirubah menjadi format *.csv* dikarenakan program Python yang akan digunakan hanya dapat membaca *file* dalam format *.csv*.

3.3.2.3 Python

Python adalah sebuah bahasa pemrograman. Pada penelitian ini Python digunakan untuk mengolah data yang telah dirubah formatnya menjadi *.csv* sehingga dapat menjadi grafik yang dapat dibaca dan diinterpretasikan. Python dipilih untuk digunakan pada penelitian ini karena bahasanya yang sederhana dan sudah memiliki berbagai macam *library* yang dapat dengan mudah membantu dalam mengolah data. Untuk membantu dalam penulisan program Python, penelitian ini juga memanfaatkan aplikasi Visual Studio Code. Program Python yang digunakan pada penelitian ini akan menghasilkan 2 buah grafik. Grafik pertama adalah grafik amplitudo (m/s^2) terhadap waktu (s), dan grafik kedua adalah grafik amplitudo (m/s^2) terhadap frekuensi (Hz). Penelitian ini menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk mengubah data dalam domain waktu menjadi domain frekuensi. Kemudahan dalam menggunakan FFT juga menjadi salah satu alasan Python digunakan dalam penelitian ini. Program yang digunakan adalah:

```
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()

```

Jika program di atas dijalankan dengan memasukkan *file* .csv yang telah dibuat sebelumnya, maka akan muncul 2 grafik getaran, yaitu grafik amplitudo terhadap waktu dan grafik FFT dari grafik amplitudo-waktu tersebut. Untuk grafik amplitudo-waktu, data yang digunakan adalah data akselerasi dari sumbu Y. Data dari sumbu Y digunakan karena sumbu Y sensor pada alat uji adalah sumbu vertikal atau sumbu yang tegak lurus terhadap permukaan tanah. Karenanya, akselerasi terbesar diasumsikan akan terjadi pada sumbu Y karena akselerasi yang terjadi akan teramplifikasi oleh percepatan gravitasi bumi. Grafik-grafik tersebut yang nantinya akan dibaca dan dianalisis untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan penelitian ini.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Alat Pengujian

Agar dapat memperoleh data yang dibutuhkan, alat uji harus dirangkai menggunakan komponen-komponen yang dibutuhkan secara rapi dan terstruktur. Berikut adalah beberapa komponen yang dibutuhkan untuk memperoleh hasil data sinyal getaran, yaitu:

1. Sensor GY-521 MPU-6050

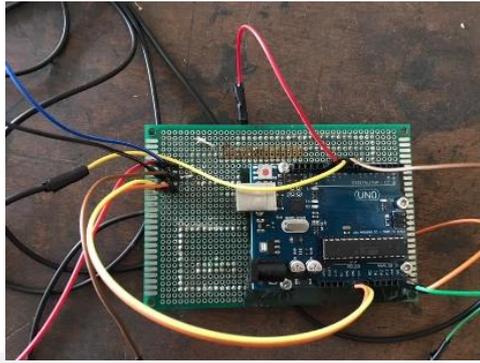
Fungsi dari sensor ini adalah untuk menangkap getaran yang dihasilkan oleh *bearing* pada alat uji dan mengubah getaran tersebut menjadi sinyal elektrik dan mentransmisikan sinyal tersebut ke mikrokontroler. Berikut adalah gambar 4-1.



Gambar 4-1: Sensor MPU-6050

2. Arduino Uno

Arduino Uno adalah mikrokontroler yang digunakan untuk membaca sinyal getaran yang dikirimkan oleh sensor dan kemudian mentransmisikan dan menerjemahkan sinyal tersebut ke komputer sehingga dapat dibaca oleh manusia. Berikut adalah gambar 4-2.



Gambar 4-2: Arduino Uno

3. Beban kubus 40mm

Beban kubus yang digunakan pada alat pengujian memiliki fungsi untuk memberikan variasi pada data pengujian. Berikut adalah gambar 4-3.



Gambar 4-3: Beban kubus

4. Kopling

Kopling berfungsi sebagai penyambung antara motor listrik dan poros agar motor listrik dapat memutar poros. Berikut adalah gambar 4-4.



Gambar 4-4: Kopling

5. Poros pejal 19mm serta pengunci

Poros pejal memiliki fungsi sebagai penunjang beban kubus. Dengan menggabungkan poros dengan penguncinya secara permanen, lalu menghubungkan pengunci dengan poros utama, maka beban dapat berputar bersama poros utama. Berikut adalah gambar 4-5.



Gambar 4-5: Poros pejal dan pengunci

Dengan berbagai komponen diatas, kemudian semua akan disusun agar menjadi alat pengujian getaran dalam penelitian ini. Berikut adalah gambar 4-6.



