

# Pengaruh Ukuran *Nozzle* Udara Terhadap Temperatur Rem Tromol

Akhmad Rizki Hidayatullah\*<sup>1</sup>, Chandra Gunawan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Politeknik Negeri Malang, email : [akhmadrizki007@gmail.com](mailto:akhmadrizki007@gmail.com)

<sup>2</sup> Politeknik Negeri Malang; email : [cgunawan05@gmail.com](mailto:cgunawan05@gmail.com)

Jl. Soekarno Hatta No.9, Jatimulyo, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65141

\* Penulis : Akhmad Rizki Hidayatullah

**Abstract:** The drum brake system in vehicles generates considerable heat due to the friction between the brake shoe and the drum surface, making an effective cooling method essential to maintain braking performance and safety. One method that can be applied is cooling using compressed air sprayed through a nozzle of a specific size. This study aims to analyze the effect of nozzle size variation on the effectiveness of drum brake temperature reduction. The method used in this study involved heating the drum backplate using a hot gun until it reached a temperature of 150°C. Subsequently, compressed air was sprayed through nozzles sized 1/4 inch, 1/2 inch, and 3/4 inch, with a constant air pressure of 5 bar and under controlled environmental conditions. The final temperature after spraying was measured for each nozzle size over a duration of 10 seconds. The test results showed that the larger nozzle size (3/4 inch) was able to reduce the drum temperature more significantly compared to the smaller sizes. The larger the nozzle size, the greater the airflow rate, thereby enhancing the heat transfer process through convection. Therefore, it can be concluded that nozzle size is a key factor in improving the cooling efficiency of drum brakes using compressed air.

**Keywords:** Drum Brake; Nozzle; Air Cooler; Forced Convection; Compressed air;

**Abstrak:** Sistem rem tromol pada kendaraan menghasilkan panas yang cukup tinggi akibat gesekan antara kampas rem dan permukaan tromol, sehingga diperlukan metode pendinginan yang efektif untuk menjaga kinerja dan keamanan sistem pengereman. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah pendinginan menggunakan udara bertekanan yang disemprotkan melalui nozzle dengan ukuran tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi ukuran nozzle terhadap efektivitas penurunan temperatur rem tromol. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan pemanasan terhadap backplate tromol menggunakan hot gun hingga mencapai temperatur 150°C. Setelah itu, dilakukan penyemprotan udara bertekanan melalui nozzle berukuran 1/4 inci, 1/2 inci, dan 3/4 inci, dengan tekanan udara konstan sebesar 5 bar dan dalam kondisi lingkungan tetap. Temperatur akhir setelah penyemprotan diukur untuk masing-masing ukuran nozzle pada durasi waktu 10 detik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nozzle berukuran besar (3/4 inci) mampu menurunkan temperatur tromol secara lebih signifikan dibandingkan ukuran lainnya. Semakin besar ukuran nozzle, semakin besar debit udara yang dihasilkan, sehingga proses perpindahan panas melalui konveksi menjadi lebih efektif. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa ukuran nozzle merupakan salah satu faktor kunci dalam meningkatkan efisiensi pendinginan rem tromol menggunakan udara bertekanan.

**Kata kunci:** Rem Tromol; Nozzle; Pendingin Udara; Konveksi Paksa; Udara Bertekanan;

Diterima: Mei 17, 2025

Direvisi: Mei 27, 2025

Diterima: Juni 29, 2025

Diterbitkan: Juli 2, 2025

Versi sekarang: Juli 4, 2025



Hak cipta: © 2025 oleh penulis.

Diserahkan untuk kemungkinan

publikasi akses terbuka

berdasarkan syarat dan ketentuan

lisensi Creative Commons

Attribution (CC BY SA) (

[https://creativecommons.org/lic](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

[enses/by-sa/4.0/](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) )

## 1. Pendahuluan

Kecelakaan lalu lintas di Indonesia masih menjadi masalah serius dengan angka kejadian yang tinggi setiap tahunnya. Salah satu penyebab utama adalah kegagalan sistem rem, yang pada tahun 2023 menyumbang sekitar 80% dari total 68.579 kasus kecelakaan [1]. Di Kota Batu, awal tahun 2025, kecelakaan bus pariwisata akibat kegagalan rem melibatkan 6 sepeda motor dan 6 mobil, menyebabkan 4 korban jiwa [2]. Kegagalan fungsi rem sering kali disebabkan oleh *overheating*, yang dapat menyebabkan *vapor lock* pada minyak rem serta brake fade pada kampas rem, terutama saat suhu mencapai 200-350°C. Untuk mencegah *overheating* dan memperpanjang umur komponen rem, sistem pendinginan rem menjadi solusi yang perlu dikembangkan [3].

