

**PENGEMBANGAN ALAT UJI *JOURNAL BEARING* (TM25) DENGAN
INTEGRASI *LOADCELL* DAN MIKROKONTROLER UNTUK
MONITORING *FRICTIONAL TORQUE* DAN *LIFTING FORCE***

(Skripsi)

Oleh :

Wahyu Adani Ramadhan

2115021008



PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

2026

**PENGEMBANGAN ALAT UJI *JOURNAL BEARING* (TM25) DENGAN
INTEGRASI *LOADCELL* DAN MIKROKONTROLER UNTUK
MONITORING *FRICTIONAL TORQUE* DAN *LIFTING FORCE***

Oleh :

Wahyu Adani Ramadhan

2115021008

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar

SARJANA TEKNIK



PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

2026

ABSTRAK

PENGEMBANGAN ALAT UJI *JOURNAL BEARING* (TM25) DENGAN INTEGRASI *LOADCELL* DAN MIKROKONTROLER UNTUK MONITORING *FRICTIONAL TORQUE* DAN *LIFTING FORCE*

Oleh

Wahyu Adani Ramadhan

Pelumasan hidrodinamik pada *journal bearing* sangat dipengaruhi oleh kecepatan putar poros dan karakteristik viskositas pelumas, yang secara langsung menentukan kemampuan bantalan dalam menghasilkan gaya angkat dan menahan beban. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan alat uji *journal bearing* tipe TM25 yang terintegrasi dengan sensor *load cell* dan mikrokontroler guna mengukur *lifting force* dan *frictional torque* secara *real-time*, serta menganalisis pengaruh variasi kecepatan putar dan jenis oli terhadap performa pelumasan. Sistem pengukuran dirancang menggunakan dua *load cell* yang terhubung dengan modul HX711 dan Arduino Uno, dengan akuisisi data ditampilkan melalui OLED dan direkam menggunakan *Microsoft Excel Data Streamer*. Pengujian dilakukan pada beberapa variasi kecepatan putar (RPM) dan tiga jenis oli dengan viskositas berbeda, yaitu SAE 10W30, SAE 10W40, dan SAE 20W50. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan putar (RPM) meningkatkan *lifting force* akibat terbentuknya tekanan hidrodinamik yang lebih besar, namun juga diikuti peningkatan *frictional torque*. Oli dengan viskositas lebih tinggi menghasilkan gaya angkat dan torsi gesek yang lebih besar dibandingkan oli dengan viskositas lebih rendah karena peningkatan ketebalan film pelumas. Temuan ini sesuai dengan teori pelumasan hidrodinamik dan menunjukkan bahwa sistem pengukuran yang dikembangkan mampu mengevaluasi karakteristik bantalan secara efektif dan efisien.

Kata kunci: *Journal bearing*, pelumasan hidrodinamik, *lifting force*, *frictional torque*, *load cell*.

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF A TM25 JOURNAL BEARING TEST RIG INTEGRATED WITH LOAD CELLS AND A MICROCONTROLLER FOR REAL-TIME MONITORING OF FRICTIONAL TORQUE AND LIFTING FORCE

By

Wahyu Adani Ramadhan

Hydrodynamic lubrication in journal bearings is strongly influenced by shaft rotational speed and lubricant viscosity, which directly affect the bearing's ability to generate lifting force and support external loads. This study aims to develop a TM25 journal bearing test rig integrated with load cell sensors and a microcontroller to measure lifting force and frictional torque in real time, as well as to analyze the effects of rotational speed and lubricant type on lubrication performance. The measurement system employs two load cells connected to an HX711 module and an Arduino Uno, with data displayed on an OLED and recorded using Microsoft Excel Data Streamer. Experimental tests were conducted at various rotational speeds and with three lubricant types of different viscosities, namely SAE 10W30, SAE 10W40, and SAE 20W50. The results indicate that increasing rotational speed leads to a higher lifting force due to the formation of greater hydrodynamic pressure, accompanied by an increase in frictional torque. Lubricants with higher viscosity produce larger lifting force and frictional torque compared to lower-viscosity oils as a result of thicker lubricant film formation. These findings are consistent with hydrodynamic lubrication theory and demonstrate that the developed measurement system is effective and efficient for evaluating journal bearing performance.

Keywords: *Journal bearing, hydrodynamic lubrication, lifting force, frictional torque, load cell.*

Skripsi

: PENGEMBANGAN ALAT UJI *JOURNAL BEARING* (TM25) DENGAN INTEGRASI *LOADCELL* DAN MIKROKONTROLER UNTUK MONITORING *FRICTIONAL TORQUE* DAN *LIFTING FORCE*

Nama Mahasiswa

: Wahyu Adani Ramadhan

Nomor Pokok Mahasiswa

: 2115021008

Program Studi

: Teknik Mesin

Fakultas

: Teknik

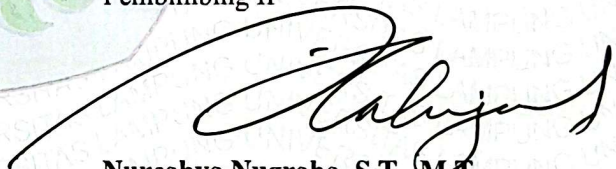
MENYETUJUI

Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

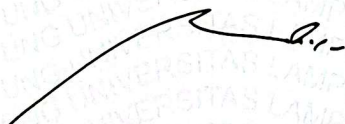

Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T.
NIP 196908011999031002

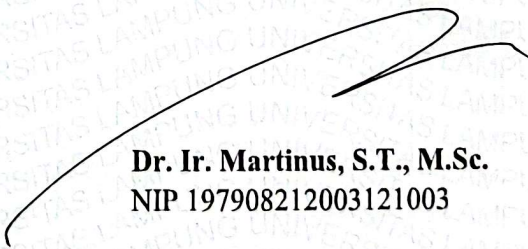

Nurcahya Nugraha, S.T., M.T.
NIP 199510112024061001

MENGETAHUI

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Ketua Program Studi S1


Ahmad Suudi, S.T., M.T.
NIP 197108171998021003


Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc.
NIP 197908212003121003

MENGESAHKAN**1. Tim Penguji**

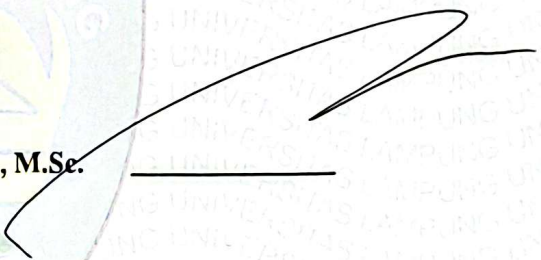
Ketua Penguji : **Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T.**



Anggota Penguji : **Nurcahya Nugraha, S.T., M.T.**



Penguji Utama : **Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc.**

**2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung**

Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T.

NIP-196910302000031001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 29 Januari 2026

LEMBAR PERNYATAAN

Skripsi dengan judul “ Pengembangan Alat Uji *Journal Bearing Demonstration* (Tm25) Dengan Integrasi *Loadcell* dan Mikrokontroler Untuk Monitoring *Frictional Torque* dan *Lifting Force*” ini dibuat sendiri oleh penulis dan bukan hasil plagiat sebagaimana diatur dalam pasal 36 peraturan akademik Universitas Lampung dengan peraturan rektor no. 13 tahun 2019.

Bandar Lampung, 25 Januari 2026
Pembuat Pernyataan,



Wahyu Adani Ramadhan
NPM 2115021008

RIWAYAT HIDUP



Wahyu Adani Ramadhan lahir pada 27 November 2002, di Lempuyang Bandar, Kecamatan Way Pengubuan, Kabupaten Lampung Tengah. Merupakan anak pertama dari tiga bersaudara dari pasangan Ibu Watini dan Bapak Iswanto. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN 5 Lempuyang Bandar hingga tahun 2015, kemudian melanjutkan pendidikan tingkat menengah di SMP Negeri 3 Way Pengubuan yang selesai pada tahun 2018, dan melanjutkan pendidikan tingkat menengah atas di SMK Negeri 2 Terbanggi Besar dan lulus pada tahun 2021. Pada tahun 2021, penulis melanjutkan studi S1 Teknik Mesin di Universitas Lampung melalui jalur SNMPTN. Selama proses perkuliahan, penulis aktif tergabung dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) sebagai anggota divisi Dana Usaha periode 2023/2024. Penulis berkesempatan untuk melakukan Kerja Praktek (KP) pada tahun 2024 di PT. Great Giant Foods, Lampung Tengah dengan judul laporan “Analisis Pengaruh Penggunaan Turbocharger Pada Mesin Diesel Sebagai Penggerak Sprinkle Pada Penyiraman Perkebunan Nanas Di Pt. Great Giant Foods” penulis menyelesaikan program studi S1 Teknik Mesin dengan judul skripsi “Pengembangan Alat Uji *Journal Bearing Demonstration* (Tm25) dengan Integrasi *Loadcell* Dan Mikrokontroler Untuk Monitoring *Frictional Torque* dan *Lifting Force*”, di bawah bimbingan bapak Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T., dan Bapak Nurcahya Nugraha, S.T., M.T., serta Bapak Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc. sebagai pembahas.

MOTTO

”Allahumma yassir wala tu assir”

Artinya : ”Ya Allah, permudahkanlah (urusanku) dan janganlah persulit.
(HR. Bukhari dan Muslim)

”wa may yattaqillāha yaj'al lahū makhrajā”

” wa yarzuqhu min ḥaiṣu lā yaḥtasib, wa may yatawakkal 'alallāhi fa huwa ḥasbuh, innallāha bāligu amrih, qad ja'alallāhu likulli syai'in qadrā”

Artinya: ”Barangsiapa bertakwa kepada Allah, niscaya Dia akan membukakan jalan keluar baginya, dan memberinya rezeki dari arah yang tidak disangkanya”

”Dan barangsiapa bertawakal kepada Allah, niscaya Allah akan mencukupi (keperluan)nya. Sesungguhnya Allah melaksanakan urusan-Nya. Sungguh, Allah telah mengadakan ketentuan bagi setiap sesuatu.”

(QS. At-Thalaq: ayat 2-3)

**“Seorang intelektual boleh salah
tetapi tidak boleh tidak jujur”**

UCAPAN TERIMA KASIH

Assalamu'alaikum Warahmatullohi Wabarokatuh.

Segala puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas segala rahmat, nikmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dalam keadaan sehat dan lancar. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad Shallallahu 'Alaihi Wassalam, suri teladan bagi seluruh umat, beserta keluarga, para sahabat, dan pengikut beliau hingga akhir zaman. Semoga kita semua mendapatkan syafaat beliau di hari pembalasan kelak. Skripsi ini disusun sebagai bentuk akhir dari pelaksanaan kegiatan penelitian dan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Harapan penulis, karya ini dapat memberikan manfaat dan menjadi kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya dalam bidang energi terbarukan berbasis biomassa.

Selama proses penyusunan skripsi ini, penulis memperoleh banyak pelajaran berharga dan dukungan dari berbagai pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu. Untuk itu, dengan segala kerendahan hati, penulis menyampaikan rasaterima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

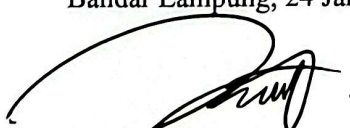
1. Bapak Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T., selaku dekan FT Unila.
2. Bapak Ahmad Suudi, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T., selaku pembimbing utama atas kesediannya untuk memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini.

4. Bapak Nurcahya Nugraha, S.T., M.T. selaku pembimbing kedua atas kesediaannya memberikan bimbingan, saran dan kritik dalam proses penyelesaian skripsi ini.
5. Bapak Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung sekaligus penguji yang telah bersedia mengoreksi serta meluruskan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
6. Bapak Nafrizal, S.T., M.T., selaku pembimbing akademik Seluruh Dosen di Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah menjadi guru dan mengajarkan dasar pengetahuan yang dibutuhkan kepada penulis.
7. Seluruh staff dan karyawan di Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung.
8. Orang tua penulis, Ibunda Watini dan Ayahanda Iswanto yang selalu mendampingi, mendoakan, mendukung, dan memberikan restu kepada penulis agar tetap bersemangat dalam menjalankan serta menyelesaikan studi Teknik Mesin Universitas Lampung.
9. Teman-teman Angkatan 2021 dan Tim Lab Mekanika Struktur yang menemani dan memberikan bantuan selama penulis menginjakkan kaki di bangku perkuliahan hingga fase skripsi.
10. Muhammad Fauzan Azima, teman seperjuangan skripsi saya yang selalu membantu dan berdiskusi dalam mengerjakan penelitian skripsi ini.
11. Teman – teman kost yang selalu kebersamai menulis skripsi ini.
12. Teman dari kecil hingga saat ini selalu bersama dan menjadikan motivasi untuk bersemangat mengerjakan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kemajuan ilmu pengetahuan di masa mendatang dari semua pihak. Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan pembaca.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Bandar Lampung, 24 Januari 2026



Wahyu Adani Ramadhan

DAFTAR ISI

BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Pengertian <i>Journal Bearing</i>	6
2.2. Prinsip Kerja <i>Journal Bearing</i>	7
2.3. Geometri <i>Journal Bearing</i>	10
2.4. Parameter yang Mempengaruhi Tekanan <i>Journal Bearing</i>	12
2.4.1. Kecepatan Putaran (RPM)	12
2.4.2. Kekentalan Pelumas (Viskositas)	12
2.4.3. Suhu Operasi.....	12
2.4.4. Geometri Bantalan	13
2.5. Viskositas	13
2.6. <i>Hydrodynamic Lubrication</i>	18
2.6.1. <i>Lifting Force</i> (Gaya Angkat)	19
2.6.2. <i>Friction Torque</i> (<i>Torsi Gesek</i>)	21
2.7. Akuisisi Data	22
2.7.1. <i>Loadcell</i>	23
2.7.2. Arduino Uno R3.....	24
2.8. Kalibrasi	24
BAB III METODE PENELITIAN.....	25
3.1. Diagram Alir Penelitian.....	25
3.2. Tahapan Pengembangan.....	26
3.2.1. Identifikasi Kebutuhan.....	26

