

**RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN AWAL ALAT UJI TRIBOLOGI  
TIPE *PIN-ON-DISK* UNTUK EVALUASI SIFAT KEAUSAN DAN  
KOEFSIEN GESEK MATERIAL TEKNIK**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**RAFIF IZHA WANDIRA  
2115021007**



**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK MESIN  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2026**

**RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN AWAL ALAT UJI TRIBOLOGI  
TIPE *PIN-ON-DISK* UNTUK EVALUASI SIFAT KEAUSAN DAN  
KOEFSIEN GESEK MATERIAL TEKNIK**

**OLEH:**

**RAFIF IZHA WANDIRA**

**Skripsi Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
SARJANA TEKNIK**

**Pada  
Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG**

**2026**

## **ABSTRAK**

### **RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN AWAL ALAT UJI TRIBOLOGI TIPE *PIN-ON-DISK* UNTUK EVALUASI SIFAT KEAUSAN DAN KOEFSISIEN GESEK MATERIAL TEKNIK**

**OLEH**

**RAFIF IZHA WANDIRA**

Gesekan dan keausan merupakan fenomena yang mempengaruhi kinerja dan umur pakai komponen mekanis. Keterbatasan alat uji tribologi, khususnya tipe pin-on-disk, menjadi kendala dalam pengujian di laboratorium. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun alat uji pin-on-disk serta melakukan pengujian awal untuk mengetahui karakteristik gesek dan keausan material teknik. Metode yang digunakan adalah eksperimental, meliputi perancangan, pembuatan, dan pengujian alat. Alat dilengkapi sistem pembebanan, motor dengan kecepatan variabel, serta sensor load cell berbasis Arduino untuk mengukur gaya gesek. Pengujian dilakukan dengan variasi beban dan kecepatan, serta pengukuran massa untuk menentukan laju keausan. Hasil menunjukkan alat dapat bekerja dengan baik dan menghasilkan data koefisien gesek serta laju keausan secara konsisten. Laju keausan meningkat seiring bertambahnya beban, sedangkan pelumasan mampu menurunkannya. Hasil validasi menunjukkan alat cukup akurat dan layak digunakan untuk pengujian tribologi di laboratorium.

**Kata Kunci :** Tribologi, Pin-on-disk, Laju keausan, Koefisien gesek, Desain eksperimen.

## ABSTRACT

### DESIGN AND PRELIMINARY TESTING OF A PIN-ON-DISK TRIBOLOGY TESTER FOR EVALUATING WEAR AND FRICTION COEFFICIENT OF ENGINEERING MATERIALS

By

RAFIF IZHA WANDIRA

*Friction and wear are phenomena that affect the performance and service life of mechanical components. The limited availability of tribology testing equipment, particularly the pin-on-disk type, poses challenges for conducting independent laboratory testing. This study aims to design and develop a pin-on-disk tribology tester and to perform preliminary testing to evaluate the friction and wear characteristics of engineering materials. The research method is experimental, including the design, fabrication, and testing of the device. The developed tester is equipped with a loading system, a variable-speed motor, and a load cell sensor integrated with an Arduino for measuring friction force. Testing was conducted with variations in load and rotational speed, as well as mass measurements to determine the wear rate. The results show that the developed device functions properly and is capable of producing consistent data for the friction coefficient and wear rate. The wear rate increases with increasing load, while lubrication reduces the wear. Validation results indicate that the data obtained are within the acceptable range compared to references, indicating that the device is sufficiently accurate and suitable for tribology testing in laboratory applications.*

**Keywords:** Tribology, Pin-on-disk, Wear rate, Friction coefficient, Experimental design.

Judul Skripsi

**: RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN  
AWAL ALAT UJI TRIBOLOGI TIPE PIN-ON-  
DISK UNTUK EVALUASI SIFAT KEAUSAN  
DAN KOEFISIEN GESEK MATERIAL  
TEKNIK**

Nama Mahasiswa

**: Rafif Izha Wandira**

Nomor Pokok Mahasiswa

**: 2115021007**

Program Studi

**: Teknik Mesin**

Fakultas

**: Teknik**

**MENYETUJUI,**

**Komisi Pembimbing**

**Komisi Pembimbing I**

**Komisi Pembimbing II**

**Ahmad Su'udi, S.T.,M.T.**

**NIP. 197408162000121001**

**Nurchahya Nugraha, S.T.,M.T.**

**NIP. 199510112024061001**

**MENGETAHUI,**

**Ketua Jurusan**

**Teknik Mesin**

**Ketua Program Studi**

**S1 Teknik Mesin**

**Ahmad Su'udi, S.T.,M.T.**

**NIP. 197408162000121001**

**Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc.**

**NIP. 197908212003121003**

**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji  
Ketua

: **Ahmad Su'udi, S.T.,M.T.**

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

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

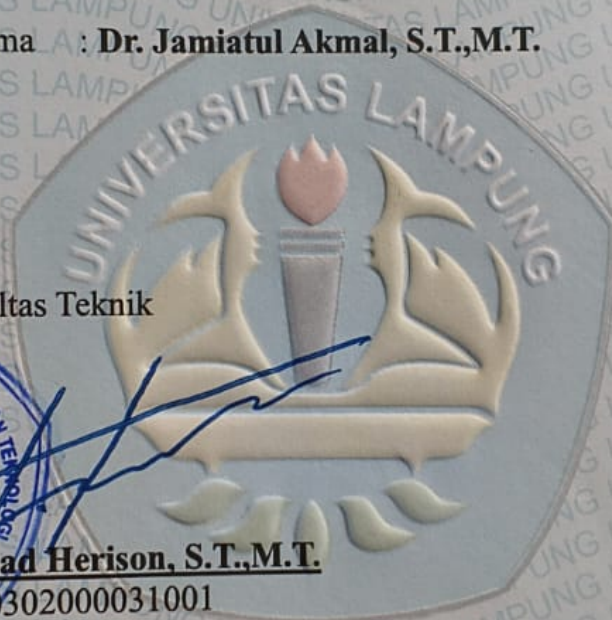
2. Dekan Fakultas Teknik



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

**NIDP 196910302000031001**

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 4 Juni 2026



Two handwritten signatures in blue ink are positioned to the right of the text. The top signature is written over a horizontal line, and the bottom signature is also written over a horizontal line.

## PERNYATAAN PENULIS

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi berjudul “RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN AWAL ALAT UJI TRIBOLOGI TIPE *PIN-ON-DISK* UNTUK EVALUASI SIFAT KEAUSAN DAN KOEFISIEN GESEK MATERIAL TEKNIK” merupakan hasil karya saya sendiri. Skripsi ini tidak berisi materi yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik pada perguruan tinggi mana pun, dan sejauh pengetahuan saya tidak mengandung karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dikutip dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Saya bertanggung jawab sepenuhnya atas keaslian dan kebenaran isi skripsi ini sesuai dengan etika keilmuan dan ketentuan yang berlaku di Universitas Lampung. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Bandar Lampung, 04 Juni 2026

Pembuat Pernyataan



**Rafif Izha Wandira**

**NPM. 2115021007**

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Krui pada tanggal 18 September 2002 sebagai anak ketiga dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Suswandi dan Ibu Tuti Herawati. Pendidikan dasar ditempuh di SD Negeri 3 Pesisir Tengah (2009-2015), kemudian melanjutkan studi di SMP Negeri 2 Pesisir Tengah (2015-2018), serta SMA Negeri 1 Pesisir Tengah

(2018-2021). Pada tahun yang sama, penulis diterima sebagai mahasiswa Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama masa kuliah, penulis aktif dalam dalam Himpunan Mahasiswa Teknik Mesin (HIMATEM) dan mengikuti berbagai kegiatan jurusan yang menunjang pengembangan kemampuan akademik maupun organisasi. Penulis juga melaksanakan Program Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Adirejo, Kecamatan Jabung, Pada akhir tahun 2024 sebagai bagian dari kegiatan pengabdian kepada masyarakat. Dalam bidang pengalaman industri, penulis mengikuti Kerja Praktik di BRIN (Badan Riset Inovasi Nasional Teknologi Tepat Guna) Indonesia pada tahun 2024, dengan laporan berjudul **“Proses Manufaktur Mesin Steamer Di Pusat Riset Teknologi Tepat Guna Badan Riset Dan Inovasi Nasional”**. Pada tahun 2025, penulis melakukan penelitian tugas akhir berjudul **“Rancang Bangun Dan Pengujian Awal Alat Uji Tribologi Tipe *Pin-On-Disk* Untuk Evaluasi Sifat Keausan Dan Koefisien Gesek Material Teknik”** dibawah bimbingan Ahmad Su'udi, S.T.,M.T. dan bapak Nurcahya Nugraha, S. T., M. T. serta bapak Dr. Jamiatul Akmal, S. T., M. T. sebagai pembahas.

## **MOTTO**

**"Kesuksesan bukan tentang seberapa cepat mencapai tujuan, tetapi tentang seberapa kuat bertahan dalam proses untuk mencapainya."**

**(Rafif)**

**"Berusahalah sebaik mungkin, karena hasil terbaik adalah milik mereka yang tidak berhenti mencoba dan selalu berserah kepada Tuhan."**

**(Rafif)**

**"Seperti gesekan yang menghasilkan keausan pada material, setiap tantangan dalam kehidupan membentuk ketangguhan dan karakter yang lebih kuat."**

**(Rafif)**

## **PERSEMBAHAN**

Dengan menyebut nama Allah SWT Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, penulis panjatkan puji dan syukur ke hadirat-Nya atas rahmat dan karunia-Nya, sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.

### **SKRIPSI INI PENULIS PERSEMBAHKAN KEPADA**

Ibu dan Ayah tercinta, terima kasih karena selalu hadir dengan kasih dan pengorbanan tanpa batas. Setiap doa yang kalian berikan menjadi kekuatan terbesar bagi penulis untuk menyelesaikan perjuangan ini. Ucapan terima kasih saja takkan pernah cukup untuk membalas segala kebaikan keduanya. Semoga karya ini bisa menjadi bukti bahwa doa dan kerja keras kalian tidak pernah sia-sia.