Penelitian sebelumnya telah mengkaji berbagai metode pendinginan rem, seperti penggunaan *air scoop* pada pengereman cakram, penambahan sirip pendingin pada tromol dengan fluida cair, dan sistem pendinginan paksa menggunakan udara dan air [4], [5], [6]. Penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa penambahan sirip pada tromol dengan pendinginan air dapat menurunkan suhu hingga 30% [4]. Selain itu, penelitian lain telah menguji efektivitas *water cooler* pada rem tromol serta penggunaan kombinasi udara dan air untuk mendinginkan cakram. Berbeda dari penelitian sebelumnya, penelitian ini berfokus pada sistem pendinginan rem tromol sebelum *overheat* dengan kontrol otomatis menggunakan Arduino UNO untuk penyemprotan udara bertekanan dengan bantuan signal sensor temperatur [7].

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian berfokus pada variasi durasi dan variasi ukuran *nozzle* dalam mempengaruhi temperatur rem tromol? Berdasarkan penelitian sebelumnya pendinginan rem menggunakan media udara dapat menurunkan temperatur rem dengan baik [6]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana variasi durasi penyemprotan udara bertekanan dan variasi ukuran *nozzle* berpengaruh terhadap temperatur rem tromol serta interaksi antara kedua variabel tersebut untuk mendapatkan kombinasi yang sempurna.

Dengan adanya sistem pendinginan berbasis udara bertekanan yang dikontrol secara otomatis, diharapkan risiko kegagalan pengereman akibat *overheating* dapat dikurangi, sehingga meningkatkan keselamatan berkendara. Selain itu, masyarakat dapat memperoleh informasi mengenai pentingnya sistem pendingin rem pada kendaraan angkutan barang. Hasil dari penelitian ini juga bisa menjadi acuan untuk penelitian selanjutnya dalam pengembangan sistem pendingin rem yang lebih baik, sehingga dapat memberikan meningkatkan keselamatan berkendara dan mengurangi angka kecelakaan lalu lintas.

## 2. Tinjauan Literatur

### 2.1. Kajian Teori

- Rem Tromol

Sistem ini berfungsi untuk memperlambat atau menghentikan kendaraan dengan menggunakan gaya gesek yang dihasilkan antara kampas rem dan permukaan dalam tromol [8]. Rem tromol adalah sistem pengereman yang efektif dan telah digunakan selama bertahun-tahun. Rem tromol memiliki desain yang sederhana dan biaya yang lebih rendah dalam perawatan membuatnya tetap relevan dalam beberapa aplikasi kendaraan.

- Sistem Kontrol

Sistem kontrol pada penelitian ini dirancang untuk memantau dan mengatur proses pendinginan secara otomatis dan terukur. Mikrokontroler Arduino Mega digunakan sebagai pusat pengendali utama karena memiliki banyak pin I/O yang mendukung integrasi beberapa komponen sekaligus [9], [10]. Untuk pengukuran temperatur rem tromol secara non-kontak, digunakan sensor inframerah GY-906 MLX90614 yang mampu mendeteksi suhu permukaan dengan cepat dan akurat [11]. Hasil pembacaan suhu dari sensor ditampilkan secara real-time pada LCD 16x2, sehingga pengguna dapat memantau temperatur dengan mudah selama proses pengujian. Sistem ini juga dilengkapi dengan modul SD card yang berfungsi untuk merekam data temperatur secara berkala agar dapat dianalisis lebih lanjut [12]. Untuk mendukung kinerja perangkat keras, digunakan modul step-down LM2596 sebagai regulator tegangan

agar seluruh komponen mendapatkan suplai daya yang stabil [13]. Komponen aktuator berupa *electric relay* 12V berfungsi sebagai saklar elektronik yang mengendalikan arus listrik menuju solenoid pneumatik. Ketika suhu rem mencapai batas tertentu, Arduino akan mengaktifkan pneumatic solenoid yang menyempatkan udara bertekanan melalui *nozzle* sesuai ukuran yang diuji. Sistem ini dirancang agar mampu melakukan proses pendinginan secara otomatis berdasarkan kondisi temperatur aktual. Integrasi sensor dan aktuator ini membuat pengujian menjadi lebih sistematis dan mengurangi kesalahan pengukuran manual. Data yang direkam pada SD card memungkinkan dilakukan analisis tren penurunan temperatur untuk setiap ukuran *nozzle* yang diuji. Sistem ini juga dapat dikembangkan lebih lanjut untuk simulasi pendinginan rem dalam kondisi nyata pada kendaraan. Penggunaan kontrol otomatis memberikan efisiensi waktu dan konsistensi dalam pengambilan data. Selain itu, keberadaan *interface visual* melalui LCD memudahkan pengamatan langsung selama eksperimen berlangsung.

