

ANALISA STEADY STATE THERMAL PADA REM CAKRAM MENGUNAKAN ELEMEN HINGGA

STEADY STATE THERMAL ANALYSIS OF DISC BRAKES USING FINITE ELEMENTS

¹Syaiful Arif, ²Fakih Ardiansyah, ³Joni Arif, ⁴Muhamad Nurul Ikhsan, ⁵Muhammad Kahlil Gibran

^{1,2,3,4,5}, Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Pamulang

Jl. Raya Jakarta Km 5 No.6, Kalodran, Kec. Walantaka, Kota Serang, Banten 42183

email : ¹dosen10017@unpam.ac.id

ABSTRAK

Rem merupakan salah satu dari bagian kendaraan yang mempunyai peranan penting untuk kenyamanan dan keselamatan pengendara sepeda motor. Ketika digunakan secara terus menerus, maka rem dapat mengalami kerusakan akibat dari terjadinya panas berlebih (*over heating*). Kondisi ini sangat berpotensi menimbulkan kecelakaan yang fatal. Secara fisik, panas lebih sering terjadi pada rem jenis cakram karena permukaan pemindah panasnya kurang proporsional, khususnya untuk beban pengeraman yang tinggi. Kasus panas lebih sering terjadi pada jenis rem cakram karena rem cakram memiliki efek pengeraman yang besar, tetapi luas bidang pemindahan panasnya relatif kecil. Begitu besarnya pengaruh temperatur pada kerusakan rem cakram membuat analisa mengenai perubahan temperatur merupakan masalah yang sangat penting dalam mendesain sebuah rem cakram, sehingga tujuan penulis yaitu untuk mengetahui laju perpindahan panas yang dapat diterima rem cakram (*disk brake*) pada kecepatan tertentu dengan menggunakan simulasi *software* Ansys 14.0. Hasil analisa memperlihatkan bahwa semakin besar nilai kecepatan (*V*) maka semakin besar perpindahan panas (*Q*), diperoleh nilai laju perpindahan panas yaitu 124,89 W; 150,14 W; 166,47 W. Hasil analisa ini diharapkan dapat menjadi masukan yang baik untuk struktur yang sudah dibuat maupun yang akan dikembangkan baik dalam proses keselamatan maupun pemilihan material.

Kata Kunci : *over heating, software Ansys, disk drake, laju perpindahan panas*

ABSTRACT

*Brake is one of the vehicle parts that have an important role for the comfort and safety of motorcycle riders. When used continuously, the brakes can be damaged as a result of overheating. This condition is very potential to cause a fatal accident. Physically, heat is more common in disc brakes because the heat transfer surface is less proportional, especially for high incubation loads. Hot cases are more common in disc brakes because brake discs have a large braking effect, but the area of heat transfer is relatively small. So great the effect of temperature on the disc brake damage make an analysis of temperature changes is a very important problem in designing a disc brake, so the author's goal is to know the rate of heat transfer that can be received disc brake (disk brake) at a certain speed by using simulation software Ansys 14.0. The result of analysis shows that the bigger the value of velocity (*V*), the greater the heat transfer (*Q*), the heat transfer rate is 124,89 W; 150,14 W; 166.47 W. The results of this analysis are expected to be a good input for structures that have been made or will be developed both in the process of safety and material selection.*

Keyword : *over heating, software Ansys, disk drake, rate of heat transfer*

I. PENDAHULUAN

Suatu kendaraan dapat dikatakan baik apabila bisa memberikan rasa aman dan nyaman bagi pengendara. Semua jenis kendaraan dilengkapi dengan berbagai sistem, salah satu dari sistem tersebut adalah sistem pengereman [1]. Rem mempunyai peranan yang sangat penting dalam teknik kendaraan dan teknik transportasi demi keamanan dan

keselamatan dalam berkendara. Pada dasarnya rem mempunyai fungsi untuk memperlambat dan mengatur gerakan suatu putaran. [2] Adapun rem yang digunakan harus memenuhi syarat-syarat : dapat bekerja dengan baik dan cepat, dapat dipercaya dan mempunyai daya tekan yang cukup, mudah diperiksa dan disetel. Ketika digunakan secara terus menerus, maka rem dapat mengalami kerusakan akibat dari terjadinya panas berlebih (*over heating*). [3,4] Kondisi ini sangat berpotensi menimbulkan kecelakaan yang fatal. Secara fisik, panas lebih sering terjadi pada rem jenis cakram karena permukaan pemindah panasnya kurang proporsional, khususnya untuk beban pengeraman yang tinggi. [5,6] Saat ini, kebanyakan rem kendaraan tidak dilengkapi sistem pendingin aktif. Pada saat pengereman, panas yang diterima komponen rem dilepaskan ke udara bebas, secara alami. [7,8] Ketika rem digunakan untuk mengurangi atau menahan laju kendaraan secara terus menerus seperti pada saat kendaraan melewati jalan menurun dan berkelok-kelok di daerah pegunungan, maka komponen utama rem dapat mengalami kenaikan panas yang berlebihan (*over heating*). [9] Panas yang berlebihan juga dapat terjadi dalam waktu yang relatif singkat. Misalnya, ketika kendaraan berat melakukan pengereman secara mendadak. [10] Pada kondisi tersebut perbedaan antara laju panas yang diterima dan panas yang berhasil dibuang oleh rem sangat besar. Sehingga, suhu komponen rem meningkat sampai suhu yang berlebihan dalam waktu yang relatif cepat. [11]

