

Numerical Analysis of Coupled Thermal-Mechanical on Drum Brakes

Hukmanul Fikri^{1*}, Delima Yanti Sari¹, Waskito¹, Wanda Afnizon¹

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Negeri Padang,
INDONESIA

*Corresponding author: fikrihukmanul@gmail.com

Received June 30th 2025; Revised July 23th 2025; Accepted August 4th 2025

Abstract

Drum brakes are one of the crucial components in motor vehicle braking systems, particularly in motorcycles, due to their advantages in production cost and resistance to environmental contamination. However, this type of brake has limitations in dissipating heat during braking, which can lead to temperature accumulation, thermal deformation, and reduced braking efficiency. This study aims to analyze the thermo-mechanical performance of drum brakes with various cooling groove designs (solid, straight-grooved, and slant-grooved) using a numerical method based on Finite Element Analysis (FEA) in ANSYS Workbench. The analysis was conducted in a transient manner, both thermally and structurally, to evaluate temperature distribution and total deformation for each design. The results show that the slant-grooved drum brake design yields the lowest temperature distribution and total deformation values, especially at high braking speeds, with a temperature distribution of 56.899 °C and total deformation of 17.67×10^{-3} mm. These findings indicate that groove design significantly affects the heat dissipation and structural deformation performance of the brake system. The study concludes that the slant-grooved design is superior in reducing heat and deformation, thereby offering the potential to improve braking safety and efficiency.

Keywords: Drum Brake; Thermal Deformation; Finite Element Analysis; Temperature distribution; Thermomechanics

Analisis Numerik *Coupled* Termal-Mekanik pada Rem Tromol

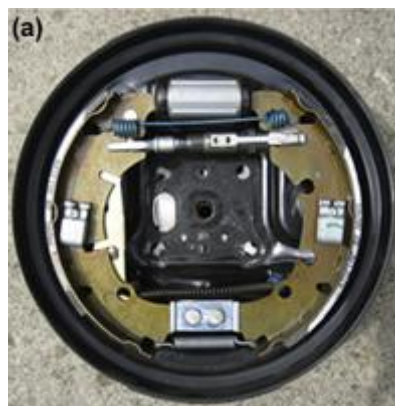
Abstrak

Rem tromol merupakan salah satu komponen penting dalam sistem pengereman kendaraan bermotor, khususnya sepeda motor, yang memiliki keunggulan dalam hal biaya produksi dan ketahanan terhadap kontaminasi lingkungan. Namun, rem jenis ini memiliki keterbatasan dalam melepas panas saat pengereman, yang dapat menimbulkan akumulasi suhu, deformasi termal, dan penurunan efisiensi sistem pengereman. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja termomekanik dari rem tromol dengan berbagai variasi desain alur pendingin (solid, alur lurus, dan alur miring) menggunakan metode numerik berbasis *Finite Element Analysis* (FEA) dalam perangkat lunak *ANSYS Workbench*. Analisis dilakukan secara transient baik secara termal maupun struktural untuk mengevaluasi distribusi suhu dan deformasi total pada masing-masing desain. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rem tromol dengan desain alur miring menghasilkan nilai distribusi suhu dan deformasi paling rendah, terutama pada kecepatan pengereman tinggi yaitu nilai distribusi suhu 56,899 °C dan nilai deformasi total $17,67 \times 10^{-3}$. Hal ini menunjukkan bahwa desain alur dapat memengaruhi kinerja disipasi panas dan deformasi struktural dari sistem rem. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa modifikasi desain dengan alur miring lebih unggul dalam mengurangi panas dan deformasi, sehingga berpotensi meningkatkan keamanan dan efisiensi pengereman.

Kata kunci: Rem Tromol; Deformasi Termal; Distribusi Suhu; *Finite Element Analysis*; Termomekanik

I. PENDAHULUAN

Sistem pengereman merupakan komponen vital dalam kendaraan bermotor yang berfungsi menghentikan laju kendaraan demi menjamin keselamatan pengguna. Salah satu sistem yang masih dominan digunakan, terutama pada kendaraan roda dua, adalah rem tromol. Rem ini memiliki keunggulan dari segi ketahanan terhadap kontaminasi lingkungan serta efisiensi biaya produksi dibandingkan rem cakram (Khatir et al., 2022).



Gambar 1. Gambar Rem Tromol (Day & Bryant, 2022)

Namun demikian, sistem rem tromol memiliki keterbatasan dalam disipasi panas. Energi kinetik yang dihasilkan kendaraan selama bergerak akan dikonversi menjadi energi panas saat pengereman terjadi. Proses konversi ini menghasilkan akumulasi panas pada area gesekan antara kampas dan tromol, yang jika tidak ditangani secara efektif akan menimbulkan deformasi termal, penurunan efisiensi pengereman (brake fading), serta keausan material (Singh et al., 2010). Dalam kondisi ekstrem seperti pengereman

