



## Analisis Pengaruh Geometri PAD dan Variasi Kecepatan Roda terhadap Temperatur Kampas Rem Cakram

Mohammad Dzakiyul Fikri<sup>1\*</sup>, Eko Yudiyanto<sup>2</sup>

<sup>1-2</sup> Program Studi Sarjana Terapan Teknik Otomotif Elektronik, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

\*Penulis Korespondensi: [kopitubruk824@gmail.com](mailto:kopitubruk824@gmail.com)

**Abstract.** *The braking system is a crucial component in a vehicle, where its performance is highly influenced by the wheel's rotational speed and the geometry of the brake pad. This study aims to analyze the impact of wheel rotational speed and variations in pad geometry on the temperature of the brake pad. The braking process generates heat due to friction, which, if not properly managed, can reduce braking performance and accelerate brake pad wear. The experiment was conducted at four levels of wheel rotational speed: 1000 RPM, 1500 RPM, 2000 RPM, and 2500 RPM. The testing system was designed using a braking system simulator equipped with a speed sensor (LM393) and a temperature sensor (K-type thermocouple), which were connected to an Arduino microcontroller and displayed in real-time through a Graphical User Interface (GUI) in MATLAB. The test results indicated that both the geometric shape of the brake pads and the wheel rotation speed significantly affected the resulting temperature. Standard brake pads produced the highest temperature at a speed of 2500 RPM, reaching 63.33°C. In contrast, brake pads with holes offered the best performance by maintaining a lower temperature of only 43.00°C. Furthermore, an increase in wheel rotation speed led to a noticeable rise in temperature; for standard pads, the temperature increased from 36.67°C at 1000 RPM to 63.33°C at 2500 RPM. This demonstrates that RPM is a major factor in heat generation due to friction. The MATLAB GUI effectively visualized the relationship between RPM and temperature, facilitating the analysis and evaluation of the data.*

**Keywords:** Brake pad geometry; Braking system; Braking temperature; MATLAB GUI; Wheel rotation speed (RPM).

**Abstrak.** Sistem pengereman adalah komponen penting pada kendaraan, di mana kinerjanya sangat dipengaruhi oleh kecepatan putaran roda dan geometri pad cakram. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak kecepatan putaran roda dan variasi geometri pad cakram terhadap temperatur kampas rem. Proses pengereman menghasilkan panas akibat gesekan, yang jika tidak dikelola dengan baik, dapat menurunkan performa pengereman dan mempercepat keausan kampas rem. Pengujian dilakukan pada empat tingkat kecepatan putaran roda, yaitu 1000 RPM, 1500 RPM, 2000 RPM, dan 2500 RPM. Sistem pengujian dirancang menggunakan alat peraga sistem pengereman yang dilengkapi dengan sensor kecepatan (LM393) dan sensor suhu (termokopel tipe K), yang kemudian dihubungkan ke mikrokontroler Arduino dan ditampilkan secara *real-time* melalui antarmuka *Graphical User Interface* (GUI) pada MATLAB. Dari hasil pengujian, diperoleh bahwa bentuk geometri kampas rem dan kecepatan putaran roda berpengaruh secara signifikan terhadap temperatur yang dihasilkan. Kampas rem standar cenderung menghasilkan temperatur paling tinggi pada kecepatan 2500 RPM yaitu mencapai 63,33°C, sedangkan kampas dengan lubang memberikan performa terbaik dengan temperatur paling rendah, yaitu hanya 43,00°C. Selain itu, peningkatan kecepatan putaran roda juga menyebabkan kenaikan suhu yang signifikan, pada pad standar suhu naik dari 36,67°C (1000 RPM) menjadi 63,33°C (2500 RPM). Ini menandakan bahwa RPM merupakan faktor utama dalam pembentukan panas akibat gesekan. GUI MATLAB mampu memvisualisasikan hubungan antara RPM dan suhu dengan baik, sehingga memudahkan dalam proses analisis dan evaluasi data.

**Kata Kunci:** Kecepatan Putaran Roda; Rem Cakram; Sistem pengereman; Temperatur Pengereman; Variasi Geometri

### 1. PENDAHULUAN

Kegagalan pengereman dapat menyebabkan musibah yang sangat fatal dan dapat berakibat kecelakaan di jalan dengan risiko korban luka ringan, luka berat, hingga meninggal dunia. Data Kecelakaan Lalu Lintas dan Angkutan Jalan (LLAJ) yang dimiliki oleh Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) dalam kurun waktu 1 tahun sejak tahun 2021 hingga 2022 adalah sebanyak 73 kali insiden kecelakaan yang terjadi di Indonesia dalam kasus

gagal pengereman atau rem blong. Banyaknya jumlah insiden kecelakaan LLJAJ tersebut mengakibatkan banyaknya korban jiwa yang meninggal ditempat (MD) saat kejadian. Jumlah insiden kecelakaan tersebut tidak menyeluruh akibat dari kegagalan sistem pengereman, namun ada juga faktor lain seperti *human error*, persyaratan naik jalan, dan faktor prasarana dan lingkungan (Hafizh et al., 2022).

Sistem pengereman adalah salah satu komponen penting pada kendaraan bermotor yang berfungsi untuk mengurangi kecepatan atau menghentikan kendaraan secara efektif. Salah satu sistem pengereman yang sering digunakan pada kendaraan modern adalah rem cakram, yang bekerja melalui gesekan antara pad rem dan cakram untuk menciptakan gaya pengereman. Proses pengereman ini menghasilkan panas akibat energi kinetik yang diubah menjadi energi termal, dan panas yang berlebihan dapat berdampak buruk pada efisiensi serta keandalan sistem pengereman.

Kecepatan putaran roda berperan signifikan dalam menentukan suhu yang dihasilkan pada kampas rem cakram selama proses pengereman. Peningkatan kecepatan putaran roda cenderung meningkatkan suhu pada cakram dan pad rem. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa suhu rem meningkat secara signifikan pada kecepatan tinggi, yang dapat menyebabkan fenomena fading atau penurunan efisiensi pengereman akibat *overheating* (Hafizh et al., 2022). Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan putaran roda adalah salah satu faktor kritis yang mempengaruhi performa termal sistem pengereman.

Selain kecepatan putaran roda, kontruksi permukaan cakram juga memengaruhi distribusi panas selama pengereman. Desain kontruksi tertentu, seperti penggunaan alur atau lubang, dapat membantu mendistribusikan panas lebih merata, sehingga mengurangi suhu maksimum yang terjadi pada kampas rem. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa variasi bentuk dan struktur permukaan kampas rem dapat memengaruhi karakteristik termal dan memperpanjang umur pakai kampas rem (Al Hakim, 2018). Dengan demikian, variasi kontruksi permukaan pad rem yang optimal dapat menjadi solusi untuk meningkatkan efisiensi pendinginan dan mengurangi risiko *overheating*.

Mengingat pentingnya kedua faktor tersebut, yaitu kecepatan putaran roda dan bentuk geometri pad rem, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh keduanya terhadap suhu kampas rem cakram. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi desain yang lebih baik untuk sistem pengereman, sehingga meningkatkan efisiensi termal, keamanan, dan kenyamanan pengendara.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### Sistem Pengereman

Sistem pengereman adalah mekanisme penting dalam kendaraan bermotor yang berfungsi untuk mengurangi kecepatan, menghentikan kendaraan, atau menjaga kestabilannya saat melaju. Prinsip kerja sistem pengereman melibatkan konversi energi kinetik kendaraan menjadi energi termal melalui gesekan yang terjadi antara komponen pengereman, seperti kampas rem dan cakram atau tromol.