3.2.2. Perancangan Konsep Produk	26
3.2.3. Perancangan Bentuk Produk (<i>Embodiment Design</i>).....	28
3.3. Peralatan dan Komponen Uji.....	29
3.3.1. <i>Journal Bearing Demonstration</i> TM25	29
3.3.2. Oli Pelumas.....	31
3.3.3. Beban Kalibrasi.....	31
3.3.4. Komponen dan Mikrokontoler	32
3.3.5. <i>Set-Up</i> Kalibrasi.....	32
3.3.6. <i>Software</i>	33
3.4. Fabrikasi dan Kalibrasi Sistem.....	33
3.5. Rancangan Eksperimen	35
3.6. Prosedur Penelitian.....	38
3.6.1. Kalibrasi <i>Loadcell</i>	38
3.6.2. Preparasi Pengujian Pembacaan Manometer.....	39
3.6.3. Parameter Pengambilan Data Pengukuran Excel	40
3.6.4. Pengambilan Data Gaya Angkat (<i>Lifting Force</i>).....	41
3.6.5. Pengambilan Data Torsi Gesek (<i>Friction Torque</i>)	41
3.7. Melakukan Pengujian Dengan Variasi Viskositas Oli	42
3.8. Tempat Dan Waktu Penelitian	43
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	50
4.1. Hasil Pengembangan Alat Uji	50
4.2. Kalibrasi dan Uji Fungsi Awal.....	51
4.2.1. Kalibrasi Sensor <i>Loadcell</i> 1 (Gaya Angkat).....	52
4.2.2. Kalibrasi Sensor <i>Loadcell</i> 2 (Torsi Gesek).....	54
4.3. Hasil Eksperimen	55
4.3.1. Pengujian distribusi tekanan	55
4.3.2. Hasil Sensor <i>Loadcell</i>	63
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	72
5.1. Kesimpulan.....	72
5.2. Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. <i>Journal Bearing</i>	6
Gambar 2.2. (a)Posisi <i>Bearing</i> Saat Diam, (b)Permulaan Awal dan (c) Operasi Normal.....	8
Gambar 2.3. Geometri <i>Journal Bearing</i>	10
Gambar 2. 4. Kekentalan Fluida	13
Gambar 2.5. Grafik Viskositas Oli Dalam Satuan S.A.E Terhadap Satuan (mPa.s)	17
Gambar 2. 6. Lubrication Regimes	19
Gambar 2. 7. Prinsip Kerja <i>Loadcell</i>	23
Gambar 3. 1. Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 3. 2. Sketsa Arah Gaya	26
Gambar 3. 3. Konsep Desain <i>Journal Bearing</i> (TM25) berbasis <i>loadcell</i>	27
Gambar 3.4. Desain Model <i>Journal Bearing</i> Terintegrasi <i>Loadcell</i>	28
Gambar 3. 5. <i>Journal Bearing Demonstration</i> TM25	29
Gambar 3. 6. Tampak Samping TM25 <i>Journal Bearing Demonstration</i>	30
Gambar 3. 7. Tampak Depan TM25 <i>Journal Bearing Demonstration</i>	30
Gambar 3. 8. (a) SAE 10W30, (b) SAE 10W40, (c) SAE20W50	31
Gambar 3. 9. Beban Kalibrasi	31
Gambar 3. 10. Komponen Mikrokontoler.....	32
Gambar 3. 11. Set-Up Kalibrasi.....	32
Gambar 3. 30. Skema Pengambilan Data.....	35
Gambar 3.31. Desain Sirkuit Pada Komponen Yang Digunakan	37
Gambar 3. 32. <i>Control Panel</i>	39
Gambar 4. 1 Hasil Pengembangan	50
Gambar 4. 2. Kotak Mikrokontroler	51
Gambar 4. 3 Grafik <i>Linear</i> Kalibrasi <i>Loadcell</i> 1	53
Gambar 4. 4. Grafik <i>Linear</i> Kalibrasi <i>Loadcell</i> 2	54

Gambar 4. 5. Distribusi Tekanan Axial Oli Pelumas (P.a) SAE 10W30.....	57
Gambar 4. 6. Distribusi Tekanan Axial Oli Pelumas (Pa) SAE10W40.....	58
Gambar 4. 7. Distribusi Tekanan Axial Oli Pelumas (Pa) SAE 20W50.....	59
Gambar 4. 8. Distribusi Tekanan Radial (Pa) Oli Pelumas SAE 10W30	60
Gambar 4. 9. Distribusi Tekanan Radial (Pa) Oli Pelumas SAE 10W40	61
Gambar 4. 10. Distribusi Tekanan Radial (Pa) Oli Pelumas SAE 20W50	62
Gambar 4. 11. Grafik <i>Friction Torque</i> (N.m) Terhadap Kecepatan Putar (RPM) untuk Berbagai Jenis Oli	65
Gambar 4. 12. Perbandingan <i>Friction Torque</i> Hasil Pembacaan <i>Loadcell</i> dan Teoritis SAE 10W 30	67
Gambar 4. 13. Grafik Perbandingan Torsi Hasil Pembacaan <i>Loadcell</i> dan Teoritis SAE 10W 40	68
Gambar 4. 14. Grafik Perbandingan Torsi Hasil Pembacaan <i>Loadcell</i> dan Teoritis SAE 20W 50	69
Gambar 4. 15. Grafik <i>Lift Force</i> (N) Terhadap Kecepatan Putar (RPM) untuk Berbagai Jenis Oli	70

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. Rancangan Data kalibrasi Loadcell.....	34
Tabel 3. 2. Rencana Pengambilan Data Distribusi Tekanan	36
Tabel 3. 3. Parameter Pengambilan Data Pengukuran Excel.....	40
Tabel 4. 1. Kalibrasi <i>Loadcell</i> 1 (Gaya Angkat)	52
Tabel 4. 2. Kalibrasi Loadcell 2 (Torsi Gesek).....	54
Tabel 4.3. Data Manometer Pengujian Distribusi Tekanan Pelumasan.....	56
Tabel 4. 4. Data Hasil Pengukuran Dengan Loadcell	63
Tabel 4. 5. Data Gaya Torsi Dari Hasil Pembacaan Loadcell	65
Tabel 4. 6. Perbandingan Torsi Gesek Hasil Pembacaan Loadcell dan Teoritis ..	66
Tabel 4. 7. Data Gaya Angkat Dari Pembacaan Loadcell.....	70

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Journal bearing merupakan komponen mekanikal yang banyak digunakan untuk menopang poros berputar dalam berbagai aplikasi mesin, baik di industri otomotif, kelistrikan, hingga manufaktur. Salah satu parameter penting dalam analisis kinerja *journal bearing* adalah *friction torque* (torsi gesek) dan *lifting force* (gaya angkat), (kemampuan *bearing* menahan beban radial). Pengukuran kedua parameter ini sangat krusial untuk mengetahui efektivitas pelumasan, kinerja *journal bearing*, serta potensi kegagalan dini pada sistem permesinan.

Saat ini, alat uji *journal bearing* tipe TM25 yang umum digunakan di laboratorium teknik mesin masih memiliki keterbatasan, terutama dalam hal pengukuran parameter *friction torque* dan *lifting force* secara *real-time* dan akurat. Alat ini umumnya hanya digunakan untuk pengamatan visual dan pengukuran manual tanpa sistem akuisisi data terintegrasi. Dengan berkembangnya teknologi sensor dan mikrokontroler seperti Arduino, kini memungkinkan dilakukan integrasi antara *loadcell* sebagai sensor gaya dan sistem akuisisi data untuk mencatat dan menganalisis parameter tribologi secara langsung dan terus-menerus.

Beberapa penelitian sebelumnya menguatkan pentingnya pemantauan *friction torque* dan gaya radial pada *bearing*. (Yi dkk., 2022), melakukan studi eksperimental untuk mengukur karakteristik beban statis pada *hydrostatic journal bearing*. Mereka menekankan pentingnya pemantauan distribusi tekanan dan kapasitas beban sebagai indikator utama performa

bearing dalam kondisi kerja nyata. Selain itu, penelitian oleh (Zhu dkk., 2021), mengembangkan metode pengukuran spektrum beban pada *bearing* dan menyatakan bahwa arah dan besar beban sangat memengaruhi umur pakai *bearing* secara keseluruhan.

Dari sisi instrumentasi, (Karki dkk., 2023), merancang dan menganalisis transduser torsi dinamis berbasis mikrokontroler yang mampu mencatat perubahan torsi secara *real-time*, sebuah pendekatan yang dapat diadaptasi dalam pengembangan alat uji *bearing*. Di sisi lain, (Chernets dkk., 2021), melakukan estimasi prediktif terhadap kapasitas beban dan durabilitas tribologis dari sliding *bearing* menggunakan pendekatan numerik dan eksperimental yang menyoroti pentingnya validasi data pengukuran dalam sistem *bearing* yang kompleks.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan pengembangan dan modifikasi alat uji *journal bearing* tipe TM25 dengan integrasi *loadcell* dan mikrokontroler untuk memonitor *friction torque* dan *lifting force* secara *real-time*. Inovasi ini diharapkan mampu meningkatkan kualitas data eksperimen, efisiensi waktu pengujian, serta memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem uji tribologi yang lebih modern dan aplikatif. Pengembangan alat ini juga dapat berkontribusi pada pemahaman yang lebih baik tentang distribusi tekanan dalam *journal bearing*, yang merupakan faktor penting dalam performa pelumasan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dijelaskan di atas, maka rumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengembangkan alat uji *journal bearing* (TM25) agar mampu mengukur (torsi gesek) *friction torque* dan (*lifting force*) *lifting force* secara *real-time*?

2. Bagaimana mengukur (torsi gesek) *friction torque* dan (*lifting force*) *lifting force* yang terintegrasi oleh *loadcell* dan data akuisisi
3. Apa pengaruh pengukuran *real-time* terhadap efektivitas analisis performa *journal bearing*?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan mengembangkan sistem uji kinerja *journal bearing* TM25 yang terintegrasi dengan *loadcell* dan mikrokontroler untuk memperoleh data *lifting force* dan *frictional torque* secara *real-time*
2. Melakukan eksperimen alat uji *journal bearing* (TM25) berbasis *loadcell* dan data akuisisi dengan dua variabel pengujian kecepatan putar dan viskositas.

1.4. Batasan Masalah

Berdasarkan tujuan penelitian di atas, maka penelitian ini memiliki batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Pengujian hanya dilakukan menggunakan alat uji *journal bearing* tipe TM25 yang dimodifikasi.
2. Penelitian ini hanya berfokus pada pengukuran *frictional torque* pada *journal bearing* menggunakan sistem berbasis *loadcell* dan data akuisisi, tanpa membahas aspek lain seperti keausan material atau umur pakai *bearing*.
3. Jenis *journal bearing* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *journal bearing* dengan konfigurasi tertentu (misalnya diameter dan panjang spesifik) yang sesuai dengan kebutuhan pengujian, tanpa mempertimbangkan variasi desain *bearing* lainnya.

4. Sistem yang digunakan hanya difokuskan pada pengaruhnya terhadap perubahan *frictional torque* dan *lifting force*, tidak mencakup aspek lain seperti efek elektrostatik terhadap pelumasan.
5. Pengujian dilakukan dalam kondisi laboratorium dengan parameter yang dikontrol, seperti beban, kecepatan putar, dan jenis pelumas.
6. Analisis data yang dilakukan hanya mencakup pada hubungan antara parameter pengujian (kecepatan putar, pelumas,) terhadap gaya torsi, dan *lifting force*, tanpa melakukan simulasi numerik atau pemodelan CFD (*Computational Fluid Dynamics*) secara lebih lanjut.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penulisan laporan penelitian ini yaitu sebagai berikut:

I. PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian latar belakang dari penelitian ini, kemudian tujuan dilakukannya penelitian ini, lalu pemberian batasan masalah agar hasil penelitian lebih terarah, serta sistematika penulisan yang digunakan pada penulisan laporan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi landasan teori-teori dasar seperti: pengertian *journal bearing*, prinsip kerja *journal bearing*, geometri *journal bearing*, serta beberapa parameter *journal bearing*, viskositas, *hydrodynamic lubricant*, serta data akuisisi, yang bermaksud untuk menunjang penelitian ini.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan alat dan bahan penelitian yang digunakan, tempat dan waktu penelitian yang akan dilakukan, serta alur tahapan pelaksanaan penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan tentang hasil akhir dari alat *jurnal bearing* (TM25) terhadap pengembangan monitoring yang terintegrasi oleh Arduino dengan sensor *loadcell* dan pembahasan analisis data data yang telah didapatkan saat maupun setelah pengujian.

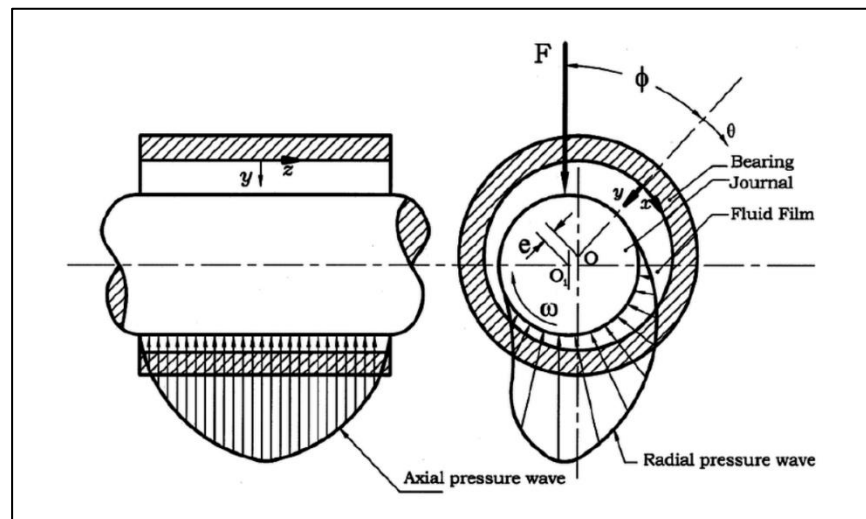
V. SIMPULAN DAN SARAN

Berisikan tentang kesimpulan dan saran yang dapat diambil atau diberikan atas hasil penelitian ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian *Journal Bearing*

Dalam bidang mekanik, *bearing* adalah bagian dari mesin yang berperan untuk membatasi gerakan relatif antara dua atau lebih bagian mesin, sehingga gerakan tersebut terjadi sesuai dengan arah yang ditentukan. Membuat poros (*shaft*) tetap berputar terhadap sumbu porosnya, atau memastikan komponen yang bergerak lurus tetap berada di jalurnya. Permukaan dalam *bearing* dipisahkan oleh fluida atau komponen lainnya seperti bola dan gulungan. Salah satu jenis *bearing* yang menggunakan fluida sebagai pengisolasi antar bagian adalah *bearing journal*.



