

Analysis Thermal for Disc Brake Using Finite Element Analysis (FEA)

Alparis Nico Putra Utama^{1*}, Wanda Afnison¹, Delima Yanti Sari¹, Rifelino¹

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

*Corresponding author: alparisn@gmail.com

Received April 14th 2025; Revised May 3th 2025; Accepted May 7th 2025

Abstract

Traffic accidents are one of the highest causes of death in Indonesia. One of the factors traffic accidents is caused by vehicles, in this case the braking system. Brakes are a device on a vehicle that functions to reduce the speed by applying friction. The main feature in the braking system is heat dissipation. If the brake overheating, the effectiveness of the braking system will be reduced. In general, there are two types of brakes, but in modern vehicles disc brake more used. In this study, various types of disc brakes will be tested. The designs tested are solid disc brakes, drilled-type disc brakes, and grooved-type disc brakes. The aim of research for determine the most optimal disc brake design. The temperature value on the surface of the disc brake will be measure. The Finite Element Analysis (FEA) method is used in this study. The validation process is carried out by comparing analytical result and Finite Element Analysis result on solid disc brakes. The speed before braking is 60 km / h. Material used on disc brake is grey cast iron. In the simulation process using Finite Element Analysis, the mesh size used is 3 mm and the number of elements is 255,244 elements. After the analysis was carried out, the temperature value in the grooved-type disc brake design was the smallest value than another with a maximum temperature of 143.56 °C during braking. Thus, based on the results obtained, the grooved-type disc brake tends to be more optimal.

Keywords: Temperature; Disc brake; Gray cast iron; Finite Element Analysis

Analisis Termal pada *Disc Brake* Menggunakan *Finite Element Analysis* (FEA)

Abstrak

Insiden kecelakaan lalu lintas menjadi salah satu penyebab tertinggi angka kematian di Indonesia. Faktor terjadinya kecelakaan lalu lintas salah satunya disebabkan kendaraan, dalam hal ini adalah sistem pengereman. Rem adalah sebuah perangkat pada kendaraan yang berfungsi mengurangi laju kendaraan dengan mengaplikasikan gaya gesek. Fitur utama dalam sistem pengereman adalah kemampuan pelepasan panas, karena jika rem terlalu panas maka efektivitas pada sistem pengereman akan berkurang. Secara umum terdapat dua jenis rem, namun dalam kendaraan modern rem cakram (*disc brake*) lebih banyak digunakan. Dalam penelitian ini, akan diuji berbagai jenis *disc brake*. Desain yang diuji adalah *solid disc brake*, *drilled-type disc brake*, dan *grooved-type disc brake*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui desain *disc brake* yang paling optimal dari desain yang dipilih. Bagian yang diukur adalah nilai suhu pada permukaan *disc brake*. Metode *Finite Element Analysis* (FEA) digunakan dalam penelitian ini. Proses validasi dilakukan dengan membandingkan hasil yang diperoleh dari perhitungan analitis dan hasil yang didapatkan melalui *Finite Element Analysis* pada *solid disc brake*. Kecepatan sebelum terjadinya pengereman adalah 60 km/jam. *Disc brake* yang dianalisis menggunakan material *gray cast iron*. Dalam proses simulasi menggunakan *Finite Element Analysis* besar ukuran *mesh* yang digunakan adalah 3 mm dan jumlah elemen yang diperoleh adalah 255.244 elemen. Setelah analisis dilakukan, nilai suhu pada desain *grooved-type disc brake* merupakan nilai paling kecil diantara desain lainnya dengan suhu maksimal 143,56 °C selama terjadi pengereman. Dengan demikian, berdasarkan hasil yang didapatkan *grooved-type disc brake* cenderung lebih optimal.

Kata kunci: Suhu; *Disc brake*; *Gray cast iron*; *Finite Element Analysis*

I. PENDAHULUAN

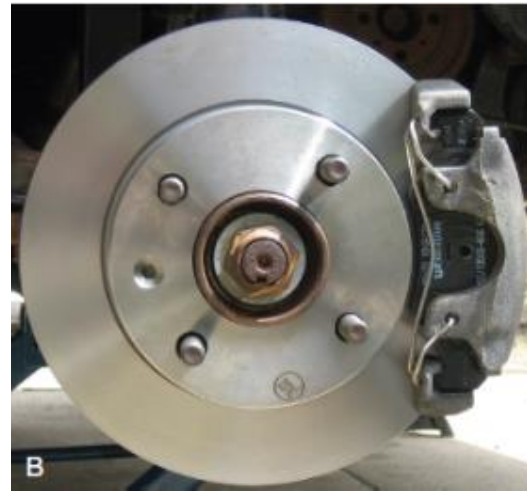
Tingginya kematian di Indonesia salah satu penyebabnya adalah karena kecelakaan lalu lintas (Adhitya et al., 2020). Terjadinya insiden kecelakaan dapat disebabkan oleh banyak faktor, namun faktor utama terjadinya kecelakaan ada 4 faktor, yaitu faktor pengemudi, faktor jalan, faktor kendaraan, dan faktor alam (Afivie & Kartika, 2023). Dari keempat faktor tersebut, dalam studi ini lebih mendalami faktor kendaraan yang menjadi penyebab terjadinya kecelakaan salah satunya adalah sistem pengereman. Sistem pengereman merupakan salah satu bagian penting dalam kendaraan yang perlu diperhatikan agar pengemudi dan penumpang dapat berkendara dengan aman (Adhitya et al., 2020).