Sistem pengereman tidak hanya berperan dalam keselamatan pengemudi dan penumpang, tetapi juga mendukung stabilitas kendaraan saat melintasi medan tertentu atau ketika menghadapi kondisi darurat. Panas yang dihasilkan selama pengereman merupakan salah satu faktor utama yang memengaruhi efisiensi dan keandalan sistem pengereman (Saputra & Munandar, 2022). Oleh karena itu, pengelolaan panas menjadi aspek penting dalam desain dan pengembangan sistem pengereman. Pengereman merupakan komponen wajib yang ada pada suatu kendaraan baik kendaraan tradisional hingga kendaraan modern. Secara umum sistem pengereman terdapat jenis rem tromol dan rem cakram. Seiring perkembangan jaman, kendaraan terbaru telah dipasangkan rem cakram sejak kendaraan tersebut diproduksi. Komponen yang paling berpengaruh pada saat melakukan pengereman merupakan kampas rem. Umumnya kampas rem terbuat dari serat asbes yang tertanam dalam matriks *polymer* beserta beberapa bahan lainnya.

### Kaliper Cakram

Caliper adalah komponen rem disc yang berguna untuk menerima dan meneruskan gaya pengereman, Pada caliper terdapat piston yang menerima tekanan dari minyak rem yang akan bergerak maju untuk memberikan daya tekan pada rem, tipe rem cakram yaitu: *type fixed caliper (double piston)* dan *type floating caliper*.

### Arduino UNO

Arduino UNO Merupakan mikrokontroler *open source* yang dapat diprogram dengan mudah, dihapus dan diprogram ulang setiap saat. Arduino UNO berbasis Atmega328 yang memiliki 14 pin *input output* yang mana 6 pin dapat digunakan sebagai *output* PWM, 6 pin analog *input*, *crystal* osilator 16 MHz, koneksi USB, *jack power*, kepala ICSP, dan tombol reset.

Komunikasi data dengan komputer dapat melalui kabel USB maupun sebagai power utama Arduino UNO. Selain menggunakan kabel USB yang tersambung pada komputer, power

utama juga dapat menggunakan adaptor DC melalui jack power. *Board* Arduino UNO dapat dioperasikan menggunakan *supply* sebesar 6 – 20V. Apabila kurang dari 7V terkadang pin 5V akan memberi tegangan kurang dari 5V dan board menjadi tidak stabil. Komunikasi yang dapat dijalankan oleh Arduino UNO dapat dilakukan dengan komputer, Arduino lain, maupun mikrokontroler lain. Atmega328 menyediakan UART TTL (5V) komunikasi serial pada pin digital 0 (RX) dan 1 (TX) (Fathulrohman & Saepulloh, 2019).

## **LCD I2C**

Merupakan jenis media tampilan yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. Sesuai dengan kepanjangan LCD (*Liquid Crystal Display*) dapat menampilkan sebanyak 32 karakter yang terdiri dari 2 baris dan tiap baris dapat menampilkan 16 karakter. Umumnya LCD 16x2 menggunakan 16 pin sebagai kontrolnya, akan sangat boros apabila menggunakan pin sebanyak itu maka dibuatlah modul I2C (*Inter-Integrated Circuit*) yang hanya memerlukan dua pin untuk mengirimkan data dan dua pin untuk *supply* tegangan. Komunikasi serial dua arah menggunakan dua saluran merupakan standar Modul I2C yang di desain khusus untuk mengirim maupun menerima data. Modul I2C memiliki sistem yang terdiri dari saluran SCL (*Serial Clock*) dan SDA (*Serial Data*) yang membawa informasi data antara I2C dengan pengontrolnya (Fathulrohman & Saepulloh, 2019).

## **Thermocouple tipe K & MAX6675**

Merupakan salah satu jenis sensor temperature melalui prinsip *seebeck* dimana jika persambungan dua logam dipanaskan dapat membangkitkan beda potensial atau tegangan listrik. Termokopel tipe-K terbuat dari alumel (2% aluminium, 2% mangan, 95% nikel, dan 1% silicon) dan chromel (90% nikel dan 10% *chromium*). Termokopel tipe-K memiliki karakteristik dapat menjangkau suhu 0 – 200°C dan *error* dari termokopel tipe-K berada pada 2,2°C/0,75% *output* termokopel berbentuk tegangan sebesar 41µV/°C (Setiyoko & Yuliana, 2022).

## **Sensor LM393 Speed**

Sensor kecepatan LM393 merupakan modul sensor digital yang digunakan untuk mendeteksi dan mengukur kecepatan rotasi suatu objek, seperti poros, roda, atau bagian mekanik lainnya. Sensor ini bekerja berdasarkan perubahan cahaya atau celah pada piringan yang berputar, yang kemudian dikonversi menjadi sinyal digital. Tegangan yang dihasilkan

sebanding dengan kecepatan putaran objek, sehingga sensor ini mampu memberikan informasi kecepatan secara real-time.

### Perpindahan Panas

Panas adalah bentuk energi yang dapat ditransfer dari satu sistem ke sistem lain sebagai akibat perbedaan temperatur. Termodinamika menjelaskan bahwa energi yang ditransfer pada proses perpindahan panas dapat didefinisikan sebagai panas atau kalor. Ilmu yang mempelajari hal tersebut adalah *heat transfer*. Konsep perpindahan energi sebagai panas adalah energi akan berpindah dari suhu yang lebih tinggi ke suhu yang lebih rendah dan akan berhenti apabila kedua sistem telah mencapai kesetimbangan panas. Mekanisme perpindahan panas dapat terjadi secara induksi, konveksi, dan radiasi (Puspawan et al., 2020).

### 3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental untuk menguji pengaruh kecepatan putaran roda dan variasi geometri pad rem cakram terhadap temperatur kampas rem cakram. Penelitian dilakukan dengan menggunakan alat berbasis mikrokontroler untuk pengukuran temperatur secara real-time pada kondisi yang terkendali dan dapat ditampilkan oleh GUI MATLAB dan LCD I2C. Metode penelitian eksperimen dapat menguji hipotesis dengan pengamatan terkendali, karena data yang digunakan pada umumnya berupa data interval. Pada penelitian ini dilakukan pada 12 Juli 2025 sampai 15 Juli 2025 di Laboratorium Teknik Mesin Politeknik Negeri Malang. Metode pengolahan dan analisis data dalam penelitian ini menggunakan mikrokontroler, *software* MATLAB, dan Microsoft Excel untuk membantu memvisualisasikan dan menghitung data secara lebih rapi dan mudah.

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Hasil Pengujian Kampas Standart

**Tabel 1.** Hasil Data Temperatur pada Kampas Standart.

Variasi Geometri Kampas Rem	RPM	Temperatur (°C)		
		P1	P2	P3
Standart	1000	36	37	37
	1500	42	44	52
	2000	55	58	61
	2500	62	63	65

Tabel 1 menunjukkan perubahan temperatur kampas rem pada pengujian dengan geometri pad standar yang dilakukan sebanyak tiga kali (P1, P2, dan P3) pada berbagai tingkat

kecepatan putaran roda (RPM). Dari hasil pengujian tersebut, dapat diamati adanya kecenderungan kenaikan suhu kampas rem seiring dengan bertambahnya kecepatan putaran roda. Misalnya, pada kecepatan 1000 RPM, suhu rata-rata kampas rem adalah sekitar 36,7°C, sedangkan pada kecepatan 2500 RPM, suhu rata-ratanya meningkat menjadi sekitar 63,3°C.