Gambar 4-6: Rangkaian alat uji

Kesimpulan dari cara kerja alat ini adalah motor disambungkan ke sumber listrik agar dapat berfungsi. Kemudian poros utama disambungkan ke motor listrik menggunakan koping yang telah dibuat khusus untuk penelitian ini. Lalu pada bagian akhir poros utama diberi *bearing* sebagai penopang yang sekaligus berfungsi sebagai sumber pembacaan getaran. Pada ujung poros satunya, poros pejal dan penguncinya disambungkan agar beban dapat ikut berputar bersama

poros utama. Sensor getaran MPU-6050 lalu dipasang pada rumah *bearing* yang akan membaca getaran yang dihasilkan oleh *bearing* saat motor berputar. Data sinyal getaran yang dibaca oleh sensor lalu diteruskan ke mikrokontroler yang akan menerjemahkan dan meneruskan sinyal getaran itu ke komputer yang tersambung dengan mikrokontroler tersebut. Data yang telah terbaca di komputer melalui aplikasi Notepad lalu diolah menggunakan aplikasi Microsoft Excel agar dapat disimpan dalam format .csv. *File* dalam format .csv inilah yang akan diolah kembali oleh Python untuk menggambar grafik sinyal getaran guna memudahkan dalam pembacaan dan analisis.

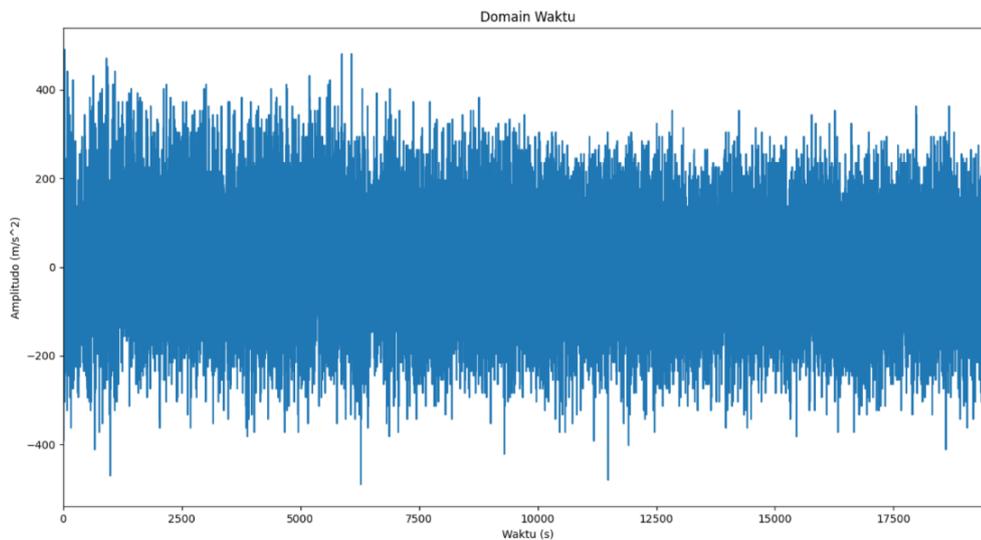
4.2 Hasil Pengujian

Data pembacaan getaran pada penelitian ini terbagi menjadi 4 kondisi pembacaan. Kondisi-kondisi tersebut adalah:

1. Kondisi pembacaan di mana beban seimbang dan *bearing* kondisi normal.
2. Kondisi pembacaan di mana beban seimbang dan *bearing* dalam kondisi rusak.
3. Kondisi pembacaan di mana beban tidak seimbang dengan salah satu beban digeser sejauh 10 mm mendekati sumbu poros utama dan *bearing* dalam kondisi normal.
4. Kondisi pembacaan di mana beban tidak seimbang dengan salah satu beban digeser sejauh 20 mm mendekati sumbu poros utama dan *bearing* dalam kondisi normal.