Salah satu fitur utama pada rem adalah kemampuan pelepasan panas. Hal ini dikarenakan apabila sistem rem terlalu panas, maka efektivitas dalam pengereman akan berkurang (Setiazi et al., 2022). Jika efektivitas rem berkurang maka rem akan bekerja kurang optimal sehingga berdampak terhadap kegagalan rem yang menjadi penyebab kecelakaan di jalan raya (Adhitya et al., 2020; Qomaruddin et al., 2024).

Rem sendiri merupakan sebuah perangkat yang mengaplikasikan gesekan untuk memberhentikan atau memperlambat kendaraan dengan mengurangi kelajuan dari kendaraan tersebut (Sivaprakasam et al., 2022). Fungsi utama sistem rem antara lain memperlambat laju kendaraan, menjaga kecepatan kendaraan ketika menuruni bukit, dan menstabilkan kendaraan saat dalam keadaan diam (Limpert, 1999). Secara umum, terdapat dua jenis rem yang banyak digunakan pada kendaraan yaitu rem cakram dan rem tromol (Gillespie, 2021). Namun, pada kendaraan modern rem cakram lebih banyak digunakan dibandingkan rem tromol (Kristiyanto et al., 2023).



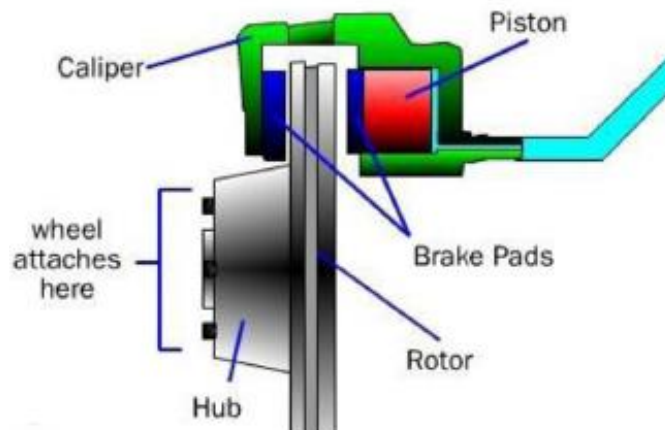
(a) rem tromol (*drum brake*)



(b) rem cakram (*disc brake*)

Gambar 1. Berbagai Jenis Rem pada Kendaraan (*Day & Bryant, 2022*)

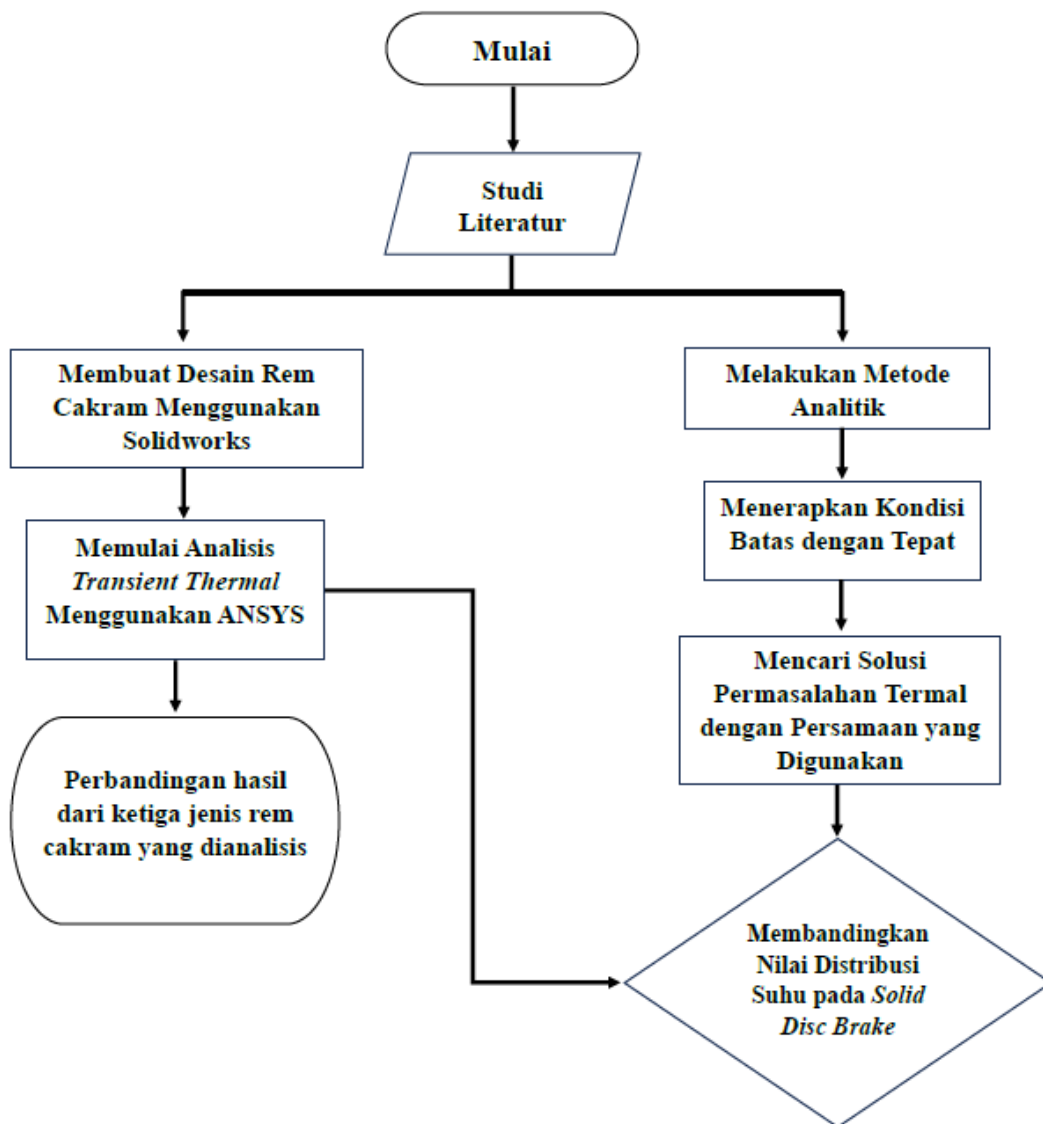
Dalam studi ini jenis rem yang akan diteliti adalah *disc brake* yang dapat dilihat pada Gambar 2. Tujuan penelitian ini dilaksanakan untuk mengetahui nilai suhu selama proses pengereman pada *disc brake*. Selain itu, hasil yang didapatkan mampu menjadi salah satu acuan untuk pengembangan desain rem cakram ke depannya, sehingga dapat mengembangkan rem cakram yang memiliki kinerja lebih baik.