Gambar 2.1. *Journal Bearing*

(Thang, 2022)

Journal bearing atau bantalan poros merupakan salah satu elemen mekanis yang berfungsi menopang poros berputar dengan menerima

beban radial. Komponen ini bekerja dengan memanfaatkan lapisan pelumas berupa oli yang membentuk film tipis di antara permukaan poros dan permukaan bantalan. Keberadaan film pelumas tersebut bertujuan menurunkan gaya gesek dan tingkat keausan, sekaligus memastikan poros dapat berputar secara stabil dan halus. Secara konstruktif, *journal bearing* tersusun atas dua bagian utama, yaitu poros (*shaft*) dan lubang silinder (*housing*). Pada sistem ini, poros disebut sebagai *journal*, sedangkan lubang silinder berperan sebagai *bearing*. Penggunaan bantalan luncur memungkinkan poros beroperasi pada kecepatan putar yang sangat tinggi, sehingga untuk meredam getaran, kejutan, dan kebisingan yang timbul, diterapkan sistem pelumasan berbentuk cair. (Kusuma dkk., 2023).

Gambar 2.1 merupakan kondisi operasi *journal bearing*, distribusi tekanan dalam film pelumas. Tekanan ini muncul akibat perbedaan kecepatan putaran poros (RPM), kekentalan oli, serta distribusi beban pada bantalan. Pelumas ini harus cukup tebal untuk mencegah kontak langsung antara permukaan logam dari poros dan *bearing*, sehingga keausan dapat diminimalkan (Thang, 2022).

2.2. Prinsip Kerja *Journal Bearing*

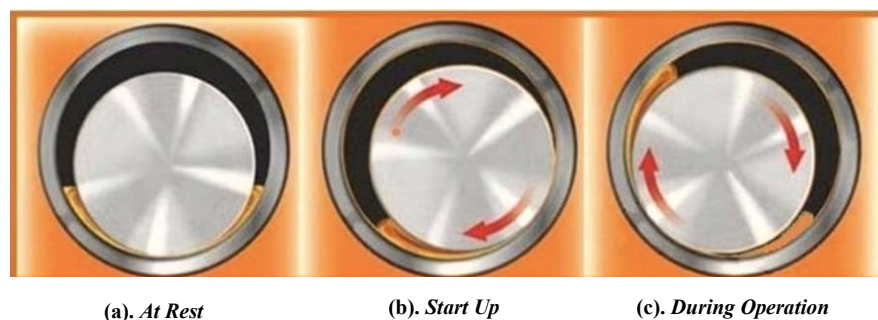
Journal bearing beroperasi dengan mengacu pada prinsip *hidrodynamic*, di mana film pelumas yang terbentuk akibat rotasi poros menghasilkan *lifting force* yang mampu menopang beban radial. Saat poros berputar, pelumas tertarik masuk ke celah antara poros dan bantalan karena pengaruh viskositasnya. Kondisi ini menyebabkan terbentuknya lapisan pelumas tipis yang menimbulkan tekanan sepanjang permukaan bantalan. Permukaan *journal* dan *bearing* tidak saling bersentuhan secara langsung karena dipisahkan oleh lapisan pelumas, baik berupa cairan maupun gas, yang menciptakan *clearance* di antara keduanya. Nilai

clearance ini umumnya sangat kecil, yaitu sekitar 1/1000 dari jari-jari *journal*, dan memiliki empat fungsi utama, yaitu:

1. Mempermudah proses *assembling* antara *journal* dan *bearing*
2. Menyediakan ruang bagi pelumas.
3. Mengakomodasi terjadinya ekspansi termal.
4. Mentoleransi *misalignment* (ketidaksejajaran) dan defleksi poros.

Ketika alat tidak dipegang atau tidak ada beban, pusat *journal* dan *bearing* tidak berhimpit, tetapi terpisah oleh jarak yang disebut eksentrisitas. Susunan eksentrisitas terjadi karena bentuk geometri irisan yang mendekat, disertai dengan gerakan relatif antara *journal* dan *bearing*, sehingga terbentuk tekanan karena pengaruh viskositas pada lapisan pelumas, akhirnya menghasilkan gaya angkat. Namun, jika beban terlalu berat atau pergerakan poros terlalu perlahan, bentuk irisan ini tidak akan muncul, sehingga terjadi kontak antara dua benda padat (bantalan dan poros). (Muchammad, 2018).

Pelumasan hidrodinamis memungkinkan bearing mampu menangani beban yang sangat berat dan berjalan dengan kecepatan tinggi. Sangat penting untuk memahami bahwa poros yang berputar memiliki titik pusat yang berbeda dengan bearing saat beroperasi secara normal. Jarak offset dari eksentrisitas bearing menghasilkan posisi khusus pada ketebalan minimum film pelumas, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. (a) Posisi *Bearing* Saat Diam, (b) Permulaan Awal dan (c) Operasi Normal

(Ebiefung, 2019)

Gambar 2.2 menunjukkan perubahan letak poros terhadap bantalan (*journal bearing*) dalam tiga kondisi kerja yang berbeda, yaitu ketika tidak bergerak (diam), saat mulai berputar (*startup*), dan ketika berjalan dengan normal (dalam operasi). Seperti pada gambar 2.2, dalam kondisi diam, poros berada di bagian bawah bantalan karena tidak ada gaya angkat yang dihasilkan oleh tekanan pelumasan. Celah antara permukaan poros dan bantalan diisi sepenuhnya oleh fluida pelumas saat tidak bergerak, tanpa menciptakan tekanan hidrodinamik.

Saat sistem mulai berjalan (*startup*) seperti pada gambar 2.2 (b), putaran poros membuat cairan pelumas mulai menempel dan mengalir di antara permukaan poros dan bantalan. Aliran ini menyebabkan perbedaan tekanan karena perbedaan kecepatan aliran cairan di sepanjang celah pelumasan. Meskipun tekanan belum sepenuhnya stabil, pada tahap ini mulai terbentuk lapisan tipis pelumas yang membantu mengurangi kontak langsung antara poros logam dan bantalan.

Selanjutnya, dalam kondisi operasi normal seperti pada gambar 2.2 (c), kecepatan rotasi poros meningkat sampai mencapai kondisi yang stabil. Pada tahap ini, muncul tekanan hidrodinamik terbesar di sisi masuk aliran fluida, yang menghasilkan gaya angkat (gaya angkat hidrodinamik). Gaya ini membuat poros sedikit terangkat dari tempatnya semula, sehingga terbentuk lapisan pelumas yang stabil di antara permukaan poros dan bantalan. Lapisan ini bertindak sebagai penghalang fisik yang mencegah terjadinya keausan dan mengurangi gesekan antara kedua permukaan tersebut.

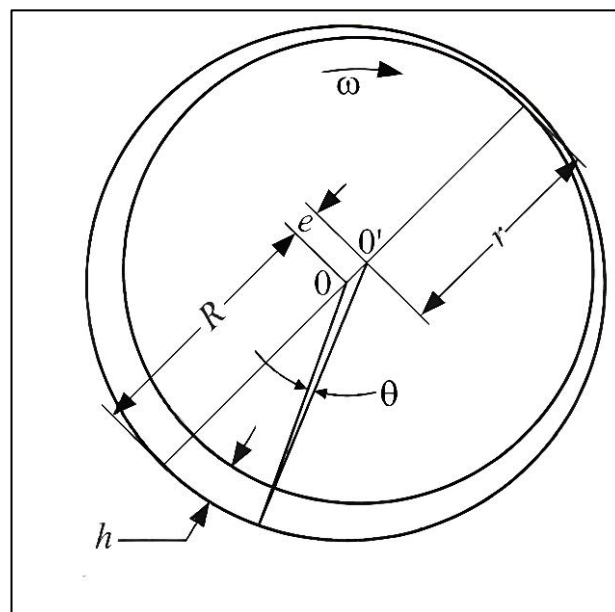
Fenomena ini disebut efek baji, di mana gerakan relatif antara poros dan bantalan menyebabkan cairan tertumpuk di celah berbentuk baji, menciptakan tekanan yang cukup besar untuk mendukung beban poros. Secara umum, ketebalan minimum film pelumas juga berarti sebagai *clearence* dinamis yang digunakan dalam operasi. Pengetahuan tentang pelumas film sangat membantu dalam menentukan jenis filter yang digunakan dan seberapa halus permukaan logam tersebut. Ketebalan

film akan lebih tebal ketika *bearing* yang digunakan memiliki diameter lebih besar. Nilainya dipengaruhi oleh bilangan *bearing* (bilangan *Sommerfeld*) dan *Reynold*. (Jeung & Suh, 2020).

Tekanan di area kontak pada sebuah *journal bearing* lebih rendah dibandingkan dengan tekanan yang terjadi pada *bearing rolling*. Ini terjadi karena area kontak yang lebih luas akibat adanya dua permukaan yang saling sesuai antara poros dan *bearing*. Tekanan rata-rata pada *journal bearing* dihitung berdasarkan tekanan yang terjadi akibat perluasan. (Asim dkk., 2023).

2.3. Geometri *Journal Bearing*

Adapun Geometri *journal bearing* hidrodinamis dapat dilihat dalam Gambar 2.3 berikut ini.



Gambar 2.3. Geometri *Journal Bearing*

(Paul dkk., 2016)

Persamaan yang dipakai untuk menganalisa *journal bearing* antara lain:

1. Radial *Clearence*

Radial *clearence* merupakan perbedaan antara radius *bearing* dan *journal*. Secara matematis terdapat pada persamaan 2.1

$$C = R - r \quad (2.1)$$

2. Eksintrisitas

Ini adalah jarak radius antara titik pusat *bearing* (O) dan ketika posisi titik pusat *bearing* berpindah saat diberi beban. Eksentrisitas dinotasikan dengan huruf *e*.

3. Rasio eksintrisitas

Ini adalah rasio eksentrisitas terhadap radial *clearence*. Secara matematis dapat dilihat pada persamaan 2.2

$$n = \frac{e}{c} \quad (2.2)$$

4. Ketebalan film pelumas

Pelumas yang mengisi *clearence* disebut film pelumas. Film pelumas memengaruhi kemampuan daya dukung serta kontak langsung yang terjadi. Film pelumas yang lebih stabil juga membantu mengurangi keausan dan meningkatkan kinerja *bearing* secara bertahap. Ketebalan film pelumas pada sebuah *bearing* dapat diperoleh dengan persamaan 2.3.

(2.3)

$$h = c (1 + n \cos \theta)$$

Pada kisaran $\theta = 0 - \pi$ pada Gambar 2.3 ketebalan film pelumas akan menurun sesuai dengan arah rotasi poros, dan akan meningkat kembali pada kisaran $\theta = \pi - 2\pi$. Ketebalan minimum film pelumas adalah jarak minimum antara *bearing* dan *journal* saat terjadi kondisi pelumasan sempurna. Dinotasikan dengan h_{min} Nilainya didapat dari persamaan 2.4.

$$h_{min} = c (1 - n) \quad (2.4)$$

Pada kisaran dimana ketebalan film menurun pada arah rotasi poros, tekanan positif terjadi pada film pelumas karena adanya putaran poros (efek *wedge*), dan akan memberikan gaya dukung pada poros (Dhande & Pande, 2017).

2.4. Parameter yang Mempengaruhi Tekanan *Journal Bearing*

Distribusi tekanan dalam *journal bearing* dipengaruhi oleh beberapa parameter. Adapun beberapa parameternya adalah sebagai berikut :

2.4.1. Kecepatan Putaran (RPM)

Semakin cepat poros berputar, maka semakin cepat pula cairan pelumas yang mengalir di antara poros dan bantalan. Ini meningkatkan tekanan hidrodinamis yang muncul dalam lapisan pelumas. Secara matematis, kecepatan putaran memengaruhi tekanan karena meningkatkan gaya sentrifugal dan memperbesar perbedaan tekanan di dalam lapisan pelumas..

2.4.2. Kekentalan Pelumas (Viskositas)

Minyak yang lebih kental akan menghasilkan lapisan yang lebih tebal, sehingga penyebaran tekanan dalam pelumas juga akan lebih baik. Oli yang kental akan membentuk lapisan pelumas yang lebih tebal dan memberikan tekanan yang lebih besar. Viskositas oli biasanya tergantung pada suhu. Semakin suhu naik, semakin tipis oli itu, dan sebaliknya..

2.4.3. Suhu Operasi

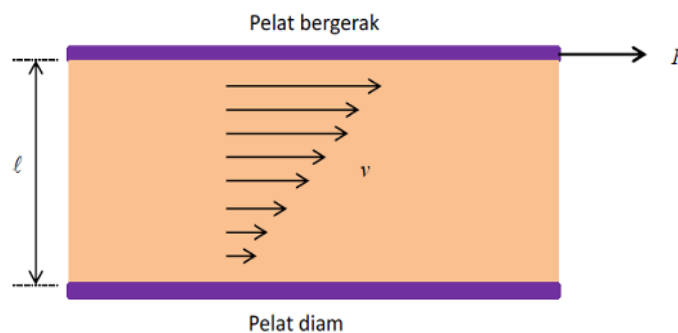
Suhu operasi juga mempengaruhi kinerja *journal bearing*. Suhu yang semakin tinggi bisa membuat pelumas lebih encer, sehingga kemampuan pelumas untuk menjaga tebalnya lapisan pelindung

menjadi berkurang. Pada suhu yang lebih dingin, pelumas menjadi lebih kental, namun bisa membuat aliran pelumas lebih sulit..