Polanya menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan putaran roda, semakin besar gaya gesek yang terjadi antara kampas dan cakram, sehingga menghasilkan suhu yang lebih tinggi. Meski demikian, variasi temperatur antar pengulangan masih terlihat, seperti pada RPM 1500, di mana terjadi perbedaan mencolok antara P1 (42°C) dan P3 (52°C). Hal ini dapat disebabkan oleh faktor-faktor seperti tekanan pengereman, kestabilan kontak antara pad dan cakram, atau kondisi lingkungan saat pengujian berlangsung. Secara keseluruhan, data ini mendukung bahwa peningkatan RPM berdampak langsung terhadap naiknya temperatur kampas rem pada kondisi kampas standart.

### **Hasil Data Temperatur Kampas Dengan Penambahan Alur**

**Tabel 2.** Hasil Data Temperatur Kampas Dengan Penambahan Alur.

Variasi Geometri Kampas Rem	RPM	Temperatur (°C)		
		P1	P2	P3
Dengan Menambahkan Alur	1000	31	32	34
	1500	39	40	41
	2000	43	44	46
	2500	50	53	54

Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian temperatur kampas rem dengan variasi geometri pad yang ditambahkan alur, yang diuji pada empat tingkat kecepatan putaran motor (RPM) dan dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan (P1, P2, dan P3). Dari data tersebut terlihat adanya pola umum bahwa temperatur kampas rem meningkat seiring bertambahnya RPM. Sebagai contoh, pada kecepatan 1000 RPM, suhu rata-rata dari tiga pengujian adalah sekitar 32,3°C, sedangkan pada kecepatan 2500 RPM, suhu rata-rata meningkat menjadi sekitar 52,3°C.

Pola ini menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran motor, semakin besar gesekan yang terjadi antara pad dan cakram, sehingga menghasilkan panas yang lebih tinggi. Namun demikian, peningkatan suhu ini cenderung lebih landai dibandingkan dengan kampas rem standar. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan alur pada pad dapat membantu meningkatkan sistem ventilasi atau pelepasan panas, sehingga suhu tidak naik terlalu tajam. Sebagai contoh, pada RPM 2000, suhu berkisar antara 43°C hingga 46°C, lebih rendah dari suhu pada pad standar di RPM yang sama. Secara keseluruhan, geometri pad dengan alur

memberikan dampak positif dalam mengendalikan kenaikan temperatur kampas rem saat kecepatan meningkat.

### Hasil Data Temperatur Kampas Dengan Penambahan Lubang

**Tabel 3.** Hasil Data Temperatur Kampas Dengan Penambahan Lubang.

Variasi Geometri Kampas Rem	RPM	Temperatur (°C)		
		P1	P2	P3
Dengan Menambahkan Lubang	1000	29	31	33
	1500	36	38	38
	2000	40	41	41
	2500	42	42	45

Pada Tabel 3 menyajikan hasil pengujian suhu kampas rem dengan variasi bentuk pad yang diberi lubang, dilakukan pada empat tingkat kecepatan putaran motor (RPM) dan diulang sebanyak tiga kali (P1, P2, dan P3). Dari data yang diperoleh, terlihat bahwa suhu kampas rem cenderung meningkat seiring bertambahnya RPM. Misalnya, pada 1000 RPM, rata-rata suhu yang tercatat adalah sekitar 31°C, sedangkan pada 2500 RPM rata-rata suhu meningkat menjadi sekitar 43°C.

Meskipun terjadi peningkatan suhu seiring bertambahnya kecepatan, lonjakan suhunya lebih rendah dibandingkan variasi pad standar dan pad dengan alur. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan lubang pada pad rem berperan dalam memperbaiki proses pelepasan panas saat pengereman, sehingga suhu tidak meningkat secara signifikan. Contohnya, pada RPM 2000, suhu maksimum yang tercatat hanya 41°C, lebih rendah dibanding pad standart yang mencapai 61°C. Oleh karena itu, variasi geometri pad dengan lubang terbukti lebih efektif dalam mengurangi akumulasi panas akibat gesekan selama proses pengereman.

### Hasil Data Rata-Rata Temperatur Tiap Kampas

**Tabel 4.** Hasil Data Rata-Rata Pada Pengujian Temperatur Tiap Kampas.

Variasi Geometri Kampas Rem	RPM	Temperatur (°C)
STANDART	1000	36,67
	1500	46,00
	2000	58,00
	2500	63,33
Dengan Menambahkan Alur	1000	32,33
	1500	40,00
	2000	44,33
Dengan Menambahkan Lubang	2500	52,33
	1000	31,00
	1500	37,33
	2000	40,67
	2500	43,00

Pada Tabel diatas menunjukkan data rata-rata temperatur kampas rem berdasarkan tiga variasi bentuk geometri pad rem cakram, yaitu pad standar, pad dengan alur, dan pad dengan lubang, pada masing-masing tingkat kecepatan putaran roda (RPM). Pengujian dilakukan pada empat tingkatan kecepatan, yaitu 1000, 1500, 2000, dan 2500 RPM. Secara umum, terlihat bahwa temperatur kampas rem meningkat seiring bertambahnya kecepatan putaran motor pada ketiga jenis pad tersebut. Misalnya, pada pad standar, suhu rata-rata meningkat dari 36,67°C pada 1000 RPM menjadi 63,33°C pada 2500 RPM. Tren serupa juga terlihat pada pad dengan alur dan pad berlubang, meskipun dengan tingkat kenaikan suhu yang lebih rendah. Jika dibandingkan antar variasi geometri pad, terlihat bahwa pad standar menghasilkan suhu tertinggi pada semua tingkat RPM, sedangkan pad dengan lubang menunjukkan suhu paling rendah. Contohnya, pada 2000 RPM, temperatur rata-rata pada pad standar adalah 58,00°C, sementara pada pad dengan alur sebesar 44,33°C, dan pada pad berlubang hanya 40,67°C.

Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan alur maupun lubang pada permukaan pad rem dapat membantu mempercepat pelepasan panas, sehingga suhu kampas rem dapat ditekan lebih rendah.