Kakak-kakak dan adik-adik tercinta yang selalu memberikan doa, semangat, dan dukungan yang senantiasa diberikan. Semoga skripsi ini menjadi bukti bahwa doa kalian selalu dikabulkan.

**Seluruh Keluarga Besar Teknik Mesin 2021**

Serta

**Almamater Tercinta Universitas Lampung**

## **KATA PENGANTAR**

Puji dan syukur kupanjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunia-nya dan kesehatan yang telah diberikan kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “RANCANG BANGUN DAN PENGUJIAN AWAL ALAT UJI TRIBOLOGI TIPE PIN-ON-DISK UNTUK EVALUASI SIFAT KEAUSAN DAN KOEFISIEN GESEK MATERIAL TEKNIK”. Tujuan dari penulis skripsi ini yaitu sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar S1 dan untuk melatih mahasiswa dalam berfikir cerdas dan kreatif dalam menulis karya ilmiah. Penulis menyadari masih ada banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu penulis meminta kritik dan saran yang dapat membangun dalam pembuatan skripsi ini.

Bandar Lampung, 04 Juni 2026  
Penulis,

**Rafif Izha Wandira**  
**NPM. 2115021007**

## SANWACANA

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh. Segala puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah S.W.T., yang senantiasa melimpahkan rahmat, hidayah, dan perlindungan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi ini dengan lancar dalam keadaan sehat. Shalawat dan salam senantiasa penulis haturkan kepada Nabi Muhammad S.A.W., yang telah menuntun umatnya menuju akhlak mulia dan ilmu yang bermanfaat, sehingga mampu menjalani hidup dengan benar. Skripsi ini disusun sebagai bukti penyelesaian tugas akhir penulis. Diharapkan karya tulis ini dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu, khususnya di bidang mekanika, terutama mekanika struktur. Skripsi ini juga merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung. Penulis berharap karya ini bermanfaat bagi pembaca maupun pihak yang mengutipnya, serta dapat menjadi referensi untuk penelitian dan studi selanjutnya. Penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan arahan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Ahmad Herison, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Bapak Ahmad Su'udi, S.T, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Ir. Martinus, S.T., M.Sc. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Lampung.
4. Bapak Ahmad Su'udi, S.T, M. T., selaku Dosen Pembimbing I, atas bimbingan, arahan, serta motivasi yang diberikan selama proses penyusunan skripsi ini.
5. Bapak Nurcahya Nugraha, S. T., M. T., selaku Dosen Pembimbing II, atas saran, koreksi, dan masukan yang sangat membantu dalam penyempurnaan skripsi ini.

6. Bapak Dr. Jamiatul Akmal, S. T., M. T., selaku Dosen Pembahas yang telah memberikan kritik dan saran yang bermanfaat bagi penulis.
7. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan bantuan selama masa perkuliahan.
8. Para staf Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung yang telah memberikan pelayanan dan bantuan yang sangat baik selama masa perkuliahan.
9. Kepada kedua orang tua tercinta, Ibu Tuti Herawati dan Ayah Suswandi, atas doa-doa yang senantiasa mengalir, kasih sayang yang tulus, serta pengorbanan yang tak ternilai, penulis mampu bertahan, berjuang, dan menyelesaikan skripsi ini sebaik-baiknya. Selalu ku berdoa kepada Allah agar diberikannya umur panjang. Selama 23 tahun aku dibimbing dan dididik dengan penuh kesabaran, selalu kuharap ketulusan kalian akan mendapat balasan sepotong surga dari Allah Yang Maha Pemurah. Hari ini, gelar S.T. ini penulis persembahkan sebagai bentuk bakti dan syukurku. Semoga setiap tetes pengorbanan dan cinta yang mengalir dalam darahku dapat menghadirkan kesuksesan dan kemudahan bagi kalian, agar sisa hidup dapat dijalani dengan bahagia sebelum kembali kepada-Nya.
10. Kakak-kakak dan adik saya tersayang uwo Tiara, udo Azizal dan adik Nadhira yang menjadi penyemangat bagi penulis untuk terus berusaha dan berkembang. Semoga langkah saya tempuh hari ini dapat menjadi inspirasi dan jalan bagi kita semua.
11. Marco, Rafal, Roshikul, Hilmul, Koharudin, Revi, Wahyu dan Reza selaku teman penelitian saya yang selalu membantu akan kekurangan saya dalam menyelesaikan skripsi ini.
12. Teman-teman seperjuangan Teknik Mesin Universitas Lampung Angkatan 2021 serta teman-teman yang berada di laboratorium Mekanika Struktur yang telah kebersamai, memberi motivasi, keceriaan dan semangat selama perkuliahan.
13. Zakia Qulbi Syafa temen dekat yang telah memberikan segala dukungan dan semangat untuk menemani penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
14. Abangda Syaipudin Anwar, bang Hafiz, Reynal, Sadam, Lutfi, Dimas, Adika dan teman-teman Jekmanila yang lainnya yang selalu memberikan dukungan,

canda tawa, semangat, dan keceriaan selama penyusunan skripsi ini.

15. Serta semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung telah membantu menyelesaikan penyusunan skripsi ini.
16. Terakhir, terima kasih kepada laki-laki yang Manis, sederhana, kuat, dan mandiri, yaitu diri saya sendiri, Rafif Izha Wandira. Terima kasih atas perjalanan panjang yang telah dilalui hingga sampai di titik ini. Banyak proses yang telah dilewati, banyak air mata yang dihapus dengan tangan sendiri, serta banyak lelah dan keluh kesah yang dipendam sendirian. Berbagai hal telah dijalani, dihadapi, dan diselesaikan dengan usaha sendiri. Hingga saat ini tetap kuat karena diri sendiri yang selalu berusaha agar semuanya terlihat baik-baik saja. Bangga atas setiap langkah kecil yang telah ditempuh. Meski mudah merasa lelah dan ingin menyerah, namun tetap berusaha untuk terus mencoba dan bertahan. Selamat menyambut kecemasan-kecemasan di tangga kehidupan berikutnya, selamat berpetualang di fase kehidupan selanjutnya, dan selamat berjuang menghadapi berbagai pertanyaan “kapan” yang seakan tidak ada habisnya. Belajar untuk terus berjuang dengan kekuatan diri sendiri. Tidak ada yang lebih indah selain menyaksikan proses dan pertumbuhan diri dari waktu ke waktu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki keterbatasan dan kekurangan, baik dari segi penyajian maupun isi. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan adanya kritik dan saran yang bersifat membangun demi perbaikan dan pengembangan karya ilmiah di masa yang akan datang. Akhir kata, penulis berharap agar skripsi ini dapat memberikan manfaat, serta dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

Bandar Lampung, 02 Juni 2026

Penulis,

**Rafif Izha Wandira**

**NPM. 21150210**

## DAFTAR ISI

Halaman

<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xviii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematis Penulisan.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
2.1 Dasar Teori Tribologi dan Alat Uji <i>Pin-On-Disk</i> .....	6
2.2 Rancang Bangun Alat <i>Pin-On-Disk</i> di Indonesia.....	9
2.3 Evaluasi Keausan dan Koefisien Gesek pada Material Teknik.....	10
2.4 Desain dan Perancangan <i>Pin-On-Disk</i> Tribometer .....	12
2.5 Perkembangan Rancang Bangun Alat Uji Tribologi.....	14
2.6 Analisis Sifat <i>Tribologis</i> Aluminium dengan Pelumasan Palm Olein pada Variasi Beban Menggunakan Mesin <i>Pin-on-disk</i> .....	16
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	<b>18</b>
3.1 Rancangan Umum Penelitian .....	18
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian .....	19
3.3 Tahapan Penelitian .....	19
3.4 Desain dan Spesifikasi Alat.....	20
3.5 Variabel Penelitian .....	21
3.5.1 Variabel Bebas (Independent Variables).....	21
3.5.2 Variabel Terikat / Tidak Bebas (Dependent Variables).....	22

3.6	Prosedur Pengujian .....	22
3.7	Format Tabel Pencatatan Data.....	25
3.8	Analisis Data .....	25
3.9	Instrumen dan Alat Bantu .....	25
3.10	Validasi dan Evaluasi Alat.....	27
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>28</b>
4.1	Deskripsi umum Alat Uji Tribologi Tipe <i>Pin-On-Disk</i> .....	28
4.2	Hasil Pengujian Awal Alat Uji Tribologi Tipe <i>Pin-On-Disk</i> .....	34
<b>BAB V PENUTUP.....</b>		<b>48</b>
5.1	Kesimpulan .....	48
5.2	Saran.....	49
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>50</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Arah putaran <i>disk</i> terhadap gaya gesek.....	7
Gambar 2. 2 Mekanisme alat uji tribologi tipe <i>pin-on-disk</i> .....	9
Gambar 2. 3 Tribometer <i>pin-on-disk</i> .....	13
Gambar 2. 4 Skematis set-up <i>pin-on-disk</i> .....	15
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian.....	19
Gambar 3. 2 Rancangan konseptual.....	21
Gambar 3. 3 Mekanik Alat Uji Tribologi Tipe Pin-on-disk.....	21
Gambar 4. 1 Alat Uji Tribologi Tipe <i>pin-on-disk</i> .....	30
Gambar 4. 2 (a)Skema Arduino Uno dan Hx711,(b) Arduino Uno dan Hx711....	33
Gambar 4. 3 DBB pengujian awal alat uji tribologi tipe <i>pin-on-disk</i> .....	34
Gambar 4. 4 Grafik Koefisien Gesek Beban 1 kg.....	43
Gambar 4. 5 Grafik Koefisien Gesek Beban 2 kg.....	45

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komponen Utama dan Penjelasan Singkat.....	13
Tabel 3. 1 Pencatatan Data.....	14
Tabel 4. 1 Pengujian Awal Alat Uji Tribologi Tipe <i>Pin-on-disk</i> .....	36

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Fenomena gesekan dan keausan menjadi hal yang sangat penting dalam bidang teknik mesin dan material. Dalam berbagai aplikasi, mulai dari mesin otomotif, peralatan *industry*, hingga peralatan rumah tangga, komponen-komponen mekanik saling bersentuhan dan bergerak relatif, sehingga menyebabkan interaksi tribologi yang memengaruhi efisiensi, keandalan, dan umur pakai komponen tersebut. Oleh karena itu, studi tribologi menjadi aspek yang sangat krusial untuk memahami sifat gesek dan keausan berbagai material.

