

PENGEMBANGAN ARSITEKTUR TERTANAM IOT UNTUK EVALUASI ABRASI PIN-ON-DISC

Rizky Muflih^{1*}; Satrio Adhiyatama Erlangga²; Nanang Fajar Untoro³; RR Nur Assifaa⁴

Program Studi Ilmu Komputer^{1,2,3,4}
Universitas Esa Unggul, Jakarta, Indonesia^{1,2,3,4}
<https://www.esaunggul.ac.id/bekasi>^{1,2,3,4}

rizkymuflih10@student.esaunggul.ac.id^{1*}, sadhiyatama@student.esaunggul.ac.id²,
nanangfajaru@student.esaunggul.ac.id³, miss.nurassifaa@student.esaunggul.ac.id⁴

(*) Corresponding Author



Ciptaan disebarluaskan di bawah Lisensi Creative Commons Atribusi-NonKomersial 4.0 Internasional.

Abstract— Brake pads are crucial elements in vehicle braking systems, requiring wear assessment to ensure safety and braking efficacy. The pin-on-disc methodology is extensively used to investigate the tribological properties of various materials. However, most existing testing equipment still relies on semi-manual data logging, thus lacking the capability to provide real-time information regarding the testing parameters. Furthermore, previous investigations have mostly concentrated on examining the wear and friction coefficients of materials, while the utilization of the Internet of Things (IoT) for monitoring compressive forces remains underexplored. This study attempts to build an IoT-oriented embedded system architecture using an Arduino ATmega 2560 along with a load cell sensor to facilitate real-time monitoring of compressive forces during pin-on-disc testing. The research methodology includes system design, sensor integration, calibration, Arduino programming, and experiments at rotational speeds of 30 rpm and 40 rpm with an applied pressure of 0.2 MPa under dry, water-lubricated, and oil-lubricated conditions. Experimental findings show average compressive loads in dry conditions of 3.5668 kg and 3.1468 kg, in water lubrication conditions of 2.5750 kg and 3.1687 kg, and in oil lubrication conditions of 2.9481 kg and 4.1578 kg. The findings reveal that rotational speed and lubrication conditions affect the contact force characteristics. The originality of this investigation stems from the integration of load cells, Arduino ATmega 2560, and IoT technology for real-time monitoring of compressive forces, while its contribution lies in improving the precision and efficiency of wear testing through continuous digital data acquisition.

Keywords: Arduino ATmega 2560, Internet of Things, Load Cell, Monitoring Real-Time, Pin-on-Disc.

Abstrak—Bantalan rem merupakan elemen penting dalam sistem pengereman kendaraan, yang memerlukan penilaian keausan untuk menjamin keamanan dan kemanjuran pengereman. Metodologi pin-on-disc secara ekstensif digunakan untuk menyelidiki sifat tribologis dari berbagai bahan. Namun demikian, sebagian besar peralatan pengujian yang ada masih bergantung pada pencatatan data semi-manual, sehingga tidak memiliki kemampuan untuk memberikan informasi real-time mengenai parameter pengujian. Selanjutnya, penyelidikan sebelumnya sebagian besar berkonsentrasi pada pemeriksaan koefisien keausan dan gesekan material, sementara pemanfaatan Internet of Things (IoT) untuk memantau gaya tekan masih belum dieksplorasi secara memadai. Studi ini berusaha untuk membangun arsitektur sistem tertanam berorientasi IoT menggunakan Arduino ATmega 2560 bersama sensor sel beban untuk memfasilitasi pemantauan gaya tekan secara real-time selama pengujian pin-on-disc. Metodologi penelitian meliputi desain sistem, integrasi sensor, kalibrasi, pemrograman Arduino, dan eksperimen pada kecepatan rotasi 30 rpm dan 40 rpm dengan tekanan yang diterapkan 0,2 MPa di bawah kondisi kering, dilumasi air, dan dilumasi oli. Temuan eksperimental menunjukkan beban tekan rata-rata dalam kondisi kering 3.5668 kg dan 3.1468 kg, dalam kondisi pelumasan air 2.5750 kg dan 3.1687 kg, serta dalam kondisi pelumasan minyak 2.9481 kg dan 4.1578 kg. Temuan mengungkapkan bahwa kecepatan rotasi dan kondisi pelumasan mempengaruhi karakteristik gaya kontak. Orisinalitas penyelidikan ini berakar pada penggabungan sel beban, Arduino ATmega 2560, dan teknologi IoT untuk pemantauan gaya tekan secara real-time, sementara

kontribusinya terletak pada peningkatan presisi dan efisiensi pengujian keausan melalui akuisisi data digital berkelanjutan.

Kata kunci: *Arduino ATmega 2560, Internet of Things, Load Cell, Pemantauan Real-Time, Pin-on-Disc.*

PENDAHULUAN

Sistem pengereman merupakan elemen krusial dalam menjamin keselamatan kendaraan bermotor. Efektivitas sistem pengereman sangat dipengaruhi oleh kondisi dan karakteristik kampas rem yang berfungsi menghasilkan gaya gesek untuk memperlambat atau menghentikan laju kendaraan. Kerusakan atau keausan kampas rem yang tidak terdeteksi dapat menurunkan performa pengereman dan meningkatkan risiko kecelakaan (Yuniaty et al., 2025). Oleh karena itu, evaluasi kondisi material kampas rem menjadi bagian penting dalam pengendalian kualitas dan pengembangan sistem pengereman yang aman serta andal.

Kampas rem bekerja melalui mekanisme gesekan antara permukaan kampas dan cakram rem yang mengubah energi kinetik menjadi energi panas (Ilie & Cristescu, 2022). Karakteristik tribologi kampas rem meliputi koefisien gesek, laju keausan, temperatur kontak, dan tekanan kontak yang berpengaruh langsung terhadap performa pengereman, kenyamanan, serta keselamatan kendaraan (Ilie & Cristescu, 2022). Oleh karena itu, pengujian tribologi diperlukan untuk mengevaluasi ketahanan material kampas rem terhadap berbagai kondisi operasi (Sellami & Elleuch, 2024).