## **Pembahasan**

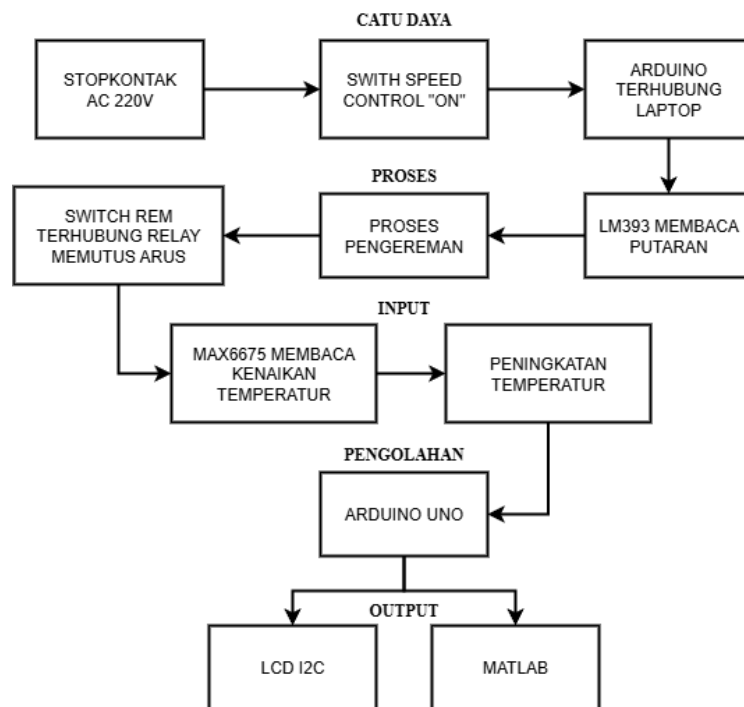
Prototype alat yang penulis buat bertujuan untuk memberikan edukasi melalui contoh nyata bagaimana cara rem bekerja hingga menghasilkan sebuah panas yang dapat dilihat kenaikan temperatur nya saat rem mulai difungsikan pada putaran motor atau rpm tertentu. Kenaikan temperatur dapat dilihat pada lcd yang dipasang pada alat sesuai data yang telah dikirim dari sensor temperatur yang ditempatkan pada kampas rem dan selanjutnya melihat data yang telah diproses dari mikrokontroler berupa grafik yang ditampilkan oleh Matlab. Saat terjadi perpindahan panas tersebut merupakan titik korelasi antara perpindahan panas dengan prototype alat ini.

Hasil data pengujian menampilkan perbedaan temperatur pada tiap variasi geometri kampas yang diuji fungsinya dalam pengereman pada putaran motor 1000 rpm, 1500 rpm, 2000 rpm, dan 2500 rpm dengan suhu awal kampas pengujian pada suhu ruang 30°C sampai 36°C. Hasil yang didapat adalah kampas rem standart mempunyai suhu paling rendah pada 36°C dan suhu paling tinggi pada 65°C. Lalu pada kampas rem dengan penambahan alur mendapat temperatur paling rendah pada 31°C dan paling panas pada 54°C. Dilanjutkan dengan pengujian kampas rem dengan penambahan lubang mendapat temperatur paling rendah pada 29°C dan temperatur paling tinggi pada 45°C. Temperatur tersebut diambil dari seluruh pengujian.

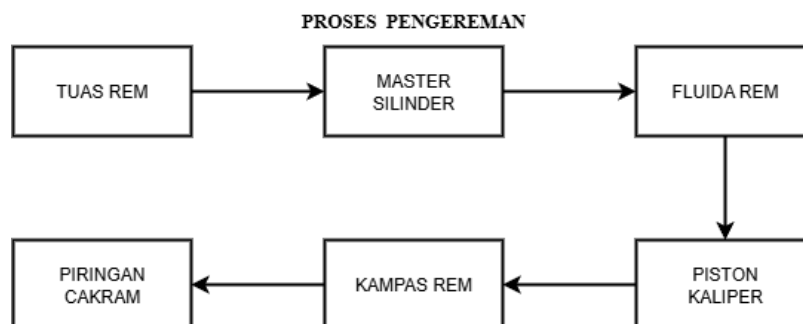
Dengan melihat hasil data dari seluruh replikasi uji dan seluruh bahan uji dapat diambil kesimpulan bahwa Berdasarkan grafik, kampas rem dengan bentuk standar menghasilkan suhu paling tinggi di setiap kecepatan putaran (RPM). Sebaliknya, kampas dengan penambahan alur dan lubang menunjukkan temperatur yang lebih rendah, di mana kampas berlubang memiliki performa terbaik dalam mengurangi panas akibat gesekan.

Untuk efisiensi pendinginan dan mencegah peningkatan suhu berlebih, disarankan menggunakan kampas rem dengan penambahan lubang, terutama pada kendaraan dengan beban kerja tinggi atau penggunaan di medan berat. Desain ini lebih efektif dalam membuang panas dan meningkatkan performa pengereman.

### Perancangan Sistem



Gambar 1. Perancangan Sistem.



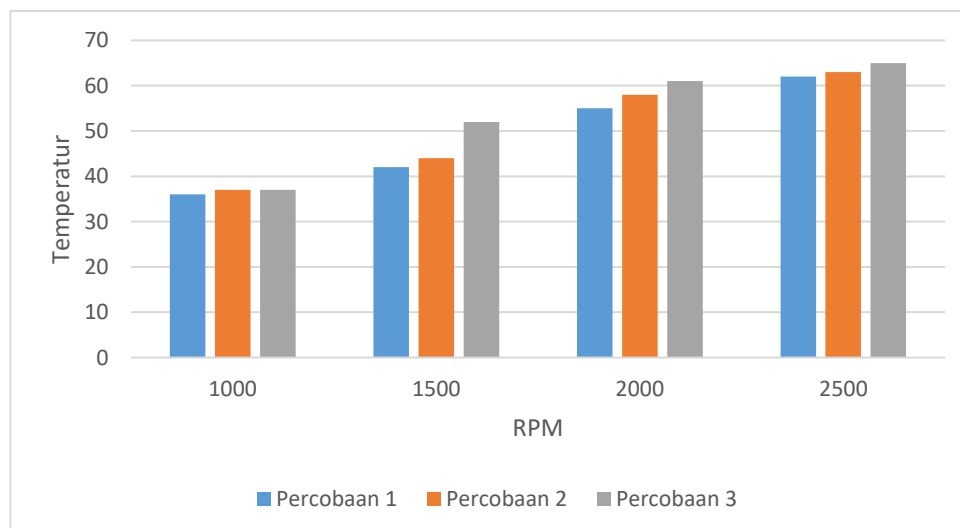
Gambar 2. Proses Pengereman.

Pada Gambar 1 diagram perancangan sistem dimulai dengan catu daya alat menggunakan listrik AC lalu pada Arduino terhubung dengan laptop. Pada tahapan proses, LM393 mulai membaca putaran hingga pada rpm tertentu dilakukan pengereman yang dimana switch rem menjadi normally open (N.O) sehingga memerintah rellay untuk memutus arus listrik yang menyebabkan putaran dari motor DC menjadi mati. Ketika arus motor DC mati maka putaran hanya dari momen yang tersisa dari *flywheel*, pada saat pengereman terjadi peningkatan temperatur yang diukur oleh MAX6675 untuk dikirim menuju Arduino sebagai mikrokontroller pemroses. Ketika proses dari mikrokontroller selesai maka akan diteruskan kepada output yaitu temperatur yang terbaca dan putaran saat proses awal akan ditampilkan menuju 2 output, yaitu LCD I2C dan garik gui matlab.

Pada Gambar 2 menunjukkan diagram Proses Pengereman dimana dimulai ketika tuas rem difungsikan, maka master silinder terdorong untuk menekan fluida rem yang tersimpan pada tabung reservoir master rem melalui selang rem menuju piston yang ada pada kaliper rem. Piston yang ada pada kaliper terdorong fluida sehingga menekan kampas rem yang terpasang pada kaliper. Ketika kampas rem menekan maka kampas akan bergesekan dengan piringan cakram menjadi penahan putaran motor hingga putaran motor dapat berhenti.