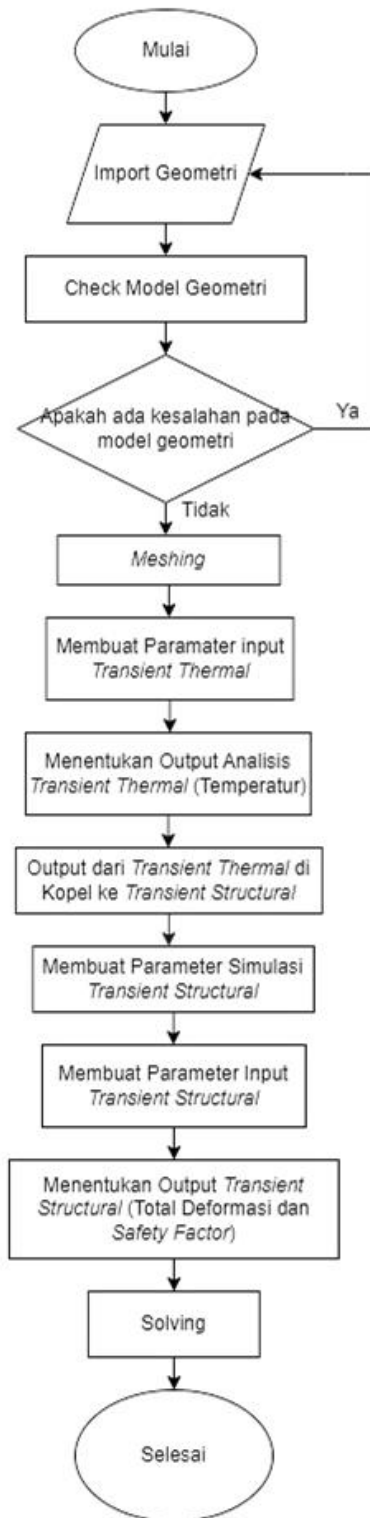
mendadak atau berulang, rem tromol dapat mengalami tegangan termal yang signifikan, berisiko menyebabkan retak mikro dan kegagalan struktural (Watson & Newcomb, 1990).

Fenomena tersebut menegaskan perlunya pemahaman menyeluruh terhadap karakteristik termal dan mekanik dari sistem rem tromol. Untuk itu, pendekatan numerik berbasis *Finite Element Analysis* (FEA) dipilih dalam penelitian ini guna memodelkan distribusi panas dan tegangan secara komprehensif. FEA memungkinkan analisis terintegrasi antara respons termal dan deformasi struktural akibat siklus beban selama pengereman berlangsung (Belhocine & Afzal, 2020).

Beberapa penelitian sebelumnya masih terbatas pada uji eksperimental distribusi suhu tanpa mempertimbangkan interaksi termomekanik secara simultan (Lapisa et al., 2023). Oleh karena itu, penelitian ini mengambil langkah lebih lanjut dengan mengintegrasikan simulasi termal dan struktural menggunakan perangkat lunak ANSYS Workbench untuk mengevaluasi pengaruh variasi desain alur pendingin (*cooling grooves*) terhadap performa rem tromol. Diharapkan hasil dari studi ini dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan desain sistem rem yang lebih aman dan efisien..

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA) yang dijalankan dengan bantuan perangkat lunak ANSYS. Jenis analisis yang digunakan adalah *transient thermal* dan *transient structural*. Model desain yang digunakan adalah **rem tromol standar (*unmodified*)**, **rem tromol dengan alur miring (*slant-grooved*)**, dan **rem tromol dengan alur lurus (*straight-grooved*)** yang terlihat pada Gambar 2. Model-model tersebut dirancang menggunakan software *SolidWorks*. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil distribusi temperatur dan deformasi antara desain rem tromol standar secara analitik dan simulasi numerik. Rangkaian proses penelitian secara rinci digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 3.



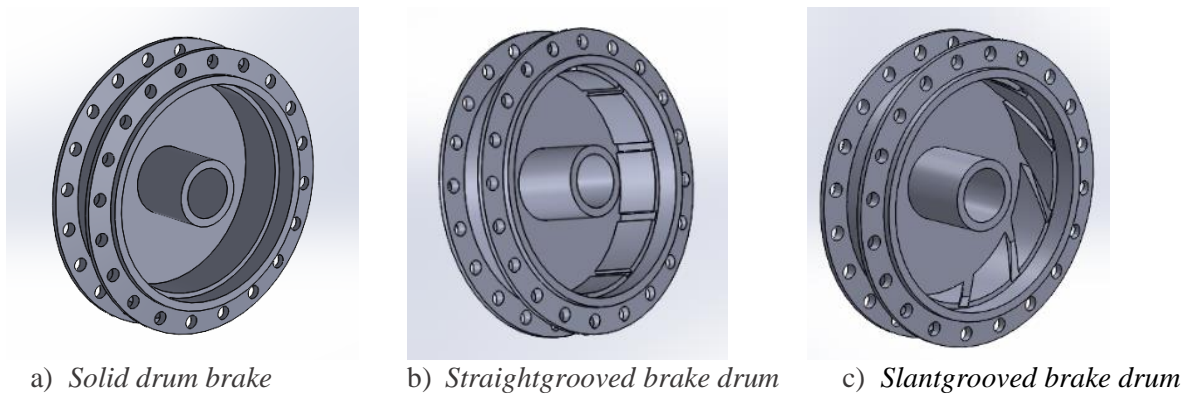
Gambar 2. Diagram *Simulasi Coupled Termal*