- Fluida Gas (Udara)

Fluida gas merupakan salah satu jenis fluida yang *compressible* karena sifat fluida gas bisa dimampatkan volumenya, namun ketika dimampatkan udara dapat menyebabkan kenaikan temperatur, udara dapat mempengaruhi kerapatan molekulnya [14]. Fluida gas (udara) digunakan sebagai media pendingin karena memiliki keunggulan perpindahan panas secara konveksi, di mana konveksi sendiri adalah perpindahan panas ketika udara di sekitar material yang lebih panas akan menyerap panas dari material tersebut. Selain sifat *compressible* dan kemampuan perpindahan panas secara konveksi, fluida gas (seperti udara) juga memiliki karakteristik penting lain yang mendukung perannya sebagai media pendingin, yaitu kapasitas panas jenis (*specific heat capacity*) dan konduktivitas termal (*thermal conductivity*) [15]. Udara memiliki kapasitas panas jenis yang relatif tinggi dibandingkan beberapa fluida lainnya, yang berarti udara mampu menyerap panas dalam jumlah cukup besar tanpa mengalami kenaikan suhu yang drastis, sehingga efektif dalam menjaga suhu material tetap stabil selama proses pendinginan. Selain itu, meskipun udara memiliki konduktivitas termal yang lebih rendah dibandingkan fluida cair, kecepatan aliran udara yang tinggi dapat mengimbangi keterbatasan tersebut. Perpindahan panas secara konveksi sendiri adalah proses pemindahan panas yang terjadi melalui pergerakan fluida cair atau gas, dengan aliran panas dari suhu tinggi menuju suhu yang lebih rendah akibat perbedaan temperatur [16]. Dalam konteks konveksi, terdapat dua jenis mekanisme, yaitu konveksi alami dan konveksi paksa, di mana konveksi paksa terjadi ketika pergerakan fluida dipengaruhi oleh gaya eksternal seperti kipas, pompa, atau aliran udara dari *nozzle* [17]. Pada sistem rem tromol kendaraan, proses pendinginan dapat ditingkatkan melalui konveksi paksa dengan mengarahkan udara langsung ke permukaan tromol menggunakan *nozzle*. Ukuran *nozzle* udara akan mempengaruhi kecepatan dan debit aliran udara yang masuk, sehingga berpengaruh terhadap efisiensi perpindahan panas dari tromol ke udara. Semakin besar laju aliran udara, maka laju pendinginan tromol akibat gesekan akan semakin tinggi. Oleh karena itu, pemilihan ukuran *nozzle* menjadi variabel penting dalam mengatur efisiensi sistem pendinginan rem tromol melalui mekanisme konveksi paksa.

- Sistem Pendinginan Rem (Cooling Brake)

Sistem pendinginan rem merupakan suatu mekanisme penting yang bertujuan untuk menurunkan temperatur komponen rem, guna menjaga kinerja pengereman tetap optimal serta mencegah terjadinya penurunan efisiensi akibat *overheating* [18]. Dalam implementasinya, berbagai jenis fluida digunakan sebagai media pendingin, baik berupa fluida cair maupun gas. Salah satu jenis fluida gas yang paling umum dan praktis digunakan adalah udara. Udara memiliki keunggulan tersendiri, antara lain ketersediaannya yang melimpah, sifatnya yang ringan, serta kemampuannya dalam mentransfer panas melalui mekanisme konveksi. Penggunaan udara bertekanan dalam sistem pendingin rem tromol menjadi menarik karena selain dapat mempercepat pelepasan panas, sistem ini juga tetap berfungsi secara efektif meskipun kendaraan dalam kondisi diam, berbeda dengan sistem pendinginan pasif yang sangat bergantung pada kecepatan kendaraan. Salah satu bentuk penerapan pendinginan berbasis udara adalah penggunaan *air scoop* yang diarahkan langsung ke sistem rem cakram untuk

meningkatkan laju pelepasan panas. Sementara itu, pada sistem rem tromol, beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan fluida cair yang dipadukan dengan modifikasi sirip-sirip pendingin pada tromol mampu menurunkan temperatur rem hingga 30% dibandingkan tromol standar [19], [20]. Berdasarkan fakta tersebut, udara sebagai media pendingin memiliki potensi besar untuk digunakan pada rem tromol, dengan kelebihan desain yang lebih sederhana serta bebas dari risiko korosi seperti pada sistem berbasis cairan. Secara teoritis, efektivitas pendinginan dengan udara didukung oleh prinsip perpindahan panas konvektif. Berdasarkan hukum Newton tentang pendinginan, laju pelepasan panas berbanding lurus dengan perbedaan temperatur antara permukaan panas dan fluida pendingin. Peningkatan kecepatan aliran udara, khususnya dalam sistem konveksi paksa (*forced convection*), akan memperbesar koefisien perpindahan panas sehingga dapat mempercepat penurunan temperatur permukaan rem. Selain itu, hukum gas ideal ( $PV = nRT$ ) menjelaskan bahwa tekanan dan temperatur udara saling berkaitan dalam sistem tertutup. Ketika udara dimampatkan, densitasnya meningkat, sehingga kapasitasnya dalam menyerap panas juga bertambah. Di sisi lain, konsep hambatan termal (*thermal resistance*) juga menunjukkan bahwa peningkatan luas permukaan, misalnya melalui penambahan sirip pendingin, akan mempercepat pelepasan panas dari permukaan ke fluida. Dengan landasan teoritis tersebut, penelitian yang memanfaatkan fluida gas (udara) sebagai media pendingin rem tromol menjadi sangat relevan dan potensial dalam mengembangkan sistem pendinginan yang efisien dan praktis.