2.4.4. Geometri Bantalan

Panjang bantalan, ukuran diameter poros, serta jarak antara poros dan bantalan merupakan hal penting dalam menentukan bagaimana tekanan terdistribusi. Geometri yang sesuai bisa membuat film pelumas lebih stabil dan menyebar tekanan secara merata (Kusuma dkk., 2023)

2.5. Viskositas



Gambar 2. 4. Kekentalan Fluida

(Lubis, 2018)

Viskositas adalah sifat alami dari fluida, baik cair maupun gas, yang menunjukkan seberapa besar kemampuan fluida untuk menahan aliran akibat gaya gesekan antara lapisan-lapisan molekul yang bergerak di dalamnya. Sederhananya, viskositas menggambarkan kekentalan suatu fluida. Semakin kental cairan tersebut, semakin sulit cairan itu mengalir. Sebaliknya dengan viskositas rendah mengalir lebih mudah. Konsep viskositas juga berkaitan dengan hukum Newton untuk fluida, seperti yang terdapat dalam persamaan 2.5.

$$\tau = \eta \frac{du}{dy} \quad (2.5)$$

Dimana

τ = tegangan geser (pa)

η = viskositas dinamis (pa.s)

$\frac{du}{dy}$ = gradien kecepatan antara lapisan fluida (1/s).

Pada gambar 2.4 terlihat dua pelat yang sejajar dengan fluida berada di antara keduanya, pelat bawah tidak bergerak, sedangkan pelat atas bergerak dengan kecepatan tetap (v). Ketika plat di atas bergerak, lapisan cairan yang melekat padanya ikut bergerak, sedangkan lapisan cairan yang melekat pada plat yang tidak bergerak tetap tidak bergerak. Akibatnya, terbentuk perbedaan kecepatan antara kedua lapisan. Kondisi ini menunjukkan sifat alami dari fluida viskos, yaitu adanya hambatan dalam yang membuat lapisan fluida sulit bergerak satu sama lain. Semakin besar tahanan itu, semakin besar pula viskositas (μ) fluida, seperti yang disebutkan oleh (Lubis, 2018).

Jenis pelumas mempengaruhi performa tribologis secara signifikan. Pelumas dengan viskositas tinggi membentuk lapisan pelindung yang lebih kuat (Nikolakopoulos & Bompos, 2015). Ada beberapa jenis viskositas, yaitu viskositas dinamis dan viskositas kinematik. Secara dasarnya viskositas dinamis adalah kemampuan fluida untuk menahan gaya geser. Viskositas kinematika adalah perbandingan antara viskositas dinamis dan densitas fluida. Karakteristik fluida dipengaruhi suhu dan tekanan. Dalam fluida cair, bila suhu meningkat maka viskositas akan berkurang atau molekul-molekul akan bergerak lebih lancar. Jika suhu berkurang, maka viskositas juga akan berkurang. Tekanan tinggi membuat viskositas cairan meningkat, sedangkan tekanan rendah membuat viskositas lebih rendah (Chong dkk., 2021).

Sistem SAE digunakan untuk mengelompokkan viskositas oli berdasarkan kemampuannya bekerja di suhu dingin dan panas. Klasifikasi ini memastikan oli mampu melumasi bagian mesin dengan baik dalam berbagai situasi, baik ketika suhu rendah saat mesin baru dinyalakan maupun saat suhu tinggi ketika mesin sedang bekerja. Sistem ini membagi ketebalan oli menjadi dua bagian, biasanya ditulis dalam format seperti SAE 10W-40. Pada gambar 2.5 tersebut menunjukkan grafik yang menjelaskan hubungan antara viskositas dinamis oli dengan suhu, yang disebut juga sebagai *Temperature Viscosity Chart*, untuk berbagai jenis oli dengan tingkat kekentalan berbeda sesuai klasifikasi SAE (*Society of Automotive Engineers*) (Nugroho dkk., 2012).

Bagian pertama, angka yang ada sebelum huruf "W" (seperti 10W), menunjukkan kemampuan oli tersebut untuk tetap cair dalam suhu yang dingin. Huruf "W" mengacu pada "*Winter*", yang berarti kemampuan beroperasi pada musim dingin atau kondisi suhu rendah. Angka yang lebih kecil membuat oli tersebut lebih cair pada suhu dingin, sehingga lebih mudah mengalir dan memudahkan mesin untuk dinyalakan. Justru, angka yang lebih besar berarti oli lebih kental saat suhu dingin, hal ini bisa menyulitkan mesin yang beroperasi di lingkungan bersuhu rendah..

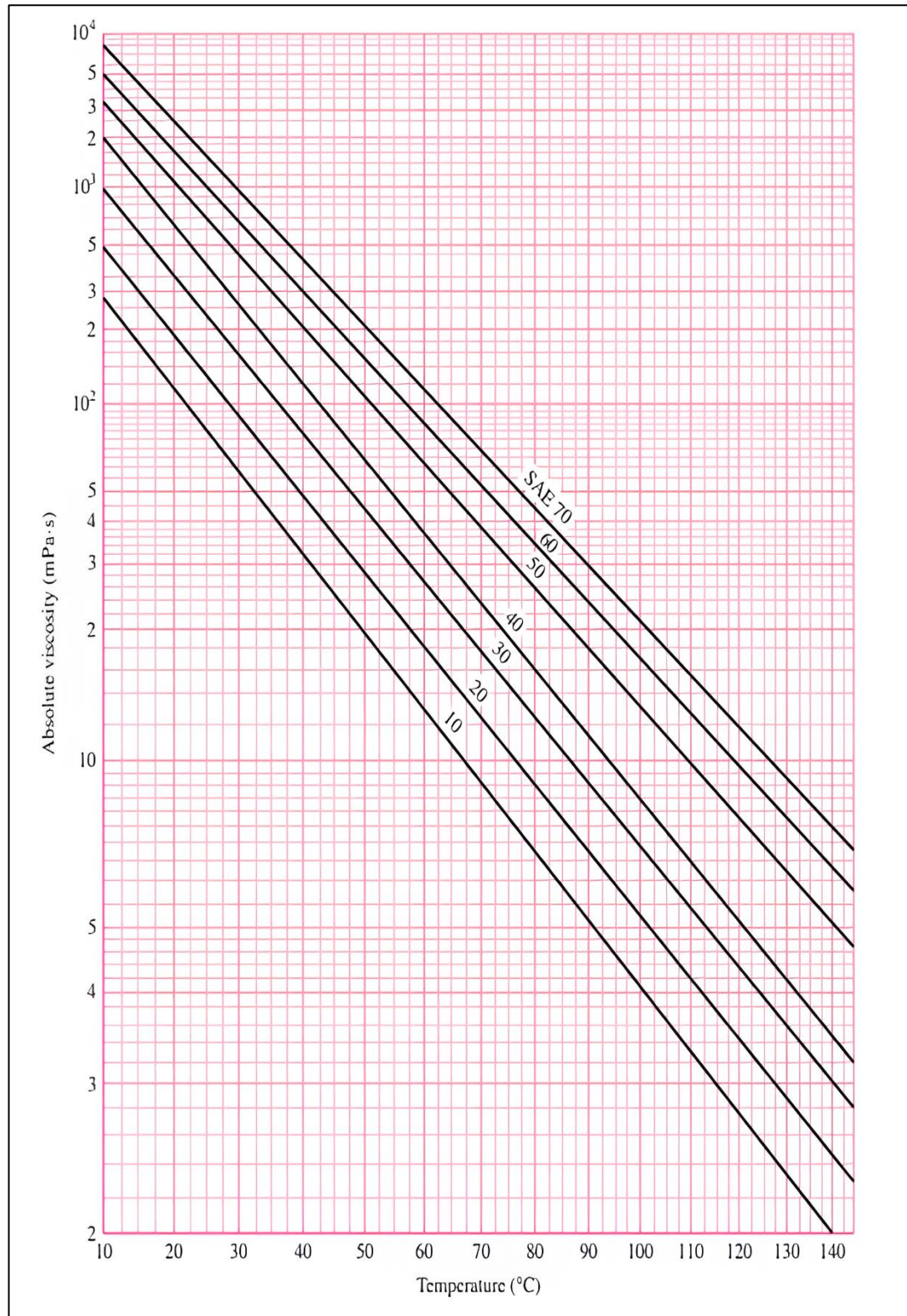
$$f = 2\pi^2 \frac{\mu N}{P} \frac{r}{c} \quad (2.6)$$

Persamaan 2.6 adalah persamaan yang dikembangkan oleh *Petrof* dan diterbitkan pada tahun 1883. Dua besaran $\mu N/P$ dan r/c merupakan parameter yang sangat penting dalam proses pelumasan (Richard dkk., 2011). Dengan mengganti dimensi yang tepat pada setiap parameter, akan terlihat bahwa keduanya tidak memiliki satuan dimensi. Angka karakteristik *bearing*, atau angka *Sommerfeld*, didefinisikan oleh persamaan 2.7.

$$S = \left(\frac{r}{c}\right)^2 \frac{\mu N}{p} \quad (2.7)$$

Persamaan 2.7 merupakan angka *Sommerfeld* yang sangat penting dalam analisis pelumasan karena mencakup banyak parameter yang ditentukan oleh perancang. Peningkatan kecepatan putar dapat mengurangi torsi karena terbentuknya film pelumas yang lebih tebal, seperti yang ditunjukkan oleh (Maurya dkk., 2019). Perlu diketahui bahwa angka ini tidak memiliki satuan. Besaran r/c disebut rasio kelonggaran radial.

Rasio kelonggaran radial sangat berpengaruh dalam menentukan bagaimana tekanan terdistribusi di dalam sistem pelumasan, yang kemudian langsung memengaruhi efisiensi kerja mesin. Pelumasan yang baik tidak hanya membuat komponen mesin berjalan lancar, tetapi juga mengurangi kemungkinan terjadinya kerusakan atau kegagalan sistem secara signifikan (Indriyani & Dwisetiono, 2021).



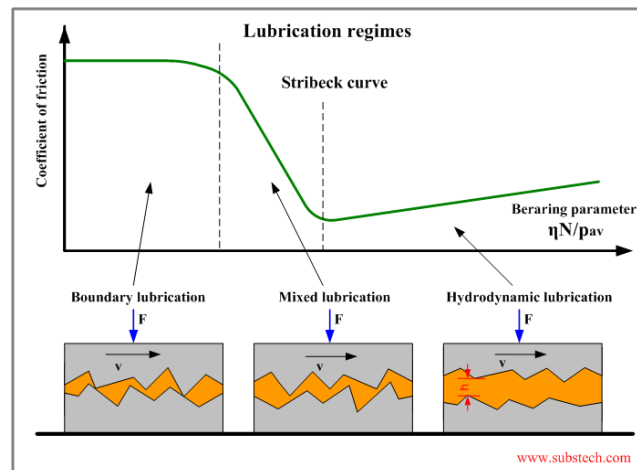
Gambar 2.5. Grafik Viskositas Oli Dalam Satuan S.A.E Terhadap Satuan (mPa.s)

(Richard dkk., 2011)

2.6. *Hydrodynamic Lubrication*

Hidrodinamik adalah ilmu yang mempelajari cara bergerakanya cairan, seperti air dan minyak, serta perilaku yang terjadi saat cairan itu bergerak. Dalam bidang teknik dan mekanika, hidrodinamik sering membahas bagaimana fluida berinteraksi dengan permukaan yang bergerak atau dengan benda di sekitarnya, sehingga menghasilkan gaya dan tekanan tertentu. *Lubrication* adalah cara atau metode yang digunakan untuk mengurangi gesekan, keausan, dan panas yang timbul ketika dua permukaan saling bersentuhan dan bergerak satu sama lain. Dalam proses pelumasan, digunakan bahan pelumas seperti minyak, mentega, atau cairan khusus untuk membentuk lapisan di antara permukaan yang saling bersentuhan, sehingga mengurangi kontak langsung antara kedua permukaan tersebut (De Nardis & Doyon, 2023).

Pada saat mesin baru dijalankan, bearing jenis *journal* mengalami peralihan dari jenis pelumasan kering atau campuran ke pelumasan hidrodinamik yang sempurna. Fase ini memiliki torsi gesek yang sangat besar karena sifat kental pelumas belum mampu membentuk lapisan pemisah yang cukup. Fenomena *stick-slip* dan tekanan spesifik sangat memengaruhi besarnya torsi gesek selama tahap ini (Bouyer & Fillon, 2011). Pelumasan hidrodinamik adalah cara pelumasan di mana terbentuk lapisan cair yang cukup tebal antara dua permukaan yang bergerak, sehingga mencegah gesekan langsung antara kedua permukaan tersebut. Lapisan pelumas ini terbentuk karena tekanan cairan yang dihasilkan akibat gerakan relatif antar permukaan dan bentuk geometrisnya. Fenomena yang berhubungan dengan pelumasan secara umum sangat rumit, karena misalnya kompleksitas peristiwa di permukaan dan pendekatan teori yang digunakan. Namun, dalam kasus pelumasan dengan rendaman minyak, *Reynolds* menganggap bahwa lapisan minyak terlalu tebal sehingga teori hidrodinamika bisa digunakan (Layton dkk., 2023).



Gambar 2. 6. *Lubrication Regimes*

(Kopeliovich, 2023)

Gambar 2.6 tersebut menunjukkan kurva Stribeck atau *lubrication regimes* yang menggambarkan hubungan antara koefisien gesek (*coefficient of friction*) dan parameter pelumasan ($\eta N/P$), yang menjelaskan tiga rejim pelumasan utama, yaitu *boundary lubrication*, *mixed lubrication*, dan *hydrodynamic lubrication*. Pada rejim *boundary lubrication*, lapisan pelumas sangat tipis sehingga masih terjadi kontak langsung antar permukaan logam, menyebabkan gesekan dan keausan tinggi. Saat kecepatan meningkat dan film pelumas mulai terbentuk sebagian, sistem memasuki rejim *mixed lubrication*, di mana sebagian beban didukung oleh film fluida dan gesekan menurun signifikan. Pada rejim *hydrodynamic lubrication*, film pelumas sepenuhnya memisahkan permukaan kontak akibat efek baji hidrodinamik, menghasilkan koefisien gesek minimum dan kondisi pelumasan paling ideal. Dengan demikian, kurva ini menggambarkan bagaimana peningkatan viskositas fluida atau kecepatan rotasi dapat mengubah mekanisme pelumasan dari gesekan padat menjadi gesekan fluida murni yang efisien.