1. Desain dan *Material Drum Brake*

Desain rem tromol yang diterapkan dalam penelitian ini mengadaptasi rancangan dari (Lapisa *et al.* 2022), dengan spesifikasi meliputi diameter luar sebesar 170 mm, diameter dalam 130 mm, dan ketebalan tromol 45 mm. Bahan utama yang digunakan adalah besi tuang kelabu (*gray cast iron*), dengan informasi lengkap mengenai sifat material disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Material *Gray Cast Iron*

| Properties | Nilai | Satuan |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------|
| <i>Density</i> | 7150 | kg/m ³ |
| <i>Young modulus</i> | 110 | Gpa |
| <i>Poisson Ratio</i> | 0,27 | - |
| <i>Thermal Conductivity</i> | 50 | W/m.K |
| <i>Specific Heat Capacity</i> | 550 | J/kg.K |
| <i>Coeff. Of thermal</i> | 11 x 10 ⁻⁶ | /K |
| <i>Tensile Strenght</i> | 276 | Mpa |



Gambar 3. Desain *Drum Brake*

2. Simulasi Numerik Menggunakan *Finite Element Analysis*

Analisis Elemen Hingga (*Finite Element Analysis*) merupakan metode numerik yang memecah objek menjadi bagian-bagian kecil yang disebut elemen untuk dianalisis secara mendetail. Tahapan awal dari proses ini dimulai dengan merancang model rem tromol (*brake drum*), yang visualisasinya ditampilkan pada Gambar 3.

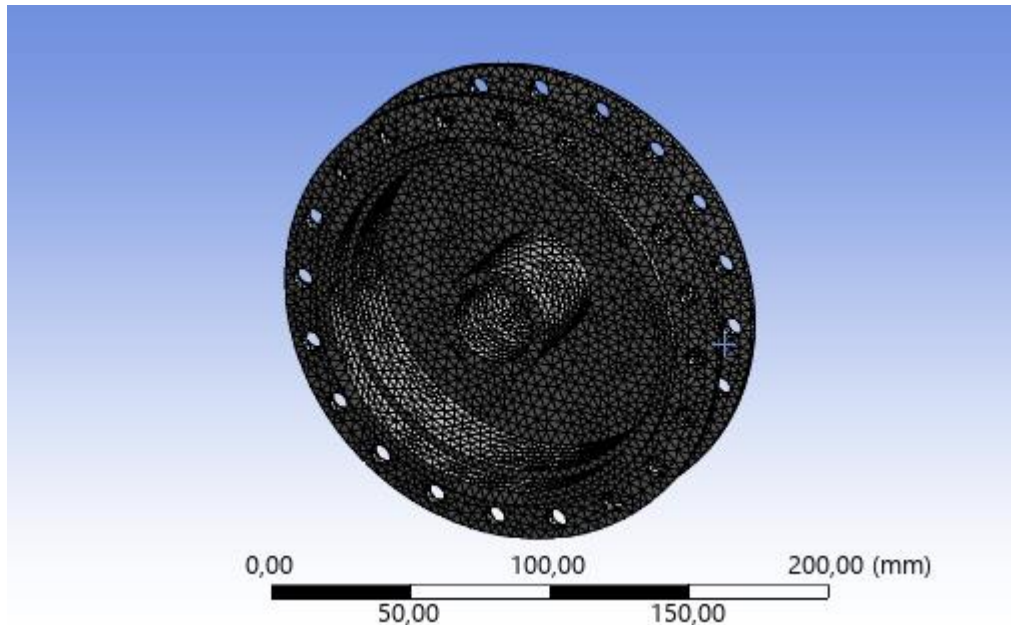
Setelah desain dibuat, model kemudian di impor ke dalam software *ANSYS* untuk dilakukan simulasi numerik. Tahap awal sebelum simulasi adalah proses *meshing*. Parameter mesh yang digunakan disajikan pada Tabel 2