### 2.2 Kerangka Konsep Penelitian

Kerangka konsep pada penelitian ini terdiri dari tiga (3) bagian, yaitu Variabel bebas – Variabel kontrol – Variabel terikat seperti yang disajikan pada tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1 Kerangka Konsep Penelitian

Variabel Bebas	Variabel Kontrol	Variabel Terikat
Ukuran Nozzle	Sudut Nozzle 45	
A. 1/4 inch	Tekanan Udara 5 Bar	Penurunan Temperatur
B. 1/2 inch	Jarak Nozzle 8mm	Rem Tromol
C. 3/4 inch	Durasi Penyemprotan 10s	

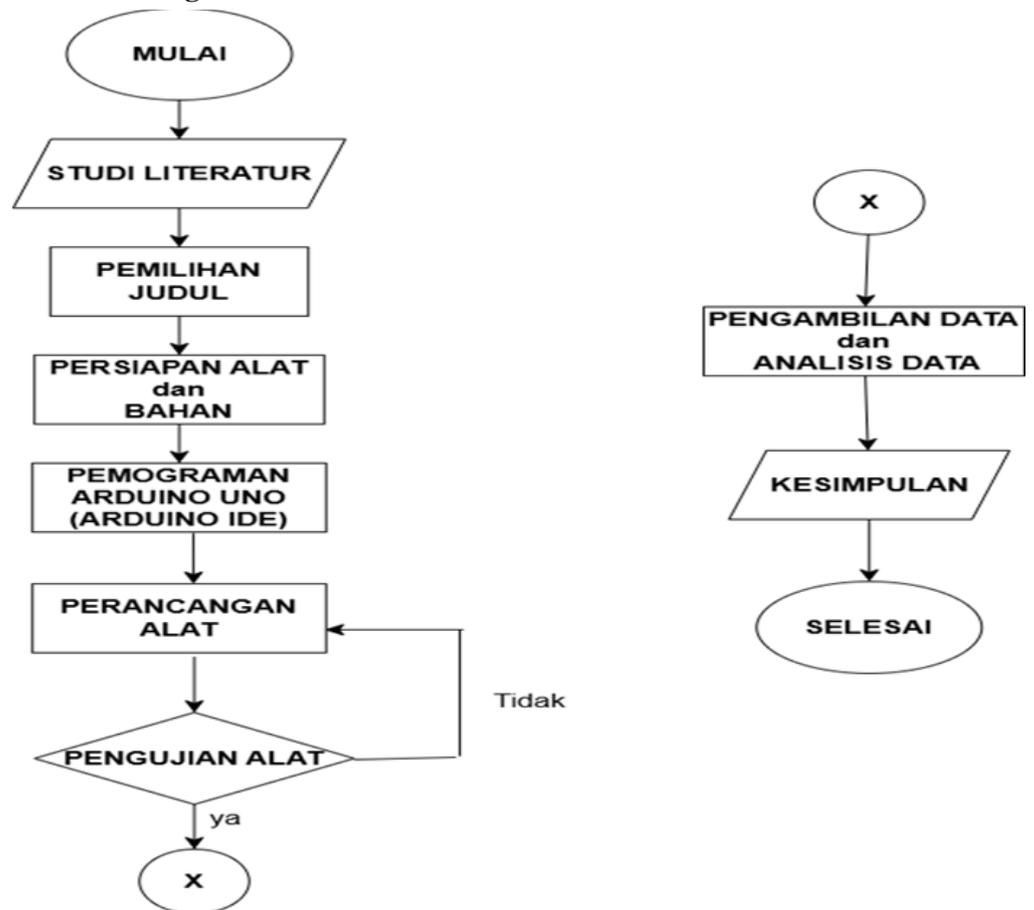
Dalam penelitian ini, variabel bebas adalah ukuran *nozzle* udara yang digunakan, yaitu 1/4 inch, 1/2 inch, dan 3/4 inch, yang masing-masing akan memengaruhi laju aliran udara saat penyemprotan. Variabel ini sengaja divariasikan untuk melihat sejauh mana pengaruhnya terhadap pendinginan rem tromol. Variabel terikat adalah penurunan temperatur rem tromol, yaitu hasil atau respons yang diukur akibat pengaruh dari perbedaan ukuran *nozzle*. Penurunan temperatur ini diukur untuk menentukan efektivitas masing-masing ukuran *nozzle* dalam proses pendinginan. Sementara itu, variabel kontrol merupakan faktor-faktor yang dijaga tetap agar tidak memengaruhi hasil pengujian, yaitu sudut penyemprotan *nozzle* sebesar 45°, tekanan udara tetap 5 bar, jarak antara *nozzle* dan permukaan tromol sebesar 8 mm, serta durasi penyemprotan selama 10 detik. Keempat variabel kontrol ini dibuat konstan agar pengaruh yang diamati benar-benar berasal dari perbedaan ukuran *nozzle*. Dengan pengaturan variabel seperti ini, penelitian dapat memberikan hasil yang valid dan objektif mengenai pengaruh ukuran *nozzle* terhadap temperatur rem tromol.