2.6.1. *Lifting Force* (Gaya Angkat)

Lifting force atau *gaya angkat* merupakan salah satu karakteristik utama dari *journal bearing* yang menentukan kemampuannya dalam

menahan beban radial. Gaya ini dapat muncul yang disebabkan oleh tekanan hidrodinamik yang dihasilkan oleh *lubricant* atau pelumas yang bergerak di antara permukaan poros dan bantalan. Ketika poros berputar, pelumas tertarik ke dalam celah sempit antara poros dan bantalan sehingga menghasilkan distribusi tekanan yang mampu mengangkat poros dari permukaan bantalan dan mencegah kontak langsung antara logam. Hal ini dapat mengurangi keausan dan dapat meningkatkan efisiensi pada sistem mekanik.

Dalam studi (Raud dkk., 2013), ditunjukkan bahwa kehadiran kantong pengangkat mampu meningkatkan ketebalan minimum film pelumas (minimum film *thickness*) secara signifikan, bahkan pada kecepatan serendah 1 rpm. Hal ini menunjukkan efektivitas sistem tekanan hidrostatik dalam menjaga performa bantalan, terutama untuk poros dengan beban besar atau aplikasi berat seperti pada turbin uap pembangkit listrik. Dalam studi tersebut didapatkan persamaan 2.15 berikut :

$$W = \int_0^L \int_0^{2\pi} p(\theta, z) \cdot r \cdot \sin\theta \cdot d\theta \cdot dz \quad 2.15$$

Dimana :

- W = *Lifting force* (N)
- $p(\theta, z)$ = Tekanan keseluruhan (Pa)
- r = Jari – jari poros (m)
- L = Panjang bantalan
- $\sin\theta$ = Faktor komponen gaya vertikal

2.6.2. *Friction Torque (Torsi Gesek)*

Friction torque atau torsi gesek pada *journal bearing* merupakan momen tahanan yang dihasilkan oleh gaya gesek antara poros yang berputar dan permukaan bushing, yang dipisahkan oleh lapisan pelumas. Torsi ini menjadi parameter penting dalam menganalisis efisiensi kerja bantalan serta tingkat keausan yang terjadi akibat kontak permukaan atau gaya geser fluida. Dalam kondisi pelumasan penuh (*hydrodynamic lubrication*), *friction torque* utamanya dihasilkan oleh gaya geser fluida akibat perbedaan kecepatan antara poros yang berputar dan pelumas yang relatif diam terhadap *bushing*. Besarnya *friction torque* bergantung pada beberapa parameter, di antaranya:

1. Viskositas pelumas
2. Kecepatan rotasi poros
3. Beban radial yang ditopang *bearing*
4. Panjang dan diameter poros (dimensi bearing)
5. Kondisi pelumasan (*boundary, mixed*, atau *hydrodynamic*)

Secara teoritis, *friction torque* T_f pada *journal bearing* dapat dihitung dengan pendekatan persamaan 2.16.

$$T_f = \frac{4\pi^2 \mu N R^3 L}{c} \quad (2.16)$$

di mana:

μ = viskositas dinamik pelumas (Pa·s)

N = kecepatan rotasi poros (rpm)

R = jari-jari poros (m)

L = panjang *bearing* (m)

c = celah antara poros dan bushing (m)

Persamaan ini merupakan hasil dari integrasi distribusi tegangan geser sepanjang permukaan poros dalam celah pelumas, dengan asumsi aliran *Couette* dan kondisi pelumasan penuh. Dalam praktiknya, terutama pada kecepatan rendah atau saat startup, kondisi pelumasan mungkin belum ideal sehingga terjadi gesekan campuran atau bahkan kontak langsung, yang menyebabkan meningkatnya torsi akibat interaksi mekanis. Untuk mengetahui nilai torsi secara aktual, diperlukan pengukuran langsung dari sistem eksperimen. Pada penelitian ini, *friction torque* diukur secara tidak langsung melalui penggunaan *loadcell*, yang diletakkan sedemikian rupa sehingga dapat menangkap gaya reaksi akibat gesekan. Gaya yang terbaca oleh *loadcell* dikonversikan menjadi momen torsi berdasarkan jarak tuas atau titik rotasi terhadap titik pengukuran gaya (Muliastri dkk., 2021).

$$T = F \cdot r \quad (2.17)$$

di mana:

$T = \text{friction torque (N}\cdot\text{m)}$

F = gaya yang terbaca pada *loadcell* (N)

r = lengan momen atau jarak dari pusat poros ke titik pembacaan gaya (m)

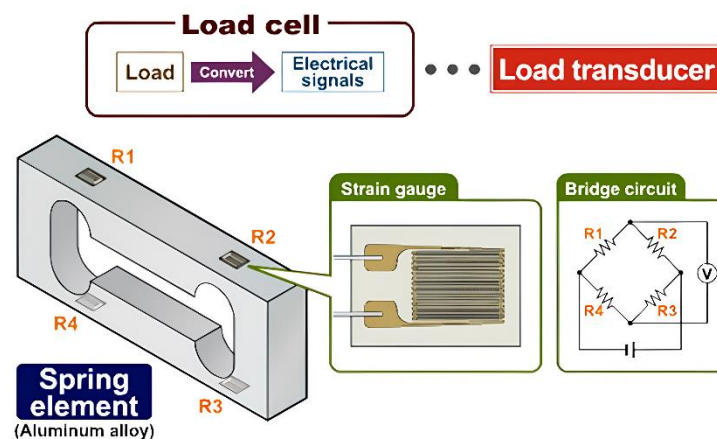
2.7. Akuisisi Data

Integrasi sensor seperti *loadcell* dan sistem mikrokontroler (Arduino) dalam alat uji *journal bearing* membuka peluang besar untuk akuisisi data secara *real-time*. Sistem ini dapat memungkinkan pengukuran langsung *lifting force* dan *frictional torque* selama pengujian berlangsung, serta memungkinkan visualisasi data secara digital untuk keperluan analisis lanjut. Akuisisi data dengan mikrokontroler sangat efektif dalam

mendeteksi fluktuasi torsi dan *lifting force* yang terjadi akibat variasi beban dan kecepatan putar poros (Wang dkk., 2023).

2.7.1. Loadcell

Sensor *loadcell* merupakan sensor massa dilengkapi dengan modul HX711, yaitu transduser sekaligus konverter analog ke digital (ADC, *Analog to Digital Converter*), yaitu dengan prinsip operasi pengkonversian perubahan resistans ke dalam besaran tegangan (Darussalam & Goeritno, 2021). Sensor ini sangat berguna dalam berbagai aplikasi, termasuk timbangan digital dan sistem pengukuran berat yang memerlukan akurasi tinggi. Sistem ini memungkinkan pengguna untuk mendapatkan data berat dengan presisi yang tinggi, sehingga sangat ideal digunakan dalam industri makanan, farmasi, dan laboratorium.



Gambar 2. 7. Prinsip Kerja *Loadcell*

(Almeganews, 2019)

Gambar 2.7 di atas menunjukkan prinsip kerja *loadcell* berbasis *strain gauge*, di mana perubahan gaya mekanik dikonversi menjadi sinyal listrik melalui perubahan resistansi. Ketika beban diberikan pada *loadcell*, bagian logam sensor mengalami deformasi, baik berupa regangan maupun tekanan. *Strain gauge* yang dilekatkan pada permukaan logam ikut mengalami perubahan bentuk sesuai deformasi

tersebut. Pada sisi yang mengalami regangan, *strain gauge* akan memanjang sehingga konduktor di dalamnya menjadi lebih tipis dan resistansi meningkat. Sebaliknya, pada sisi yang mengalami tekanan, *strain gauge* terkompresi, konduktor menjadi lebih tebal, dan resistansinya menurun.

2.7.2. Arduino Uno R3

Arduino Uno merupakan papan komputasi fisik yang dilengkapi dengan mikrokontroler Atmega328P. Perangkat ini dapat diprogram menggunakan bahasa pemrograman C melalui perangkat lunak Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) (Billy dkk., 2024). Berkat fleksibilitas serta kemudahan dalam penggunaannya, Arduino Uno banyak dipilih oleh para pehobi elektronik dan kalangan pendidikan sebagai platform utama dalam mengembangkan berbagai proyek inovatif.

2.8. Kalibrasi

Kalibrasi merupakan suatu proses penyesuaian dan pengaturan ulang instrumen pengukuran agar hasil yang diperoleh sesuai dengan standar acuan yang telah ditetapkan. Pada sensor *loadcell*, proses kalibrasi bertujuan untuk menjamin tingkat akurasi dan ketepatan pengukuran terhadap besaran massa atau gaya yang direkam oleh sensor tersebut. Proses ini umumnya dilakukan dengan memberikan beban standar yang telah diketahui nilainya ke permukaan *loadcell*, kemudian mencatat serta menyesuaikan hasil pembacaan sensor hingga menghasilkan nilai yang akurat dan linier terhadap perubahan beban (Handoko, 2024).

Regresi linear adalah metode analisis yang digunakan untuk menentukan hubungan matematis antara variabel bebas (*independen*) dan variabel terikat (*dependen*). Dalam konteks kalibrasi *loadcell*, regresi linear digunakan

untuk mencari hubungan antara beban aktual (massa atau gaya) dengan output sensor (tegangan atau nilai ADC).

$$y = ax + b \quad (2.18)$$

Keterangan :

y = nilai hasil pengukuran sensor (output, /nilai ADC)

x = beban aktual (kg)

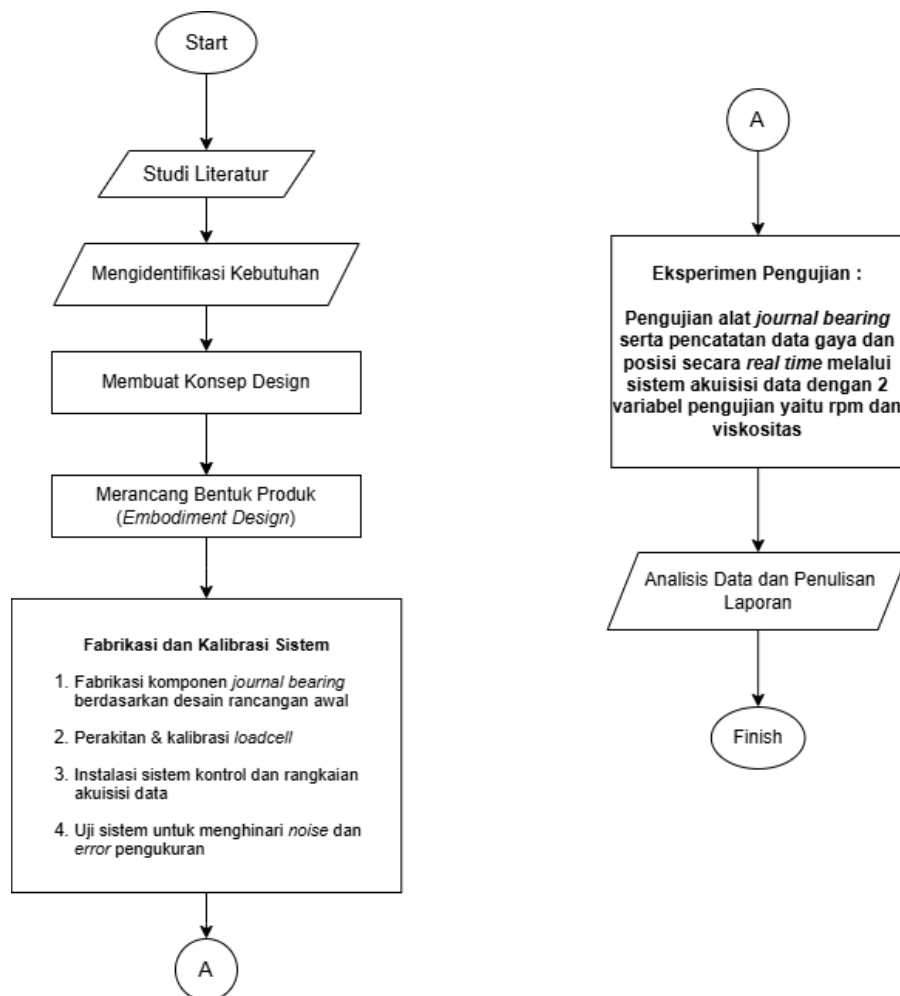
a = koefisien regresi (slope atau sensitivitas sensor)

b = intersep (offset), yaitu nilai keluaran sensor ketika beban = 0

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Adapun alur penelitian yang dilakukan digambarkan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 3.5 sebagai berikut:



Gambar 3. 1. Diagram Alir Penelitian

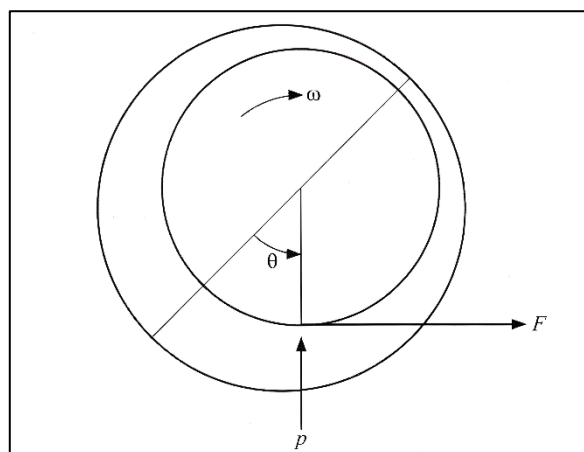
3.2. Tahapan Pengembangan

Terdapat beberapa tahapan pengembangan yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut :

3.2.1. Identifikasi Kebutuhan

Berdasarkan topik atau tema penelitian ini , pengembangan alat uji *journal bearing*, *journal bearing* itu sendiri merupakan elemen vital dalam sistem mekanik yang berfungsi sebagai penopang poros berputar, dengan meminimalkan gesekan melalui mekanisme pelumasan. Untuk mengkaji karakteristik tribologinya secara menyeluruh, dibutuhkan alat uji yang mampu mensimulasikan kondisi kerja riil, terutama dalam memantau parameter penting seperti torsi gesek (*frictional torque*) dan gaya angkat (*lifting force*). Namun demikian, perangkat pengujian yang umum digunakan di laboratorium, seperti unit TM25, masih menyisakan sejumlah kekurangan yang cukup signifikan.