Tabel 2 Parameter Simulasi

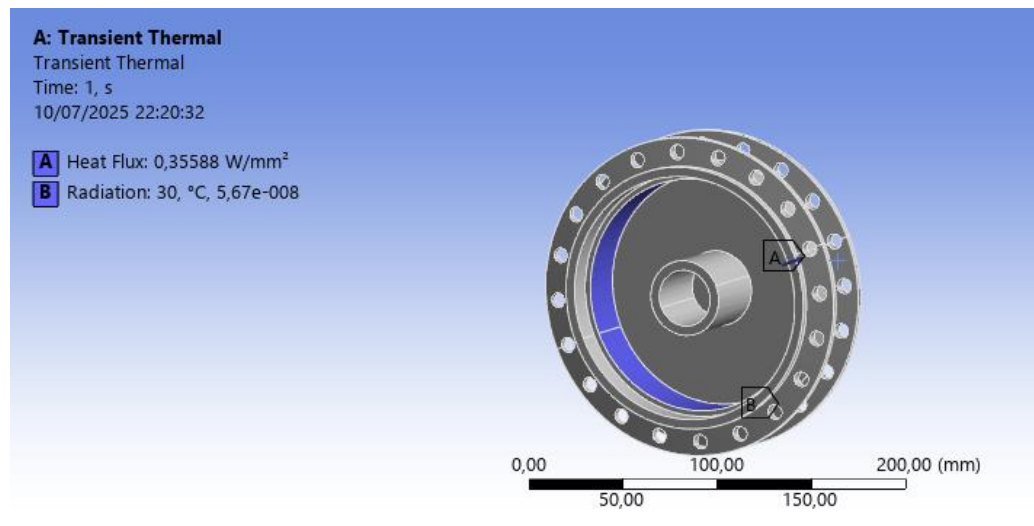
| Parameter | Kategori | Keterangan |
|------------------------------|--------------------------|---|
| Jenis Material | Gray Cast Iron | Besi Cor Kelabu |
| Diameter Luar Tromol | 170 mm | |
| Diameter dalam Tromol | 130 mm | |
| Ketebalan Tromol | 45 mm | |
| Metode Simulasi | Simulasi <i>Heatflux</i> | Beban Panas diberikan pada area gesekan |
| Temperatur Awal | 30°C | Suhu Kamar |

| Parameter | Kategori | Keterangan |
|---------------|--------------|------------|
| Tipe Elemen | Tetrahedrons | |
| Jumlah Elemen | 42415 | |
| Jumlah Node | 71594 | |

Setelah proses *meshing* selesai dilakukan, tahap selanjutnya menetapkan parameter input yang dibutuhkan untuk simulasi. Data yang digunakan adalah suhu awal pada benda kerja sebesar 30 °C, suhu lingkungan sebesar 30 °C dan *emissivity* sebesar $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/mm}^2 \cdot \text{°C}$ untuk lebih lengkapnya bisa dilihat pada Tabel 2.



Gambar 4. Hasil *Drum Brake* Setelah *Meshing*



Gambar 5. Proses Setup Sebelum Menjalankan Simulasi

III. HASIL PENELITIAN

1. Perhitungan Heat Flux

Pada proses pengereman, beban yang diterima oleh area gesekan di ubah menjadi *heat flux*. *Heat flux* pada proses pengereman dipengaruhi oleh daya gesek dan luas area gesekan. Perhitungan *heat flux* dapat dilihat pada perhitungan berikut.

Tabel 3. Daya gesek

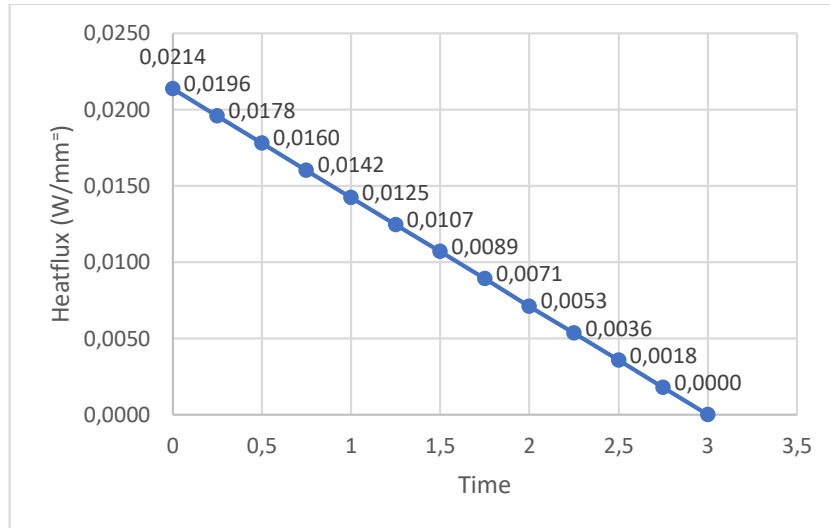
| Waktu (s) | Daya gesek (W) pada kecepatan 40 km/jam | Daya gesek (W) pada kecepatan 60 km/jam | Daya gesek (W) pada kecepatan 80 km/jam | Daya gesek (W) pada kecepatan 100 km/jam |
|-----------|---|---|---|--|
| 0 | 87,1913 | 130,8262 | 174,3826 | 218,0174 |
| 0,25 | 79,9711 | 119,9174 | 159,8638 | 199,8101 |
| 0,5 | 72,6725 | 109,0087 | 145,3450 | 181,6812 |
| 0,75 | 65,3738 | 98,1 | 130,8262 | 163,4738 |
| 1 | 58,1537 | 87,1913 | 116,2289 | 145,3450 |
| 1,25 | 50,8550 | 76,2826 | 101,7101 | 127,1376 |
| 1,5 | 43,6349 | 65,3738 | 87,1913 | 109,0087 |
| 1,75 | 36,3362 | 54,4651 | 72,6725 | 90,8014 |
| 2 | 29,0376 | 43,6349 | 58,1537 | 72,6725 |
| 2,25 | 21,8174 | 32,7262 | 43,6349 | 54,4651 |
| 2,5 | 14,5188 | 21,8174 | 29,0376 | 36,3362 |
| 2,75 | 7,2986 | 10,9087 | 14,5188 | 18,1289 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Luas Area Gesek = 408,40 mm²