### 3. Metode

Penelitian ini menerapkan metode eksperimen sebagai pendekatan utama untuk mengetahui hubungan sebab-akibat antara variabel bebas dan variabel terikat. Metode penelitian eksperimen memungkinkan peneliti untuk mengontrol variabel bebas untuk melihat pengaruhnya terhadap variabel terikat. Dalam penelitian ini, eksperimen dirancang dengan teliti, sehingga hubungan antara variabel dapat diidentifikasi dengan jelas. Keunggulan utama dari metode ini adalah kemampuannya untuk memberikan bukti yang kuat terkait dampak suatu perlakuan terhadap hasil yang diharapkan. Melalui eksperimen, hasil pengamatan dapat diperoleh secara sistematis dan objektif. Pendekatan kuantitatif digunakan dalam penelitian ini untuk mendukung metode eksperimen, sehingga data yang diperoleh dapat diolah secara

numerik dan dianalisis secara statistik. Data yang diperoleh dari eksperimen akan dianalisis untuk mengevaluasi korelasi antara variabel bebas dan variabel terikat. Analisis ini dilakukan guna memastikan bahwa setiap perubahan yang terjadi pada variabel terikat benar-benar disebabkan oleh perlakuan terhadap variabel bebas. Selain itu, pembacaan sensor yang telah terkalibrasi membantu meningkatkan akurasi hasil pengukuran. Data hasil penelitian ini diuji menggunakan metode ANOVA One-Way untuk mengetahui apakah ada pengaruh yang signifikan antara variabel bebas dan variabel terikat.

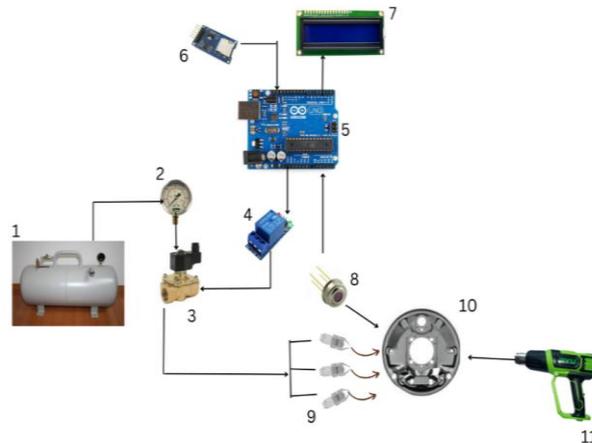
### 3.1. Metode Pengambilan Data



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 1 menjelaskan diagram alir proses penelitian yang dilakukan dalam perancangan dan pengujian alat untuk pendinginan drum brake berbasis Arduino. Proses diawali dengan tahap studi literatur untuk memperoleh dasar teori yang kuat, dilanjutkan dengan pemilihan judul penelitian yang sesuai. Setelah itu, dilakukan persiapan alat dan bahan, termasuk pengadaan komponen seperti Arduino Uno, sensor, dan perangkat pendukung lainnya. Tahap berikutnya adalah pemrograman Arduino menggunakan Arduino IDE untuk mengatur logika kerja alat. Setelah program selesai, dilakukan perancangan alat secara fisik sesuai skema yang telah dirancang. Selanjutnya, alat diuji untuk memastikan semua fungsi berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Jika hasil pengujian belum memuaskan, maka dilakukan perbaikan pada tahap perancangan alat. Namun, jika alat sudah berfungsi dengan baik, proses dilanjutkan ke tahap pengambilan data dan analisis data. Data yang dikumpulkan dianalisis untuk mengetahui pengaruh variabel terhadap hasil yang diperoleh. Terakhir, dilakukan penarikan kesimpulan berdasarkan hasil analisis, yang kemudian menandai bahwa seluruh proses penelitian telah selesai.

### 3.2. Setting Peralatan Penelitian



Gambar 2 Setting Peralatan Penelitian

#### Keterangan

- |                   |                      |
|-------------------|----------------------|
| 1. Kompresor      | 8. Sensor temperatur |
| 2. Pressure gauge | 9. <i>Nozzle</i>     |
| 3. Solenoid       | 10. Rem Tromol       |
| 4. Relay 12V      | 11. Hot air gun      |
| 5. Arduino        |                      |
| 6. Data logger    |                      |
| 7. Lcd            |                      |

Gambar 2 menampilkan setting peralatan penelitian untuk pengambilan data yang dilakukan pada penelitian ini yaitu :