Salah satu metode yang paling banyak digunakan dalam pengujian tribologi kampas rem adalah metode pin-on-disc karena mampu mensimulasikan kontak gesek antara dua permukaan material dalam kondisi laboratorium yang terkontrol (Arada & Halim, 2025). Metode ini telah digunakan secara luas untuk menganalisis pengaruh beban, kecepatan putar, temperatur, dan kondisi pelumasan terhadap koefisien gesek serta tingkat keausan material kampas rem (Sellami & Elleuch, 2024), (Arada & Halim, 2025). Penelitian selama periode 2021–2026 menunjukkan bahwa pengembangan material kampas rem masih didominasi oleh analisis sifat tribologi, pengaruh beban, serta evaluasi laju keausan material (Essam et al., 2026), (Fauzi et al., 2026).

Meskipun metode pin-on-disc telah digunakan secara luas, sebagian besar penelitian masih berfokus pada pengukuran koefisien gesek dan laju keausan setelah pengujian selesai ((Sellami & Elleuch, 2024); (Ding et al., 2023). Selain itu, banyak alat uji pin-on-disc masih menggunakan sistem akuisisi data yang bersifat stand-alone atau pencatatan semi-manual sehingga rentan terhadap

keterlambatan pengolahan data dan kesalahan pengukuran (Arada & Halim, 2025). Parameter penting seperti gaya tekan dan gaya kontak umumnya tidak dipantau secara langsung selama proses pengujian berlangsung (Chandra et al., 2025); (Imaddudien et al., 2024).

Padahal perilaku tribologis bersifat dinamis dan dipengaruhi oleh interaksi kompleks antara beban, kecepatan putar, dan kondisi pelumasan selama proses berlangsung (Sirojulmuminin, 2022). Studi terbaru juga menunjukkan bahwa penelitian yang menggabungkan variasi kondisi kering, basah, dan minyak-basah dengan sistem monitoring digital real-time masih sangat terbatas (Anwar et al., 2025). Beberapa penelitian telah menggunakan sensor untuk memantau suhu dan getaran, namun integrasi sensor gaya (load cell), pengaturan kecepatan, serta akuisisi data yang dikendalikan mikrokontroler dalam satu sistem terpadu masih jarang ditemukan (Yoo & Byun, 2023). Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan penelitian dalam pengembangan sistem pengujian pin-on-disc yang mampu memantau gaya tekan secara real-time dan berkelanjutan.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, diperlukan sistem monitoring yang mampu melakukan akuisisi data secara otomatis, kontinu, dan real-time. Teknologi Internet of Things (IoT) memungkinkan integrasi sensor, perangkat akuisisi data, dan sistem monitoring sehingga proses pengumpulan, pengolahan, penyimpanan, serta distribusi data dapat dilakukan secara efisien (Abdurrois, 2025). Dalam bidang sistem tertanam, IoT telah banyak digunakan untuk kebutuhan monitoring industri secara real-time melalui integrasi sensor dan mikrokontroler (Munir & Wibisono, 2025).

Implementasi IoT memerlukan perangkat pengendali yang mampu mengakuisisi dan mengirimkan data sensor secara berkelanjutan. Salah satu platform yang banyak digunakan adalah Arduino Mega 2560 yang berbasis mikrokontroler ATmega2560 dan memiliki kemampuan integrasi yang baik dengan berbagai sensor (Efendi et al., 2023). Dalam penelitian ini, sensor load cell digunakan untuk mengukur gaya tekan selama proses pengujian pin-on-disc sehingga memungkinkan pemantauan gaya kontak secara real-time.

Berdasarkan uraian tersebut, permasalahan utama dalam penelitian ini adalah masih terbatasnya sistem pengujian pin-on-disc yang

mampu memantau gaya tekan secara real-time, kontinu, dan terintegrasi dengan mikrokontroler. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem monitoring berbasis Arduino Mega 2560, sensor load cell, dan teknologi

IoT untuk mendukung akuisisi data gaya tekan secara digital dan real-time, serta menganalisis pengaruh variasi kecepatan putar dan kondisi pelumasan terhadap karakteristik gaya tekan selama proses pengujian tribologi kampas rem.

Tinjauan Literatur

Tabel 1. Ringkasan Penelitian Terdahulu

NO	Nama Peneliti	Objek Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Utama	Gap/Penelitian
1	(Deshpande et al., 2024)	Klasifikasi progres keausan pada multi-directional pin-on-disc	Menggunakan sensor acoustic emission dan machine learning untuk berdasarakan klasifikasi wear	Sistem mampu mengklasifikasikan progres keausan berdasarkan sinyal acoustic emission	Hanya berfokus pada klasifikasi wear, tidak membangun sistem monitoring IoT secara real-time
2	(Baharuddin et al., 2022)	Alat uji tribometer pin-on-disc	Rancang bangun alat pin-on-disc berbasis Arduino dengan sensor (load cell) dan pengatur putaran disc	Alat mampu mengukur gaya gesek dan koefisien gesek dengan sistem berbasis Arduino	Sistem masih berdiri sendiri (stand-alone), belum memiliki monitoring IoT dan penyimpanan data cloud
3	(Cupu & Putra, 2022)	Desain alat uji pin-on-disc	Desain mekanik menggunakan metode Hatamura (konsep desain, pemilihan shaft, frame, dan validasi)	Dihasilkan desain alat pin-on-disc yang valid secara struktur dan mekanik	Fokus hanya pada desain mekanik, belum mencakup sistem akuisisi data dan monitoring digital

Sumber: (Hasil Penelitian, 2025)

Berdasarkan temuan yang diperoleh dari analisis komparatif penyelidikan sebelumnya yang disajikan pada Tabel 1, dapat disimpulkan bahwa penelitian yang berkaitan dengan pengujian abrasi yang menggunakan metodologi Pin-on-disc telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir. Sebagian besar penyelidikan berkonsentrasi pada peningkatan peralatan tribometer, kuantifikasi karakteristik gesekan, penilaian tingkat keausan material, serta perumusan metodologi analitik untuk menambah presisi pengujian. Investigasi yang dilakukan oleh (Alfian et al., 2022) dan (Baharuddin et al., 2022) menunjukkan bahwa penggabungan mikrokontroler dan sensor sel beban meningkatkan presisi pengukuran gaya gesekan dibandingkan dengan pendekatan tradisional. Selanjutnya, studi yang dilakukan oleh (Cupu & Putra, 2022), (Lin, 2023), dan (Orgeldinger et al., 2024) mencapai kemajuan penting dalam kemajuan desain dan validasi sistem tribometer, mencakup dimensi mekanis dan fasilitasi implementasi. Bersamaan dengan itu, penelitian yang dilakukan oleh (Deshpande et al., 2024) dan (Tian et al., 2025) menggunakan metodologi pembelajaran mesin untuk menganalisis dan memprediksi perilaku keausan dengan kemanjuran yang lebih besar daripada metodologi konvensional.