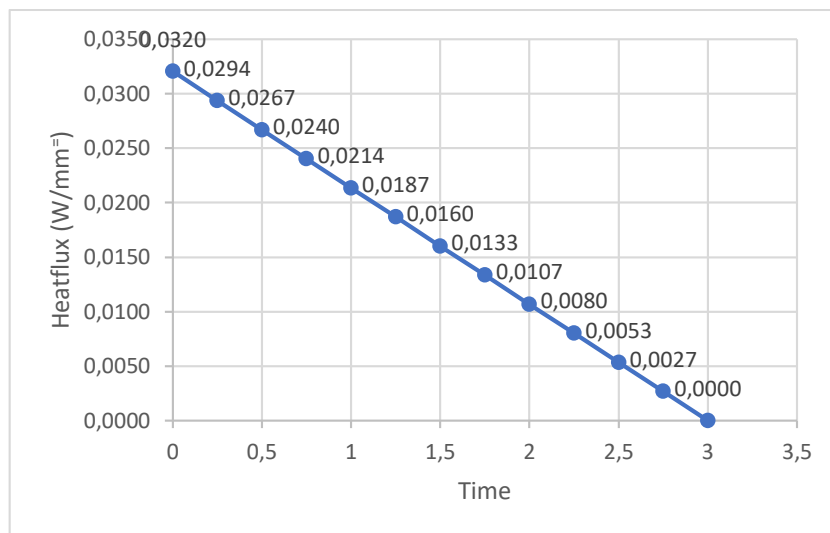
Perhitungan *heat input*.

$$Q = \frac{P(t)}{A} \quad (1)$$

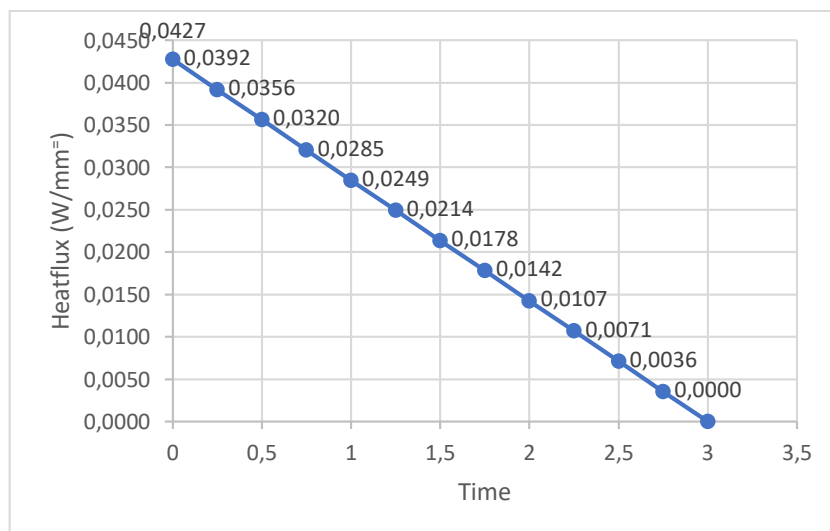
Menggunakan Persamaan 1 data dihitung menggunakan parameter yang ada pada Tabel 2. Data ini dihitung dengan persamaan tersebut menggunakan Excel, dan diperoleh hasil seperti pada Gambar 6. - Gambar 9.



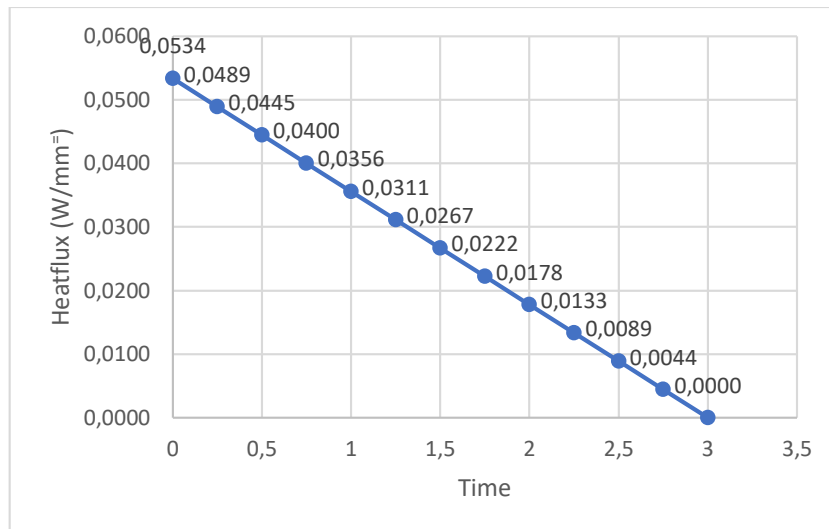
Gambar 6. Heat Flux pada Kecepatan 40 Km/Jam