Gambar 2. Komponen dalam Sistem Rem Cakram (*Balaji et al., 2020*)

II. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Finite Element Analysis* (FEA) dengan bantuan perangkat ANSYS. Jenis analisis yang digunakan adalah *transient thermal*. Model desain yang digunakan adalah *solid disc brake*, *drilled disc brake*, dan *grooved disc brake* yang terlihat pada Gambar 4, model-model tersebut dirancang menggunakan *software* solidworks. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan analitik dengan simulasi pada *solid disc brake*. Untuk lebih detailnya dapat dilihat dalam diagram alir penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

1. Desain dan Material *Disc Brake*

Untuk desain *disc brake* yang digunakan mengacu pada desain dari Dubale, *et. al.* (2021) dengan beberapa modifikasi dari *disc brake* yang dapat Gambar 4. Material yang digunakan pada *disc brake* adalah *gray cast iron* dengan sifat material yang dapat dilihat dalam Tabel 1.

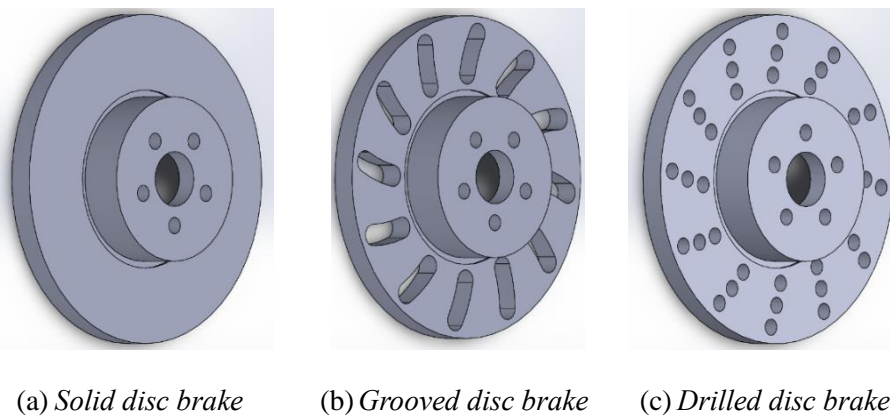
Tabel 1. Sifat Material dari *Disc Brake* yang Dianalisis (Dubale et al., 2021)

<i>Material properties</i>	<i>Gray cast iron</i>	<i>Unit</i>
<i>Thermal conductivity</i>	57	W/m.K
<i>Density</i>	7250	kg/m ³
<i>Specific heat</i>	460	J/kg.K
<i>Poisson's ratio</i>	0,28	-
<i>Thermal expansion</i>	10,85	(°C) ⁻¹ × 10 ⁻⁶
<i>Elastic modulus</i>	138	Gpa

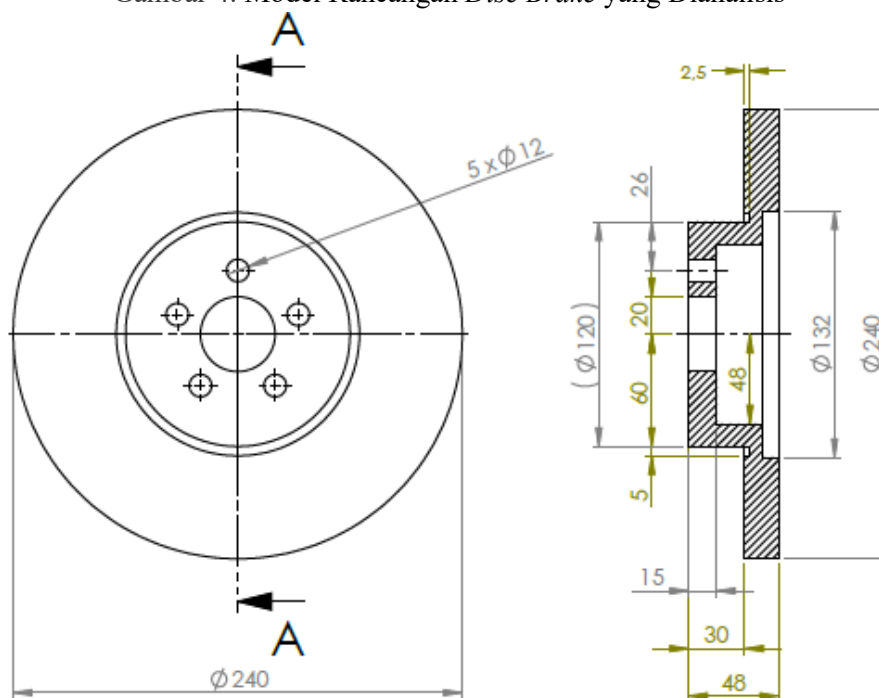
Selain material *disc brake*, dalam penelitian ini menjabarkan material dari kampas rem yang dapat dilihat pada Tabel 1. Material yang digunakan pada kampas rem adalah material dari *metal-ceramic*. Untuk spesifikasi pada material dari kampas rem dapat dilihat pada Tabel 2, selain itu tebal dari kampas rem adalah 5.5 mm (Yevtushenko & Kuciej, 2020). Untuk detail dimensi dari pada *solid disc brake* dapat dilihat pada Gambar 5.