Dalam ranah teknik mesin dan ilmu material, tribologi merupakan cabang ilmu yang berfokus pada studi interaksi antar permukaan yang saling bergesekan, termasuk di dalamnya aspek gesekan, keausan, dan pelumasan. Pemahaman terhadap fenomena tribologi sangat penting untuk memastikan kinerja dan umur pakai suatu komponen, khususnya pada sistem mekanik yang mengalami kontak bergerak. Salah satu metode yang banyak digunakan untuk mengkaji sifat tribologis suatu material adalah *pin-on-disk*, yakni teknik pengujian di mana sebuah pin ditekan secara konstan terhadap cakram yang berputar, guna merepresentasikan kondisi kerja nyata yang melibatkan gesekan.

Melalui metode ini, parameter seperti koefisien gesek dan tingkat keausan material dapat dianalisis dengan mengendalikan variabel seperti beban tekan, kecepatan rotasi, dan kondisi lingkungan. Karena kesederhanaannya dan kemampuannya merepresentasikan skenario gesekan secara efektif, metode *pin-on-disk* telah digunakan secara luas dalam riset material teknik, pengujian pelumas, serta pengembangan permukaan untuk aplikasi di berbagai sektor

industri, seperti otomotif, manufaktur, dan peralatan teknik berat. Sejumlah penelitian sebelumnya telah berupaya merancang dan mengembangkan alat uji *pin-on-disk* dalam bentuk prototipe yang lebih ekonomis dan mudah diakses untuk keperluan laboratorium pendidikan. Misalnya, penelitian oleh (Rosa Putra Cupu & Adeka Putra, 2022) merancang tribometer berbasis metode Hatamura dan menghasilkan dokumentasi teknis menyeluruh yang membahas konstruksi mekanis serta aspek keselamatan kerja alat tersebut. Temuan mereka menunjukkan bahwa kestabilan mekanis merupakan faktor kunci dalam menjaga kualitas pengujian tribologi. Sementara itu, (Moh Erwin Baharuddin, 2022) merancang alat tribologi dengan menggunakan motor DC gearbox 12 volt yang dikontrol oleh mikrokontroler berbasis Arduino, serta dilengkapi fitur pengaturan beban dan kecepatan rotasi. Penelitian ini menekankan pentingnya integrasi sistem sensor untuk akuisisi data secara akurat dan real-time. Di sisi lain, (Roziqin, 2023) melakukan uji tribologi pada baja St-60 menggunakan pelumas SAE 40 dan SAE 140, dan menemukan bahwa variasi jenis pelumas hanya menghasilkan perbedaan kecil pada koefisien gesek, yang berkisar antara 0,07027 hingga 0,0704 N. Hal ini mengindikasikan perlunya alat uji dengan sensitivitas tinggi untuk mendeteksi perubahan nilai gesekan yang relatif kecil.

Walaupun berbagai penelitian tersebut menunjukkan bahwa pengembangan alat uji tribologi secara lokal sangat potensial, masih terdapat beberapa kekurangan, seperti belum tersedianya sistem akuisisi data otomatis, keterbatasan dalam pengaturan parameter secara presisi, serta ketidakstabilan struktur mekanik saat proses pengujian berlangsung. Oleh karena itu, penelitian tugas akhir ini diarahkan untuk merancang dan membangun alat uji tribologi tipe *pin-on-disk* yang tidak hanya hemat biaya dan mudah dibuat, tetapi juga mampu mengukur sifat keausan serta koefisien gesek material teknik secara lebih akurat dan andal. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan sebuah prototipe alat yang layak digunakan di lingkungan laboratorium akademik maupun industri kecil-menengah, sekaligus menjadi solusi alternatif terhadap ketergantungan pada alat uji impor yang berbiaya tinggi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang disampaikan, berikut adalah rumusan masalah yang dapat dirumuskan secara jelas, sistematis, dan sesuai konteks penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang dan membangun alat uji tribologi tipe *pin-on-disk* yang efektif dan efisien ?
2. Bagaimana kinerja alat uji tribologi tersebut dalam mengukur koefisien gesek dan keausan material ?
3. Bagaimana validasi hasil pengujian yang diperoleh terhadap data referensi?

## 1.3 Tujuan Penelitian

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

1. Merancang dan membangun alat uji tribologi tipe *pin-on-disk*.
2. Melakukan pengujian awal terhadap alat uji tribologi tipe *pin-on-disk* untuk mengukur koefisien gesek dan laju keausan.
3. Melakukan validasi dan evaluasi terhadap hasil pengujian alat.

## 1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan tujuan penelitian diatas, maka batasan masalah yang disusun adalah sebagai berikut:

1. Jenis pengujian tribologi hanya menggunakan metode *pin-on-disk*.
2. Material uji terbatas pada kuningan dan baja karbon.
3. Pengukuran tribologi hanya mencakup koefisien gesek kinetis ( $F_k$ )/rata-rata laju keausan berdasarkan perubahan massa pin.

## 1.5 Sistematis Penulisan

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

### **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab ini akan dibahas mengenai latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan laporan ini secara keseluruhan.

### **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini akan dijelaskan tentang konsep tribologi secara umum, prinsip kerja alat uji tribologi tipe *pin-on-disk*, serta sifat keausan dan koefisien gesek pada material teknik. Selain itu, bab ini juga membahas berbagai penelitian terdahulu yang berkaitan dengan pengembangan alat uji tribologi, komponen mekanis dan elektrik yang digunakan, serta metode pengujian dan analisis data dalam tribologi.

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini akan dijelaskan tahapan perancangan dan pembangunan alat uji tribologi, spesifikasi alat dan komponen yang digunakan, sistem penggerak dan pengendalian kecepatan, prosedur perakitan dan pengujian awal, metode pengambilan data, serta teknik analisis data yang diterapkan untuk mengevaluasi kinerja alat.

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Pada bab ini akan diuraikan deskripsi alat uji yang telah dibangun, hasil pengujian awal terkait koefisien gesek dan keausan material, serta perbandingan hasil pengujian dengan data referensi dari literatur. Bab ini juga membahas analisis kinerja alat uji, termasuk kestabilan, presisi, dan akurasi, serta mengidentifikasi kelebihan dan keterbatasan alat.

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini akan disajikan kesimpulan dari seluruh hasil penelitian serta saran untuk pengembangan alat uji tribologi di masa mendatang.

## **DAFTAR PUSTAKA**

Berisikan tentang referensi yang digunakan dalam penulisan dan penyusunan laporan penelitian.

## **LAMPIRAN**

Berisikan data-data pelengkap yang kita cantumkan pada bab-bab sebelumnya dan juga pelengkap dari laporan penelitian.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Dasar Teori Tribologi dan Alat Uji *Pin-On-Disk*

Tribologi merupakan cabang ilmu teknik yang mempelajari fenomena gesekan (*friction*), keausan (*wear*), dan pelumasan (*lubrication*) antara dua permukaan yang saling bersinggungan dalam kondisi gerak relatif. Ilmu ini memiliki kontribusi penting dalam perancangan mesin dan sistem mekanik karena hampir seluruh komponen yang bergerak mengalami interaksi tribologis. Energi yang hilang akibat gesekan diestimasi menyumbang sekitar 20% dari konsumsi energi global, sehingga pemahaman dan pengendalian tribologi memiliki dampak besar dalam efisiensi energi dan umur pakai komponen mesin.

Dalam studi tribologi, dua fenomena utama yang dikaji adalah gaya gesek dan keausan. Gaya gesek ditentukan oleh koefisien gesek ( $\mu$ ), yang didefinisikan sebagai rasio antara gaya gesek dengan gaya normal yang bekerja pada permukaan kontak ( $\mu = F/N$ ). Sementara itu, keausan didefinisikan sebagai kehilangan massa atau volume material akibat interaksi permukaan yang saling bergesekan. Salah satu model teoritis yang paling banyak digunakan dalam menganalisis keausan adalah model Archard, yang menyatakan bahwa volume keausan ( $V$ ) sebanding dengan gaya normal ( $W$ ) dan jarak geser ( $L$ ), serta berbanding terbalik dengan kekerasan material ( $H$ ), atau ditulis sebagai

$$V = k \cdot \frac{W \cdot L}{H}, \quad (1)$$

$$k = \frac{V \cdot H}{W \cdot L} \quad (2)$$

$$k = \frac{K}{H} = \frac{V}{W.L} \quad (3)$$

$$k = \frac{V}{W.L} \quad (4)$$

di mana,

$V$  = volume keausan ( $\text{mm}^3$ )

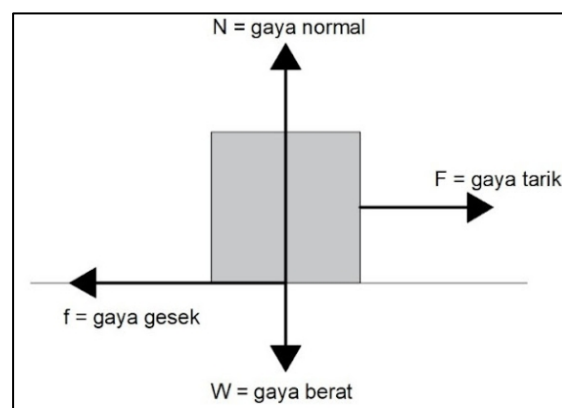
$k$  = Koefisien keausan spesifik ( $\text{cm}^3/\text{N.m}$ )

$W$  = gaya normal ( $\text{kg.m/s}^2$ )

$L$  = jarak geser (mm)

$H$  = kekerasan material ( $\text{kg/mm}^2$ )

Untuk mengevaluasi sifat tribologi suatu material, salah satu alat pengujian yang paling umum digunakan adalah tribometer tipe *pin-on-disk*. Alat ini bekerja dengan prinsip bahwa sebuah pin silindris ditekan ke permukaan cakram yang berputar, menciptakan kondisi kontak yang seragam dan dapat dikendalikan secara presisi. Selama proses pengujian, data gaya gesek dapat diukur secara langsung melalui sensor beban, sedangkan volume keausan pin dapat ditentukan melalui pengukuran berat atau volume sebelum dan sesudah pengujian. Parameter penting dalam pengujian ini antara lain gaya normal, kecepatan putar cakram, waktu gesek, serta material pin dan cakram (Sulistiono, 2021).