3.2.2. Perancangan Konsep Produk

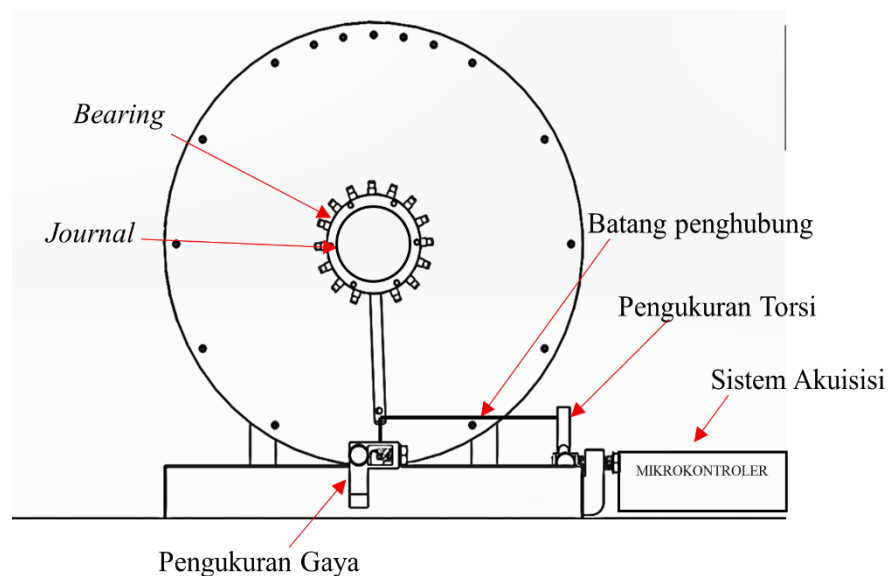


Gambar 3. 2. Sketsa Arah Gaya

Sketsa arah gaya pada *journal bearing* menunjukkan interaksi antara beban radial yang bekerja pada poros dan gaya hidrodinamik yang dihasilkan oleh film pelumas. Pada gambar terlihat poros (*journal*)

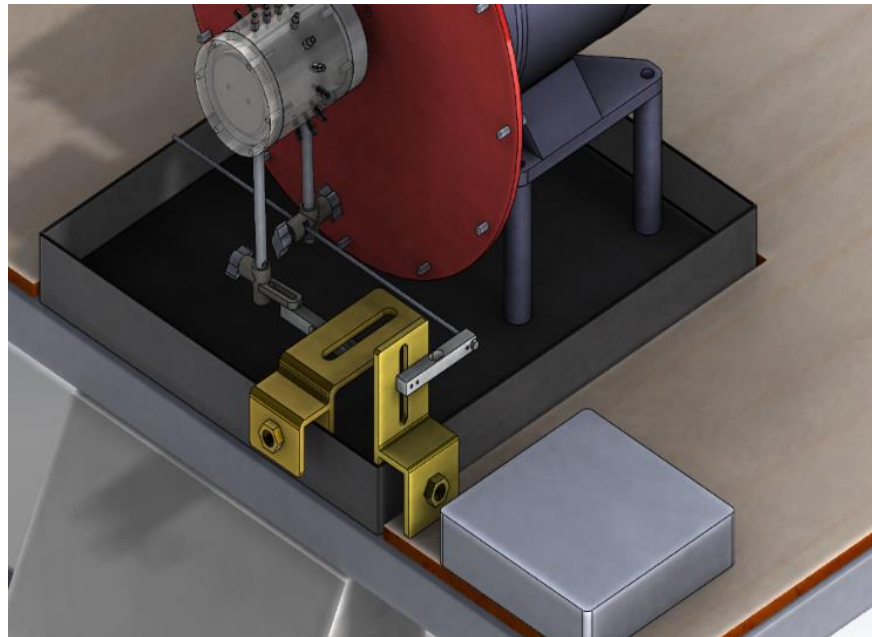
yang berputar dengan kecepatan sudut ω sehingga posisinya tidak berada di pusat *bearing*, melainkan bergeser akibat eksentrisitas. Beban eksternal P bekerja ke arah vertikal sehingga menekan poros ke bagian bawah *bearing*.

Sebaliknya, gaya hidrodinamik F muncul sebagai respons tekanan fluida dan bekerja ke arah berlawanan, yaitu ke atas dan sedikit menyamping sesuai distribusi tekanan maksimum di celah pelumasan. Hubungan antara arah beban, arah gaya hidrodinamik, dan sudut posisi poros θ menggambarkan prinsip dasar pembentukan gaya angkat serta kestabilan operasi *journal bearing* dalam kondisi pelumasan hidrodinami



Gambar 3. 3. Konsep Desain *Journal Bearing* (TM25) berbasis *loadcell*

3.2.3. Perancangan Bentuk Produk (*Embodiment Design*)



Gambar 3.4. Desain Model *Journal Bearing* Terintegrasi *Loadcell*

Dari konsep desain yang didapatkan, selanjutnya membentuk produk jadi. Rangkaian sistem ini melibatkan poros yang berputar (*journal*) yang berada di dalam bantalan luncur yang dilumasi oleh fluida. Selama rotasi, terbentuk film pelumas hidrodinamik yang mencegah kontak langsung antara permukaan poros dan bantalan.

Lifting force ditransmisikan melalui mekanisme batang penarik dan kepala baut menuju *loadcell*. *Loadcell* berfungsi sebagai transduser elektromekanik, yang mengonversi gaya mekanik menjadi sinyal listrik. Sinyal ini kemudian diproses oleh sistem mikrokontroler, sehingga nilai *lifting force* dapat dimonitor secara *real-time* selama alat beroperasi.

3.3. Peralatan dan Komponen Uji

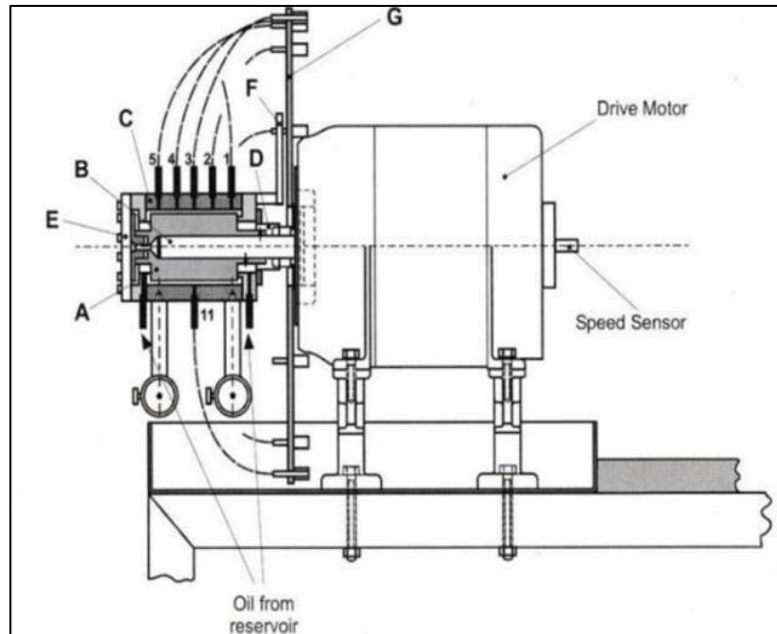
Dalam pengembangan alat uji *journal bearing* (TM25) memerlukan alat dan bahan yang digunakan untuk mendukung pengembangan alat tersebut. Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut ini:

3.3.1. *Journal Bearing Demonstration* TM25

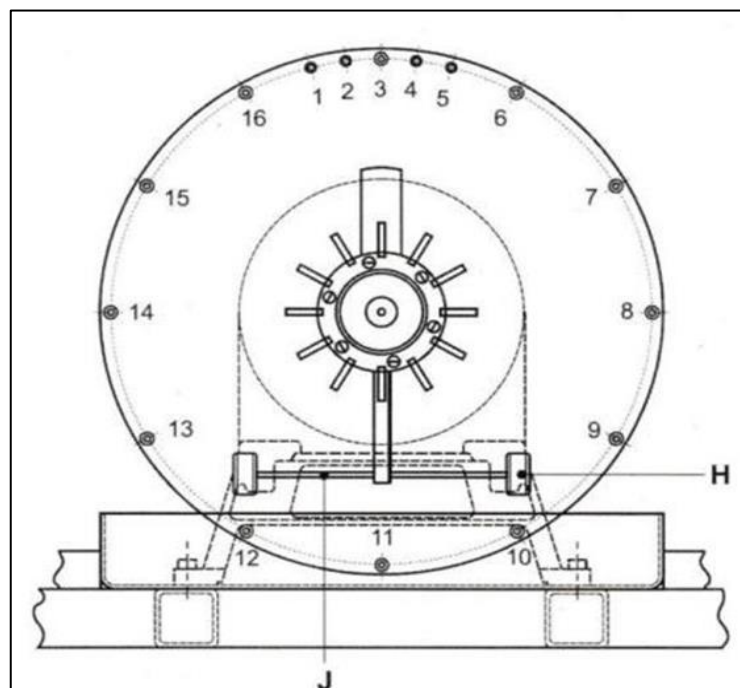
Adapun tampilan alat uji *Journal Bearing* TM25 dapat dilihat pada gambar 3.4 sampai 3.6, berikut ini :



Gambar 3. 5. *Journal Bearing Demonstration* TM25



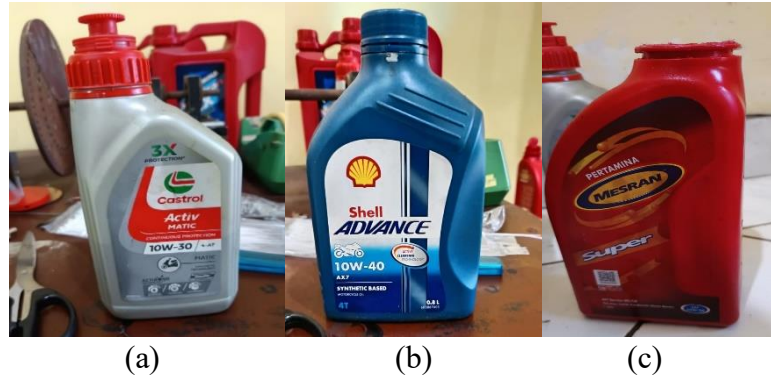
Gambar 3. 6. Tampak Samping TM25 *Journal Bearing Demonstration*



Gambar 3. 7. Tampak Depan TM25 *Journal Bearing Demonstration*

3.3.2. Oli Pelumas

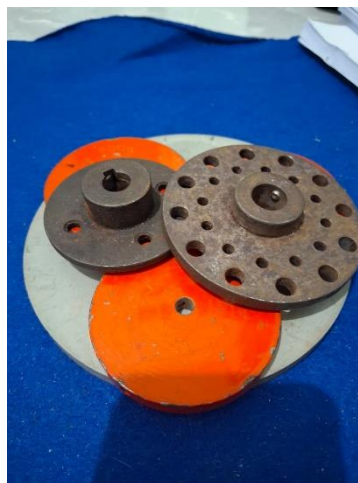
Adapun oli yang digunakan pada pengujian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3. 8. (a) SAE 10W30, (b) SAE 10W40, (c) SAE20W50

3.3.3. Beban Kalibrasi

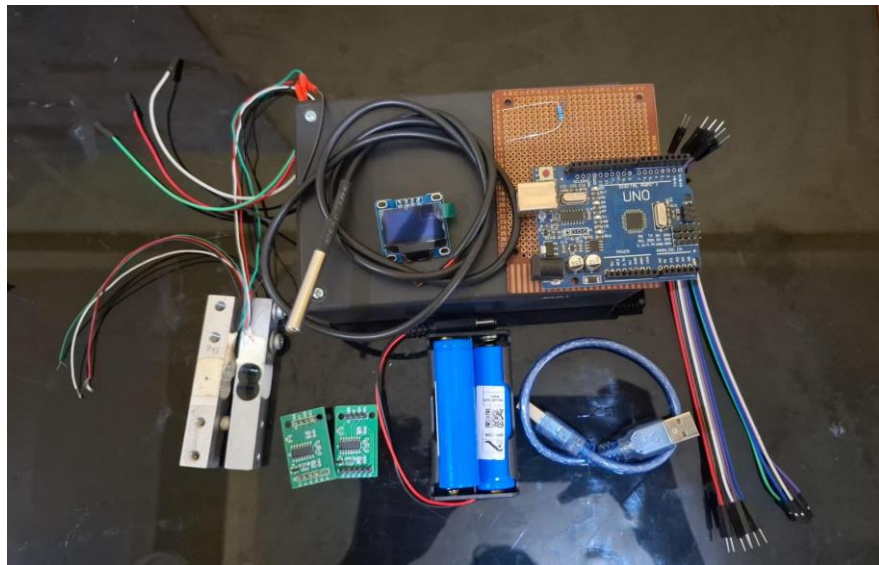
Adapun beban yang digunakan dalam melakukan kalibrasi pada *loadcell* adalah 0,303 kg, 0,403 kg, 0,5 kg, 0,607 kg, 0,706 kg, 0,803 kg, dan 903 kg. Berikut merupakan gambar beban yang digunakan :



Gambar 3. 9. Beban Kalibrasi

3.3.4. Komponen Mikrokontoler

Adapun sensor dan mikrokontroler yang dipakai adalah sebagai berikut. Pada gambar 3.10 ini terdapat dua buah sensor *loadcell*, satu buah sensor *ds18b20*, modul *hx711*, arduino uno, layar LCD OLED, dan baterai 3,7 V , kabel data, kabel *jumper*, resistor 4,7 ohm, PCB, dan kotak mikrokontroler.



Gambar 3. 10. Komponen Mikrokontoler

3.3.5. *Set-Up* Kalibrasi



Gambar 3. 11. *Set-Up* Kalibrasi

3.3.6. Software

Adapun software yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. *Solidworks* 2021

Solidworks digunakan untuk memodelkan konsep design atau rancangan awal, membantu untuk memahami rancangan pengembangan alat uji *journal bearing* (TM25) yang akan dilakukan.

2. Arduino IDE

Software Arduino IDE merupakan alat bantu untuk memprogram atau melakukan kalibrasi dari sesor *loadcell* HX711 amplifier lalu ke arduino.

3. Microsoft Excel

Microsoft Excel digunakan sebagai *recorder* atau pencatat data pengujian secara *real time*. Dengan memanfaatkan fitur *data streamer* pada microsoft excel untuk berkomunikasi langsung dengan Arduino melalui *port serial (COM port)*.