Tabel 2. Sifat Material pada Kampas Rem dari Sistem *Disc Brake* yang Dianalisis (Belhocine, 2015; Yevtushenko & Kuciej, 2020)

<i>Material properties</i>	<i>Metal-ceramic</i>	<i>Unit</i>
<i>Thermal conductivity</i>	35	W/m.K
<i>Density</i>	4700	kg/m ³
<i>Specific heat</i>	478,9	J/kg.K
<i>Poisson's ratio</i>	0,25	-
<i>Thermal expansion</i>	10	(°C) ⁻¹ × 10 ⁻⁶
<i>Elastic modulus</i>	1	Gpa



Gambar 4. Model Rancangan *Disc Brake* yang Dianalisis



Gambar 5. Dimensi pada Rancangan *Solid Disc Brake*

2. Perhitungan Secara Analitik

Selain data geometri dan material yang digunakan, parameter lain yang perlu diketahui adalah kondisi batas selama proses pengereman berlangsung. Untuk detail kondisi batas yang diketahui dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kondisi Batas dari *Disc brake* yang Dianalisis (Dubale et al., 2021)

Kondisi batas	Nilai
Suhu awal <i>disc brake</i>	22 °C
Koefisien perpindahan panas konveksi	230 W/m ² . °C
Koefisien gesek	0,35
Suhu lingkungan	22 °C
Kecepatan mula-mula <i>disc brake</i>	60 km/jam
Tekanan nominal pada kampas rem	1,3 MPa

Setelah diperoleh data-data yang diperlukan, selanjutnya menghitung tekanan yang dialami *disc brake* dan perlambatan yang terjadi. Untuk menghitung tekanan yang terjadi pada permukaan *disc brake* dapat menggunakan persamaan 1 dan menghitung perlambatan yang terjadi dapat menggunakan persamaan 2 (Kuciej & Grzes, 2011).

$$p(t) = p_0 \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{t_m}\right)} \right) \quad (1)$$

$$V(t) = V_0 \left[1 - \frac{t}{t_s} + \frac{t_m}{t_s} \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{t_m}\right)} \right) \right] \quad (2)$$

$$\omega(t) = \omega_0 \left[1 - \frac{t}{t_s} + \frac{t_m}{t_s} \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{t_m}\right)} \right) \right] \quad (3)$$

Persamaan 3 digunakan karena perlambatan yang dimaksud adalah perubahan kecepatan sudut, dimana hubungan antara kecepatan sudut dan kecepatan linear adalah $V = r \omega$. Jika perlambatan telah diketahui, menghitung fluks panas merupakan langkah yang dilaksanakan untuk menghitung fluks panas pada *disc brake* dapat menggunakan persamaan 4 (Kuciej & Grzes, 2011).

$$q_d(r, z, t) \Big|_{z=\delta_d} = \frac{d\dot{E}_d}{dS_d} = \gamma \frac{\phi_0}{2\pi} \mu p(t) r \omega(t), \quad r_p \leq r \leq R_p, \quad 0 \leq t \leq t_s \quad (4)$$

Dimana,

$$\gamma = \frac{1}{1 + \sqrt{\rho_p c_p k_p / \rho_d c_d k_d}}$$

Setelah nilai fluks panas diketahui, maka nilai suhu pada permukaan *disc brake* dapat ditentukan. Untuk mengukur nilai suhu pada permukaan *disc brake* dapat menggunakan persamaan 5 (Topczewska & Zamojski, 2020).

$$T_i^*(\zeta, \tau) = \frac{4}{3} \gamma \sqrt{\tau} \frac{\tau}{\tau_s} \left\{ 3 \frac{\tau_s}{\tau} - 2[1 + Z_i^2(\zeta, \tau)] \right\} \text{ierfc}[Z_i(\zeta, \tau)] + Z_i(\zeta, \tau) \text{erfc}[Z_i(\zeta, \tau)], \quad (5)$$

Dimana,

$$\zeta = \frac{z}{d}, \quad k^* = \frac{k_d}{k_p}, \quad a^* = \frac{a_d}{a_p}, \quad T_0 = \frac{q_0 d}{k_p}, \quad \tau = \frac{k_p t}{d^2}, \quad \tau_s = \frac{k_p t_s}{d^2}, \quad T_{p,d}^* = \frac{T_{p,d} - T_a}{T_0}, \quad d = \sqrt{3k_p t_s^0}$$