Gambar 7. Heat Flux pada kecepatan 60 Km/Jam



Gambar 8. Heat Flux pada kecepatan 80 Km/Jam



Gambar 9. Heat Flux pada Kecepatan 100 Km/Jam

2. Hasil Simulasi Deformasi

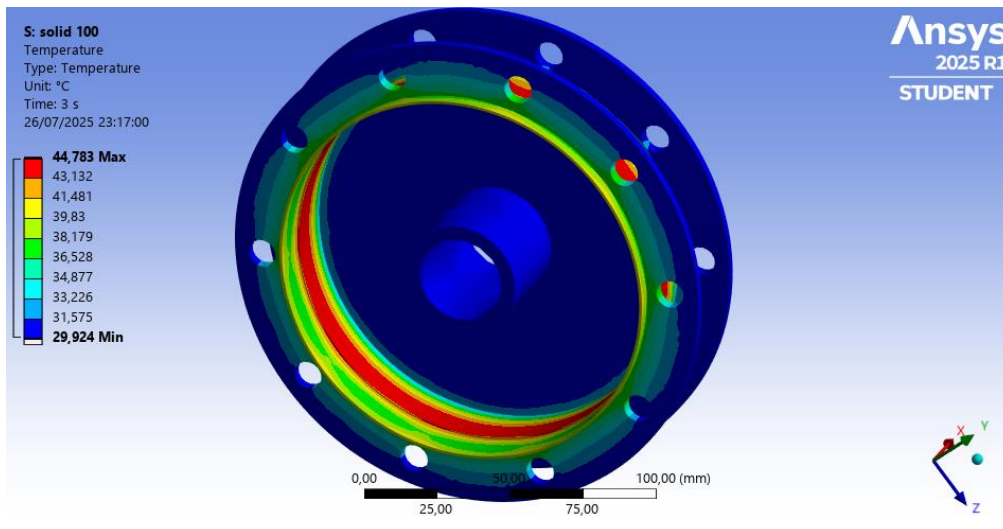
Setelah melakukan analisis transient thermal dan transient struktural pada simulasi pengereman, maka diperoleh hasil berupa distribusi suhu dan deformasi total. Hasil distribusi suhu dan deformasi total pada masing-masing variasi desain *brake drum* dapat dilihat pada Tabel 4. berikut

Tabel 4. Hasil Deformasi Total

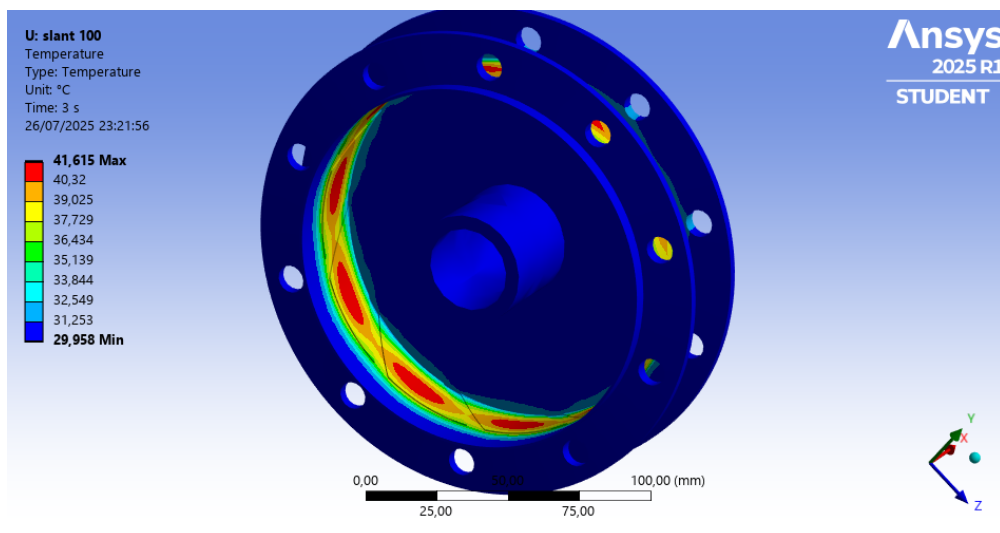
| Parameter | | Hasil | |
|-----------------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| Model Brake Drum | Kecepatan (Km/Jam) | Distribusi Suhu (°C) | Deformasi Total (mm) |
| <i>Solid brake drum</i> | 40 | 34,684 | 0,001394 |
| | 60 | 37,295 | 0,002007 |
| | 80 | 41,828 | 0,003308 |
| | 100 | 44,783 | 0,004095 |
| <i>Slantgrooved brake drum</i> | 40 | 34,647 | 0,001368 |
| | 60 | 36,97 | 0,001969 |
| | 80 | 39,293 | 0,002580 |
| | 100 | 41,615 | 0,003192 |
| <i>Straightgrooved brake drum</i> | 40 | 34,631 | 0,001237 |
| | 60 | 36,947 | 0,001825 |
| | 80 | 39,261 | 0,002414 |
| | 100 | 41,576 | 0,003003 |