Gambar 2.1 Arah putaran disk terhadap gaya gesek

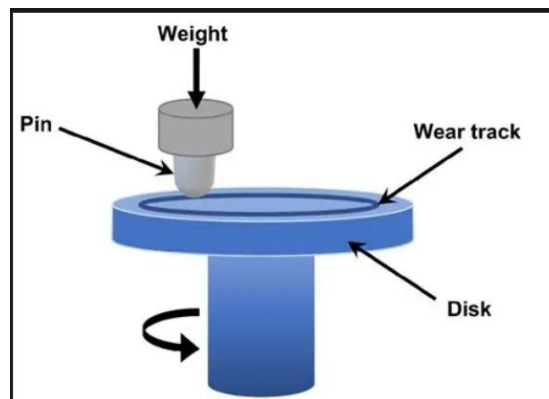
Standar internasional yang digunakan dalam pengujian *pin-on-disk* adalah ASTM G99, yang mengatur dimensi pin (umumnya berdiameter 6 mm dan tinggi 34 mm), kecepatan putar cakram, waktu uji, serta metode analisis keausan dan koefisien gesek. Beberapa studi lokal telah berhasil merancang dan membangun alat uji tribologi tipe *pin-on-disk* berbasis standar ASTM G99, namun dengan komponen yang lebih ekonomis dan sistem kontrol sederhana. Misalnya, Sulistiono, (2021) merancang tribometer *pin-on-disk* sederhana yang mampu menghasilkan data keausan dan gesekan yang andal. Desain ini menggunakan motor DC, dudukan cakram, dan sistem pengatur beban serta sensor untuk mencatat data gesekan secara real time (Sulistiono, 2021).

Pengembangan alat ini juga dilakukan oleh (Sirojulmuminin, 2022) yang menambahkan dua variasi kecepatan putaran pada motor dan peningkatan struktur mekanik alat agar lebih portable dan presisi. Hasil rancang bangun lokal ini membuktikan bahwa alat tribologi dapat dibuat secara efisien dan akurat tanpa harus mengandalkan peralatan impor yang mahal (Sirojulmuminin, 2022). Lebih lanjut, studi (Armanto et al., 2015) menjelaskan proses desain konseptual alat *pin-on-disk* mulai dari identifikasi kebutuhan, spesifikasi teknis, pemilihan material, hingga pengujian awal. Prosedur ini menunjukkan pentingnya pendekatan rekayasa sistematis dalam rancang bangun alat uji tribologi yang sesuai standar namun tetap fleksibel untuk kebutuhan penelitian lokal (Armanto et al., 2015).

Dengan menggunakan tribometer *pin-on-disk*, para peneliti dapat mengamati transisi dari kondisi keausan transien (di awal pengujian) ke kondisi steady state, di mana laju keausan cenderung stabil. Transisi ini penting untuk dianalisis karena memengaruhi interpretasi hasil pengujian terhadap performa material dalam kondisi operasi nyata. Oleh karena itu, pemahaman teoritis yang baik tentang tribologi serta perancangan alat uji yang sesuai menjadi landasan utama dalam mengevaluasi karakteristik keausan dan gesekan suatu material teknik.

## 2.2 Rancang Bangun Alat *Pin-On-Disk* di Indonesia

Beberapa penelitian dari Indonesia memperlihatkan kontribusi signifikan terhadap pengembangan tribometer *pin-on-disk* secara lokal. Salah satunya adalah oleh (Kusman. & Darmanto., 2022) yang melakukan analisis keausan pada pin besi cor A dan B tanpa pelumas menggunakan tribotester *pin-on-disk*. Mereka menemukan bahwa volume keausan tertinggi terjadi pada pin besi cor A saat beban 20 N dan jarak gesek 600 m mencapai  $0,31252 \text{ mm}^3$ , serta koefisien keausan terbesar sebesar  $1,18467 \times 10^{-8} \text{ mm}^3/(\text{N}\cdot\text{mm})$ . Penelitian oleh (Syafa'at et al., 2019) juga mengevaluasi keausan disk besi cor dengan pendekatan matematika sederhana dan model Archard menggunakan tribometer *pin-on-disk* tanpa pelumas. Penelitian ini membandingkan hasil antara variasi kekerasan material disc dan diameter pin, sehingga memberikan insight tentang efek material pada lebar dan volume keausan serta tinggi aus di kontak silinder-lapisan datar .



Gambar 2.2 Mekanisme alat uji tribologi tipe *pin-on-disk*

Penelitian lain oleh (Syafa'at et al., 2019) menguji keausan kuningan (pin) terhadap disk baja tanpa pelumas. Variasi beban 6 N hingga 10 N serta variasi waktu gesek hingga 16 menit diuji, menghasilkan nilai kedalaman keausan hingga  $3,047 \times 10^{-5} \text{ m}$  dan volume keausan  $2,165 \times 10^{-11} \text{ m}^3$  pada sliding distance sebesar 180,48 m dan beban 10 N. Semakin besar beban dan jarak gesek, semakin besar keausan yang terjadi. Selain studi eksperimental, ada juga prosiding yang membahas perancangan alat uji *pin-on-disk* skala laboratorium

menggunakan metode desain (Pahl & Beitz, Raka Triasmoro dan tim 2020) mengaplikasikan analisis struktural terhadap material ASTM A36, memastikan bahwa struktur alat aman saat diberikan beban hingga 200 N dengan nilai Von Mises stress di bawah batas luluh material. Konsep terpilih berdasarkan matriks desain menghasilkan struktur yang efisien dan layak digunakan sebagai dasar pembuatan alat tribologi local. Lebih lanjut, (Rosa Putra Cupu & Adeka Putra, 2022) menerapkan metode Hatamura untuk merancang tribometer *pin-on-disk* yang mendukung gerakan rotasi maupun reciprocating. Mereka menggunakan Autodesk Inventor untuk simulasi beban, defleksi, dan faktor keamanan struktur dan menghasilkan dokumen teknis lengkap berupa layout, gambar rakitan, dan *bill of materials*.

### 2.3 Evaluasi Keausan dan Koefisien Gesek pada Material Teknik

Evaluasi terhadap sifat keausan dan koefisien gesek merupakan langkah penting dalam memahami performa material teknik ketika bekerja dalam kondisi gesekan. Salah satu pendekatan umum yang digunakan adalah pengujian menggunakan alat uji *pin-on-disk*, yang memungkinkan pengukuran gaya gesek, volume keausan, dan perhitungan koefisien gesek secara akurat. Dalam studi yang dilakukan oleh Maulana, (Syafa'at, dan Darmanto, 2024), analisis keausan pada pasangan baja menggunakan simulasi metode elemen hingga (FEM) menunjukkan bahwa fase keausan transien (*running-in*) berakhir setelah jarak gesek sekitar 38.125 mm, dan memasuki fase *steady-state* yang ditandai dengan kestabilan gaya gesek dan tekanan kontak. Temuan ini menggarisbawahi pentingnya identifikasi transisi keausan untuk mendesain komponen mekanis yang tahan lama.

Aspek pelumasan juga memainkan peran penting dalam evaluasi keausan. (Roziqin, 2023) menguji pengaruh pelumas SAE 40 dan SAE 140 terhadap baja ST60 dan menemukan bahwa meskipun pelumas tidak secara signifikan mempengaruhi nilai koefisien gesek (sekitar 0,0703–0,0704), keausan material

berkurang drastis dibandingkan kondisi tanpa pelumas. Hal ini menunjukkan bahwa pelumasan lebih dominan dalam mereduksi keausan daripada mengubah gaya gesek. Selain pelumasan, perlakuan permukaan seperti pelapisan nano-ceramic juga berdampak besar. (Ardiyatna et al. 2024) mengkaji variasi ketebalan pelapisan nano-ceramic (GSLs dan DPRO) pada baja AISI C1045, dan mendapati bahwa dua lapisan coating menghasilkan keausan dan koefisien gesek yang lebih tinggi dibanding tanpa coating, menunjukkan adanya pengaruh negatif terhadap interaksi permukaan apabila ketebalan lapisan tidak dioptimalkan.

Pengaruh gaya beban juga menjadi salah satu parameter penting. (Kurniawan, 2022) menunjukkan bahwa pada pengujian keausan tipe *line contact*, peningkatan beban dari 6 N hingga 10 N secara langsung meningkatkan kedalaman dan volume keausan. Pada beban 10 N dan jarak gesek 904,32 m, tercatat kedalaman aus sebesar  $2,46 \times 10^{-5}$  m dan volume keausan sebesar  $1,63 \times 10^{-8}$  m<sup>3</sup>. Hasil ini menguatkan teori bahwa laju keausan sebanding dengan beban kontak, seperti dijelaskan dalam model Archard. Studi lain oleh (Krisnandi et al. 2020) mengevaluasi fase awal gesekan (*running-in*) pada material aluminium dan kuningan. Hasilnya menunjukkan bahwa koefisien gesek menurun seiring pertambahan jarak gesek dan waktu. Fase *running-in* lebih cepat tercapai pada aluminium (~40 detik) dibanding kuningan (~70 detik), menandakan karakteristik deformasi permukaan awal yang berbeda antar material.