1. Menyiapkan alat dan bahan yang diperlukan untuk melakukan pengujian.
2. Letakan sensor temperatur pada bagian yang akan diukur (*Back Plate*).
3. Atur sudut dan jarak pada posisi *nozzle*.
4. Sambungkan saluran output pada kompresor dengan solenoid. Masukkan program coding pada arduino menggunakan aplikasi Arduino IDE sesuai pada program berikut, dengan menggunakan bahasa pemrograman C++
5. Rangkai *SD card module*, LCD 16x2, relay 12volt, step down LM 2596, sensor temperature, dan *solenoid valve*.
6. Rangkai sambungan *pneumatic* dan sambungkan menggunakan selang.
7. Atur jarak tembakan *hot gun* dengan *back plate*.
8. Mengkalibrasi sensor temperatur dengan *thermo gun*.
9. Melakukan pemanasan *back plate* menggunakan *hot gun* yang ditembakkan dengan jarak 50 mm hingga mencapai temperatur 150°C.
10. Temperatur ini diukur oleh sensor temperatur dan sensor akan mengirimkan informasi ke arduino dan akan ditampilkan pada LCD.
11. Kemudian arduino memberikan perintah ke solenoid untuk membuka, solenoid yang sudah terhubung dengan kompresor bertekanan 5 bar meneruskan udara tersebut ke *nozzle*
12. *Nozzle* tersebut menembakkan udara bertekanan ke bagian belakang *back plate*.
13. Baca penurunan temperatur yang terjadi pada setiap pengujian setelah 10 detik solenoid aktif
14. Setelah data didapatkan kemudian menganalisa data menggunakan one-way anova dan mengambil kesimpulan.

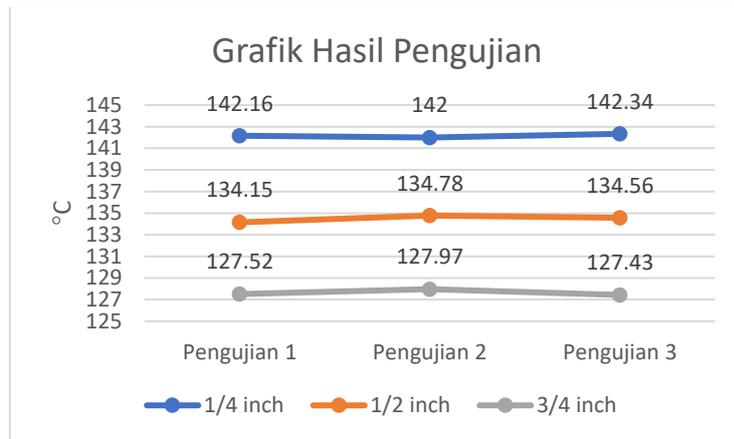
#### 4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data hasil pengujian yang ditampilkan pada tabel 2 dan gambar 3 yang menunjukkan grafiknya, diketahui bahwa pengujian dilakukan untuk mengamati penurunan temperatur pada sistem rem tromol yang sebelumnya telah dipanaskan hingga suhu 150°C. Variabel yang diuji adalah ukuran *nozzle* pendingin, yaitu 1/4 *inch*, 1/2 *inch*, dan 3/4 *inch*, dengan tiga kali pengujian untuk setiap ukuran. Hasil rata-rata temperatur setelah proses pendinginan menunjukkan adanya perbedaan yang cukup signifikan. Ukuran *nozzle* 1/4 *inch* menghasilkan suhu rata-rata sebesar 142,17°C, ukuran 1/2 *inch* sebesar 134,50°C, dan ukuran 3/4 *inch* sebesar 127,64°C. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar ukuran *nozzle*, semakin rendah suhu yang dicapai setelah proses pendinginan. Secara teknis, *nozzle* yang lebih besar memungkinkan aliran fluida pendingin lebih banyak dan merata sehingga proses penurunan temperatur lebih efektif. Grafik pengujian juga memperkuat hasil tersebut, di mana garis temperatur *nozzle* 3/4 *inch* selalu berada di posisi terendah, menggambarkan efisiensi pendinginan yang lebih baik. Penurunan temperatur dari 150°C ke 127,64°C pada *nozzle* terbesar menunjukkan adanya pelepasan panas yang optimal.