Namun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya terus menunjukkan kekurangan dalam

integrasi teknologi digital dan Internet of Thing (IoT). Sistem yang dikembangkan sebagian besar otonom, menampilkan proses akuisisi data yang disimpan secara lokal dan tidak memiliki dukungan untuk pemantauan berbasis jaringan real-time. Penelitian oleh (Alfian et al., 2022), (Baharuddin et al., 2022), dan (Lin, 2023) telah menggunakan sensor dan mikrokontroler untuk mengumpulkan data eksperimental, namun mereka belum mengintegrasikan sistem ini dengan platform IoT atau repositori data berbasis cloud. Sebaliknya, penyelidikan yang dilakukan oleh (Cupu & Putra, 2022) dan (Orgeldinger et al., 2024) terutama berkonsentrasi pada kemajuan desain mekanis peralatan pengujian tanpa secara menyeluruh menangani sistem pemantauan digital.

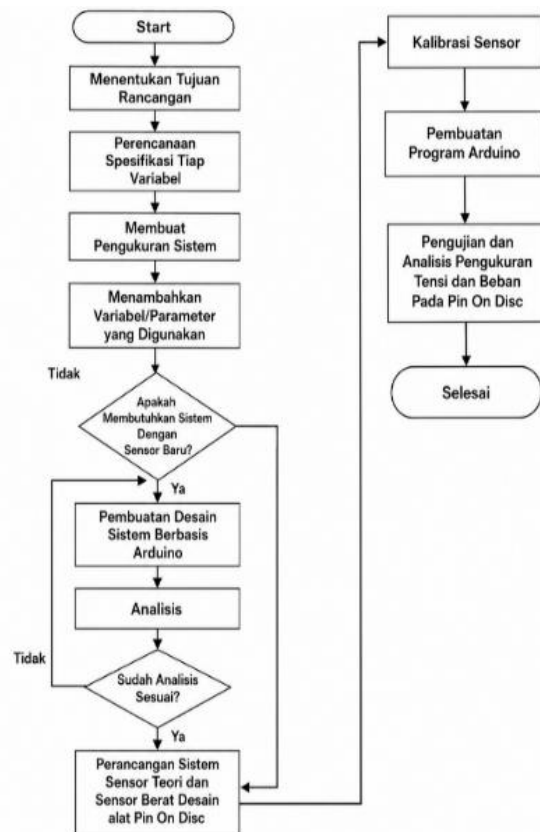
Selain itu, studi oleh (Deshpande et al., 2024) dan (Tian et al., 2025) menunjukkan bahwa metodologi pembelajaran mesin dapat meningkatkan kapasitas untuk menganalisis perilaku aus dan memprediksi koefisien gesekan (COF). Namun, penyelidikan ini terutama menekankan analisis data dan klasifikasi hasil eksperimen, bukan pada pengembangan sistem akuisisi data yang dapat secara langsung memantau kondisi pengujian selama proses eksperimen. Dalam nada yang sama, penelitian yang dilakukan oleh (Puccio et al., 2024) berkontribusi secara signifikan pada analisis teoritis koefisien keausan berdasarkan hukum Archard tetapi belum merancang sistem pemantauan digital yang berlaku dalam lingkungan pengujian asli.

Mengingat temuan dari penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa kesenjangan penelitian yang substansif tetap ada dalam evolusi sistem Pin-on-disc yang terintegrasi dengan teknologi IoT untuk memfasilitasi proses akuisisi data, pemantauan, dan penyimpanan informasi real-time. Sebagian besar penelitian yang ada tetap terpaku pada desain alat, pengukuran parameter tribologis, atau analisis hasil eksperimen pasca-eksperimen. Akibatnya, penelitian ini bertujuan untuk menjembatani kesenjangan ini melalui pengembangan arsitektur tertanam yang didasarkan pada Internet of Things (IoT) yang menggabungkan sensor sel beban, mikrokontroler Arduino ATmega 2560, komunikasi data digital, dan sistem untuk pemantauan waktu nyata. Dengan memanfaatkan pendekatan ini, proses evaluasi abrasi Pin-on-disc dapat dijalankan dengan akurasi, kontinuitas, dan efisiensi yang ditingkatkan, sehingga mendorong kemajuan kerangka pengujian tribologi yang lebih kontemporer yang selaras dengan prinsip-prinsip Industri 4.0.

BAHAN DAN METODE

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan sistem kendali modern berbasis konsep *state space* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Tahapan penelitian meliputi penentuan tujuan perancangan, penyusunan spesifikasi variabel dan parameter, perancangan sistem pengukuran, serta evaluasi rancangan. Setelah memenuhi spesifikasi, sistem diimplementasikan menggunakan Arduino Uno, dilanjutkan dengan pemasangan dan kalibrasi sensor pada *Pin-on-Disc*, serta pengembangan program menggunakan bahasa C++. Tahap akhir meliputi pengujian dan analisis pengukuran torsi serta beban untuk mengevaluasi kinerja sistem.

Gambar 1 menunjukkan alur pengembangan sistem sensor berbasis Arduino untuk pengujian Pin-on-Disc. Proses dimulai dari identifikasi tujuan, penentuan spesifikasi variabel, perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, hingga pengujian dan analisis hasil. Apabila sensor atau hasil evaluasi belum memenuhi spesifikasi, proses perancangan dan analisis diulang sampai diperoleh konfigurasi yang optimal. Secara keseluruhan, diagram ini menggambarkan proses perancangan, implementasi, kalibrasi, dan pengujian sistem pemantauan berbasis Arduino untuk menghasilkan data pengukuran yang akurat dalam evaluasi abrasi material.



Sumber: (Hasil Penelitian, 2025)

Gambar 1. Tahapan Metode Penelitian

Menentukan Tujuan Rancangan

Pada tahap ini, tujuan yang diambil adalah mengembangkan alat pengendali gaya torsi dan gaya berat pada kecepatan 2000 rpm untuk pengujian *pin-on-disc*.

Menentukan variabel yang akan dikontrol

Dalam penelitian ini, variabel yang dikendalikan oleh mikrokontroler meliputi kecepatan putar *disc* (rpm), beban tekan pin (kg), dan kecepatan pin (m/s).