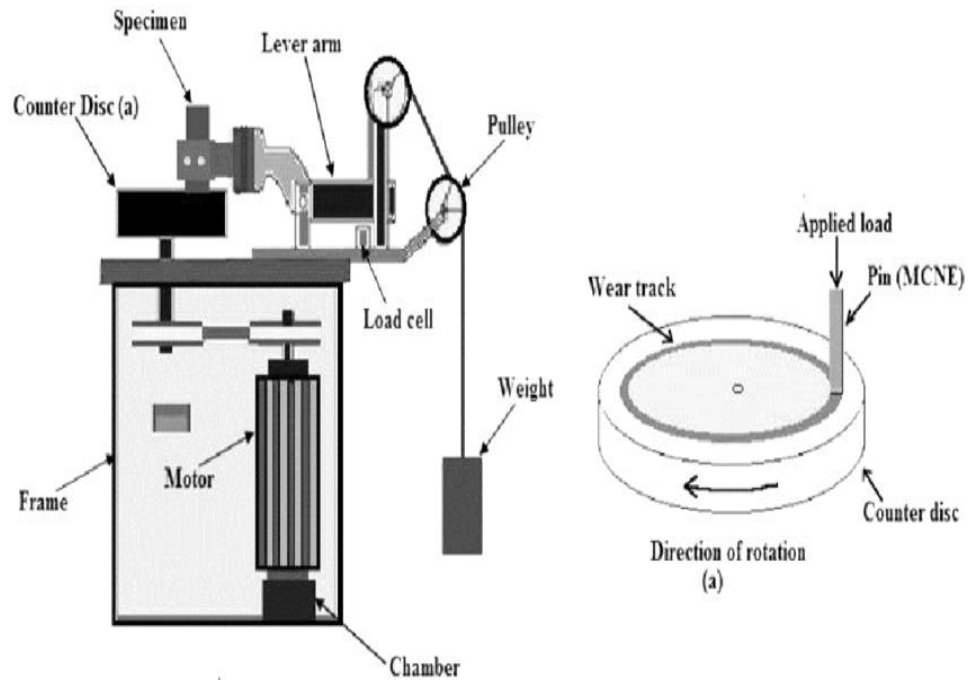
Secara keseluruhan, parameter seperti pelumasan, jenis lapisan permukaan, beban kontak, dan karakteristik material memiliki pengaruh signifikan terhadap performa tribologis suatu material teknik. Pengujian eksperimental menggunakan tribometer *pin-on-disk* menjadi alat penting untuk memahami dan mengontrol keausan serta koefisien gesek dalam desain rekayasa.

## 2.4 Desain dan Perancangan *Pin-On-Disk* Tribometer

Dalam penelitian oleh (SARAÇ & DURAK, 2024) dirancang sebuah tribometer *pin-on-disk* (PDATD) yang memenuhi standar ASTM G-99 untuk pengujian keausan dan koefisien gesek material. Sistem dilengkapi dengan arm beban yang dapat diatur, memungkinkan load control yang presisi. Struktur lengan dibangun menggunakan bantalan rol dan fit toleransi tinggi sehingga dapat bergerak bebas. Analisis struktur menggunakan metode elemen hingga (FEA) dan analisis analitik menilai tegangan serta deformasi pada arm beban. Perawatan pada mounting disc memungkinkan penggunaan pin atau elemen spherical sebagai permukaan kontak. Selain itu, instrumen ini terpasang termokopel untuk pengukuran suhu kontak dalam kondisi pelumasan dan sistem elektronik memonitor arus motor drive untuk menghubungkan gaya gesek dengan konsumsi daya.

Desain lain dari (I,Hakan Kalel, 2015) memperkenalkan konsep tribometer universal yang mendukung tiga mode pengujian: *pin-on-disk*, *ball-on-disc*, dan *reciprocating linear*. Desain ini memungkinkan penggunaan dengan atau tanpa pelumas, dan dilengkapi modul pengukuran data yang rinci. Setiap komponen dipilih untuk memberikan fleksibilitas dan akurasi pengukuran.

Gambar skematis dari tribometer (seperti yang terlihat di atas) menunjukkan konfigurasi tipikal: pin diuji dijepit pada holder berbeban deadweight atau lengan terukur, yang ditekan ke permukaan disc berputar. Motor penggerak mengontrol kecepatan rotasi disc, sensor gaya (load cell atau transduser) merekam gaya gesek, dan termokopel dipasang untuk memantau suhu kontak. Ilustrasi ini membantu menggambarkan bagaimana alat mengatur kondisi uji variatif dan sensornya dapat diintegrasikan dengan data sistem kontrol elektronik.

Gambar 2. 3 Tribometer *pin-on-disk*

Tabel 2. 1 Komponen Utama dan Penjelasan Singkat

No.	Komponen	Fungsi Singkat
1	Pin	Material uji yang ditekan ke disc untuk mengalami gesekan.
2	Disc	Cakram logam yang berputar sebagai permukaan gesek.
3	Motor	Menggerakkan disc dengan kecepatan tertentu (misal 100–1000 rpm).
4	Lengan beban	Menekan pin ke disc dengan gaya konstan (deadweight atau pegas).
5	Sensor gaya (Load cell)	Mengukur gaya gesek yang timbul selama pengujian.
6	Sensor suhu (termokopel)	Mendeteksi suhu pada area kontak gesek.
7	Sistem pelumasan (opsional)	Menyediakan kondisi gesekan basah jika diperlukan.
8	Frame	Rangka penopang seluruh sistem alat.

Cara Kerja Singkat:

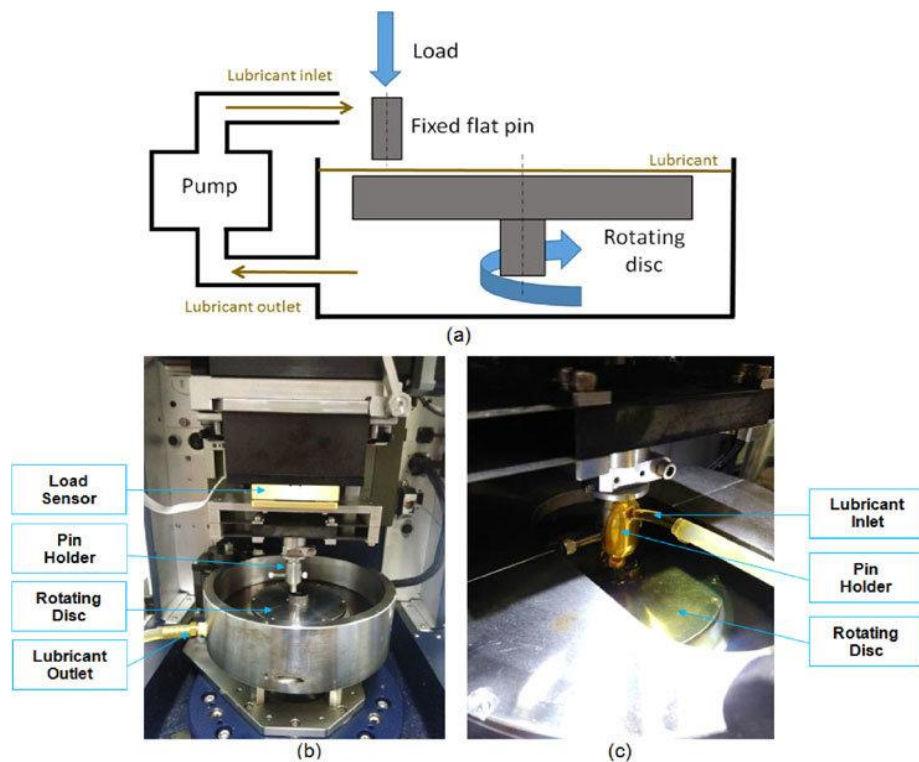
1. Pin diletakkan di atas disc yang dapat berputar.
2. Beban diberikan dari atas pin (melalui lengan atau pemberat).
3. Motor memutar disc dengan kecepatan terkontrol.
4. Terjadi gesekan antara pin dan disc, menghasilkan data gaya gesek dan keausan.
5. Sensor mengukur gaya gesek (untuk menghitung koefisien gesek) dan suhu permukaan jika diperlukan.

## 2.5 Perkembangan Rancang Bangun Alat Uji Tribologi

Perkembangan rancang bangun alat uji tribologi tipe *pin-on-disk* telah menunjukkan kemajuan yang signifikan dalam beberapa tahun terakhir, baik dari segi efisiensi biaya maupun kompleksitas sistem. Salah satu inovasi datang dari (Singh et al. 2020) yang mengembangkan tribometer berbiaya rendah yang mampu melakukan uji gesek kering maupun pelumasan. Alat ini dirancang menggunakan pengendali berbasis Arduino, dilengkapi dengan sensor gaya dan sistem pengatur kecepatan serta beban. Pengujian menggunakan pelumas nano fly ash menunjukkan bahwa alat ini mampu menghasilkan data koefisien gesek dan laju keausan dengan akurasi yang dapat diandalkan. Penggunaan mikrokontroler dan sensor digital dalam sistem ini menjadi bukti bahwa alat tribologi yang efektif tidak harus mahal, asalkan parameter penting seperti gaya normal, kecepatan putar, dan suhu dikendalikan dengan tepat.

Dalam pengujian tribologi menggunakan alat uji *pin-on-disk*, material yang paling sering digunakan antara lain aluminium dan baja karbon rendah (*mild steel*). Aluminium memiliki keunggulan ringan dengan konduktivitas termal yang baik, sehingga banyak digunakan dalam aplikasi yang memerlukan pengurangan berat sekaligus pengendalian panas. Dalam penelitian oleh (Aliemeke et al., 2023), pengujian tribologi pada aluminium alloy dan baja karbon rendah menunjukkan bahwa aluminium cenderung mengalami tingkat

stres gesek yang lebih tinggi dan wear rate yang lebih besar dibandingkan baja karbon. Hal ini disebabkan oleh perbedaan kekerasan dan sifat mekanik kedua material tersebut. Namun, penggunaan pelumas dan aditif tertentu mampu menurunkan koefisien gesek pada aluminium secara signifikan, seperti yang ditemukan pada studi oleh (Ahmer et al., 2016) yang menunjukkan penurunan koefisien gesek hingga tiga kali lipat dengan penggunaan aditif Polytron pada aluminium-pin yang digosokkan ke disk baja.