Pengaruh ukuran *nozzle* terhadap aliran udara pendingin dalam penelitian ini sangat signifikan, karena ukuran *nozzle* secara langsung menentukan debit (volume per waktu) dan kecepatan aliran udara yang keluar menuju permukaan tromol. *Nozzle* dengan ukuran lebih besar, seperti 3/4 inci, memiliki luas penampang yang lebih besar sehingga mampu mengalirkan udara dalam jumlah yang lebih banyak meskipun pada tekanan yang sama (5 bar). Hal ini menyebabkan aliran udara yang lebih kuat dan merata, sehingga proses perpindahan panas dari permukaan tromol ke udara berlangsung lebih efektif melalui mekanisme konveksi paksa. Dalam konveksi paksa, pergerakan fluida tidak hanya bergantung pada perbedaan suhu, tetapi juga didorong oleh gaya eksternal [21]. *Nozzle* yang lebih besar memfasilitasi peningkatan kecepatan aliran dan cakupan area aliran, memperbesar kontak antara udara dan permukaan tromol. Akibatnya, efisiensi perpindahan panas meningkat karena gradien temperatur yang lebih tajam antara permukaan panas dan aliran udara yang cepat. Sebaliknya, *nozzle* kecil (1/4 inci) menghasilkan aliran udara yang lebih sempit dan terbatas volumenya. Akibatnya, kemampuan udara dalam menyerap dan membawa panas dari permukaan tromol menjadi jauh lebih rendah, sehingga penurunan temperatur berlangsung lambat dan kurang optimal. Hasil pengukuran temperatur dalam penelitian ini membuktikan bahwa semakin besar ukuran *nozzle*, semakin tinggi kemampuan aliran udara untuk mempercepat proses pendinginan. Artinya, ukuran *nozzle* berbanding lurus dengan efektivitas aliran udara sebagai media pendingin, menjadikannya salah satu faktor paling krusial dalam rancangan sistem pendingin berbasis udara bertekanan untuk rem tromol.

Tabel 2 Hasil Pengujian

Ukuran <i>Nozzle</i>	Temperatur (°C)			
	Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3	Rata-Rata
1/4 <i>inch</i>	142.16	142	142.34	142.17
1/2 <i>inch</i>	134.15	134.78	134.56	134.50
3/4 <i>inch</i>	127.52	127.97	127.43	127.64



Gambar 3 Grafik Hasil Pengujian

Dari analisis statistik yang dilakukan menggunakan uji ANOVA pada gambar 4, diperoleh nilai P-Value sebesar 0,000. Nilai ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang sangat signifikan antara setiap kelompok ukuran *nozzle* terhadap penurunan temperatur. Dalam konteks teknik mesin, nilai P-Value yang sangat kecil (lebih kecil dari 0,05) mengindikasikan bahwa variasi ukuran *nozzle* benar-benar memengaruhi performa sistem pendinginan. Artinya, perubahan temperatur bukan disebabkan oleh faktor acak, melainkan benar-benar dipengaruhi oleh perbedaan ukuran *nozzle*. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa semakin besar ukuran *nozzle*, maka kemampuan pendinginan rem tromol semakin meningkat. Ukuran *nozzle* 3/4 inch menjadi ukuran paling efektif dalam menurunkan temperatur sistem rem tromol dari 150°C. Penurunan temperatur yang lebih cepat akan membantu menjaga kinerja rem tetap stabil dan mencegah *overheat* saat digunakan terus-menerus. Efektivitas pendinginan ini juga berdampak pada umur pakai komponen rem yang lebih panjang.

### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Ukuran Nozzle	2	316.867	158.433	2212.07	0.000
Error	6	0.430	0.072		
Total	8	317.297			

Gambar 4 Hasil Pengujian Anova

## 5. Perbandingan

Pembeda penelitian ini dari penelitian sebelumnya adalah penelitian ini berfokus untuk menurunkan temperatur rem tromol sebelum terjadi *overheat*, dengan penggunaan arduino UNO pada sistem kontrol pada penyemprotan udara bertekanan.

## 6. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa ukuran *nozzle* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap efektivitas pendinginan sistem rem tromol berbasis udara bertekanan. Dari tiga variasi ukuran *nozzle* yang diuji, yaitu 1/4 inch, 1/2 inch, dan 3/4 inch, diperoleh hasil bahwa semakin besar ukuran *nozzle*, semakin efektif proses penurunan suhu rem setelah pemanasan awal mencapai 150°C. Ukuran *nozzle* 3/4 inch menunjukkan performa terbaik dengan suhu akhir rata-rata 127,64°C, jauh lebih rendah dibandingkan *nozzle* 1/4 inch yang hanya mampu menurunkan suhu hingga 142,17°C.

Efisiensi ini disebabkan oleh kemampuan *nozzle* besar dalam menghasilkan aliran udara yang lebih besar dan merata, sehingga mempercepat proses pelepasan panas melalui konveksi paksa. Hasil ini diperkuat oleh analisis statistik menggunakan uji ANOVA yang menghasilkan nilai P-Value sebesar 0,000, mengindikasikan bahwa perbedaan suhu antara kelompok *nozzle* sangat signifikan secara statistik. Oleh karena itu, ukuran *nozzle* dapat dinyatakan sebagai salah satu faktor kunci dalam desain sistem pendingin rem tromol, di mana *nozzle* berukuran 3/4 inch terbukti paling efektif dalam menurunkan temperatur dan menjaga performa rem tetap stabil, serta berpotensi memperpanjang umur pakai komponen rem.