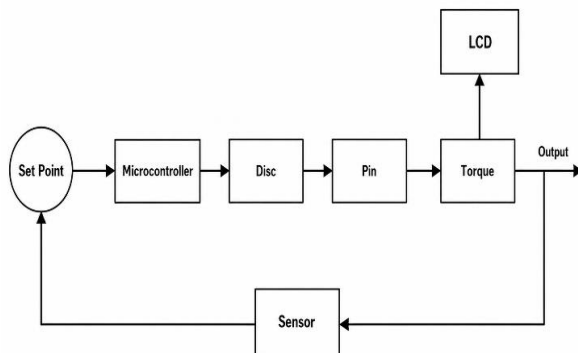
Menentukan Spesifikasi Tiap Variabel

Kecepatan putar pada *disc* adalah variabel yang akan dikontrol. Kecepatan yang digunakan adalah kecepatan sudut (ω) atau omega, di mana omega sendiri adalah kecepatan linier dibagi dengan radius atau jari-jari. Semakin tinggi kecepatan saat torsi, semakin rendah RPM dari putaran tersebut.

Membuat Pengaturan Sistem

Pengaturan sistem didasarkan pada variabel yang akan dikontrol. Sistem ini menghasilkan nilai output sesuai dengan setpoint (input) yang diinginkan dan dapat dipantau secara berkelanjutan.

Mendapatkan Model Proses dan Sensor



Sumber: (Hasil Penelitian , 2025)

Gambar 2. Blok Diagram Sistem Kontrol

Gambar 2 menunjukkan diagram blok sistem kontrol closed-loop berbasis mikrokontroler pada pengujian Pin-on-Disc. Sistem diawali dengan penentuan set point, seperti kecepatan putaran cakram, torsi, beban tekan, atau durasi pengujian. Nilai tersebut diproses oleh mikrokontroler untuk mengendalikan putaran cakram dan tekanan piston. Interaksi keduanya menghasilkan gaya gesek yang diukur sebagai nilai torsi dan ditampilkan pada LCD. Data sensor dikirim kembali sebagai sinyal feedback sehingga mikrokontroler dapat membandingkannya dengan set point dan melakukan kalibrasi bila diperlukan. Arsitektur sistem terdiri atas sensor *load cell*, modul HX711, mikrokontroler Arduino ATmega 2560, LCD, dan media penyimpanan data. Sensor *load cell* mendeteksi gaya tekan berdasarkan perubahan resistansi *strain gauge*, sedangkan HX711 memperkuat sinyal analog dan mengubahnya menjadi data digital sebelum diproses oleh Arduino. Mikrokontroler melakukan akuisisi, kalibrasi, pemrosesan data, serta penyaringan *noise* untuk meningkatkan akurasi pengukuran. Hasil pengukuran ditampilkan pada LCD sebagai *Human Machine Interface* (HMI) secara *real-time* dan dapat dikirim ke komputer, basis data, atau platform *Internet of Things* (IoT) untuk analisis karakteristik gaya kontak, variasi beban, dan tingkat keausan material. Proses pengembangan sistem meliputi perancangan, evaluasi, implementasi, kalibrasi, serta pengujian hingga seluruh spesifikasi dan tujuan penelitian tercapai.

Pembuatan Desain Sistem Pengendalian Kecepatan Berbasis Arduino

Perancangan desain sangat penting sebelum pembuatan alat agar sesuai dengan penelitian. Desain alat ini berupa sistem kontrol kecepatan berbasis mikrokontroler Arduino.

Pemasangan Sistem Pengendalian Kecepatan Pada Sistem Arduino

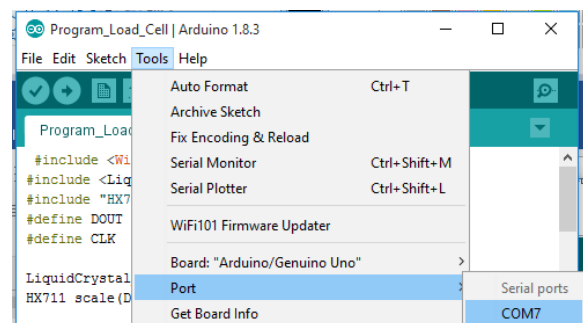
Pada tahap ini, pemasangan sistem pengendalian kecepatan dilakukan dengan menentukan posisi komponen pada sistem pengendalian di Arduino, agar pengendalian dapat berfungsi secara optimal.

Kalibrasi Sensor

Kalibrasi adalah proses penting untuk memastikan akurasi alat ukur sebelum digunakan. Dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dari alat yang akan dipakai dan alat standar (Asrori et al., 2022). Setelah pengukuran, nilai perbedaan di antara keduanya dianalisis untuk mengetahui tingkat penyimpangan. Untuk kalibrasi sensor, pertama ambil beban seberat 100 gram per unit, lalu letakkan di *load cell* agar terbaca sekitar 0,10 kg.

Pembuatan Pemrograman Arduino

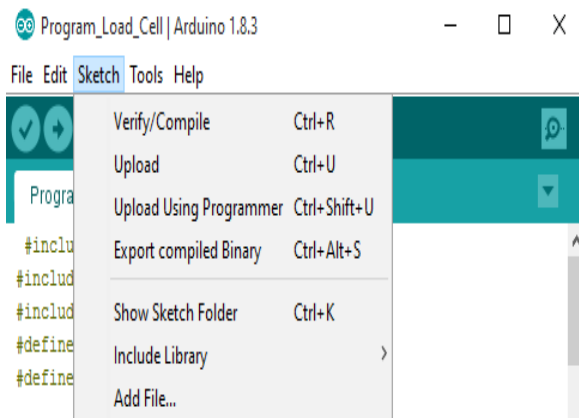
Setelah menyelesaikan kalibrasi alat ukur yang akan digunakan, langkah berikutnya adalah melakukan pemrograman menggunakan bahasa C++ di Arduino agar alat dapat bekerja sesuai dengan tujuan penelitian. Penjelasan rinci setiap tahap adalah sebagai berikut: Tahap awal meliputi pemasangan kabel USB Arduino ke PC, dilanjutkan dengan memilih port yang terhubung, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.