Gambar 2. 4 Skematis set-up *pin-on-disk*

Sementara itu, baja karbon rendah seperti AISI 1018 tetap menjadi pilihan utama karena kombinasi kekuatan mekanik, ketahanan aus, dan biaya yang relatif rendah. Baja karbon rendah menunjukkan performa tribologi yang stabil dengan koefisien gesek yang cenderung lebih rendah dibanding aluminium dalam kondisi uji yang sama. Selain itu, baja karbon juga mampu mempertahankan kestabilan gesekan pada suhu operasi hingga sekitar 60°C dengan wear rate yang relatif rendah, sehingga cocok untuk simulasi kondisi kerja nyata pada alat uji tribologi *pin-on-disk*.

## 2.6 Analisis Sifat *Tribologis* Aluminium dengan Pelumasan Palm Olein pada Variasi Beban Menggunakan Mesin *Pin-on-disk*

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi beban terhadap sifat tribologis paduan aluminium yang dilumasi menggunakan Double Fractionated Palm Olein (DFPO) dengan memanfaatkan alat uji *pin-on-disk*. Palm olein dipilih karena sifatnya yang ramah lingkungan, mudah terurai secara hayati (*biodegradable*), dan memiliki kandungan asam lemak tak jenuh yang tinggi, yang berpotensi membentuk lapisan pelindung alami pada permukaan logam. Dalam pengujian ini, dilakukan perbandingan kinerja DFPO dengan dua jenis pelumas berbasis mineral yaitu oli hidrolik dan oli mesin SAE 40, guna mengetahui efektivitas palm olein sebagai pelumas alternatif.

Gesekan dan keausan merupakan dua faktor penting yang menentukan efisiensi dan umur pakai komponen mekanis. Pelumasan digunakan untuk mengurangi gesekan, panas, dan keausan yang terjadi akibat kontak langsung antara dua permukaan logam. Namun, pelumas berbasis minyak mineral telah terbukti menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan karena bersifat toksik dan sulit terurai. Oleh karena itu, penggunaan minyak nabati seperti palm olein menjadi solusi potensial untuk menggantikan pelumas konvensional. Malaysia sebagai salah satu produsen minyak sawit terbesar di dunia memiliki peluang besar untuk mengembangkan bio-lubricant berbasis palm olein sebagai alternatif yang berkelanjutan.

Penelitian ini menggunakan alat *pin-on-disk* tribotester yang sesuai dengan standar ASTM G99. Pin yang digunakan terbuat dari paduan aluminium A5083 berbentuk hemisfer dengan diameter 6 mm dan panjang 30 mm, sedangkan cakram uji dibuat dari baja SKD11. Tiga jenis pelumas digunakan dalam penelitian ini, yaitu Double Fractionated Palm Olein (DFPO), oli hidrolik (HO), dan oli mesin SAE 40 (EO). Uji dilakukan pada kecepatan geser konstan sebesar 3 m/s selama 60 menit, dengan tiga variasi beban normal yaitu 10 N,

50 N, dan 100 N. Parameter yang diamati meliputi koefisien gesek ( $\mu$ ), laju keausan, kekasaran permukaan ( $R_a$ ), dan diameter bekas aus pada permukaan pin. Laju keausan dihitung dari perubahan berat pin sebelum dan sesudah pengujian, sedangkan koefisien gesek ditentukan dari hasil pembacaan load cell selama proses gesekan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai koefisien gesek menurun seiring peningkatan beban yang diberikan. Pada beban 10 N, koefisien gesek terendah dicapai oleh pelumas DFPO sebesar 0,0275, sedangkan pada beban 50 N dan 100 N nilai tersebut menurun masing-masing menjadi 0,0209 dan 0,0200. Hal ini menunjukkan bahwa palm olein memiliki kemampuan membentuk lapisan pelumas yang stabil dan mampu mencegah kontak langsung antar logam. Reaksi antara asam lemak tak jenuh (seperti oleat dan palmitat) dengan oksida logam pada permukaan aluminium membentuk film tipis yang berfungsi sebagai pelindung tribologi. Sebaliknya, oli hidrolik dan oli mesin menunjukkan nilai koefisien gesek yang lebih tinggi, menandakan bahwa pelumas berbasis mineral kurang efektif dalam membentuk lapisan pelindung pada kondisi beban tinggi.

Laju keausan meningkat dengan bertambahnya beban akibat meningkatnya tekanan kontak dan energi gesek pada area kontak. Namun demikian, pin yang dilumasi dengan DFPO menunjukkan kehilangan volume material paling kecil dibandingkan dengan dua pelumas lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa palm olein memiliki kemampuan anti-aus yang baik. Kandungan palmitic acid dalam palm olein berperan penting dalam membentuk lapisan kimia pelindung di permukaan aluminium, sehingga mengurangi laju keausan selama proses gesekan berlangsung. Selain itu, palm olein memiliki keseimbangan antara asam lemak jenuh dan tak jenuh yang memberikan viskositas optimal untuk mempertahankan ketebalan film pelumas pada berbagai tingkat beban.

Hasil pengukuran kekasaran permukaan menunjukkan bahwa pin yang dilumasi dengan DFPO memiliki nilai kekasaran yang lebih rendah dibandingkan dengan pelumas berbasis mineral.

## **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

### **3.1 Rancangan Umum Penelitian**

Penelitian ini bersifat eksperimental, dengan tujuan utama untuk merancang dan membangun prototipe alat uji tribologi tipe *pin-on-disk* yang mampu digunakan untuk mengevaluasi sifat keausan dan koefisien gesek berbagai material teknik. Proses perancangan melibatkan tahapan konseptualisasi, pemilihan komponen mekanik dan elektronik, pembuatan perangkat, serta integrasi sistem pengukuran dan kendali.

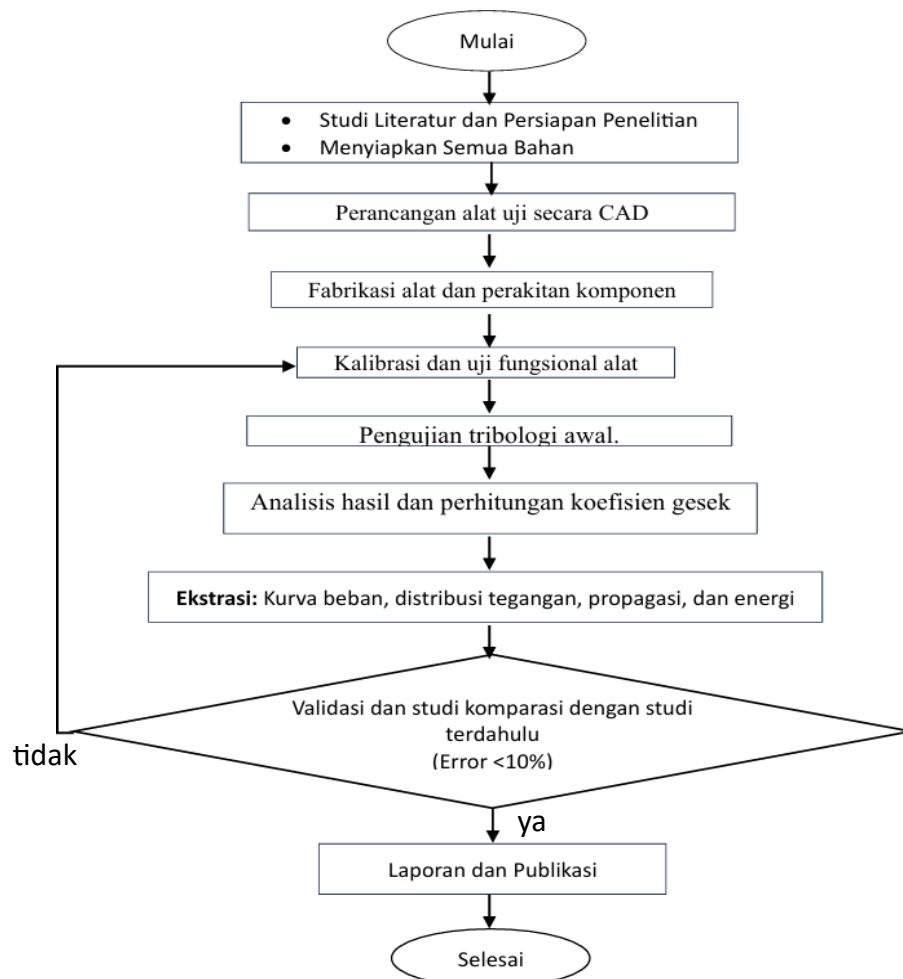
Setelah alat berhasil dibangun, dilakukan pengujian awal (*preliminary test*) terhadap beberapa pasangan material untuk mengevaluasi performa alat dan memperoleh data awal mengenai perilaku gesek dan keausan. Parameter utama yang diukur dalam pengujian meliputi gaya gesek, koefisien gesek, kehilangan massa (*wear loss*), dan laju keausan. Variasi beban, kecepatan putar disk, dan waktu pengujian juga dimasukkan sebagai variabel untuk menilai sensitivitas dan keandalan alat dalam kondisi pengujian yang berbeda. Selain itu, alat ini dirancang agar fleksibel dan modular, sehingga dapat digunakan dalam studi tribologi lanjutan untuk berbagai jenis material dan kondisi lingkungan, seperti pelumasan atau suhu tinggi. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan alat uji yang handal, ekonomis, dan sesuai dengan kebutuhan laboratorium teknik material maupun manufaktur.

### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan mulai Agustus hingga November 2025, sehingga memberikan durasi yang memadai untuk proses perancangan, pengujian, hingga analisis data secara menyeluruh. Seluruh rangkaian kegiatan penelitian dilakukan di Laboratorium Mekanika Struktur, Program Studi Teknik Mesin, Universitas Lampung.