4.2.1 Kondisi pembacaan beban seimbang dan *bearing* normal

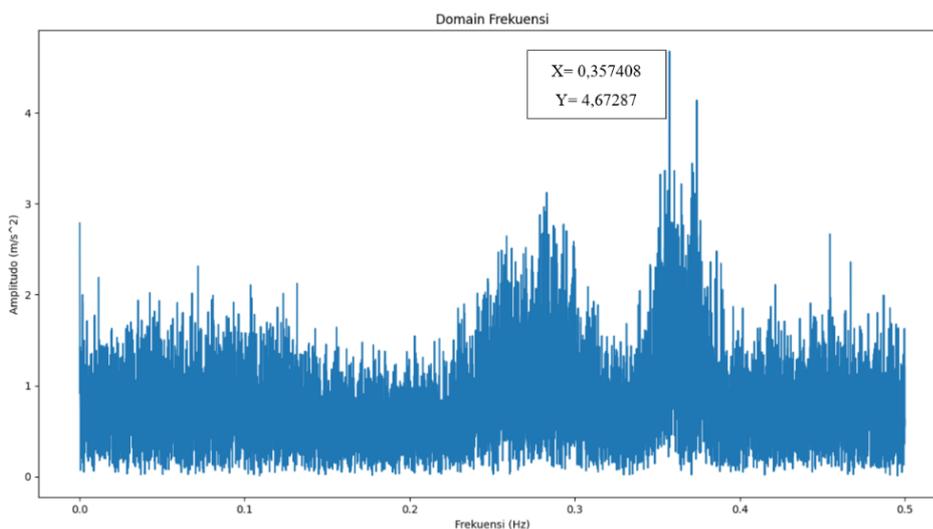
Hasil pembacaan data dalam kondisi ini kemudian diolah menggunakan Python. Data diambil dalam rentang waktu dari pukul 12:06:29.737 sampai dengan pukul 15:07:18.162. Jumlah data yang diambil adalah 19,592 data. Data diambil setiap 0.5 detik sehingga tiap detiknya didapatkan 2 data. Grafik amplitudo terhadap waktu dapat dilihat pada gambar 4-7.



Gambar 4-7: Grafik amplitudo-waktu kondisi normal

Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa grafik amplitudo terhadap waktu yang dihasilkan menunjukkan nilai amplitudo terbesar sebesar 490 m/s^2 , nilai terendah sebesar -490 m/s^2 , dan rata-rata sebesar -10.588 m/s^2 .

Data tersebut lalu diolah kembali menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk mengubah domain waktu menjadi frekuensi. Hasil pengolahan tersebut dapat dilihat pada gambar 4-8.



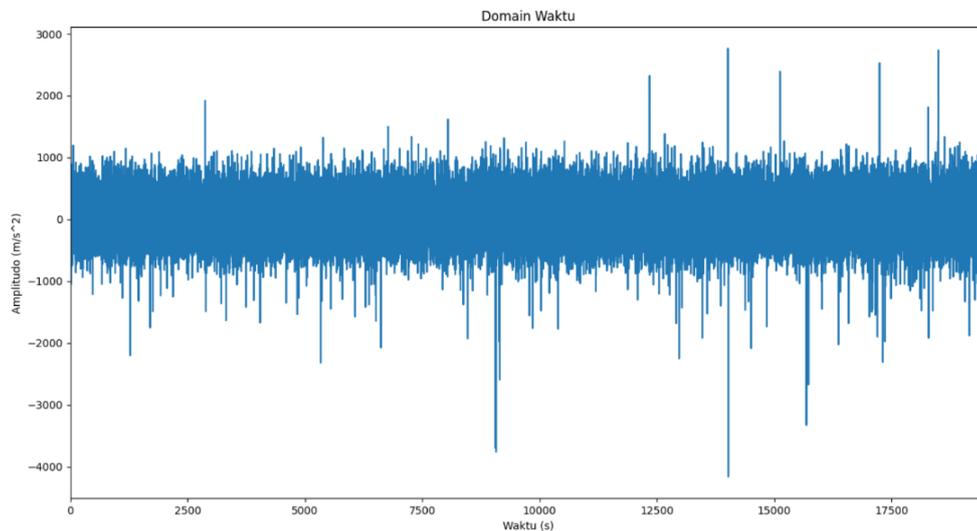
Gambar 4-8: Grafik FFT kondisi normal

Grafik FFT menunjukkan bahwa data getaran yang diambil memiliki frekuensi beragam dari 0 Hz sampai dengan 0.5 Hz. Akan tetapi, setiap frekuensi memiliki nilai amplitudo yang berbeda-beda. Terlihat terdapat 2 puncak pada grafik. Puncak pertama memiliki rentang frekuensi antara 0.229-0.318 Hz dengan nilai

amplitudo maksimal 3.121 m/s^2 pada frekuensi 0.283 Hz . Puncak kedua memiliki rentang frekuensi antara $0.337\text{-}0.390 \text{ Hz}$ dengan nilai amplitudo terbesar pada rentang puncak kedua sekaligus pada rentang keseluruhan frekuensi sebesar 4.673 m/s^2 pada frekuensi 0.357 Hz .