## Hasil Grafik Data

### Grafik Kampas Standart



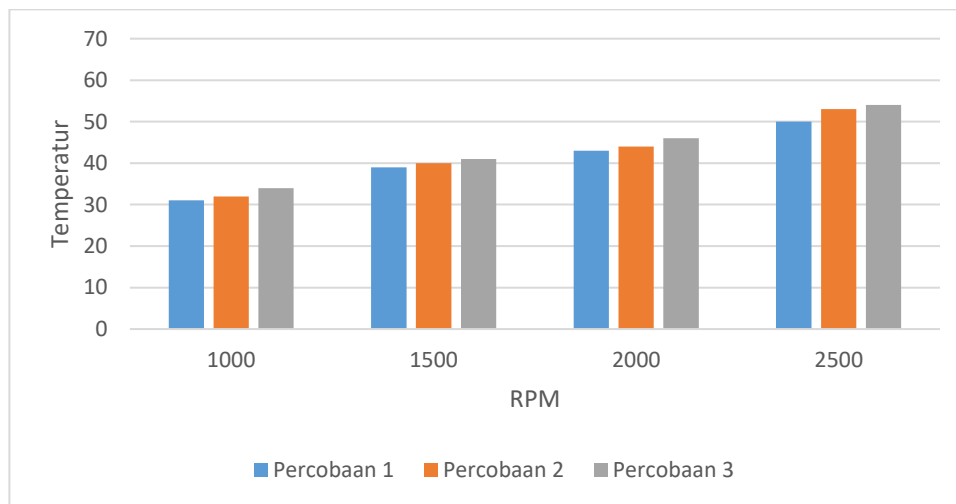
**Gambar 3.** Temperatur Pad pada Kampas Standart.

Gambar di atas menunjukkan perubahan temperatur kampas rem standart yang diukur melalui tiga kali pengujian (Pengujian 1, 2, dan 3) pada berbagai tingkat kecepatan putaran motor (RPM). Grafik ini memberikan gambaran bahwa suhu kampas rem mengalami

peningkatan seiring bertambahnya RPM, dimulai dari 1000 hingga 2500 RPM. Setiap percobaan menunjukkan pola peningkatan suhu yang serupa, meskipun terdapat sedikit variasi antar percobaan. Hal ini mencerminkan bahwa semakin tinggi kecepatan motor, maka energi gesek yang dihasilkan semakin besar dan berdampak pada kenaikan temperatur kampas rem.

Dari data tersebut dapat dilihat bahwa suhu kampas rem standart pada RPM rendah (1000 RPM) berada di kisaran  $\pm 37^{\circ}\text{C}$ , dan terus meningkat hingga mencapai  $\pm 65^{\circ}\text{C}$  pada RPM 2500. Peningkatan ini terjadi secara konsisten di setiap percobaan, dengan percobaan ketiga umumnya mencatat suhu tertinggi. Fenomena ini menunjukkan bahwa geometri pad standar memiliki keterbatasan dalam melepas panas secara efisien saat mengalami gaya gesek pada kecepatan tinggi.

#### ***Grafik Kampas Dengan Penambahan Alur***



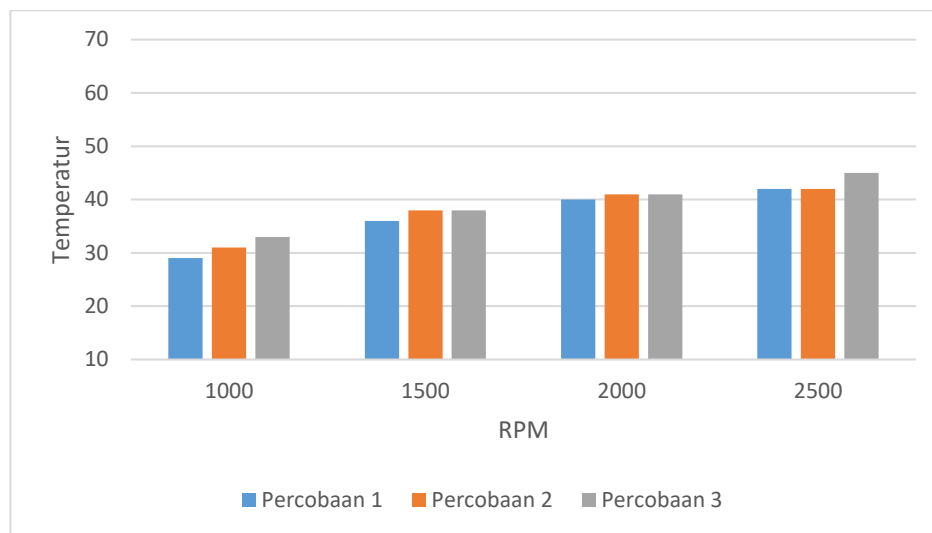
**Gambar 4.** Temperatur Pad pada Kampas Dengan Penambahan Alur.

Gambar di atas menunjukkan perubahan temperatur kampas rem dengan penambahan alur yang diukur melalui tiga kali pengujian (Pengujian 1, 2, dan 3) pada berbagai tingkat kecepatan putaran roda (RPM). Grafik ini memberikan gambaran bahwa suhu kampas rem meningkat seiring dengan bertambahnya RPM, dimulai dari 1000 hingga 2500 RPM. Ketiga percobaan memperlihatkan pola peningkatan suhu yang relatif serupa, meskipun terdapat sedikit variasi antar pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan motor, semakin besar energi gesek yang dihasilkan, sehingga berdampak pada kenaikan temperatur kampas rem.

Dari data tersebut, dapat dilihat bahwa suhu kampas rem dengan alur pada RPM rendah (1000 RPM) berada di kisaran  $\pm 31^{\circ}\text{C}$  hingga  $\pm 34^{\circ}\text{C}$ , dan terus meningkat secara bertahap hingga mencapai  $\pm 54^{\circ}\text{C}$  pada RPM 2500. Peningkatan ini konsisten pada setiap pengujian,

dengan pengujian ketiga cenderung mencatat nilai suhu paling tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan alur pada kampas rem berperan dalam membantu pelepasan panas secara lebih efektif dibandingkan kampas standar. Desain alur memungkinkan sirkulasi udara dan pelepasan partikel panas yang lebih baik, sehingga mampu mengurangi akumulasi temperatur berlebih saat terjadi gesekan pada putaran tinggi.