3. Simulasi Numerik Menggunakan *Finite Element Analysis*

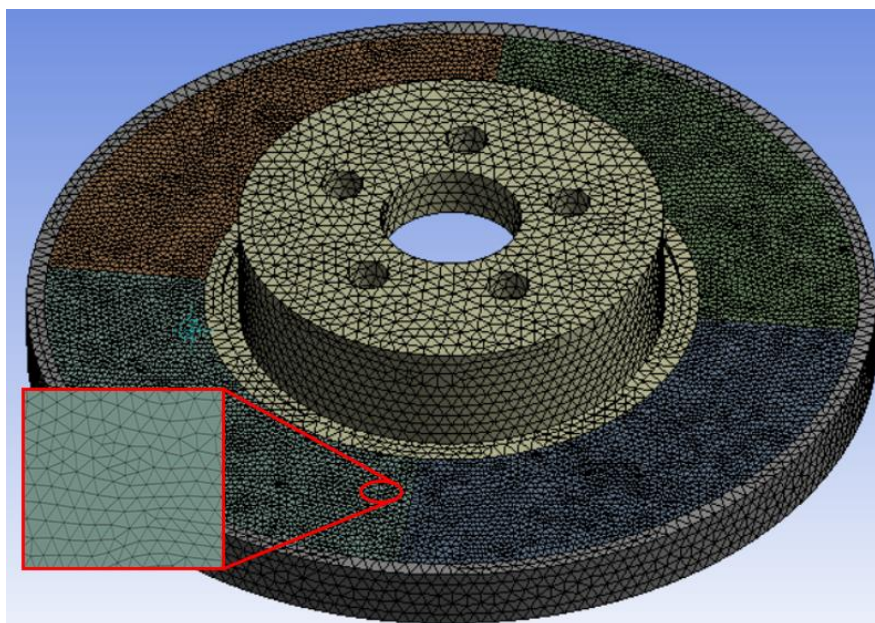
Finite Element Analysis adalah jenis analisis numerik, dimana objek yang dianalisis didiskretisasikan menjadi elemen-elemen yang lebih kecil. Secara umum, semakin banyak jumlah maka hasil yang didapatkan cenderung semakin baik (Budynas & Nisbett, 2015). Sebelum proses analisis numerik, hal yang dilakukan terlebih dahulu membuat desain *disc brake*. Desain *disc brake* yang dianalisa dapat dilihat pada Gambar 4.

Setelah desain dibuat, maka desain akan dikirim ke *software* ANSYS untuk proses simulasi numerik. Sebelum simulasi dilakukan, proses pertama adalah menentukan *mesh*. Untuk parameter *mesh* yang digunakan dapat dilihat dalam Tabel 4., dan hasil *meshing* dapat dilihat dalam Gambar 6.

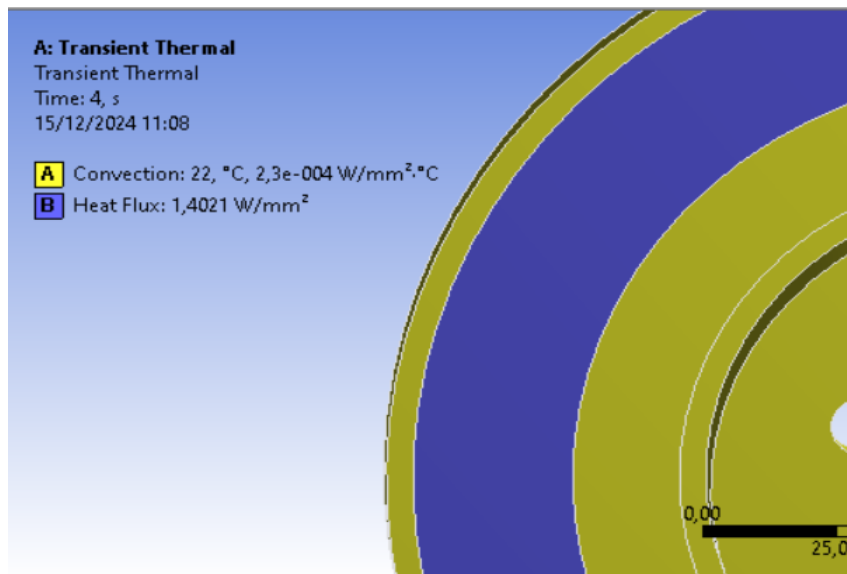
Tabel 4. Parameter dalam Proses *Meshing* Selama Proses Analisis Numerik

Parameter	Kategori
<i>Method</i>	<i>Tetrahedrons</i>
Ukuran elemen	3 mm
<i>Mesh metric</i>	<i>Skewness</i>
Jumlah elemen	255.244
Jumlah <i>node</i>	388.002

Setelah melakukan *meshing*, langkah berikutnya adalah *setup* data yang diperlukan untuk keperluan simulasi. Untuk data yang digunakan dalam proses *setup* adalah suhu awal *disc brake*, koefisien perpindahan konveksi yang dapat dilihat dalam Tabel 3. Selain itu, nilai fluks panas yang dihitung menggunakan persamaan 4 juga diperlukan untuk keperluan *setup*. Proses *setup* dapat dilihat dalam Gambar 7.