### 3.3 Tahapan Penelitian

Langkah-langkah penelitian dirancang dalam tahapan, sebagaimana yang dapat dilihat pada diagram alir Gambar 1.



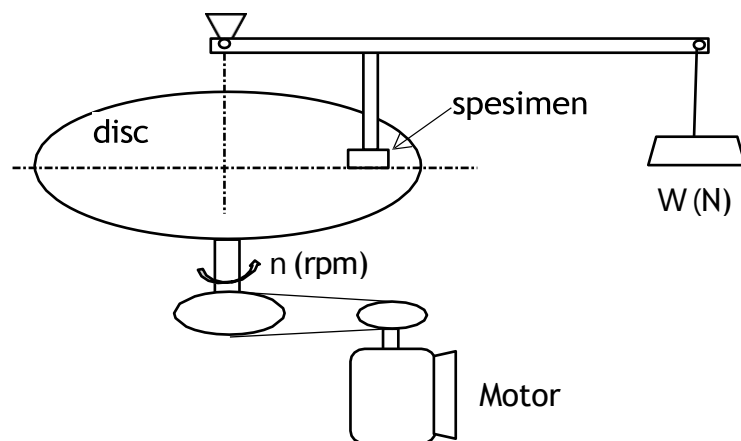
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian

### 3.4 Desain dan Spesifikasi Alat

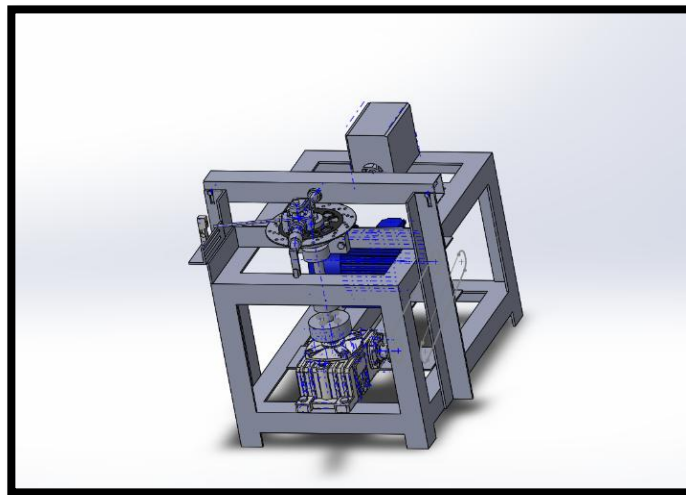
Alat uji tribologi ini dirancang menggunakan konfigurasi disc dari baja tahan karat berdiameter 150 mm, yang berfungsi sebagai bidang gesek utama. Disc digerakkan oleh motor DC dengan kecepatan variabel, sehingga memungkinkan pengujian pada berbagai kecepatan rotasi sesuai kebutuhan studi tribologi. Sistem transmisi dan kontrol motor memungkinkan pengaturan kecepatan yang presisi untuk mengevaluasi pengaruh kecepatan terhadap koefisien gesek dan laju keausan.

Pin penggesek dirancang agar dapat diganti, demikian juga disc, sehingga alat ini bersifat fleksibel untuk pengujian berbagai kombinasi pasangan material teknik. Gaya tekan terhadap pin diatur melalui sistem pemberat dengan mekanisme tuas tumpu, yang memberikan beban vertikal konstan dan dapat divariasikan. Sistem ini sederhana namun efektif untuk mengatur pembebanan tanpa memerlukan aktuator kompleks. Pengukuran gaya gesek dilakukan menggunakan sistem pengimbang beban (load cell atau tuas torsi dengan pegas), yang dikalibrasi untuk menghasilkan data kuantitatif mengenai gaya gesek antara pin dan disc. Dari data ini, koefisien gesek dihitung secara langsung.

Rangka utama alat terbuat dari baja profil L, memberikan kekakuan dan stabilitas struktural selama proses pengujian, serta meminimalkan getaran dan deformasi yang dapat mempengaruhi hasil uji. Seluruh komponen dirancang dengan mempertimbangkan kemudahan perawatan, pemasangan ulang, dan penggantian komponen. Rancangan konsep alat dapat dilihat pada Gambar 1, sedangkan rancangan embodiment ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 3. 2 Rancangan konseptual



Gambar 3. 3 Mekanik Alat Uji Tribologi Tipe *pin-on-disk*.

### 3.5 Variabel Penelitian

#### 3.5.1 Variabel Bebas (Independent Variables)

Merupakan variabel yang dimanipulasi atau divariasikan selama pengujian untuk melihat pengaruhnya terhadap hasil. Dalam penelitian ini, variabel bebas meliputi:

1. Jenis material pin dan disk: Misalnya baja karbon, aluminium, kuningan, dan baja tahan karat, yang memiliki sifat mekanik dan tribologis berbeda.
2. Beban tekan: Diatur menggunakan sistem pemberat (misal 5 N, 10 N, 15 N), untuk mengevaluasi pengaruh tekanan terhadap laju keausan dan gaya gesek.
3. Kecepatan putar disk: Dapat divariasikan (misal 100 rpm, 200 rpm, 300 rpm), untuk melihat pengaruh energi gesek terhadap sifat tribologis material.

#### **3.4.2 Variabel Terikat / Tidak Bebas (Dependent Variables)**

Merupakan variabel yang diukur atau diamati sebagai respons dari perubahan variabel bebas. Dalam konteks alat uji tribologi ini:

1. Koefisien gesek ( $\mu$ ): Dihitung dari hasil pengukuran gaya gesek dan gaya tekan.
2. Laju keausan (*wear rate*): Diperoleh dari pengukuran massa awal dan akhir pin/disc, serta berdasarkan jarak luncur selama pengujian.
3. Waktu uji: Meskipun biasanya ditetapkan, waktu juga berperan sebagai faktor yang memengaruhi tingkat keausan dan akumulasi gaya gesek.

### **3.6 Prosedur Pengujian**

Prosedur pengujian dilakukan untuk mengevaluasi performa awal alat uji tribologi tipe *Pin-on-disk* serta memperoleh data mengenai koefisien gesek dan laju keausan dari pasangan material uji. Langkah-langkah pengujian secara umum adalah sebagai berikut:

#### 1. Persiapan spesimen

Pin dan disc yang akan diuji dipersiapkan sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan. Permukaan kontak pin dan disc dibersihkan menggunakan cairan pembersih (alkohol) untuk menghilangkan kotoran, minyak, atau partikel asing yang dapat memengaruhi hasil pengujian.

#### 2. Penimbangan Massa Awal Pin

Pin ditimbang menggunakan timbangan digital dengan ketelitian yang memadai untuk memperoleh massa awal pin ( $m_0$ ). Nilai massa ini dicatat sebagai data awal sebelum pengujian.

#### 3. Pemasangan Spesimen pada Alat Uji

Pin dipasang padaudukan pin, sedangkan disk dipasang pada poros pemutar (spindle) alat uji tribologi tipe *pin-on-disk*. Pemasangan dilakukan dengan memastikan posisi pin tegak lurus terhadap permukaan disc.

#### 4. Pengaturan Kecepatan Putar

Kecepatan putar disc diatur menggunakan inverter. Variasi kecepatan putar yang digunakan pada pengujian ini adalah 20 rpm. Setelah nilai kecepatan ditentukan, inverter disetel dan dipastikan dalam kondisi siap digunakan.

#### 5. Kalibrasi Sistem Pengukuran Gaya Gesek

Sebelum pengujian dilakukan, load cell dikalibrasi menggunakan Arduino Uno dan modul HX711.

- a. Beban kalibrasi ditimbang terlebih dahulu menggunakan timbangan digital untuk mengetahui massa aktual.
- b. Kalibrasi dilakukan menggunakan program (coding) kalibrasi load cell hingga nilai pembacaan pada sistem sesuai dengan massa beban yang diketahui.
- c. Kalibrasi dilakukan hingga kapasitas maksimum 3000 gram, sehingga load cell siap digunakan untuk seluruh variasi beban pengujian.

#### 6. Pengaturan Beban Tekan

Setelah inverter dan sistem akuisisi data siap, penyanggah beban diturunkan secara perlahan hingga pin bersentuhan dengan permukaan disc. Variasi beban tekan yang digunakan dalam pengujian ini adalah 1000g dan 2000g.

### 7. Sistem Pembacaan Gaya Gesek

Pada penyanggah beban terdapat batang logam (besi) yang terhubung dengan load cell. Gaya gesek yang terjadi akibat kontak antara pin dan disk diteruskan ke load cell, kemudian sinyal gaya tersebut dikonversi oleh modul HX711 dan dibaca oleh Arduino Uno.

### 8. Pelaksanaan Pengujian

Setelah beban dan kecepatan putar ditetapkan, alat uji dijalankan selama waktu pengujian yang telah ditentukan, yaitu 133 menit untuk setiap variasi parameter. Selama pengujian berlangsung, gaya gesek yang terjadi direkam secara kontinu.

### 9. Pencatatan Data Gaya Gesek

Data gaya gesek yang dibaca oleh Arduino Uno dikirim dan ditampilkan pada Microsoft Excel secara real-time. Data ini digunakan untuk analisis gaya gesek selama pengujian.

### 10. Penghentian Pengujian

Setelah waktu pengujian tercapai, alat uji dihentikan, beban dilepaskan, dan pin dilepas dari dudukannya dengan hati-hati.

### 11. Penimbangan Massa Akhir Pin

Pin yang telah diuji dibersihkan dari sisa partikel keausan, kemudian ditimbang kembali menggunakan timbangan digital untuk memperoleh massa akhir pin ( $m_1$ ).

### 12. Pengolahan Data

Selisih massa pin sebelum dan sesudah pengujian digunakan untuk menentukan kehilangan massa akibat keausan, sedangkan data gaya gesek yang diperoleh dari Microsoft Excel digunakan untuk analisis karakteristik gaya gesek pada pengujian *pin-on-disk*.