4.2.2 Kondisi pembacaan beban seimbang dan *bearing* rusak

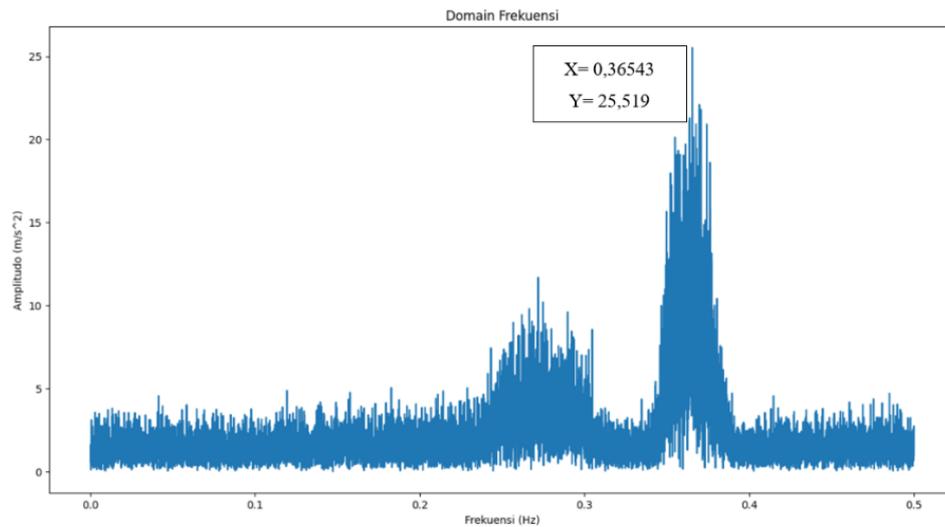
Hasil pembacaan data dalam kondisi ini kemudian diolah menggunakan Python. Data diambil dalam rentang waktu dari pukul 12:06:29.737 sampai dengan pukul 15:06:40.238. Jumlah data yang diambil adalah 19,523 data. Data diambil setiap 0.5 detik sehingga tiap detiknya didapatkan 2 data. Grafik amplitudo terhadap waktu dapat dilihat pada gambar 4-9.



Gambar 4-9: Grafik amplitudo-waktu kondisi *bearing* rusak

Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa grafik amplitudo terhadap waktu yang dihasilkan menunjukkan nilai amplitudo terbesar sebesar 2764 m/s^2 , nilai terendah sebesar -4165 m/s^2 , dan rata-rata sebesar 40.183 m/s^2 .

Data tersebut lalu diolah kembali menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk mengubah domain waktu menjadi frekuensi. Hasil pengolahan tersebut dapat dilihat pada gambar 4-10.

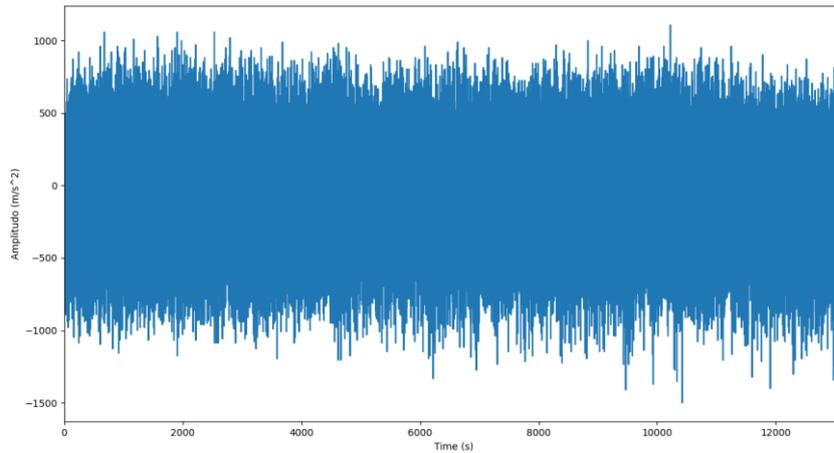


Gambar 4-10: Grafik FFT kondisi *bearing* rusak

Grafik FFT menunjukkan bahwa data getaran yang diambil memiliki frekuensi beragam dari 0 Hz sampai dengan 0.5 Hz. Akan tetapi, setiap frekuensi memiliki nilai amplitudo yang berbeda-beda. Terlihat terdapat 2 puncak pada grafik. Puncak pertama memiliki rentang frekuensi antara 0.239-0.305 Hz dengan nilai amplitudo maksimal 11.686 m/s² pada frekuensi 0.272 Hz. Puncak kedua memiliki rentang frekuensi antara 0.343-0.390 Hz dengan nilai amplitudo terbesar pada rentang puncak kedua sekaligus pada rentang keseluruhan frekuensi sebesar 25.519 m/s² pada frekuensi 0.365 Hz.