## Referensi

- [1] D. B. Wibowo and I. Haryanto, "Kegagalan Fungsi Pengereman Bis Dan Truk Akibat Rusaknya Komponen Rakitan Kampas Rem," *Rotasi*, vol. 17, no. 1, p. 19, 2015, doi: 10.14710/rotasi.17.1.19-28.
- [2] Amirullah, "No Title," *Berita Transportasi dan Logistik*, 2024.
- [3] T. Sato, "METHOD AND CONTROL DEVICE FOR AVOIDING AN OVERHEATING OF A BRAKE OF A VEHICLE," *New York*, vol. 2, no. 19, pp. 1–29, 2020.
- [4] J. Jusnita and D. Denur, "Analisis Perbandingan Suhu Rem Tromol dengan Penggunaan Fluida Sebagai Pendingin: Pendekatan Eksperimental," *J. Surya Tek.*, vol. 10, no. 2, pp. 908–911, 2023, doi: 10.37859/jst.v10i2.6440.
- [5] J. Dewanto and A. Andreas Wijaya, "Sistem Pendingin Paksa Anti Panas Lebih (Over Heating) pada Rem Cakram (Disk Brake) Kendaraan," *J. Tek. Mesin*, vol. 12, no. 2, pp. 97–101, 2019, doi: 10.9744/jtm.12.2.97-101.
- [6] M. M. David and N. F. Nike, "PENGARUH PENAMBAHAN AIR SCOOP DAN PEMBERIAN VARIASI BAHAN BRAKE PAD TERHADAP PENURUNAN PANAS PADA SISTEM REM," vol. 6, no. 2, pp. 183–192, 2024, doi: 10.20527/jtamrotary.v7i.
- [7] M. McRoberts, "Beginning Arduino," *Begin. Arduino*, 2019, doi: 10.1007/978-1-4302-5017-3.
- [8] G. B. Triady, "RANCANG BANGUN SISTEM ANTI REM BLONG PADA REM TROMOL BERBASIS MIKROKONTROLER MENGGUNAKAN SENSOR TEMPERATUR DAN SENSOR BEBAN," 2019.
- [9] D. Sasmoko, *Arduino dan Sensor*. 2021.
- [10] E. W. Vetricha Wulandari, "Automated Trash Sorting Design Based Microcontroller Arduino Mega 2560 with LCD Display and Sound Notification," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 725, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/725/1/012054.
- [11] I. P. E. Sukadana, "Sistem Pengecekan Suhu Tubuh Menggunakan Sensor Infra Red Gy-906 Mlx90614 Berbasis Arduino," pp. 1–7, 2020.
- [12] A. Rianto and R. Kristiyono, "PERANCANGAN TEMPERATUR DETEKSI DINI PADA RUANG PENDINGIN OBAT VAKSIN DENGAN TEMPERATUR DATA LOGGER MIKROKONTROL ARDUINO DENGAN SENSOR SUHU Ds18b20," *Teknika*, vol. 8, no. 1, pp. 9–16, 2023, doi: 10.52561/teknika.v8i1.196.
- [13] D. Rahmawati, M. Ulum, M. Farisal, and K. Joni, "Lantai Pembangkit Listrik Menggunakan Piezoelektrik dengan Buck Converter LM2596," *J. Arus Elektro Indones.*, vol. 7, no. 3, p. 84, 2021, doi: 10.19184/jaei.v7i3.28128.
- [14] A. Mursadin and R. Subagyo, "Perpindahan Panas I Hmkk 453," *Progr. Stud. Tek. Mesin Fak. Tek. Univ. Lambung Mangkurat*, pp. 1–51, 2016.
- [15] C. Yu, S. Qin, B. Chai, S. Huang, and Y. Liu, "The effect of compressible flow on heat transfer performance of heat exchanger by computational fluid dynamics (CFD) simulation," *Entropy*, vol. 21, no. 9, pp. 1–12, 2019, doi: 10.3390/e21090829.
- [16] A. Mursadin and R. Subagyo, *Bahan Ajar Perpindahan Panas I HMKK 453*. 2016.
- [17] I. D. Wijatama, U. Pembangunan, N. Veteran, and F. Teknik, "ANALISIS EFEK PENDINGIN KONVEKSI PAKSA MENGGUNAKAN JET SINTETIK NOZZLE X ANALISIS EFEK PENDINGIN KONVEKSI PAKSA," 2020.
- [18] I. Matthew and A. Titus, "ACTIVE BRAKE COOLING DUCTS," vol. 2, 2019.
- [19] D. Maulana, "PENGARUH PENAMBAHAN AIR SCOOP DAN PEMBERIAN VARIASI BAHAN BRAKE PAD TERHADAP PENURUNAN PANAS PADA SISTEM REM," vol. 6, no. 2, pp. 183–192, 2024, doi: 10.20527/jtamrotary.v7i.

- [20] S. Salim, T. J. Saputra, and W. Arnandi, "Studi Unjuk Kerja Sistem Rem Tromol Hidrolik Pada Alat Peraga Toyota Kijang 5K," *Ris. Diploma Tek. Mesin*, vol. I, no. 2, 2018.
- [21] M. Mobedi and G. Gediz Ilis, *Fundamentals of Heat Transfer*. 2007. doi: 10.1007/978-981-99-0957-5.