Sumber: (Hasil Penelitian , 2025)

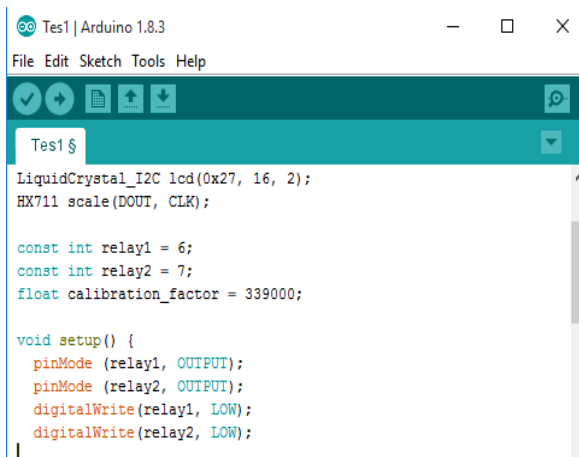
Gambar 3. Sinkronisasi port dengan program

Langkah berikutnya adalah mengidentifikasi *library* yang relevan untuk pemrograman, memastikan semua komponen sistem dapat diintegrasikan secara lancar dan berfungsi sesuai tujuan. Pemilihan pustaka bergantung pada spesifikasi perangkat keras seperti antarmuka sensor, analisis data, dan kontrol layar LCD. Pustaka yang tepat akan mempercepat penulisan kode, meningkatkan efisiensi, dan memastikan kompatibilitas antara mikrokontroler dan modul terkait. Sebagai hasilnya, program dapat berjalan secara andal dan sesuai tujuan penelitian, sebagaimana ditunjukkan dalam gambar 4. Identifikasi pustaka penyimpanan.



Sumber: (Hasil Penelitian, 2025)
Gambar 4. Identifikasi Library

Setelah library terhubung, program Arduino Uno siap untuk diprogram. Pertama, muat program load cell menggunakan tipe HX711. Istilah DOUT 12 merujuk pada pin Arduino yang terhubung ke pin DT pada modul HX711, sedangkan CLK 11 mengacu pada pin Arduino yang terhubung ke pin SCK pada modul HX711. Output LCD juga dimasukkan ke dalam program Arduino Uno. Program relay digunakan untuk menggerakkan perangkat maju dan mundur, dengan posisi awal relay 1 dan relay 2 sebagai output. Pada posisi awal, relay 1 dan relay 2 dalam keadaan LOW, menandakan bahwa relay tersebut belum bekerja, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Sumber: (Hasil Penelitian, 2025)
Gambar 5. Tampilan Kode Program Arduino

Pengujian dan Analisis Pengukuran Kecepatan Alat yang telah dirancang dan dibuat diuji untuk memastikan kinerja yang baik dan dilakukan analisis. Pengujian dilakukan dengan mengaktifkan sensor yang terpasang pada alat uji keausan, kemudian pengujian kecepatan dilakukan untuk memeriksa apakah sesuai dengan yang diinginkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah mengetahui komponen yang diperlukan untuk pin on disc dan mempelajari pemrograman load cell, langkah berikutnya adalah melakukan dua kali pengujian untuk memahami dan menganalisis data yang dibaca oleh sensor load cell setiap detik saat menimbulkan beban penekanan pada pin. Pengujian pertama dilakukan dengan kecepatan 30 rpm dan tekanan 0,2 MPa. Data hasil pengujian pin on disc adalah sebagai berikut:

Analisis Untuk Data Pengujian Kecepatan Putar 30 rpm, Tekanan Kompresor 0,2 MPa Dalam kondisi Kering

Tabel 1. Fungsi Komponen Catudaya

Detik Ke	Beban Tekan Pin	Detik Ke	Beban Tekan Pin
1	3,33 kg	9	3,36 kg
2	3,63 kg	10	3,36 kg
3	3,45 kg	11	3,30 kg
4	3,78 kg	12	4,09 kg
5	3,92 kg	13	3,27 kg
6	3,89 kg	14	3,30 kg
7	3,45 kg	15	3,45 kg
8	3,98 kg	16	3,50 kg

Sumber: (Hasil Penelitian, 2025)

Proses awal yaitu mencari rata-rata dari beban tekan yang terbaca :

$$\text{Rata-rata} = \frac{\text{Jumlah semua data}}{\text{banyak waktu percobaan}} \quad (1)$$

$$= \frac{57,07}{16}$$

$$= 3,5668 \text{ kg}$$

Analisis untuk data pengujian kecepatan Putar 30 rpm dengan tekanan kompresor 0,2 MPa dan dalam kondisi basah air

Tabel 2. Data Pengujian Kecepatan Putar 30 Rpm, 0,2 Mpa Dan Basah Air

Detik Ke	Beban Tekan Pin	Detik Ke	Beban Tekan Pin
1	0 kg	9	3,39 kg
2	0 kg	10	3,38 kg
3	0 kg	11	2,12 kg
4	2,68 kg	12	3,07 kg
5	3,46 kg	13	3,21 kg
6	3,16 kg	14	3,45 kg
7	3,53 kg	15	3,34 kg
8	3,08 kg	16	3,33 kg

Sumber: (Hasil Penelitian, 2025)

Rata-Rata berdasarkan formula (1) sebagai berikut:

$$\text{Rata-rata} = \frac{41,2}{16} = 2,575 \text{ kg}$$

Analisis untuk data pengujian kecepatan putar 30 rpm dengan tekanan kompresor 0,2 MPa dan dalam kondisi basah oli

Tabel 3. Data Pengujian Kecepatan Putar 30 Rpm 0,2 Mpa Dan Basah Oli

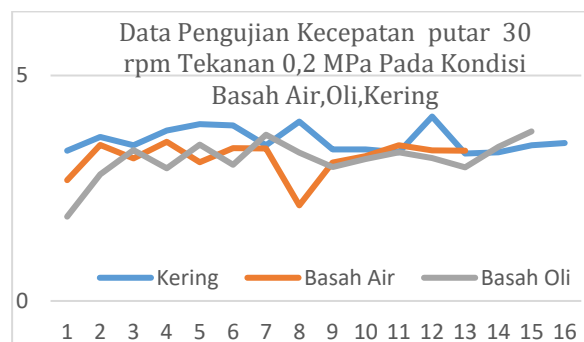
Detik Ke	Beban Tekan Pin	Detik Ke	Beban Tekan Pin
1	0,00 kg	9	3,29 kg
2	1,87 kg	10	2,97 kg
3	2,81 kg	11	3,15 kg
4	3,35 kg	12	3,30 kg
5	2,94 kg	13	3,17 kg
6	3,47 kg	14	2,96 kg
7	3,02 kg	15	3,42 kg
8	3,69 kg	16	3,76 kg

Sumber: (Hasil Penelitian,2025)

Rata-Rata berdasarkan formula (1) sebagai berikut:

$$\text{Rata-rata} = \frac{47,17}{16} = 2,9481 \text{ kg}$$

Setelah menghitung rata-rata dari beban tekan *pin* maka data-data tersebut akan dikumpulkan pada satu gambar grafik garis, adaoun visualisasi grafit tersebut dapat dilihat pada gambar 6.