Gambar 6. Hasil *Meshing* pada Salah Satu Jenis *Disc Brake*

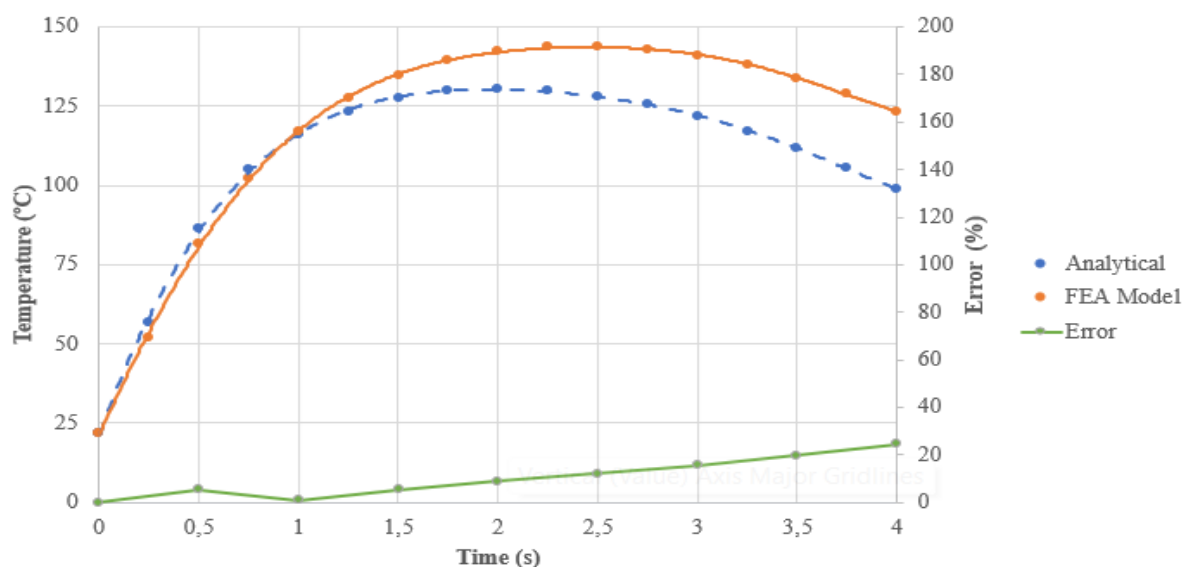


Gambar 7. Proses *Setup* Sebelum Melakukan Simulasi *Finite Element Analysis*

III. HASIL PENELITIAN

1. Membandingkan Hasil pada *Solid Disc Brake*

Hasil yang dibandingkan dalam analisis adalah nilai distribusi suhu selama waktu pengereman sebesar 4 detik. Nilai yang dibandingkan berdasarkan perhitungan analitis dan simulasi *Finite Element Analysis*. Untuk perbandingan hasil perbandingan pada *solid disc brake* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Nilai Distribusi Suhu pada *Solid Disc Brake* Selama Terjadinya Pengereman

2. Hasil distribusi suhu berdasarkan simulasi *Finite Element Analysis*

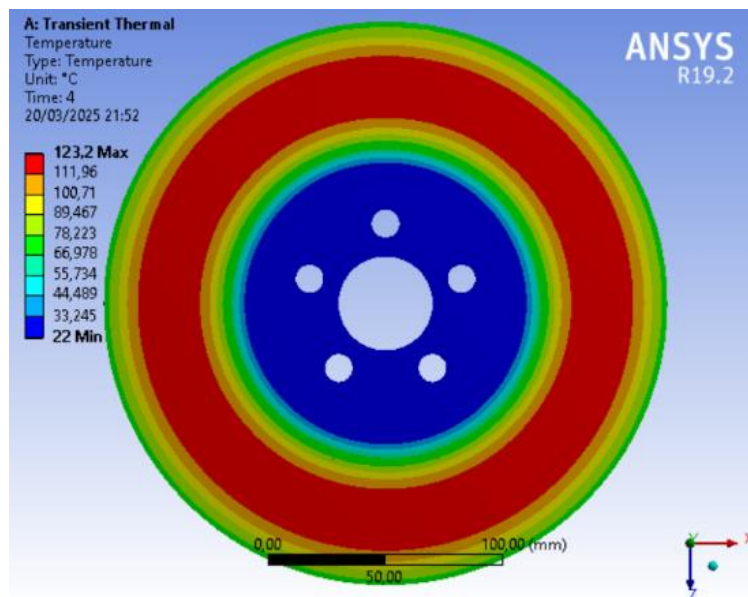
Hasil yang dijabarkan dari simulasi *Finite Element Analysis* adalah nilai distribusi suhu maksimum selama pengereman berlangsung dari ketiga jenis *disc brake*, yaitu *solid disc brake*, *drilled-type disc brake*, dan *grooved-type disc brake*. Untuk hasil distribusi suhu maksimum dari berbagai macam *disc brake* dengan kelajuan awal sebesar 60 km/jam dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Distribusi Suhu Berdasarkan *Finite Element Analysis*