IV. PEMBAHASAN

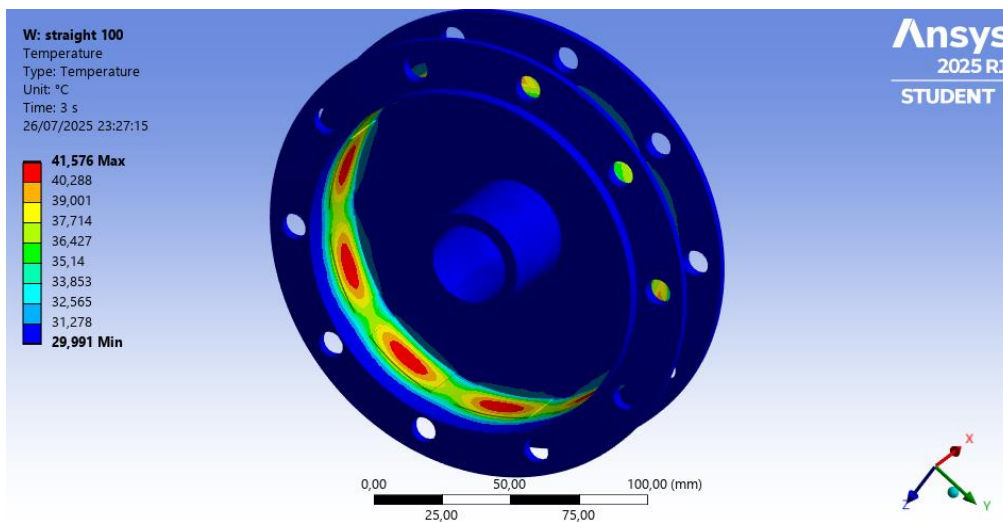
Analisis termomekanik pada rem tromol sangat penting dalam merancang sistem pengereman yang akan digunakan. Salah satu aspek utama yang perlu dianalisis adalah deformasi termal yang terjadi akibat peningkatan suhu selama proses pengereman. Faktor ini secara langsung memengaruhi kinerja dan efisiensi dari desain sistem rem yang dikembangkan. Fokus utama dalam analisis ini adalah menentukan distribusi temperatur pada rem tromol saat berlangsungnya proses pengereman. Representasi grafik dari distribusi suhu tersebut ditampilkan pada Gambar 12, sementara visualisasi dalam bentuk kontur suhu pada area kontak gesekan antara komponen disajikan dalam Gambar 10 - 12.



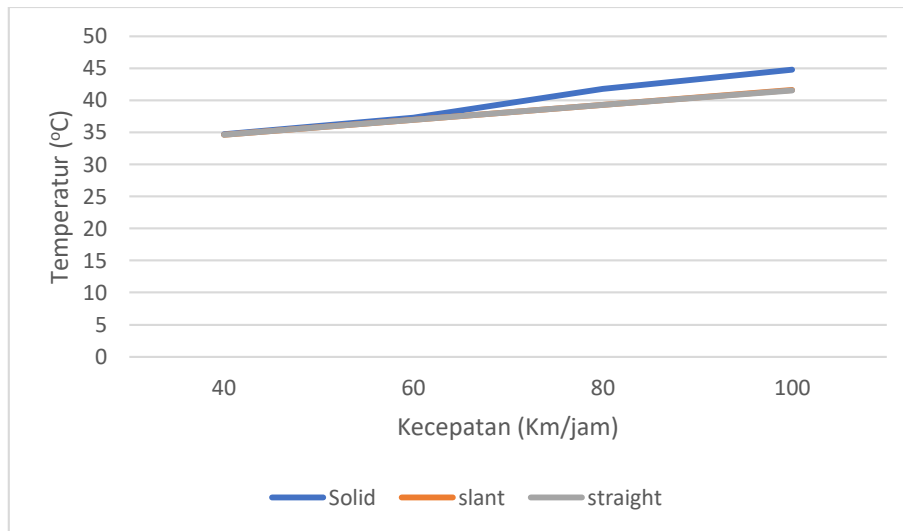
Gambar 10. Pola Sebaran Suhu Rem Rromol Tipe *Solid Drum Brake*



Gambar 11. Pola Sebaran Suhu Rem Rromol *Slant grooved Drum Brake*



Gambar 12. Pola Sebaran Suhu Rem Rromol *Straight grooved Drum Brake*



Gambar 12. . Grafik Nilai Suhu pada Permukaan *Drum Brake* Selama Proses Pengereman

Berdasarkan hasil dari grafik dan kontur terlihat bahwa nilai terkecil diperoleh pada *drum brake* jenis *slant grooved drum brake* dan nilai terbesar dimiliki oleh *solid drum brake*. Pada pola sebaran suhu terlihat bahwa area dengan nilai suhu paling besar merupakan bagian yang mengalami kontak dengan kampas rem saat terjadi pengereman. Perbedaan nilai dari berbagai jenis *drum brake* tidak terlihat signifikan, namun sangat berperan dalam menentukan desain *drum brake* yang akan digunakan.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka diperoleh kesimpulan bahwa semakin sedikit area pada permukaan disc brake yang mengalami kontak maka cenderung semakin kecil pula nilai suhu yang diperoleh dan semakin kecil juga deformasi yang terjadi, dimana nilai distribusi suhu pada *slant grooved drum brake* merupakan nilai paling kecil diantara jenis drum brake lainnya. *slant grooved drum brake* merupakan jenis *drum brake* dengan area kontak paling sedikit dengan kampas rem saat pengereman terjadi dibandingkan jenis yang lain.