3.4. Fabrikasi dan Kalibrasi Sistem

Melakukan fabrikasi komponen seperti membuat *holder loadcell*, soket untuk penghubung *loadcell* dan bandul pada *journal bearing*. *Holder loadcell* dibuat menggunakan plat besi, sedangkan untuk soketnya dibuat menggunakan alat 3D printing sesuai dengan konfigurasi desain. Kalibrasi *loadcell* dilakukan menggunakan beban yang dikenal atau beban yang sudah terukur. Disini beban yang digunakan lempengan besi yang sudah terukur sebesar 303 g, 492 g, 673 gram, 796 gram, dan 977 gram. Setelah itu lanjut dengan menyesuaikan faktor kalibrasi pada program arduino.

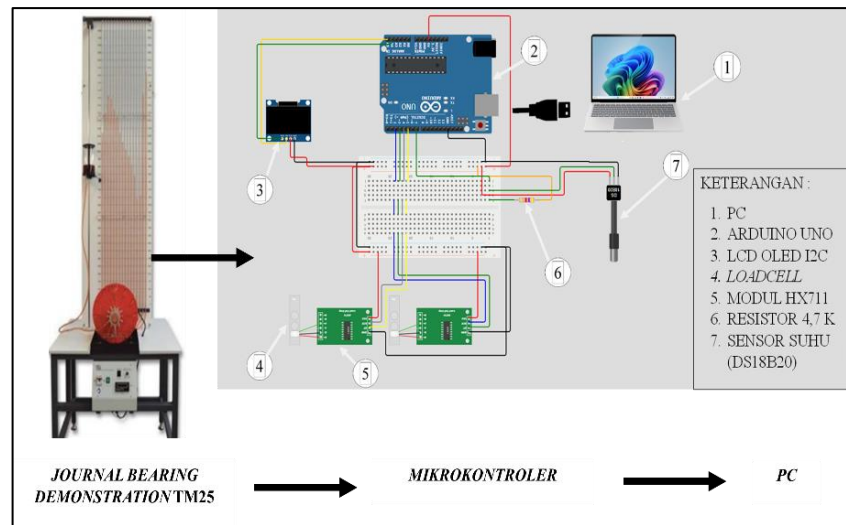
Tabel 3. 1. Rancangan Data kalibrasi *Loadcell*

No	Beban Aktual (kg)	pengukuran 1	Pengukuran 2	Pengukuran 3	Rata-rata Pengukuran
1	0				
2	0,303				
3	0,403				
4	0,500				
5	0,607				
6	0,706				
7	0,803				
8	0,903				

Tabel 3.2 menunjukkan rancangan data yang digunakan dalam proses kalibrasi sensor *loadcell*. Kalibrasi ini bertujuan untuk memperoleh hubungan antara beban aktual (massa) dengan nilai keluaran sensor (pembacaan digital) yang dihasilkan oleh sistem mikrokontroler. Proses kalibrasi dilakukan dengan memberikan beberapa pembebanan bertahap pada *loadcell*, dimulai dari kondisi tanpa beban (0 kg) hingga beban maksimum 0,903 kg.

Setiap nilai beban aktual diuji sebanyak 3 kali pengulangan pengukuran, guna memperoleh hasil yang lebih akurat dan mengurangi kemungkinan adanya kesalahan pembacaan (*noise*) pada sensor. Hasil dari 3 kali pengukuran tersebut kemudian dihitung nilai rata-ratanya, yang digunakan sebagai nilai representatif untuk masing-masing beban. Melalui tahapan ini, hubungan antara beban aktual dengan hasil pembacaan sensor dapat dianalisis, baik secara grafik (melalui regresi linier), untuk menentukan faktor kalibrasi (*calibration factor*) yang digunakan dalam sistem Arduino.

3.5. Rancangan Eksperimen



Gambar 3. 12. Skema Pengambilan Data

Proses pengambilan data dimulai dari *journal bearing*, yaitu tempat berlangsungnya fenomena pelumasan hidrodinamik. Pada bagian ini, gaya reaksi akibat *lifting force* dan *frictional torque* ditransmisikan ke sensor *loadcell* yang telah dipasang padaudukan alat. *Loadcell* berfungsi sebagai transduser elektromekanik yang mengubah besaran mekanik (gaya) menjadi sinyal listrik dengan sensitivitas tertentu.

Sinyal keluaran dari *loadcell* kemudian diteruskan ke modul mikrokontroler Arduino Uno melalui HX711 amplifier. Modul HX711 bertugas memperkuat sinyal analog dan mengubahnya menjadi data digital agar dapat dibaca dengan akurat oleh mikrokontroler. Mikrokontroler Arduino Uno selanjutnya berfungsi sebagai pusat pengolahan data, yang melakukan konversi nilai tegangan hasil pengukuran menjadi besaran fisik berupa *Newton (N)*. Setelah diproses, data dikirimkan secara *serial communication* dari Arduino menuju PC/laptop

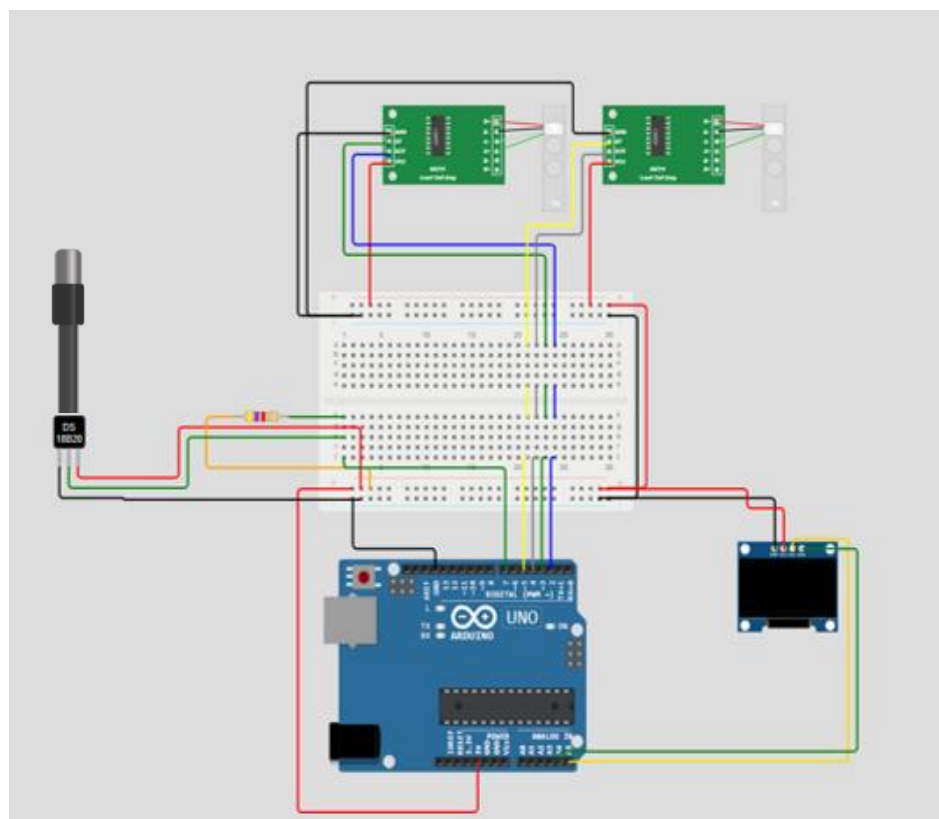
Adapun gambar tabel berikut merupakan tabel rencana eksperimen pengujian yang akan dilakukan :

Tabel 3. 2. Rencana Pengambilan Data Distribusi Tekanan

[illegible]

Pengujian dilakukan dengan 2 variabel pengujian kecepatan putar (RPM) dan viskositas. Kecepatan putar (Rpm) yang diujikan berjumlah 5 rpm, yaitu 1000, 1250, 1500, 1750, dan 2000. Untuk oli yang digunakan menggunakan 3 jenis oli dengan viskositas berbeda yaitu, 10W 30, 10W 40, dan 20W 50. Dalam pengujian ini menggunakan bantuan *stopwatch* untuk mengukur waktu. Masing – masing pengujian diberikan waktu sebesar 15 menit, atau 900 detik.

Gambar 3.25 menampilkan desain rangkaian sistem akuisisi data berbasis mikrokontroler Arduino Uno yang digunakan dalam penelitian ini. Rangkaian tersebut merupakan representasi dari integrasi antara berbagai komponen sensor, yaitu dua buah modul *loadcell* dengan amplifier HX711, sensor suhu DS18B20, serta modul tampilan OLED I2C sebagai output hasil pengukuran.



Gambar 3.13. Desain Sirkuit Pada Komponen Yang Digunakan

3.6. Prosedur Penelitian

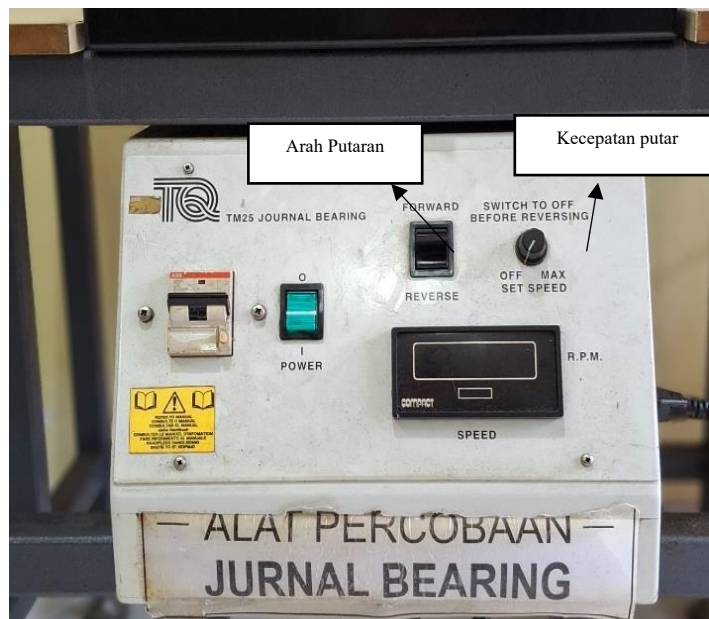
Berikut ini merupakan tahapan proses pengujian pengembangan *design journal bearing* (TM25) yang akan dilakukan, yaitu:

3.6.1. Kalibrasi *Loadcell*

Adapun prosedur dan persiapan untuk kalibrasi *loadcell* Adalah sebagai berikut :

1. Memastikan *loadcell* terpasang kuat dan sesuai dengan setup timbangan
2. Menghubungkan *loadcell* ke modul HX711, lalu ke mikrokontroler.
3. menjalankan program pembacaan sederhana dan pembacaan lewat serial monitor untuk menampilkan nilai ADC rata-rata dari HX711.
4. Melakukan penyetelan nol (*tare*) saat *loadcell* tanpa beban.
5. Siapkan enam beban terukur: 0,303 kg, 0,403 kg, 0,500 kg, 0,607 kg, 0,706 kg, dan 0,977 kg.
6. Meletakkan beban di atas *loadcell* secara perlahan dan stabil.
7. Mencatat nilai output ADC pada tampilan mikrokontroler selama ± 10 detik.
8. Mengambil 5 pembacaan pada satu beban yang terukur dan menghitung rata-ratanya.
9. Setelah itu, mepaskan beban dan pastikan *loadcell* kembali ke nilai nol (cek stabilitas).
10. Ulangi langkah tersebut untuk semua beban.

3.6.2. Preparasi Pengujian Pembacaan Manometer



Gambar 3. 14. *Control Panel*

Ada beberapa hal yang harus disiapkan sebelum pengujian alat uji journal bearing (TM25) dilakukan :

1. Membuat tabel data pengujian untuk pembacaan manometer.
2. Menghilangkan beban dari *bearing* (jika ada).
3. Memilih arah putaran searah dengan jarum jam (*clockwise*) atau berlawanan arah jarum jam (*counter clockwise*).
4. Menghidupkan (*switch on*) motor dengan kecepatan 1500 RPM +/- 5% selama sekitar 20 menit untuk menghangatkan oli.
5. Mengurangi kecepatan menjadi 1000 RPM untuk pembacaan awal dan tunggu sekitar 15 menit
6. Mencatat (*record*) manometer tekanan oli
7. Ulangi hingga 3 kali percobaan
8. Meningkatkan kecepatan putar menjadi kecepatan yang akan diuji 1250, 1500, 1750, dan 2000 masing masing 15 menit dan ulangi masing masing 3 kali percobaan.

3.6.3. Parameter Pengambilan Data Pengukuran Excel

Tabel 3. 3. Parameter Pengambilan Data Pengukuran Excel

Parameter	Data
Data Interval	150 (ms)
Data Channels	3 (<i>Lifting force</i> , Friction torque, Suhu)
Baudrate	9600 bps
Data Bits	8

Data di atas merupakan data parameter pengambilan data pengukuran secara *real time* pada excel. Data Interval (150 ms), merupakan waktu jeda atau selang waktu pengiriman data dari Arduino ke komputer/Excel. Artinya setiap 150 milidetik (0,15 detik) Arduino mengirimkan satu paket data berisi pembacaan sensor (torsi, *lifting force*, suhu). Semakin kecil interval semakin cepat sampling, tapi bisa membebani komunikasi. Data Channels (3) Jumlah kanal atau variabel data yang dikirimkan dalam setiap paket. Dalam alatmu ada 3 channel, yaitu gaya angkat (*lift force*), torsi gesek (*frictional torque*), dan Suhu pelumas (temperature). Setiap channel akan tampil di kolom terpisah di Excel (misal A, B, C).

Baudrate (9600) Kecepatan komunikasi serial antara Arduino dan komputer. Nilainya 9600 bit per detik (bps). Ini adalah kecepatan standar untuk komunikasi stabil, dan harus sama dengan pengaturan DAQ/Excel agar data tidak *error*. Data Bits (8) Jumlah bit data yang digunakan untuk merepresentasikan satu karakter atau nilai dalam komunikasi serial. Format 8 bit adalah standar komunikasi UART (*Universal Asynchronous Receiver Transmitter*), berarti tiap karakter dikirim dalam 8 bit data.