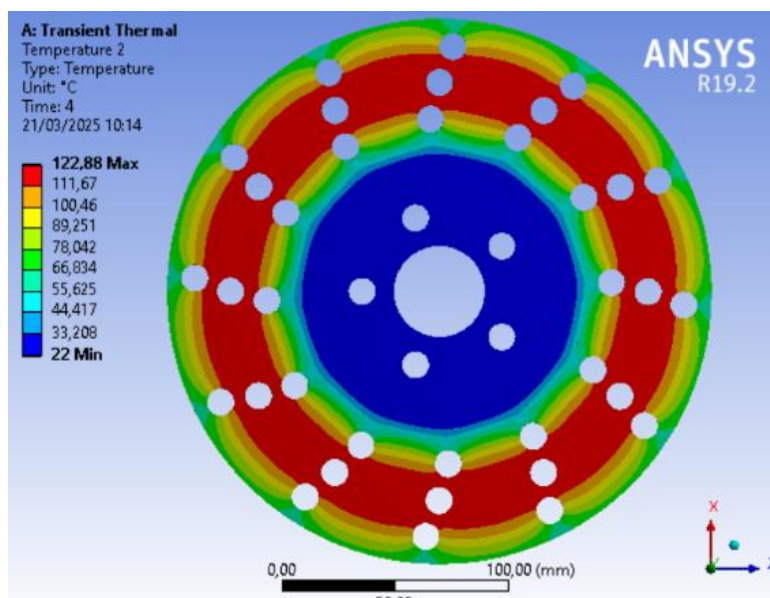
No	Parameter	Nilai distribusi suhu (°C)
1	<i>Solid disc brake</i>	143,93
2	<i>Drilled-type disc brake</i>	143,77
3	<i>Grooved-type disc brake</i>	143,56

IV. PEMBAHASAN

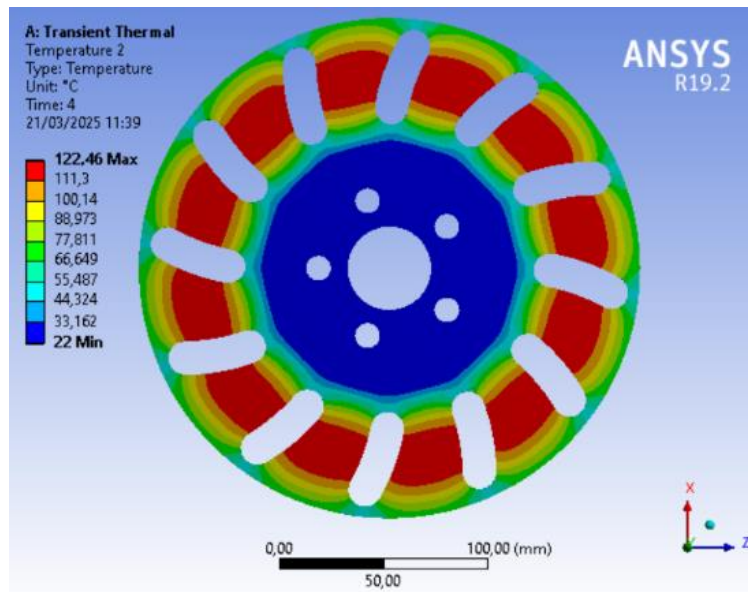
Analisis termal pada *disc brake* sangat penting dalam menentukan desain *disc brake* yang akan digunakan. Hal ini disebabkan nilai yang dihasilkan menjadi salah satu pengaruh terhadap efektivitas dari rancangan sistem *disc brake*. Hasil yang dicari adalah nilai suhu pada *disc brake* saat pengereman berlangsung. Grafik terkait nilai suhu saat proses pengereman dapat dilihat pada Gambar 12. Selain dalam bentuk grafik, nilai distribusi suhu juga disajikan dalam bentuk kontur pada permukaan *disc brake* yang dapat dilihat pada Gambar 9 – Gambar 11.



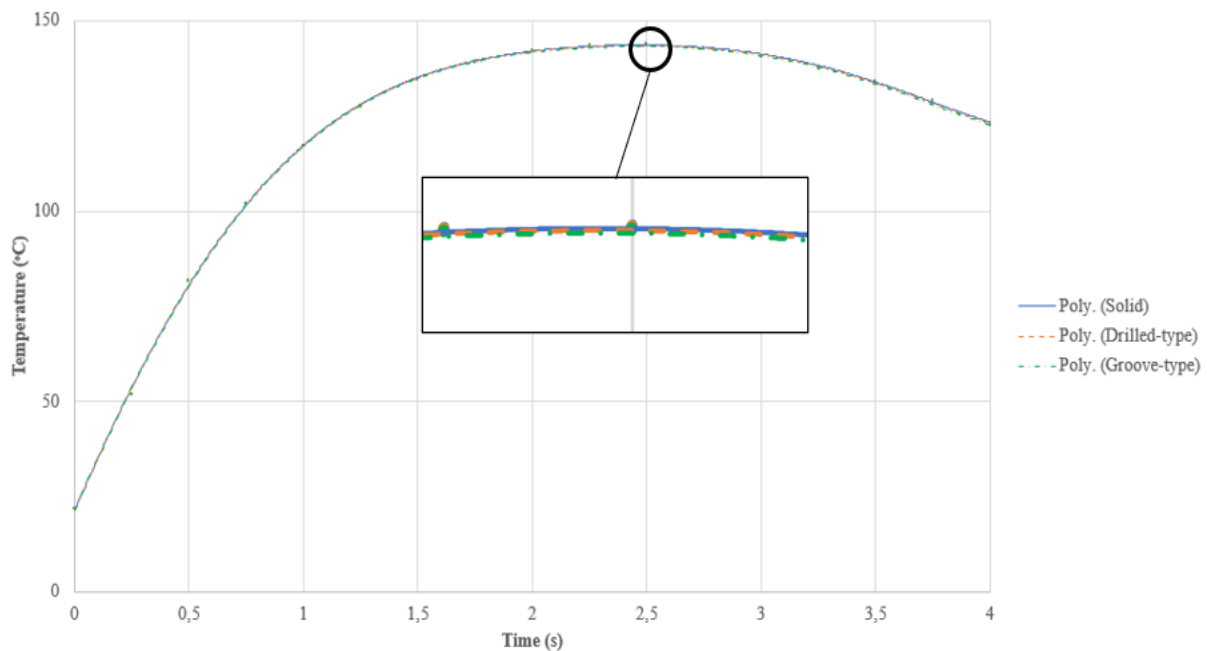
Gambar 9. Visualisasi Kontur Terhadap Nilai Suhu pada *Solid Disc Brake*