#### **Grafik Kampas Dengan Penambahan Lubang**

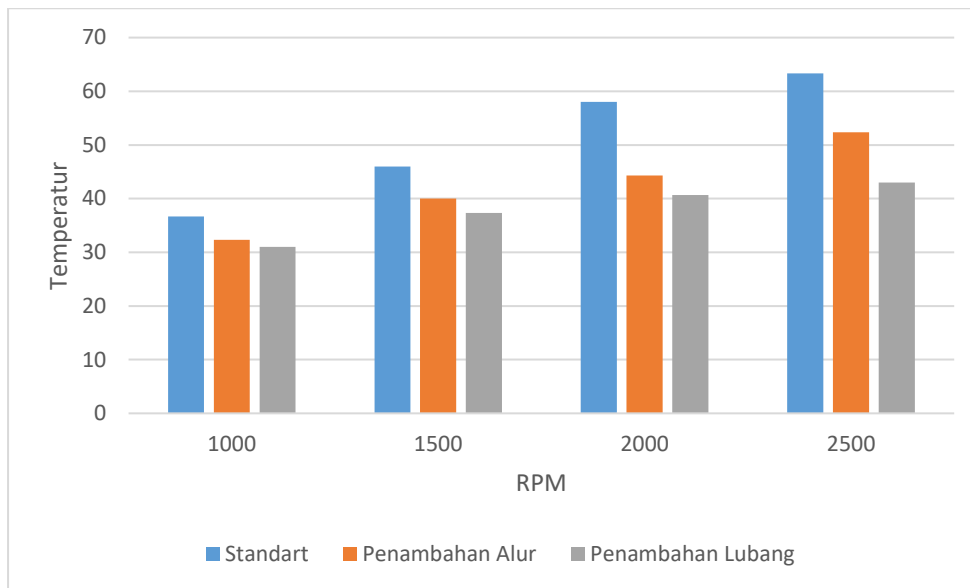


**Gambar 4.** Temperatur Pad pada Kampas Dengan Penambahan Lubang.

Gambar di atas menunjukkan perubahan temperatur kampas rem dengan penambahan lubang yang diukur melalui tiga kali percobaan (Percobaan 1, 2, dan 3) pada berbagai tingkat kecepatan putaran motor (RPM). Dari grafik dapat diamati bahwa pada RPM 1000, suhu kampas rem berada di kisaran  $\pm 30^{\circ}\text{C}$  hingga  $\pm 34^{\circ}\text{C}$ . Saat RPM ditingkatkan menjadi 1500 dan 2000, suhu perlahan naik hingga berada di rentang  $\pm 37^{\circ}\text{C}$  hingga  $\pm 42^{\circ}\text{C}$ . Pada kecepatan tertinggi, yaitu 2500 RPM, temperatur tercatat mencapai  $\pm 44^{\circ}\text{C}$  hingga  $\pm 47^{\circ}\text{C}$ . Dibandingkan jenis kampas lainnya, suhu kampas dengan lubang cenderung lebih rendah pada setiap tingkatan RPM.

Hal ini menunjukkan bahwa desain lubang pada kampas rem berfungsi secara efektif dalam meningkatkan pelepasan panas selama proses pengereman. Lubang-lubang pada kampas memungkinkan aliran udara yang lebih baik dan mempercepat pembuangan panas dari area gesekan. Dengan demikian, kampas rem berlubang memberikan performa termal yang lebih stabil pada kecepatan tinggi, serta membantu menjaga temperatur agar tidak meningkat secara signifikan.

### Grafik Rata-Rata Variasi Geometri Kampas



**Gambar 5.** Grafik Rata-Rata dari 3 Variasi Geometri kampas.

Pada Gambar di atas merupakan hasil rata-rata dari tiga kali percobaan terhadap empat variasi kecepatan putaran (RPM) dengan tiga jenis geometri kampas rem, yaitu kampas standar, kampas dengan penambahan alur, dan kampas dengan penambahan lubang. Dari grafik terlihat bahwa geometri kampas rem sangat memengaruhi kenaikan temperatur akibat gesekan. Kampas rem dengan geometri standar menunjukkan kenaikan temperatur tertinggi, yaitu rata-rata mencapai 63°C pada putaran 2500 RPM. Sebaliknya, kampas dengan penambahan lubang menghasilkan temperatur rata-rata terendah, yaitu sekitar 43°C pada putaran yang sama.

Sebagai acuan perbandingan, pada putaran 1000 RPM diperoleh rata-rata suhu kampas rem standar sebesar 37°C, kampas dengan alur sebesar 33°C, dan kampas dengan lubang sebesar 31°C. Selisih suhu antara kampas standar dan kampas dengan lubang sekitar  $\pm 6^\circ\text{C}$ . Perbedaan yang lebih signifikan tampak pada putaran menengah hingga tinggi (2000–2500 RPM), di mana kampas standar mengalami lonjakan suhu lebih besar dibandingkan dua jenis geometri lainnya. Pada 2500 RPM, selisih suhu kampas standar dengan kampas berlubang mencapai  $\pm 20^\circ\text{C}$ . Hal ini menunjukkan bahwa penambahan alur dan lubang pada kampas berfungsi efektif dalam mengurangi akumulasi panas. Penambahan lubang lebih unggul karena meningkatkan ventilasi dan pembuangan panas yang lebih efisien selama proses pengereman.

## Usaha dan Gaya Pengereman

### 1. Usaha dalam pengereman

Usaha pengereman merupakan pengurangan energi kinetik oleh sistem pengereman dengan tujuan memperlambat atau menghentikan laju kendaraan. Energi tersebut dirubah menjadi panas melalui gesekan kampas rem dengan piringan cakram. Pengukuran satuan usaha adalah joule (J) (P. E. Niyanti et al., 2022).

Rumus usaha dalam pengereman menurut ilmu fisika adalah:

$$W = F \times s$$

Dimana:

$W$  : Usaha pengereman (Joule)

$F$  : Gaya pengereman (Newton)

$s$  : Jarak Pengereman (Meter)

### 2. Gaya dalam pengereman

Arti gaya secara sederhana merupakan sebuah tarikan atau dorongan. Gaya merupakan besaran vektor yang mempengaruhi perubahan kondisi benda untuk bergerak atau hanya diam atau arti lainnya adalah tarikan atau dorongan pada sebuah benda untuk berpindah dari satu titik ke titik yang lain. Gaya merupakan besaran turunan dari massa (kg) dan percepatan ( $m/s^2$ ) benda dengan satuan Newton (N). [28] (F. M. Dewadi et al., 2023)

$$F = m \times a$$

Dimana:

$F$  : Gaya (Newton) atau ( $kgm/s^2$ )

$m$  : Massa (kg)

$a$  : Percepatan ( $m/s^2$ )

### 3. Gaya gesekan dalam pengereman

Kedua korelasi antara usaha dan gaya mengakibatkan perubahan energi kinetik menjadi energi panas karena adanya gesekan. Gesekan tersebut menjadi sebuah hambatan untuk objek hingga dapat berhenti sempurna adalah pengertian dari gaya gesek. Besar gaya gesek dipengaruhi oleh kekerasan permukaan ( $\mu$ ) dan gaya normal pada benda. [29]

$$f = \mu \times N$$

Dimana:

$f$  : Gaya gesek (Newton) atau ( $kgm/s^2$ )

$\mu$  : Koefisien gesek (N/m)

$N$  : Gaya normal (Newton)

#### 4. Transmisi Putaran Menggunakan *pulley* dan *v-belt*

Pada alat peraga atau trainer sistem pengereman ini, sumber putaran berasal dari motor DC dengan kecepatan tertentu. Putaran motor ini tidak langsung diberikan ke roda uji, melainkan harus ditransmisikan terlebih dahulu melalui sistem pulley dan V-belt. Tujuannya adalah untuk mengubah besar putaran sesuai kebutuhan simulasi. Prinsip kerja transmisi pulley adalah memanfaatkan rasio perbandingan diameter pulley penggerak ( $D_1$ ) dan pulley yang digerakkan ( $D_2$ ).