4.2.3 Kondisi pembacaan beban tidak seimbang (bergeser 10 mm)

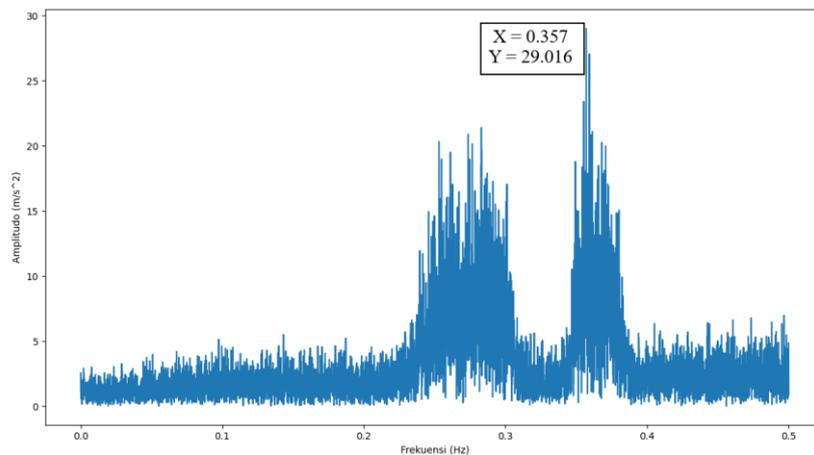
Hasil pembacaan data dalam kondisi ini kemudian diolah menggunakan Python. Data diambil dalam rentang waktu dari pukul 13:19:09.333 sampai dengan pukul 15:19:26.680. Jumlah data yang diambil adalah 14,434 data. Data diambil setiap 0.5 detik sehingga tiap detiknya didapatkan 2 data. Grafik amplitudo terhadap waktu dapat dilihat pada gambar 4-11.



Gambar 4-11: Grafik amplitudo-waktu kondisi beban bergeser 10 mm

Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa grafik amplitudo terhadap waktu yang dihasilkan menunjukkan nilai amplitudo terbesar sebesar 1107.4 m/s^2 , nilai terendah sebesar -1499.4 m/s^2 , dan rata-rata sebesar -8.356 m/s^2 .

Data tersebut lalu diolah kembali menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk mengubah domain waktu menjadi frekuensi. Hasil pengolahan tersebut dapat dilihat pada gambar 4-12.



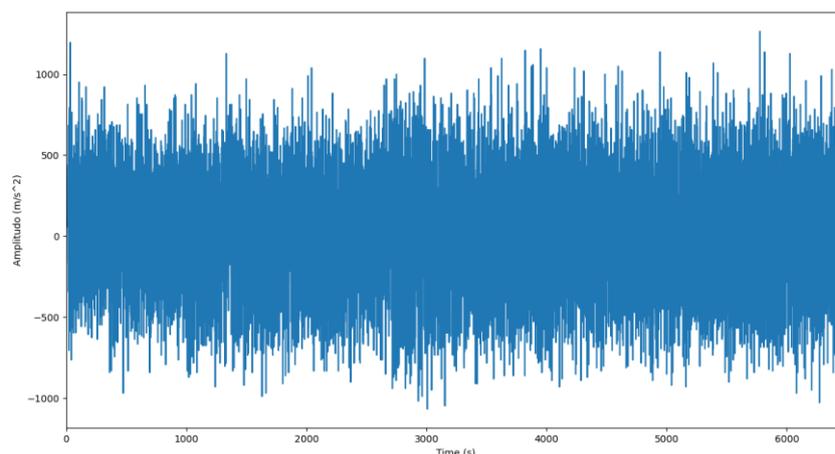
Gambar 4-12: Grafik FFT kondisi beban bergeser 10 mm

Grafik FFT menunjukkan bahwa data getaran yang diambil memiliki frekuensi beragam dari 0 Hz sampai dengan 0.5 Hz. Akan tetapi, setiap frekuensi memiliki nilai amplitudo yang berbeda-beda. Terlihat terdapat 2 puncak pada grafik. Puncak pertama memiliki rentang frekuensi antara 0.233-0.308 Hz dengan nilai

amplitudo maksimal 21.4 m/s^2 pada frekuensi 0.283 Hz . Puncak kedua memiliki rentang frekuensi antara $0.346\text{-}0.386 \text{ Hz}$ dengan nilai amplitudo terbesar pada rentang puncak kedua sekaligus pada rentang keseluruhan frekuensi sebesar 29.016 m/s^2 pada frekuensi 0.357 Hz .