### 13. Hitung koefisien gesek dan laju keausan spesifik berdasarkan rumus:

$$\mu = \frac{F_f}{N} \quad (5)$$

$$W(t) = \frac{\Delta m}{\rho \cdot s} \quad (6)$$

### 3.7 Format Tabel Pencatatan Data

Pencatatan data merupakan tahap penting dalam penelitian sebagai dasar analisis. Pada penelitian ini, data dicatat secara sistematis dalam tabel pengamatan segera setelah pengujian dilakukan untuk menjaga keakuratan. Selanjutnya, data diperiksa kembali agar tetap konsisten dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Adapun pencatatan data dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut:

Tabel 3. 1 pencatatan data

No	Beban (N)	Rpm	Waktu (menit)	Gaya Gesek (N)	Koef. Gesek ( $\mu$ )	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)	Laju Keusan Spesifik ( $\text{cm}^3/\text{m}$ )
1								
2								

### 3.8 Analisis Data

Data dianalisis dengan menghitung rata-rata koefisien gesek dan wear rate dari tiap pasangan material. Hasil ini dibandingkan dengan data referensi dari literatur untuk mengevaluasi validitas alat.

### 3.9 Instrumen dan Alat Bantu

Instrumen dan alat bantu merupakan perangkat yang digunakan untuk mendukung pelaksanaan pengujian serta pengambilan data pada penelitian ini. Instrumen berfungsi sebagai alat ukur utama untuk memperoleh data kuantitatif yang berkaitan dengan parameter pengujian, seperti massa, waktu, dan kecepatan putar.

1. Timbangan digital (resolusi 0.001 g)

Timbangan digital digunakan untuk mengukur massa spesimen pin sebelum dan sesudah pengujian dengan resolusi hingga 0,001 gram. Alat ini berfungsi untuk menentukan perubahan massa akibat mekanisme keausan yang terjadi selama proses pengujian. Ketelitian pengukuran massa sangat berpengaruh terhadap akurasi perhitungan kehilangan massa dan laju keausan, sehingga hasil pengujian dapat dianalisis secara kuantitatif dan dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

2. Stopwatch atau timer otomatis

Stopwatch atau timer otomatis digunakan untuk mengatur dan mengontrol durasi pengujian sesuai dengan parameter waktu yang telah ditentukan. Ketepatan pengukuran waktu diperlukan untuk menjamin keseragaman durasi kontak gesek pada setiap variasi parameter pengujian, sehingga data yang dihasilkan memiliki tingkat keterulangan (*repeatability*) dan keandalan (*reliability*) yang baik.

3. Tachometer digital untuk mengukur RPM

Tachometer digital digunakan untuk mengukur dan memverifikasi kecepatan putar disc dalam satuan revolutions per minute (RPM). Penggunaan alat ini bertujuan untuk memastikan bahwa kecepatan putar yang dihasilkan oleh motor dan diatur melalui inverter sesuai dengan nilai yang direncanakan, sehingga kondisi pengujian dapat dikontrol secara presisi dan konsisten.

4. Jangka sorong digital/mikrometer

Jangka sorong digital atau mikrometer sekrup digunakan untuk mengukur dimensi geometris spesimen, seperti diameter pin dan ketebalan disc. Pengukuran dimensi ini bertujuan untuk memastikan kesesuaian spesimen terhadap spesifikasi pengujian serta sebagai dasar dalam analisis mekanisme kontak, luas bidang kontak, dan karakteristik keausan yang terjadi selama pengujian.

#### 5. Laptop untuk dokumentasi dan pengolahan data

Laptop digunakan sebagai perangkat pendukung dalam proses akuisisi, dokumentasi, dan pengolahan data hasil pengujian. Perangkat ini berfungsi untuk menerima, menampilkan, serta menyimpan data gaya gesek yang diperoleh dari sistem Arduino Uno melalui perangkat lunak Microsoft Excel, serta digunakan dalam analisis data dan penyusunan laporan penelitian.

### **3.10 Validasi dan Evaluasi Alat**

Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil uji dengan nilai acuan dari literatur atau alat komersial. Evaluasi dilakukan dengan menilai kestabilan, akurasi pengukuran, dan kemudahan penggunaan alat.

## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, Kesimpulan yang dapat di ambil Adalah Sebagai berikut:

1. Telah berhasil dirancang dan dibangun sebuah alat uji tribologi tipe *Pin-on-disk* dengan spesifikasi mekanik yang stabil menggunakan rangka plat besi setebal 4,43 mm dan sistem penggerak motor listrik yang ditransmisikan melalui *V-belt*. Alat ini dilengkapi dengan sistem akuisisi data otomatis berbasis mikrokontroler Arduino Uno dan sensor *load cell* HX711 yang mampu merekam data gaya gesek secara *real-time* ke dalam perangkat lunak Microsoft Excel.
2. Pengujian awal terhadap pasangan material (baja karbon dan kuningan) telah berhasil dilakukan dan memberikan data kuantitatif yang jelas mengenai karakteristik tribologinya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai koefisien gesek ( $F_f$ ) dan laju keausan (*wear rate*) sangat dipengaruhi oleh variasi beban tekan dan kecepatan putar *disk*, di mana peningkatan beban cenderung meningkatkan volume material yang hilang sesuai dengan prinsip dasar hukum keausan Archard.
3. Hasil validasi dan evaluasi menunjukkan bahwa alat uji ini memiliki tingkat akurasi dan keandalan yang baik. Melalui proses kalibrasi *load cell* dan perbandingan data hasil uji dengan referensi standar ASTM G99 serta literatur terkait, alat ini terbukti mampu menghasilkan data yang konsisten. Evaluasi sistem menunjukkan bahwa integrasi antara komponen mekanik dan sistem akuisisi data elektronik berfungsi secara sinkron, sehingga alat ini layak digunakan sebagai sarana evaluasi sifat mekanik material teknik di laboratorium.

## 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini Adalah sebagai berikut:

1. Perlu ada penelitian lanjutan untuk penambahan sistem pendingin atau pelumasan otomatis untuk pengujian dalam kondisi basah (*wet condition*).
2. Pengembangan sistem kontrol kecepatan motor yang lebih presisi menggunakan *Inverter* (VFD) untuk mendapatkan variasi RPM yang lebih luas dan stabil.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmer, S. M. H., Jan, L. S., Siddig, M. A., & Abdullah, S. F. (2016). Experimental results of the tribology of aluminum measured with a pin-on-disk tribometer: Testing configuration and additive effects. *Friction*, 4(2), 124–134. <https://doi.org/10.1007/s40544-016-0109-7>
- Aliemeke, B. N. G., Akhigbe, A. E., Dirisu, B., & Okwudibe, H. A. (2023). Comparative Analysis of Abrasive Wear Between Aluminium Alloy and Mild Steel in a *Pin-on-disk* Tribological Test. *Nigerian Journal of Technology*, 42(3), 364–370. <https://doi.org/10.4314/njt.v42i3.9>
- Armanto, E., Burhanudin, A., Krisnandi, D., Prabowo, D., Ismoyo, & Jamari. (2015). Perancangan Mesin Uji Tribologi *Pin-on-disk*. *Prosiding Fakultas Teknik*, 01(01), 40–45. [https://publikasiilmiah.unwahas.ac.id/index.php/PROSIDING\\_SNST\\_FT/article/view/65/63/65](https://publikasiilmiah.unwahas.ac.id/index.php/PROSIDING_SNST_FT/article/view/65/63/65)
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2008). *Shigley's mechanical engineering design* (Vol. 8). New York: McGraw-Hill.
- Ī, H. K. (2015). *Design of Modern Universal Tribometer With Rotating and*. 212, 78–84.
- Kusman., & Darmanto. (2022). *ANALISIS KEAUSAN AISI 52100 TANPA PELUMASAN MENGGUNAKAN TRIBOTESTER PIN-ON- DISC Kusman\**. 18(1), 29–33.
- Moh Erwin Baharuddin. (2022). *Data , Menganalisis Secara Rinci , Mempersentasikan Data Yang Sudah Dibuat Dalam Pengujian Hipotesis Statistik . 3(2)*.
- Rosa Putra Cupu, D., & Adeka Putra, O. (2022). Design of Pin On Disc

Tribometer Test Equipment Using the Hatamura Method. *The Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace -Science and Engineering- (JOMase)*, 66(1), 20–26. <https://doi.org/10.36842/jomase.v66i1.257>

Roziqin, I. N. (2023). Analisa Pengaruh Variasi Pelumas terhadap Keausan Baja St 60 dengan Tribometer *Pin-on-disk*. *Quantum Teknika : Jurnal Teknik Mesin Terapan*, 4(2), 102–106. <https://doi.org/10.18196/jqt.v4i2.14220>

SARAÇ, A. E., & DURAK, E. (2024). Pim Disk Aşınma Test Cihazı Tasarımı ve İmalatı. *Uluslararası Muhendislik Arastırma ve Gelistirme Dergisi*. <https://doi.org/10.29137/umagd.1412911>

Sirojulmuminin, A. (2022). PERENCANAAN DESAIN TRIBOMETER TIPE PIN ON DISK TEST BERSTANDAR ASTM G-99 DENGAN DUA VARIASI PUTARAN MOTOR *Jurnal Teknik Mesin* : Vol . 11 , No . 1 , Februari 2022 ISSN 2549-2888. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(1).

Sulistiono, N. E. (2021). Proses Pembuatan Mesin Tribometer Tipe Pin on Disk Test Berstandar Astm G 99. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(2), 115. <https://doi.org/10.22441/jtm.v10i2.12271>

Syafa'at, I., Khalim, A., & Darmanto, D. (2019). Analisa Keausan Disc Besi Cor Dengan Metode Matematika Sederhana Menggunakan Tribometer *Pin-on-disk* Tanpa Pelumas. *Jurnal Ilmiah Momentum*, 15(1), 79–90. <https://doi.org/10.36499/jim.v15i1.2665>

Woloszynski, T., Podsiadlo, P., & Stachowiak, G. W. (2015). Efficient solution to the cavitation problem in hydrodynamic lubrication. *Tribology Letters*, 58(1), 18.