Secara teoritis, jika V-belt dianggap ideal tanpa slip, maka putaran poros keluaran ( $N_2$ ) sebanding dengan rasio diameter kedua *pulley*, yaitu :

$$N_2 = \frac{D_1}{D_2} \times N_1$$

Namun, dalam kondisi nyata selalu terdapat kerugian energi akibat gesekan dan slip pada belt. Untuk itu, dimasukkan faktor rendemen *V-belt* ( $n$ ) yang nilainya lebih kecil dari 1 (biasanya berkisar 0,9–0,95 tergantung kualitas belt). Dengan mempertimbangkan efisiensi ini, persamaan menjadi:

$$N_2 = \frac{D_1}{D_2} \times N_1 \times n$$

Dimana :

$D_1$  = Diameter *pulley* penggerak

$D_2$  = Diameter *Pulley* tergerak

$N_1$  = Putaran motor DCRpm 1

$N_2$  = Putaran motor DC Rpm 2

$n$  = rendemen/efisiensi *v-belt*

Persamaan tersebut menjelaskan bahwa nilai  $N_2$  bergantung pada perbandingan diameter. Jika  $D_1$  lebih kecil dibandingkan  $D_2$ , maka putaran keluaran akan turun (lebih rendah dari motor). Sebaliknya, jika  $D_1$  lebih besar dari  $D_2$ , maka poros keluaran berputar lebih cepat dibanding motor. Dengan kata lain, sistem *pulley* dan *belt* berfungsi sebagai pengatur kecepatan sesuai kebutuhan uji.

Dalam konteks alat peraga ini, variasi diameter pulley dipilih secara sengaja untuk mendapatkan beberapa nilai kecepatan roda yang berbeda. Hal ini penting karena kecepatan roda berhubungan langsung dengan energi kinetik yang harus diserap oleh sistem pengereman. Semakin besar kecepatan, maka energi kinetik yang harus dikonversi menjadi panas melalui gesekan pada kampas rem juga semakin besar.

5. Konversi Putaran (RPM) ke Kecepatan Linier (km/jam)

Hasil perhitungan putaran poros keluaran  $N_2$  dari sistem pulley dan *V-belt* baru sebatas menyatakan kecepatan sudut dalam satuan putaran per menit (rpm). Akan tetapi, untuk keperluan analisis performa pengereman pada alat peraga, satuan ini belum cukup informatif karena dalam kondisi nyata kendaraan lebih sering direpresentasikan dalam bentuk kecepatan translasi (km/jam). Oleh karena itu, nilai  $N_2$  harus dikonversi menjadi kecepatan linier berdasarkan keliling roda atau disc uji. Prinsip konversi ini sederhana: satu putaran penuh roda menempuh jarak sejauh keliling roda. Keliling roda atau disc ( $C$ ) dihitung dengan

$$C = \pi D$$

Dengan  $D$  adalah diameter roda (dalam meter). Apabila satu menit poros berputar sebesar  $N_2$  kali, maka jarak tempuh dalam satu menit adalah :

$$s = N_2 \times C$$

Jarak tempuh per jam ( $s_{jam}$ ) dapat diperoleh dengan mengalikan hasil tersebut dengan 60 (karena 1 jam = 60 menit) :

$$s_{jam} = N_2 \times C \times 60$$

Karena  $s_{jam}$  masih dalam satuan meter/jam, maka untuk mengubahnya ke dalam km/jam harus dibagi 1000 :

$$v = \frac{N_2 \times \pi D \times 60}{1000}$$

Dimana :

$N_2$  = Putaran poros keluaran (rpm)

$D$  = Diameter roda atau disc (m)

$v$  = Kecepatan linier (km/jam)

Apabila diameter  $D$  dinyatakan dalam mm, maka perlu dikonversi agar konsisten dalam satuan. Karena  $1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$ , maka diperoleh :

$$v = N_2 \times \pi D_{(mm)} \times \frac{60}{10^6}$$

Rumus ini digunakan dalam gambar pada tabel perhitungan, dimana setiap nilai rpm  $N_2$  dikonversi menjadi jarak tempuh per jam, lalu dibagi 1000 untuk mendapatkan kecepatan dalam km/jam.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai hasil pengujian pada variasi RPM dan temperatur pada alat peraga sistem pengereman, serta data yang diperoleh dari mikrokontroler yang dikirim ke GUI MATLAB untuk menampilkan grafik secara real-time, dapat disimpulkan sebagai berikut: Variasi bentuk pad rem (standar, alur, dan lubang) memiliki pengaruh nyata terhadap suhu kampas rem saat pengereman. Pad standar menghasilkan suhu tertinggi, sedangkan pad dengan lubang menunjukkan performa termal terbaik karena mampu melepaskan panas lebih efektif. Pada kecepatan 2500 RPM, pad standar mencapai  $63,33^{\circ}\text{C}$ , sedangkan pad berlubang hanya  $43,00^{\circ}\text{C}$ . Ini membuktikan bahwa modifikasi geometri pad sangat penting dalam mengurangi akumulasi panas. Kecepatan putaran roda (RPM) berbanding lurus dengan kenaikan suhu kampas rem. Semakin tinggi RPM, semakin besar panas yang dihasilkan akibat gesekan. Contohnya, pada pad standar suhu naik dari  $36,67^{\circ}\text{C}$  (1000 RPM) menjadi  $63,33^{\circ}\text{C}$  (2500 RPM). Tren serupa juga terjadi pada pad dengan alur dan lubang, walaupun suhu lebih rendah. Ini menunjukkan bahwa RPM adalah faktor dominan dalam beban termal rem dan perlu diperhatikan untuk mencegah risiko overheating dan brake fade. GUI MATLAB berhasil menampilkan grafik hubungan antara RPM dan temperatur secara real-time, berdasarkan data dari sensor RPM (LM393) dan temperatur (termokopel tipe-K). Antarmuka GUI ini memberikan kemudahan dalam pemantauan serta dokumentasi data selama pengujian, dan mempermudah analisis visual atas pengaruh geometri pad dan kecepatan roda terhadap temperatur rem. GUI juga meningkatkan efisiensi dalam proses penelitian berbasis sensor dan mikrokontroler.

### Saran

Dalam upaya untuk meningkatkan pemahaman dan pengembangan untuk penelitian mendatang, disarankan beberapa langkah perbaikan. Untuk memperoleh hasil pengukuran kecepatan putaran roda yang lebih akurat dan stabil, terutama pada kecepatan rendah, disarankan mengganti sensor LM393 dengan sensor RPM beresolusi tinggi seperti rotary encoder yang mampu memberikan pembacaan lebih presisi terhadap perubahan kecepatan secara detail. Agar hasil pembacaan temperatur dari kampas rem tetap akurat, sensor termokopel yang terhubung dengan modul MAX6675 perlu dikalibrasi secara berkala, dengan membandingkan hasilnya menggunakan termometer. Antarmuka GUI MATLAB dapat ditingkatkan dengan menambahkan fitur pendukung, seperti alarm suhu tinggi, batas suhu maksimum yang ditandai secara visual, serta kemampuan menyimpan data ke format file