4.2.4 Kondisi pembacaan beban tidak seimbang (bergeser 20 mm)

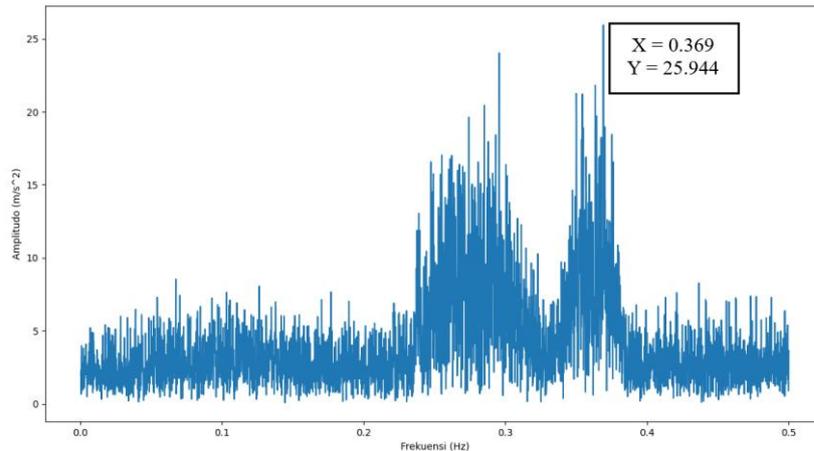
Hasil pembacaan data dalam kondisi ini kemudian diolah menggunakan Python. Data diambil dalam rentang waktu dari pukul 15:48:57.273 sampai dengan pukul 16:48:19.858. Jumlah data yang diambil adalah 7,222 data. Data diambil setiap 0.5 detik sehingga tiap detiknya didapatkan 2 data. Grafik amplitudo terhadap waktu dapat dilihat pada gambar 4-13.



Gambar 4-13: Grafik amplitudo-waktu kondisi beban bergeser 20 mm

Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa grafik amplitudo terhadap waktu yang dihasilkan menunjukkan nilai amplitudo terbesar sebesar 1264.2 m/s^2 , nilai terendah sebesar -1068.2 m/s^2 , dan nilai rata-rata sebesar 67.382 m/s^2 .

Data tersebut lalu diolah kembali menggunakan algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk mengubah domain waktu menjadi frekuensi. Hasil pengolahan tersebut dapat dilihat pada gambar 4-14.



Gambar 4-14: Grafik FFT kondisi beban bergeser 20 mm

Grafik FFT menunjukkan bahwa data getaran yang diambil memiliki frekuensi beragam dari 0 Hz sampai dengan 0.5 Hz. Akan tetapi, setiap frekuensi memiliki nilai amplitudo yang berbeda-beda. Terlihat terdapat 2 puncak pada grafik. Puncak pertama memiliki rentang frekuensi antara 0.235-0.326 Hz dengan nilai amplitudo maksimal 24.03 m/s^2 pada frekuensi 0.296 Hz. Puncak kedua memiliki rentang frekuensi antara 0.337-0.385 Hz dengan nilai amplitudo terbesar pada rentang puncak kedua sekaligus pada rentang keseluruhan frekuensi sebesar 25.944 m/s^2 pada frekuensi 0.369 Hz.

4.3 Analisis

Setelah data hasil pengujian didapatkan, maka data tersebut dianalisis untuk menjelaskan dan mencari tahu jawaban dari pertanyaan penelitian. Hasil dari pembacaan getaran antara kondisi *bearing* normal dan *bearing* rusak dapat dilihat pada tabel 4-1.

Tabel 4-1: Data perbandingan amplitudo kondisi *bearing* dalam domain waktu

Kondisi <i>bearing</i>	Amplitudo (m/s^2)		
	Maksimal	Minimal	Rata-rata
Normal	490	-490	-10.588
Rusak	2764	-4165	40.183

Dari tabel tersebut dapat terlihat bahwa amplitudo saat kondisi *bearing* sehat sangat berbeda jika dibandingkan dengan saat kondisi *bearing* sudah

mengalami kerusakan. Nilai amplitudo saat *bearing* dalam kondisi rusak dengan rata-rata amplitudo sebesar 40.183 m/s² jauh lebih besar jika dibandingkan dengan kondisi normal yang rata-rata amplitudonya sebesar -10.588 m/s². Hal ini berarti kerusakan *bearing* menimbulkan getaran yang jauh lebih kuat. Getaran yang lebih kuat tersebut juga menimbulkan suara yang lebih keras saat *bearing* berputar.

Hasil dari pembacaan grafik FFT antara kondisi *bearing* normal dan rusak dapat dilihat pada tabel 4-2.