Selain memodifikasi desain, untuk penelitian lebih lanjut dapat dilakukan dengan menggunakan variabel yang sama, akan tetapi hasil yang dicari berbeda seperti mencari frekuensi pribadi (*natural frequency*) dan analisis fatigue untuk dapat mengidentifikasi kekurangan dari *slant grooved drum brake* dengan kemungkinan resiko terjadi patah (*crack*) pada *grooved-type drum brake* yang lebih cepat.

VI. REFERENSI

- Agbeleye, A. A., Esezobor, D. E., Balogun, S. A., Agunsoye, J. O., Solis, J., & Neville, A. (2020). Tribological properties of aluminium-clay composites for brake disc rotor applications. *Journal of King Saud University - Science*, 32(1), 21–28. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2017.09.002>
- Aulia Putra, M. R., Pratama, P. S., & Prabowo, A. R. (2021). Failure of Friction Brake Components against Rapid Braking Process: A Review on Potential Challenges and Developments. *Transportation Research Procedia*, 55, 653–660. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.07.096>
- Beer, F. P., Johnston, E. R., Dewolf, J. T., & Mazurek, D. F. (2020). *ISE Statics and Mechanics of Materials*.
- Bird, J., & Ross, C. (2012). Mechanical Engineering Principles. In *Mechanical Engineering Principles*. <https://doi.org/10.4324/9780203121146>

- Choy, H. Y., Siaw, M. G., & Pung, K. Q. (2023). Design and Analysis of Brake Drum using Finite Element Analysis. *Journal of Physics: Conference Series*, 2609(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2609/1/012011>
- Dzikrullah dkk. (2017). 1. Analisa Gesekan Pengereman Hidrolis. *Prosiding SNATIF*, 667–678.
- Hafizh, N. N., Yunus, M., & Wisnaningsih. (2022). Pengaruh Gaya Rem Cakram (Disc Brake), Ketebalan, Cakram, Minyak Rem pada Sepeda Motor Honda Beat Pop 2015, 110 CC. *Jurnal Tekayasa Teknologi Dan Sains*, 6(2), 83–87.
- Hudz, H., & Hlobchak, M. (2023). The influence of important factors on the distribution of heat flows in elements of drum brakes of vehicles. *Transport Technologies*, 2023(1), 83–89. <https://doi.org/10.23939/tt2023.01.083>
- Johnston, B. I., & Cornwell, I. M. I. (n.d.). *S T A T I C S | D Y N A M I C S for ENGINEERS*.
- Kementrian Ketenagakerjaan. (2019). *Melakukan Perawatan Sistem Pengereman*. 1–46.
- Khatir, T., Bouchetara, M., Derrar, K., Djafri, M., Khatir, S., & Abdel Wahab, M. (2022). Thermomechanical Behavior of Brake Drums under Extreme Braking Conditions. *Computers, Materials and Continua*, 72(2), 2259–2273. <https://doi.org/10.32604/cmc.2022.020879>
- Kiran, C. S., Ravi Kumar, M., Reddy, P. S., Venkatesh, T., & Professor, A. (2020). *Modelling and Analysis of Brake Drum using ANSYS Workbench*. 2–6.
- Lapisa, R., Fernandez, D., Tarihoran, C., Milana, Arif, A., Purwantono, & Jasman. (2022). Experimental Study of the Effect of Brake Drum Cooling Grooves on Motorcycle Braking Performance. *EUREKA, Physics and Engineering*, 2022(3), 69–77. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.001983>
- Moran, M. J., & Shapiro, H. N. (1993). Fundamentals of Engineering Thermodynamics, Second Edition. In *European Journal of Engineering Education* (Vol. 18, Issue 2). <https://doi.org/10.1080/03043799308928176>
- Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics Douglas C. Giancoli*. (n.d.-a).
- Physics for Scientists & Engineers with Modern Physics Douglas C. Giancoli*. (n.d.-b).
- Premono, A., Kholil, A., Hidayat, H., & Saputra, D. (2022). Pengembangan Perangkat Lunak Elemen Hingga untuk Keperluan Pendidikan. *Semesta Teknika*, 25(1), 1–7. <https://doi.org/10.18196/st.v25i1.13632>
- Rachmadi, D. T. (2014). Kajian Unjuk Kerja Sistem Pengereman Depan Dengan Cakram Dan Belakang Dengan Tromol Pada Sepeda Motor Gas Wisanggeni. *Institut Teknologi Sepuluh November*, 1–75.
- Ridwan, R., Riyantono, A., & Irawan, R. (2023). Pengaruh Massa dan Kecepatan Kendaraan Terhadap Suhu Pada Rem Drum. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 21(2), 337–345. <https://doi.org/10.31963/sinergi.v21i2.4600>
- Yang, D., Yu, Z., Zhang, L., & Cheng, W. (2018). Modal Analysis of Automobile Brake Drum Based on ANSYS Workbench. *Proceedings of the 2017 7th International Conference on Mechatronics, Computer and Education Informationization (MCEI 2017)*, 75(Mcei), 608–612. <https://doi.org/10.2991/mcei-17.2017.129>