Sumber: (Hasil Penelitian , 2025)

Gambar 6. Data pengujian kecepatan putar 30rpm, 0,2 MPa Pada Kondisi Basah Air,Oli,Kering

Analisis untuk pengujian data kecepatan Putar 40 rpm dengan tekanan kompresor sebesar 0,2 MPa Pada kondisi kering

Tabel 4. Pengujian Data Kecepatan Putar 40 Rpm,0,2 Mpa Pada Kondisi Kering

Detik Ke	Beban Tekan Pin	Detik Ke	Beban Tekan Pin
1	0,00 kg	9	3,56 kg
2	2,05 kg	10	3,29 kg

Detik Ke	Beban Tekan Pin	Detik Ke	Beban Tekan Pin
3	2,87 kg	11	3,87 kg
4	3,17 kg	12	3,94 kg
5	3,55 kg	13	3,78 kg
6	3,32 kg	14	3,94 kg
7	3,51 kg	15	2,64 kg
8	3,66 kg	16	3,20 kg

Sumber: (Hasil Penelitian, 2025)

Rata-Rata berdasarkan formula (1) sebagai berikut:

$$\text{Rata-rata} = \frac{50,35}{16} = 3,1468 \text{ kg}$$

Analisis Untuk Pengujian data kecepatan Putar 40 rpm dengan tekanan kompresor sebesar 0,2 MPa Pada kondisi basah air

Tabel 5. Pengujian Data Kecepatan 40 Rpm, 0,2 Mpa Pada Kondisi Basah Air

Detik Ke	Beban Tekan Pin	Detik Ke	Beban Tekan Pin
1	0,00 kg	9	3,56 kg
2	2,05 kg	10	3,29 kg
3	2,87 kg	11	3,87 kg
4	3,17 kg	12	3,29 kg
5	3,55 kg	13	3,78 kg
6	3,32 kg	14	3,94 kg
7	3,51 kg	15	3,64 kg
8	3,66 kg	16	3,20 kg

Sumber: (Hasil Penelitian, 2025)

Rata-Rata berdasarkan formula (1) sebagai berikut:

$$\text{Rata-rata} = \frac{50,68}{16} = 3,1687 \text{ kg}$$

Analisis untuk pengujian data kecepatan Putar 40 rpm dengan tekanan kompresor sebesar 02, MPa Pada kondisi basah oli

Untuk analisis rata-rata beban tekan pada kecepatan 40 rpm dengan tekanan 0,2 MPa dalam kondisi basah oli, terdapat pengecualian karena saat pengujian ini disc berputar lebih lama dibandingkan dengan pengujian lain.

Tabel 6. Pengujian Data Kecepatan Putar 40 Rpm, 0,2 Mpa Pada Kondisi Basah Oli

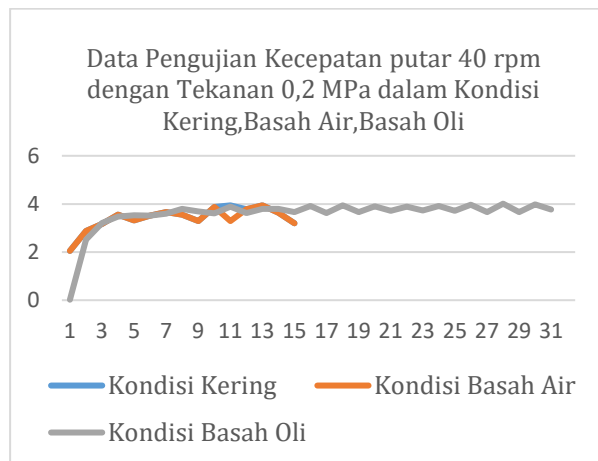
Detik Ke	Beban Tekan Pin	Detik Ke	Beban Tekan Pin
1	0,00 kg	17	3,92 kg
2	2,05 kg	18	3,62 kg
3	2,87 kg	19	3,94 kg
4	3,17 kg	20	3,66 kg
5	3,55 kg	21	3,90 kg
6	3,32 kg	22	3,71 kg
7	3,51 kg	23	3,89 kg
8	3,66 kg	24	3,73 kg
9	3,80kg	25	3,91 kg
10	3,69kg	26	3,71 kg
11	3,61kg	27	3,97 kg
12	3,89kg	28	3,66 kg

Detik Ke	Beban Tekan Pin	Detik Ke	Beban Tekan Pin
13	3,62 kg	29	4,01 kg
14	3,80 kg	30	3,66 kg
15	3,80 kg	31	3,98 kg
16	3,66 kg	32	3,77 kg

Sumber: (Hasil Penelitian, 2025)

Rata-Rata berdasarkan formula (1) sebagai berikut:

$$\text{Rata-rata} : \frac{144,57}{32} : 4,5178 \text{ kg}$$



Sumber: (Hasil Penelitian , 2025)

Gambar 7. Data pengujian Kecepatan Putar 40rpm, 0,2 Mpa Pada Kondisi Basah Air,Oli,Kering

Setelah mendapatkan data rata-rata kecepatan putar 30 rpm dan 40 rpm dengan tekanan 0,2 MPa dalam kondisi kering, basah air, dan basah oli, maka akan disusun tabel pengujian terpisah untuk masing-masing kecepatan sesuai kondisi pengujian guna memudahkan interpretasi.