Tabel 4-2: Data hasil FFT perbandingan kondisi *bearing*

Puncak		Kondisi <i>bearing</i>	
		Normal	Rusak
Puncak 1	Rentang frekuensi (Hz)	0.229-0.318	0.239-0.305
	Amplitudo maks. (m/s ²)	3.121	11.686
Puncak 2	Rentang frekuensi (Hz)	0.337-0.390	0.343-0.390
	Amplitudo maks. (m/s ²)	4.673	25.519

Dapat dilihat bahwa amplitudo maksimal *bearing* dalam kondisi rusak juga lebih besar dengan nilai 25.519 m/s² pada frekuensi 0.365 Hz dibandingkan dengan *bearing* dalam kondisi normal yang memiliki nilai amplitudo maksimal sebesar 4.673 m/s² pada frekuensi 0.357 Hz.

Selanjutnya adalah membandingkan data antara kondisi beban seimbang, salah satu beban digeser 10 mm, dan salah satu beban digeser 20 mm. Ketiga data ini diambil dengan menggunakan *bearing* yang berada dalam kondisi normal. Perbandingan ketiga data ini dapat dilihat pada tabel 4-3.

Tabel 4-3: Data perbandingan amplitudo kondisi variasi pembebanan dalam domain waktu

Jenis Beban	Amplitudo (m/s ²)		
	Maksimal	Minimal	Rata-rata
Normal	490	-490	-10.588
Geser 10 mm	1107.4	-1499.4	-8.356
Geser 20 mm	1264.2	-1068.2	67.382

Dapat dilihat bahwa ketidakseimbangan beban pada poros yang berputar menyebabkan getaran yang berlebihan. Hal tersebut terlihat dari data yang menunjukkan bahwa beban seimbang memiliki rata-rata amplitudo sebesar -10.588

m/s², sedangkan beban tidak seimbang dengan pergeseran salah satu beban sejauh 10 mm mendekati sumbu poros utama memiliki rata-rata amplitudo sebesar -8.356 m/s² dan saat pergeseran beban ditambah dan menjadi 20 mm, nilai rata-rata amplitudo naik secara signifikan menjadi 67.382 m/s².

Hasil dari pembacaan grafik FFT antara kondisi variasi pembebanan dapat dilihat pada tabel 4-

Tabel 4-4: Data hasil FFT perbandingan kondisi variasi pembebanan

Puncak		Variasi pembebanan		
		Normal	10 mm	20 mm
Puncak 1	Rentang frekuensi (Hz)	0.229-0.318	0.233-0.308	0.235-0.326
	Amplitudo maks. (m/s ²)	3.121	21.4	24.03
Puncak 2	Rentang frekuensi (Hz)	0.337-0.390	0.346-0.386	0.337-0.385
	Amplitudo maks. (m/s ²)	4.673	29.016	25.944

4.4 Pembahasan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan ditemukan bahwa kerusakan *bearing* dan ketidakseimbangan beban sangat memengaruhi getaran yang dihasilkan oleh *bearing*. Hal ini dibuktikan oleh kenaikan nilai amplitudo maksimal yang signifikan.

Perbedaan getaran yang timbul saat kondisi *bearing* normal dan beban seimbang dengan getaran yang timbul saat kondisi *bearing* rusak atau saat beban tidak seimbang sangat kentara. Getaran yang timbul saat *bearing* rusak atau saat beban tidak seimbang sangat terasa karena alat uji diletakkan di lantai dan dikunci ke lantai menggunakan baut. Getaran yang terjadi saat kondisi tidak normal membuat baut-baut penyangga komponen longgar dan membuat sensor bergeser dari tempatnya walaupun sudah dikunci. Hal ini dirasakan berbeda dengan saat alat uji berjalan dengan *bearing* normal dan beban seimbang. Selain getaran, suara

yang ditimbulkan juga berbeda. Suara yang ditimbulkan alat uji saat menggunakan *bearing* normal dan beban seimbang dirasa jauh lebih kecil.

Data getaran yang didapatkan dari penelitian ini termasuk kurang ideal. Hal ini disebabkan adanya beberapa faktor yang dapat mempengaruhi data tersebut. Pertama, lokasi alat uji yang berada satu ruangan dengan alat permesinan lain menyebabkan getaran dari mesin lain tersebut terbaca juga oleh sensor. Kedua, saat melakukan penelitian sensor beberapa kali mengalami malfungsi sehingga menyebabkan pembacaan yang nilainya sangat besar. Ketiga, tidak adanya peredaman yang bagus pada *bearing* maupun sensor. Hal ini menyebabkan sensor tidak murni merekam getaran yang dihasilkan oleh *bearing* sehingga didapati banyak *noise* yang dihasilkan pada data getaran.