Gambar 10. Visualisasi Kontur Terhadap Nilai Suhu pada *Drilled-type Disc Brake*



Gambar 11. Visualisasi Kontur Terhadap Nilai Suhu pada *Grooved-type Disc Brake*



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

Berdasarkan hasil dari grafik dan kontur terlihat bahwa nilai terkecil diperoleh pada *disc brake* jenis *grooved-type disc brake* dan nilai terbesar dimiliki oleh *solid disc brake*. Pada visualisasi kontur terlihat bahwa area dengan nilai suhu paling besar merupakan bagian yang mengalami kontak dengan kampas rem saat terjadi pengereman. Perbedaan nilai dari berbagai jenis *disc brake* tidak terlihat signifikan, namun sangat berperan dalam menentukan desain *disc 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, dimana nilai distribusi suhu pada *grooved-type disc brake* merupakan nilai paling kecil diantara jenis *disc brake* lainnya. *Grooved-type disc brake* merupakan jenis *disc 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 *grooved-type disc brake* dengan kemungkinan resiko terjadi patah (*crack*) pada *grooved-type disc brake* yang lebih cepat.

VI. REFERENSI

- Aadhitya, M., Siregar, R., Sumarsono, D. A., Nazaruiddin, Heryana, G., Prasetyo, S., & Zainuri, F. (2020). Experimental analysis in the test rig to detect temperature at the surface disc brake rotor using rubbing thermocouple. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(5–104), 6–11. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.191949>
- Afivie, R. W., & Kartika, A. A. G. (2023). Analisis Kecelakaan Lalu Lintas pada Ruas Jalan Slamet Riyadi-Supriadi Kabupaten Jember. *Jurnal Teknik ITS*, 12(3), 179–186. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v12i3.127367>
- Balaji, V., Lenin, N., Anand, P., Rajesh, D., Bupesh Raja, V. K., & Palanikumar, K. (2020). Brake squeal analysis of disc brake. *Materials Today: Proceedings*, 46, 3824–3827. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.046>
- Belhocine, A. (2015). Numerical Simulation of Thermoelastic Contact Problem of Braking Systems. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, 15(6), 932–940. <https://doi.org/10.1007/s11668-015-0039-0>
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2015). *Shigley's Mechanical Engineering Design* (V. Bradshaw, Ed.; Tenth Edition). McGraw-Hill Education.
- Day, A., & Bryant, D. (2022). *Braking of Road Vehicles* (E. Thomson, Ed.; Second Edition). Butterworth-Heinemann.
- Dubale, H., Paramasivam, V., Gardie, E., Tefera Chekol, E., & Selvaraj, S. K. (2021). Numerical investigation of thermo-mechanical properties for disc brake using light commercial vehicle. *Materials Today: Proceedings*, 46, 7548–7555. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.437>
- Gillespie, T. D. (2021). *Fundamentals of Vehicle Dynamics* (S. Taheri, Ed.; Revised Edition). Society of Automotive Engineers. Inc.
- Kristiyanto, D. A., Widodo, A., & Kurdi, O. (2023). Analisis Deformasi dan Tegangan Pada Friction Block Kereta Api Cepat Dengan Bentuk Heptagon Menggunakan Finite Element Method. *JURNAL TEKNIK MESIN*, 11(4), 215–218. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm/article/view/41869>
- Kuciej, M., & Grzes, P. (2011). The Comparable Analysis of Temperature Distributions Assessment in Disc Brake Obtained Using Analytical Method and FE Model. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 18(2), 235–259. <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BUJ5-0039-0030>
- Limpert, R. (1999). *Brake Design and Safety* (Second Edition). Society of Automotive Engineers. Inc.
- Qomaruddin, Q., Khoeron, S., Setiawan, H., Hidayat, T., & Setyawan, M. (2024). Studi Tentang Strategi Pendinginan dan Manajemen Termal Pada Permukaan Cakram Saat Peengereman Dengan Menggunakan ANSYS. *Jurnal CRANKSHAFT*, 7(3), 34–42.
- Setiazi, T., Tauviqirrahman, M., & Muchammad, M. (2022). Analisis Elemen Hingga Karakteristik Suhu Solid Disc Brake Mobil. *JURNAL TEKNIK MESIN*, 10(4), 547–550. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm/article/view/36223>
- Sivaprakasam, P., Abebe, E., Čep, R., & Elangovan, M. (2022). Thermo-Mechanical Behavior of Aluminum Matrix Nano-Composite Automobile Disc Brake Rotor Using Finite Element Method. *Materials*, 15(17). <https://doi.org/10.3390/ma15176072>

Topczewska, K., & Zamojski, P. (2020). Effect of Pressure Fluctuations on the Temperature during Braking. *Acta Mechanica et Automatica*, *14*(2), 103–107. <https://doi.org/10.2478/ama-2020-0015>

Yevtushenko, A., & Kuciej, M. (2020). A Method to Account for Thermal Sensitivity and Friction Heat Resistance of Materials in Calculating Disc Brake Temperature Mode. *Journal of Friction and Wear*, *41*(3), 221–227. <https://doi.org/10.3103/S1068366620030058>