Tabel 7. Data Rata-rata Tekan *Pin* Pada Kecepatan Putar 30 rpm dan tekanan 0,2 Mpa

No	Kondisi Pengujian	Rata-rata Beban Tekan
1	Kering	3,5668 kg
2	Basah Air	2,5750 kg
3	Basah Oli	2,9481 kg

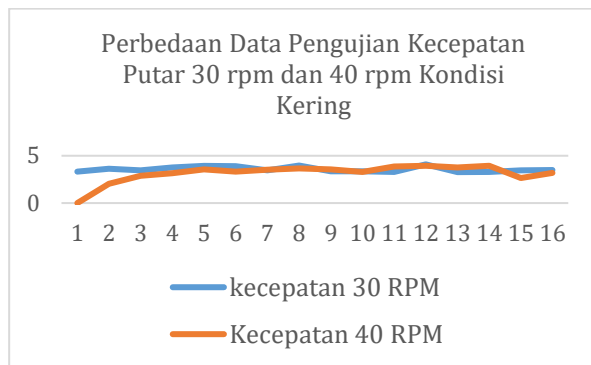
Sumber: (Hasil Penelitian, 2025)

Tabel 8.Data Rata-rata Pada Kecepatan Putar 40 rpm dan Tekanan 0,2 Mpa

No	Kondisi Pengujian	Rata-rata Beban Tekan
1	Kering	3,1468 kg
2	Basah Air	3,1687 kg
3	Basah Oli	4,1578 kg

Sumber: (Hasil Penelitian, 2025)

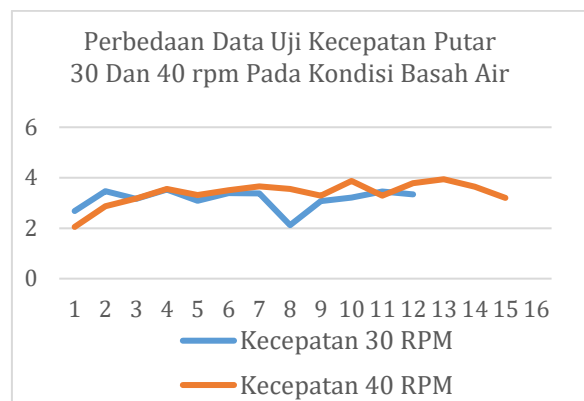
Untuk memudahkan membedakan antara kecepatan putar 30 rpm dan 40 rpm dalam kondisi kering, akan disediakan grafik garis sebagai berikut:



Sumber: (Hasil Penelitian, 2025)

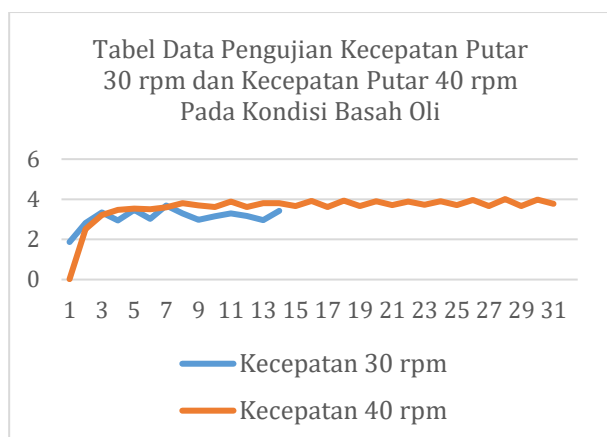
Gambar 8. Perbedaan Data Uji antara Kecepatan Putar 30 rpm dengan Kecepatan Putar 40 rpm Pada Kondisi Kering

Untuk memudahkan membedakan kecepatan 30 rpm dan 40 rpm dalam kondisi basah, akan dibuatkan grafik garis sebagai berikut:



Sumber: (Hasil Penelitian, 2025)

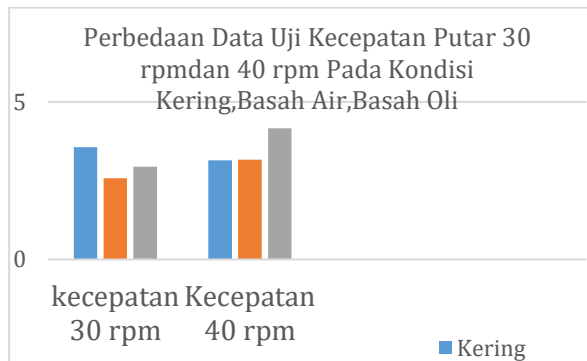
Gambar 9. Perbedaan Data Uji antara Kecepatan Putar 30 rpm dengan Kecepatan Putar 40 rpm Pada Kondisi Basah air



Sumber: (Hasil Penelitian, 2025)

Gambar 10. Perbedaan Data Uji antara Kecepatan Putar 30 rpm dengan Kecepatan Putar 40 rpm Pada Kondisi Basah oli

Adapun untuk lebih memudahkan perbedaan antara kecepatan putar 30 rpm di kondisi kering, basah air, basah oli dengan kecepatan putar 40 rpm di kondisi kering, basah air, basah oli di tekanan 0,2 MPa dapat di lihat pada gambar grafik batang di bawah ini:



Sumber: (Hasil Penelitian, 2025)

Gambar 11. Perbedaan Data Uji antara Kecepatan Putar 30 rpm dengan Kecepatan Putar 40 rpm Pada Kondisi Basah Air, basah oli dan

KESIMPULAN

Penelitian ini mengembangkan sistem tertanam berbasis Internet of Things (IoT) untuk evaluasi abrasi pada alat uji Pin-on-Disc menggunakan sensor load cell, modul HX711, dan mikrokontroler Arduino ATmega 2560. Sistem mampu melakukan akuisisi, pemrosesan, visualisasi, dan pemantauan data gaya tekan secara real-time, sehingga menghasilkan informasi yang lebih kontinu dibandingkan metode konvensional. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi kecepatan putar dan kondisi pelumasan memengaruhi karakteristik gaya kontak antara pin dan cakram. Sistem yang dikembangkan mengintegrasikan proses pengukuran, pengolahan, dan penyajian data dalam satu platform, sehingga mendukung penerapan konsep Industri 4.0 pada pengujian material. Pengembangan selanjutnya dapat mencakup integrasi cloud, dasbor web, penambahan sensor suhu, getaran, dan emisi akustik, serta pemanfaatan machine learning untuk memprediksi tingkat keausan, koefisien gesekan, dan umur operasional material.

REFERENSI

- Abdurrois, A. (2025). Analisis Faktor Kerusakan Pengereman Pada Truk Mercedes Benz Axor Di PT Surya Lintas Abadi. *Menulis: Jurnal Penelitian Nusantara*, 1(6), 1151–1156.
- Alfian, R., Wirawan, R., Hudha, L. S., Qomariyah, N.,

Rahayu, S., & Marzuki. (2022). Pemanfaatan Sensor Load Cell dalam Pembuatan Prototipe Alat Uji Tekan Portabel. *Wahana Fisika*, 7(1), 82–92.