Kendala lain yang dihadapi saat melakukan penelitian ini terdapat pada sisi teknis. Kendala dalam hal teknis ini terbagi dua yaitu kendala pada komponen *hardware* dan kendala pada komponen *software*. Kendala pada *hardware* diantaranya adalah sensor yang sewaktu-waktu dapat berhenti bekerja saat sedang digunakan. Hal ini disebabkan posisi sensor yang kurang pas sehingga kabel penghubung terputus. Solusi dari masalah ini adalah kembali memosisikan sensor dan memeriksa *wiring* hingga pembacaan sensor kembali normal. Kendala pada *software* diantaranya adalah format data yang diterima oleh komputer dari mikrokontroler memiliki kesalahan. Kesalahan ini disebabkan program Arduino yang digunakan untuk menerjemahkan sinyal getaran dari sensor agar dapat dibaca oleh komputer kurang sempurna. Hal ini menyebabkan sebagian kecil data getaran yang seharusnya merupakan sebuah bilangan, di-*input* ke komputer sebagai teks. Sehingga saat data getaran diproses oleh Python, grafik yang diperlukan tidak muncul. Akan tetapi masalah ini dapat dengan mudah diatasi dengan cara memperbaiki data dari Arduino menggunakan Microsoft Excel sebelum data disimpan dalam format *file* .csv. Kendala selanjutnya adalah pada grafik FFT yang mana sumbu frekuensi hanya memiliki rentang 0-0.5 Hz yang tentunya terlalu kecil.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Kerusakan *bearing* membuat nilai amplitudo maksimal kondisi normal yang bernilai 4.673 m/s^2 membesar menjadi 25.519 m/s^2 . Ketidakseimbangan beban membuat nilai amplitudo maksimal kondisi normal yang bernilai 4.673 m/s^2 membesar menjadi 29.016 m/s^2 untuk pergeseran 10 mm dan 25.944 m/s^2 untuk pergeseran 20 mm.
2. Kerusakan *bearing* dan ketidakseimbangan beban akan menimbulkan getaran yang berlebihan pada suatu mesin atau alat. Hal ini dapat memperburuk kondisi *bearing* yang sudah rusak atau dapat ikut merusak atau mempengaruhi komponen lain.

5.2 Saran atau Penelitian Selanjutnya

Dari penelitian tersebut tentu ada perbaikan yang dapat dilakukan agar penelitian tersebut kedepannya menjadi lebih baik. Adapaun saran untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Diharapkan penelitian selanjutnya untuk lebih memperhatikan *safety* dari penelitian ini. Penelitian ini menggunakan beban kubus yang terbuat dari besi dan diputar menggunakan motor listrik dengan kecepatan putar 1400 rpm yang akan berakibat fatal jika ada kesalahan.
2. Diharapkan melakukan pengujian di ruangan terpisah dan menggunakan lebih banyak bantalan sehingga getaran yang terukur oleh sensor murni berasal dari alat uji.
3. 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

- Al-qadi, I. L., Xie, W., & Elseifi, M. A. (2008). Frequency Determination from Vehicular Loading Time. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 77, 739–772.
- Cerrada, M., Sánchez, R. V., Li, C., Pacheco, F., Cabrera, D., Valente de Oliveira, J., & Vásquez, R. E. (2018). A review on data-driven fault severity assessment in rolling bearings. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 99, 169–196. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2017.06.012>
- Hongwei, B. W. (2009). FFT Basics and Case Study using Multi-Instrument. *Virtins Technology*, 1–17.
- Kankar, P. K., Sharma, S. C., & Harsha, S. P. (2011a). Fault diagnosis of ball bearings using machine learning methods. *Expert Systems with Applications*, 38(3), 1876–1886. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.07.119>
- Kankar, P. K., Sharma, S. C., & Harsha, S. P. (2011b). Rolling element bearing fault diagnosis using wavelet transform. *Neurocomputing*, 74(10), 1638–1645. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2011.01.021>
- Lutz, M. (2013). *Learning Python: Powerful Object-Oriented Programming*. O'Reilly Media, Inc.
- McFadden, P. D., & Smith, J. D. (1985). The vibration produced by multiple point defects in a rolling element bearing. *Journal of Sound and Vibration*, 98(2), 10. [https://doi.org/10.1016/0022-460X\(85\)90390-6](https://doi.org/10.1016/0022-460X(85)90390-6)
- Rossum, G., & Drake, F. L. (2003). *An introduction to Python : release 2.2.2*.
- Stack, J. R., Habetler, T. G., & Harley, R. G. (2004). Fault classification and fault signature production for rolling element bearings in electric machines. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 40(3), 4. <https://doi.org/10.1109/TIA.2004.827454>
- Wang, H., Chen, J., & Dong, G. (2014). Feature extraction of rolling bearing's early weak fault based on EEMD and tunable Q-factor wavelet transform. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 48(1–2), 103–119. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2014.04.006>