3.6.4. Pengambilan Data Gaya Angkat (*Lifting Force*)

Menyiapkan *loadcell* yang telah terkalibrasi, pasang *loadcell* pada *holder loadcell* yang telah dibuat sebelumnya. Pasang juga soket yang menjadi penghubung *loadcell* ke bandul *journal bearing*. Menghubungkan arduino ke laptop sembari membuka excel, buka tab *data streamer* pada Microsoft excel dan seting pembacaan untuk pembacaan secara *real time*. Seting *loadcell* pastikan menunjukan angka nol. Setelah itu klik *connect a device* untuk menghubungkan pembacaan dan *loadcell* siap digunakan untuk pengujian.

1. Menghidupkan (*swith on*) motor dengan kecepatan awal 1000 RPM
2. Buka tab *data streamer* pada *microsoft excel*.
3. Klik *start data* pada data streamer di *microsoft excel* untuk memulai pembacaan
4. Atur *stopwatch* pada waktu 15 menit, *Klick record* data sembari memulai *stopwatch* untuk mencatat atau merekam pembacaan data,
5. Menunggu pembacaan hingga 15 menit, lalu klik *stop recording* untuk menghentikan pencatatan setelah 15 menit.
6. Simpan hasil pembacaan

Melakukan pengujian yang sama dan dengan perlakuan sama menggunakan jenis oli yang berbeda.

3.6.5. Pengambilan Data Torsi Gesek (*Friction Torque*)

Menyiapkan *loadcell* yang telah terkalibrasi, pasang *loadcell* pada *holder loadcell* yang telah dibuat sebelumnya. Pasang juga soket yang menjadi penghubung *loadcell* ke bandul *journal bearing*. Menghubungkan arduino ke laptop sembari membuka excel, buka tab *data streamer* pada Microsoft excel dan seting pembacaan untuk pembacaan secara *realtime*. Seting *loadcell* pastikan menunjukan angka

no1. Setelah itu klik *connect a device* untuk menghubungkan pembacaan dan *loadcell* siap digunakan untuk pengujian.

1. Menghidupkan (*swith on*) motor dengan kecepatan awal 1000 RPM
2. Buka tab data streamer pada *microsoft excel*.
3. Klik *start data* pada data streamer di *microsoft excel* untuk memulai pembacaan
4. Atur *stopwatch* pada waktu 15 menit, *Klick record* data sembari memulai *stopwatch* untuk mencatat atau merekam pembacaan data,
5. Menunggu pembacaan hingga 15 menit, lalu klik *stop recording* untuk menghentikan pencatatan setelah 15 menit.
6. Simpan hasil pembacaan

Melakukan pengujian yang sama dan dengan perlakuan sama menggunakan jenis oli yang berbeda.

3.7. Melakukan Pengujian Dengan Variasi Viskositas Oli

Melakukan pengujian menggunakan 3 jenis viskositas oli, yitu 10W 30, 10W 40, 20W 50. Ada beberapa tahapan untuk pergantian jenis oli yaitu:

1. Menyiapkan wadah untuk menampung oli yang akan diganti
2. Melakukan pengurasan dengan membuka semua selang agar semua oli keluar dan terkuras
3. Menunggu oli hingga terkuras habis, dan memastikan tidak ada oli yang menggenang dalam selang.
4. Setelah melakukan pengurasan, pasang kembali semua selang yang tadinya terlepas.
5. Menyiapkan jenis oli yang akan diuji, isi melalui tabung oli dan tunggu beberapa saat hingga oli mengalir keseluruh selang pada *jornal bearing*

3.8. Tempat Dan Waktu Penelitian

Penelitian pengembangan alat uji *journal bearing* (TM25) dengan integrasi *loadcell* dan mikrokontroler untuk monitoring gaya torsi dan *lifting force* ini dilaksanakan pada bulan Maret 2025 sampai dengan bulan Juli 2025. Lokasi penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Struktur Teknik Mesin Universitas Lampung.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan dari penelitian pengembangan alat uji *journal bearing* dengan integrasi *loadcell* dan mikrokontroler adalah sebagai berikut :

1. Pengembangan alat TM25 meliputi pemasangan dua sensor *loadcell* yang terhubung dengan modul HX711 dan Arduino Uno, memungkinkan pengukuran gaya angkat (*lifting force*) dan torsi gesek (*frictional torque*) secara *real-time*. Sistem ini mampu melakukan akuisisi data *lifting force* dan *frictional torque* secara *real-time*, ditampilkan melalui OLED dan disimpan menggunakan *Microsoft Excel Data Streamer*.
2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan putar poros (RPM) menyebabkan kenaikan gaya angkat dan torsi gesek pada *journal bearing*. Selain itu, oli dengan viskositas lebih tinggi (SAE 20W50) menghasilkan gaya angkat dan torsi gesek yang lebih besar dibandingkan oli dengan viskositas lebih rendah (SAE 10W30 dan SAE 10W40). Fenomena ini terjadi akibat meningkatnya ketebalan film pelumas dan tekanan hidrodinamik seiring bertambahnya viskositas dan kecepatan poros. Secara tribologis, kondisi tersebut meningkatkan kemampuan bantalan dalam menopang beban, namun di sisi lain meningkatkan gesekan fluida, sehingga menunjukkan adanya kompromi antara kapasitas beban dan kerugian gesek dalam sistem pelumasan hidrodinamik.

5.2. Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan dari penelitian pengembangan alat uji *journal bearing* dengan integrasi *loadcell* dan mikrokontroler adalah sebagai berikut :

1. Integrasi sistem berbasis IoT dan *data logging* otomatis. Sistem dapat dikembangkan agar terhubung ke jaringan internet atau cloud storage sehingga data eksperimen dapat diakses dan dianalisis secara daring.
2. Peningkatan stabilitas mekanik dan desain ergonomi alat. *Holder loadcell* danudukan mekanis dapat dirancang ulang agar lebih kaku dan meminimalkan vibrasi. Penggunaan material dengan koefisien muai rendah juga dapat mengurangi efek termal pada hasil pengukuran.
3. Pengembangan model analitik dan simulasi. Hasil eksperimen dapat divalidasi menggunakan simulasi numerik berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) atau model *Reynolds Equation* untuk memperoleh analisis tekanan dan film pelumas yang lebih detail.

DAFTAR PUSTAKA

- almeganews. (2019). *Apa Itu Load Cell ?* Almega Sejahtera.
<https://almeganews.wordpress.com/2019/02/19/apa-itu-load-cell/>
- Asim, S. B., Noviani, E., & Helmi, H. (2023). Pemodelan Aliran Fluida Bidang Miring pada Lapisan Tipis. *Jurnal Matematika Integratif*, 19(1), 127.
<https://doi.org/10.24198/jmi.v19.n1.40855.125-136>
- Billy, I Kadek Rangga, Wartana, I Made, Muljanto, W. P. (2024). Rancang Bangun Sistem Kontrol Dan Data Akuisisi Pada Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Perangkat Lunak Labview Dan Usb Ni-Daq 6008. *Magnetika*, 08(01), 121–133.
- Bouyer, J., & Fillon, M. (2011). Experimental measurement of the friction torque on hydrodynamic plain journal bearings during start-up. *Tribology International*, 44(7–8), 772–781.
<https://doi.org/10.1016/j.triboint.2011.01.008>
- Chernets, M., Opielak, M., Kornienko, A., & Radko, O. (2021). Predictive estimation of sliding bearing load-carrying capacity and tribological durability. *Strojniski Vestnik/Journal of Mechanical Engineering*, 67(7–8), 363–368. <https://doi.org/10.5545/sv-jme.2021.7139>
- Chong, W. W. F., Lee, C. T., & Lee, M. B. (2021). Simulating thermo-hydrodynamic lubrication of turbocharger journal bearing. *Jurnal Tribologi*, 30(May), 13–23.
- Darussalam, D., & Goeritno, A. (2021). Pemanfaatan RFID, Loadcell, dan Sensor Infrared Untuk Miniatur Penukaran Botol Plastik Bekas. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi)*, 5(2), 281–291.
<https://doi.org/10.29207/resti.v5i2.3048>
- De Nardis, J., & Doyon, B. (2023). Hydrodynamic gauge fixing and higher order hydrodynamic expansion. *Journal of Physics A: Mathematical and*

Theoretical, 56(24). <https://doi.org/10.1088/1751-8121/acd153>

Dhande, D. Y., & Pande, D. W. (2017). A two-way FSI analysis of multiphase flow in hydrodynamic journal bearing with cavitation. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 39(9), 3399–3412. <https://doi.org/10.1007/s40430-017-0750-8>

Ebiefung, A. A. (2019). The Vertical Generalized Complementarity Problem: Mixed Lubrication and Choice of Technology Models*. *IORMS Journal of Mathematics and Statistics (IORMS-JMS)*, 1(1), 45–53.
www.iormsjournals.org
www.iormsjournals.org

Handoko, D. (2024). Perancangan Sistem Monitoring Pada Mesin Uji Puntir Berbasis Arduino. *Jurnal Mesin Nusantara*, 7(2), 154–165.
<https://doi.org/10.29407/jmn.v7i2.21977>

Indriyani, R., & Dwisetiono, D. (2021). Kajian Kegagalan Komponen Dan Perawatan Pada Sistem Pelumas Mesin Diesel Di Kapal. *Zona Laut : Jurnal Inovasi Sains Dan Teknologi Kelautan*, 2(1), 1–6.
<https://doi.org/10.20956/zl.v2i1.12884>

Jeung, S., & Suh, J. (2020). *applied sciences Performance of Tilting Pad Journal Bearings with the Same Sommerfeld Number*.

Karki, D., Hari Bahadur Dura, & Laxman Poudel. (2023). Design, construction and performance analysis of dynamic torque transducer. *Journal of Innovations in Engineering Education*, 6(1), 118–123.
<https://doi.org/10.3126/jiee.v6i1.43809>

Kopeliovich, D. (2023). *Lubrication regimes*. subTech(Substance and Technologies).
https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=lubrication_regimes

Kusuma, K. A., Satrijoo, D., & Kurdi, O. (2023). Studi Uji Unjuk Kerja Alat Pengujian Bantalan Luncur Tm280. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 11(4), 245–248.

Layton, J., Rothwell, B. C., Ambrose, S., Eastwick, C., Medina, H., & Rebelo, N.

- (2023). A New Thermal Elasto-Hydrodynamic Lubrication Solver Implementation in OpenFOAM. *Lubricants*, 11(7).
<https://doi.org/10.3390/lubricants11070308>
- Lubis, N. A. (2018). the Influence of Liquid Viscosity on Falling Time By Falling Ball Method. *Fisitek : Jurnal Ilmu Fisika dan Teknologi*, 2(2), 26.
<https://doi.org/10.30821/fisitek.v2i2.1809>
- Maurya, A., Kumar, A., & Dev Punia, A. (2019). CFD and Frictional Torque Analysis of Hydrodynamic Journal Bearing. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 8(7), 11.
<https://doi.org/10.17577/IJERTV8IS070408>
- Muchammad, M. (2018). Analisa Pengaruh Penempatan Slip Terhadap Distribusi Tekanan, Load Support, dan Friction pada Journal Bearing. *Rotasi*, 20(2), 95.
<https://doi.org/10.14710/rotasi.20.2.95-101>
- Muliastri, D., Eka Septyani, D., & Lesmana, P. (2021). Pengaruh Pelumas Terhadap Tegangan Alir Dan Gaya Penarikan Kawat Aisi 1006 Menggunakan Metode Fem. *Manutech : Jurnal Teknologi Manufaktur*, 13(02), 51–59. <https://doi.org/10.33504/manutech.v13i02.158>
- Nikolakopoulos, P. G., & Bompos, D. A. (2015). Experimental measurements of journal bearing friction using mineral, synthetic, and bio-based lubricants. *Lubricants*, 3(2), 155–163. <https://doi.org/10.3390/lubricants3020155>
- Nugroho, S. R., Sunarno, H., Fisika, J., Matematika, F., Alam, P., Arief, J., Hakim, R., Kunci, K., Helium, L., Pendahuluan, I., Nugroho-, S. R., & Nugroho-, S. R. (2012). *Identifikasi Fisis Viskositas Oli Mesin Kendaraan Bermotor terhadap Fungsi Suhu dengan Menggunakan Laser Helium Neon*
Abstrak Telah dilakukan penelitian dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik viskositas oli mesin kendaraan bermotor dengan menggunakan laser Helium Neon sebagai sumber cahayanya . Peralatan dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah laser Helium perubahan suhu . Semakin tinggi suhu maka makin rendah nilai absorbansinya . Secara. 1–5.
- Paul, G., Rezaenia, A., Shen, X., Eldad, A., & Korakianitis, T. (2016). Slip and

turbulence phenomena in journal bearings with application to implantable rotary blood pumps. *Tribology International*, 104, 157–165.

<https://doi.org/10.1016/j.triboint.2016.08.032>

Raud, X., Fillon, M., & Helene, M. (2013). Numerical modelling of hydrostatic lift pockets in hydrodynamic journal bearings – Application to low speed working conditions of highly loaded tilting pad journal bearings. *Mechanics and Industry*, 14(5), 327–334. <https://doi.org/10.1051/meca/2013073>

Richard, G., Budynas, & Keith, N. (2011). *SHIGLEY'S MECHANICAL ENGINEERING DESIGN*.

Thang, N. Van. (2022). Analytical Study of the Velocity of the Lubricating Fluid in the Hydrodynamic Journal Bearing With the Effect of Centrifugal Force for Short Bearing Type. *EUREKA, Physics and Engineering*, 2022(4), 93–100. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.001962>

Wang, B., Ouyang, W., Wang, S., Sheng, C., He, T., & Yan, Z. (2023). Load Carrying Capacity Enhancing Design and Lubrication Investigation of the Magnetic-Water Double Suspension Elastic Support Thrust Bearing. *Lubricants*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/lubricants11090401>

Yi, H., Jung, H., Kim, K., & Ryu, K. (2022). Static Load Characteristics of Hydrostatic Journal Bearings: Measurements and Predictions. *Sensors*, 22(19). <https://doi.org/10.3390/s22197466>

Zhu, L., Zhu, Y., & Yan, Y. (2021). Methods to test and generate the wear load spectrum of journal bearing in concrete pump. *Advances in Mechanical Engineering*, 13(4), 1–12. <https://doi.org/10.1177/16878140211007716>