Anwar, S., Lamura, M. D. P., Jamari, J., & Bayuseno, A. P. (2025). Analisis Perbandingan Kontak Mekanik pada Permukaan Sinusoidal dengan Variasi Kondisi Pelumasan Menggunakan Metode Elemen Hingga. *ROTASI Media Komunikasi Ilmu Dan Profesi Bidang Teknik Mesin*, 27(1), 1–7.

Arada, R. M. ., & Halim, A. (2025). Development of IoT System for Weight, Height, Temperature, and Heart Rate Monitoring with Health Recommendations. *Jurnal Pekomnas*, 10(2), 1–13.

<https://doi.org/10.56873/jpkm.v10i2.6014>

Asrori, M., Rezika, W. Y., Salim, A. T. A., Indarto, B., & Nudiansyah, R. T. (2022). Kalibrasi Alat Ukur Temperatur dan Kelembapan Kereta Rel Diesel Elektrik. *J-TETA (Jurnal Teknik Terapan)*, 1(2), 36–41.

Baharuddin, M. E., Supriyadi, S., & Burhanudin, A. (2022). Rancang Bangun Alat Ukur Tribometer Pin-On-Disc Dengan Penggerak Motor Dc Gearbox 12 Volt. *Quantum Teknika*, 3(2), 82–86.

Chandra, D., Gasni, D., & Raihan, M. (2025). Studi Eksperimental Pengaruh Temperatur dan Kecepatan Putar terhadap Keausan pada Kontak Pin-on-Disc dengan Pelumas Oli SAE 30. *INoMeT: Jurnal Inovasi Rekayasa Mekanikal Dan Termal*, 3(2), 1–6.

Cupu, D. R. P., & Putra, O. A. (2022). Design of Pin on Disc Tribometer Test Equipment Using the Hatamura Method. *Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace*, 66(1), 20–26.

Deshpande, P., Wasmer, K., Imwinkelried, T., Heuberger, R., Dreyer, M., Weisse, B., Crockett, R., & Pandiyan, V. (2024). Classification of Progressive Wear on a Multi-Directional Pin-on-Disc Tribometer Simulating Conditions in Human Joints-UHMWPE against CoCrMo Using Acoustic Emission and Machine Learning. *Lubricants*, 12(47), 1–23.

Ding, S., Zhang, M., Ou, Y., & Ma, L. (2023). Study on the Influence of Friction and Wear Properties of High-Speed Rail Brake Materials under Humidity Environment and Temperature Conditions. *Materials*, 16(1610), 1–18.

Efendi, R., Herlina, Tando, A., Padang, W. L., Darwin, Mustafid, M. A., Rustami, E., Jayanegara, S., Irwansyah, & Harmiansyah. (2023). Alat Monitoring Suhu Berbiaya Rendah Berbasis Arduino Mega 2560 dengan Menggunakan Sensor Adafruit MAX 31856. *Jurnal*

- Mekanova : Mekanikal, Inovasi Dan Teknologi*, 9(1), 261–266.
- Essam, M. A., Faragallah, M. M., Abdeltawab, N. M., & Ali, M. (2026). Tribological characteristics of composite brake pads under variable load and speed. *Scientific Reports*, 16(1634), 1–16.
- Fauzi, A., Wibowo, M. E., Admoko, M. R. D., Khafidh, M., Fitriyana, D. F., & Siregar, J. P. (2026). Pengaruh Variasi Tekanan pada Produksi Komposit Friction Materials Kampas Rem terhadap Sifat Mekanik, Fisik dan Tribologi. *AJIE - Asian Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 10(1), 74–83. <https://doi.org/10.20885/ajie.vol10.iss1.art7>
- Ilie, F., & Cristescu, A. (2022). Tribological Behavior of Friction Materials of a Disk-Brake Pad Braking System Affected by Structural Changes — A Review. *Materials*, 15(4745), 1–15.
- Imaddudien, M. S., Androva, A., & Burhanuddin, A. (2024). Analisis Keausan & Koefisien Gesek Menggunakan Tribometer Pin On Disc Pada Baja AISI C1045 Dengan Variasi Ketebalan Coating DPRO Nano Ceramic. *HUMANITIS : Jurnal Humaniora, Sosial Dan Bisnis*, 2(6), 507–522.
- Lin, V. (2023). Improvement and Verification of a Pin-on-disc Tribometer with Variable Speed and Load. *KTH Royal Institute of Technology*.
- Munir, M., & Wibisono, I. S. (2025). Real-Time Electric Power Monitoring using IoT for Home Energy Efficiency. *Jurnal Algoritma Institut Teknologi Garut*, 22(2), 1853–1862. <https://doi.org/10.33364/algoritma/v.22-2.2391>
- Orgeldinger, C., Rosnitschek, T., & Tremmel, S. (2024). Unveiling an additively manufactured open hardware pin-on-disc tribometer considering its high reproducibility. *Wear*, 552–553(March), 205437. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2024.205437>
- Puccio, F. Di, Pietro, A. Di, & Mattei, L. (2024). Pin-on-Plate vs . Pin-on-Disk Wear Tests : Theoretical and Numerical Observations on the Initial Transient Phase. *Lubricants*, 12(134), 1–12.
- Sellami, A., & Elleuch, R. (2024). Effect of cast-iron disc thickness on the reliability of tribological data from pin-on-disc test : Case study of brake friction materials. *Heliyon*, 10(3), e25345. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25345>
- Sirojulmuminin, A. (2022). Perencanaan Desain Tribometer Tipe Pin On Disk Test Berstandar ASTM G-99 Dengan Dua Variasi Putaran Motor. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(1), 5–13.
- Tian, Y., Zheng, B., Khan, M., & Yang, Y. (2025). Real-Time Prediction of Wear Morphology and Coefficient of Friction Using Acoustic Signals and Deep Neural Networks in a Tribological System. *Processes*, 13(1762), 1–15.
- Yoo, J. J., & Byun, K. S. (2023). Development of Sensor for the Real-time Monitoring of Brake Pad Wear and Brake Disc Temperature in High Temperature. *International Journal of Automotive Technology*, 24(6), 1603–1613. <https://doi.org/10.1007/s12239-023-0129-z>
- Yuniaty, E., Pratowo, B., & Aziz, M. A. (2025). Analisis dan Perawatan Sistem Rem Mobil Berbasis Evaluasi Kinerja Cakram dan Kampas Rem Material dan Metode Penelitian. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Bandar Lampung*, 14(2), 161–168.