seperti .txt atau .xlsx. Dengan fitur ini, analisis data dapat dilakukan lebih mendalam dan efisien. Jika sistem akan dikembangkan dengan lebih banyak sensor atau fitur kompleks lainnya, penggunaan mikrokontroler yang lebih canggih seperti Arduino Mega atau ESP32 sangat dianjurkan, mengingat mikrokontroler ini memiliki lebih banyak pin I/O dan kapasitas pemrosesan yang lebih besar, atau bisa menggunakan Teensy 4.0 dan Raspberry Pi. Untuk pengembangan lebih lanjut, sistem pemantauan suhu dan kecepatan roda dapat diintegrasikan dengan teknologi IoT, memungkinkan data dikirim secara nirkabel dan dipantau dari jarak jauh serta disimpan ke cloud sebagai basis data untuk analisis jangka panjang. Selain variasi bentuk kampas rem, disarankan agar pengujian juga memperhitungkan tekanan pengereman, karena tekanan yang diberikan pada pedal rem memengaruhi besar gaya gesek antara kampas dan piringan, yang berdampak langsung pada peningkatan suhu kampas rem. Dengan melakukan variasi tekanan, peneliti dapat mengetahui hubungan antara gaya tekan hidrolik terhadap perubahan suhu dan performa pengereman secara lebih komprehensif. Kajian teori dasar mengenai hukum gesekan Coulomb serta hubungan antara tekanan hidrolik dan gaya normal pada kampas rem dapat dijadikan dasar analisis tambahan, sehingga penelitian tidak hanya menyoroti geometri kampas rem, tetapi juga melibatkan parameter mekanis yang memengaruhi kinerja sistem pengereman secara menyeluruh. Pengembangan penelitian selanjutnya juga dapat mencakup pengaruh variasi tekanan hidrolik terhadap jarak pengereman dan energi panas yang dihasilkan, karena dalam kondisi nyata, pengemudi sering memberikan tekanan pedal yang berbeda, yang dapat menimbulkan perbedaan temperatur dan performa sistem rem. Perlu dipertimbangkan untuk menambahkan sensor tekanan (pressure sensor) pada sistem uji agar data tekanan hidrolik dapat direkam dan dianalisis secara bersamaan dengan data RPM dan temperatur, sehingga integrasi data kecepatan, tekanan, dan temperatur akan menghasilkan model analisis yang lebih lengkap mengenai perilaku termal sistem pengereman. Selain itu, teori dasar tentang konversi energi kinetik menjadi energi panas dapat diperdalam pada penelitian berikutnya. Analisis energi ini akan memberikan gambaran kuantitatif mengenai berapa besar energi kinetik kendaraan yang berubah menjadi panas akibat gaya gesek, serta seberapa besar pengaruh tekanan pengereman terhadap distribusi energi tersebut.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Al Hakim, M. W. (2018). Pengaruh lubang pada piringan cakram terhadap distribusi temperatur kampas rem cakram. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Cahyono, Y. A. (2022). Komponen elektronika dan cara kerjanya. *Jurnal Portal Data*, 2(4), 116–122. <http://portaldata.org/index.php/portaldata/article/view/122>
- Dewadi, F. M. (2023). *Fisika Dasar I (Mekanika dan Panas)* (1st ed.). PT Global Eksekutif Teknologi. ISBN 978-623-198-347-3.
- Dewadi, F. M. (2023). *Fisika Dasar I (Mekanika dan Panas)* (1st ed.). PT Global Eksekutif Teknologi. ISBN 978-623-198-347-3.
- Dewadi, F. M., Lillahulhaq, Z., Irwanto, & Karyasa, T. B. (2023). Teknik pendingin dan tata udara. PT. Global Eksekutif Teknologi.
- Fathulrohman, Y. N. I., & Saepulloh, A. (2019). Alat monitoring suhu dan kelembaban menggunakan Arduino Uno. *Jurnal Manajemen dan Teknik Informatika (JUMANTAKA)*, 2(1). <https://jurnal.stmik-dci.ac.id/index.php/jumantaka/article/view/361>
- Hafizh, N. N., Yunus, M., & Wisnaningsih, W. (2022). Pengaruh gaya rem cakram (disk brake), ketebalan cakram, minyak rem pada sepeda motor Honda Beat Pop 2015, 110CC. *Jurnal Rekayasa, Teknologi, dan Sains*, 6(2), 83–87.
- Ismailov, A. S., & Jo'rayev, Z. (2022). Study of Arduino microcontroller board. *Scientific Journal*, 3(3), 172–179. <https://www.openscience.uz>
- KNKT. (2022). *Laporan Investigasi kecelakaan Lalu Lintas dan Angkutan Jalan (LAPORAN AKHIR KNKT 22.01.01.01)*. Lap. Akhir, 1(201310200311137), 78-79.
- Mardiati, R., Ashadi, F., & Sugihara, G. F. (2019). Rancang bangun prototipe sistem peringatan jarak aman pada kendaraan roda empat berbasis mikrokontroler ATMEGA32. *TELKA - Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi dan Kontrol*, 2(1), 53–61. <https://doi.org/10.15575/telka.v2n1.53-61>
- Martono, C. I., Sarwito, S., & Kusuma, I. R. (2019). Analisa tekno-ekonomis penerapan sistem penerangan lampu light emitting diode (LED) pada kapal penangkapan ikan. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), 1–6.
- Namora, I., Siregar, P., & Gurning, H. R. (2019). Pengaruh rekrutmen dan komitmen organisasi terhadap kinerja karyawan pada PT. Budi Karya Perkasa. *Jurnal Manajemen*, 15(1), 71–80.
- Novandi, D., Sugiyanto, D., & Siregar, R. (2022). Analisa penyebab getaran pada sistem rem kendaraan roda empat jenis transmisi otomatis. *Met. J. Manufaktur, Energi, Mater. Tek.*, 1(2), 69–75. <https://doi.org/10.22236/metalik.v1i2.9976>
- Pasila, R., Rompis, S. Y. R., & Jansen, F. (2019). Pemodelan akselerasi kendaraan roda empat dan roda dua menggunakan data kendaraan penyidik di Kota Manado. *Jurnal Sipil Statik*, 7(5), 505–512.
- Purwansyah, H. (2021). Komparasi pengukuran kecepatan putar motor DC dengan menggunakan sensor proximity LJ12A3-4-Z/BY dan sensor Hall Effect KY-024. Universitas Diponegoro.

- Puspawan, A., Pangestu, M. A., Suandi, A., & Sofwan, A. F. A. (2020). The heat transfer flow analysis of standard plate steel of JIS G3106 grade SM20B on pre-heating joint web plate I-girder process case study in PT. Bukaka Teknik Utama, Bogor Regency, West Java Province. *Jurnal Rekayasa Mekanika*, 4(1), 1–8.
- Saputra, A., & Munandar, R. (2022). Analisis dinamik rem cakram (disc brake) atau rem piringan pada sepeda motor Supra X 125. *Teknobiz Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, 12(2), 83–90. <https://doi.org/10.35814/teknobiz.v12i2.3612>
- Setiyoko, A., & Yuliana, D. E. (2022). Kendali suhu minyak goreng pada penggorengan sosis menggunakan kontrol PID. *JASEE Jurnal Aplikasi Ilmu Elektronika dan Teknik*, 3(1), 52–62. <https://doi.org/10.31328/jasee.v3i01.6>
- Zatmika, A. Z., Utomo, K. Y., & Ardiansyah, D. (2022). Analisis perbandingan diameter piringan cakram yang bervariasi terhadap jarak dan waktu pengereman pada kendaraan sepeda motor Supra X1 25. *KALPIKA*, 19(1), 1–10. <https://doi.org/10.61488/kalpika.v19i1.31>