Konstruksi rem cakram pada umumnya terdiri atas cakram (*disc rotor*) yang terbuat dari besi tuang yang berputar dengan roda, bahan gesek (*disc pad*) yang menjepit dan mencengkeram cakram, serta kaliper rem yang berfungsi untuk menekan & mendorong bahan gesek. Konstruksi pada rem cakram hampir sama dengan rem tromol, dimana tromolnya ditiadakan dan sebagai gantinya dipasang sekeping cakram. Pada rem cakram terdapat sepatu-sepatu rem yang dilengkapi dengan pelapis sepatu rem, cara kerja rem ini secara hidrolis [12]. Daya pengereman terjadi karena adanya gesekan antara cakram dengan pad, sehingga pengereman terjadi, Salah satu kelemahan pada sistem rem cakram yaitu kekuatan tenaga pengereman (*Self energizing effect*) yang terjadi pada rem cakram sangat kecil, sehingga diperlukan tekanan pengereman yang lebih besar untuk mendapatkan daya pengereman yang efisien dan *pad* cenderung lebih cepat aus dibanding dengan sepatu rem pada rem tromol. [13] Disamping kelemahannya tersebut rem cakram mempunyai beberapa kelebihan, diantaranya : konstruksi sederhana, penggantian pad mudah, tanpa penyetelan, bidang gesek selalu terkena udara sehingga radiasi panasnya

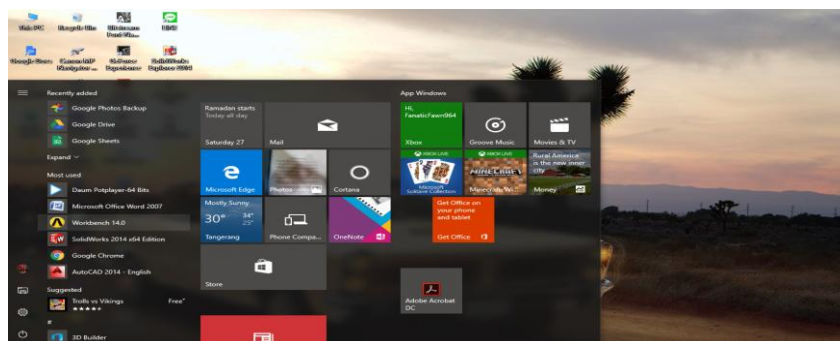
sangat baik dan *water recovery* sangat baik karena air akan terlempar keluar dari permukaan cakram dan pad karena adanya gaya sentrifugal. [13]

Kasus panas lebih sering terjadi pada jenis rem cakram karena rem cakram memiliki efek pengereman yang besar, tetapi luas bidang pemindahan panasnya relatif kecil. Selain dapat memacetkan gerakan piston pendorong kampas rem, *over heating* juga akan menurunkan koefisien gesek kampas rem secara drastis. Begitu besarnya pengaruh temperatur pada kerusakan rem cakram membuat analisa mengenai perubahan temperatur merupakan masalah yang sangat penting dalam mendesain sebuah rem cakram. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perpindahan panas yang dapat diterima rem cakram (*disk brake*) pada kecepatan tertentu (kondisi *unsteady*) serta dengan menggunakan simulasi *software* Ansys 17.0 (kondisi *steady*).

II. METODE PELAKSANAAN

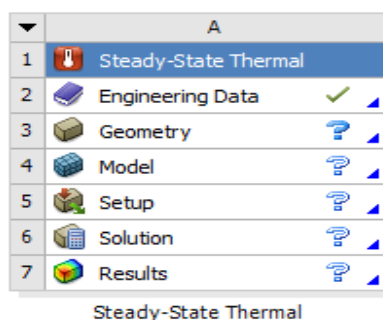
Langkah-langkah untuk melakukan pengujian di *software* Ansys *Steady State Thermal* adalah :

- 1) Buka *software* Ansys *Workbench* 17.0 pada layar monitor Gambar 1



Gambar 1. *Software* ANSYS *Workbench* 17.0

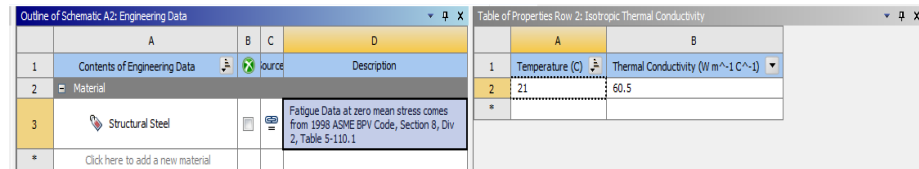
- 2) Kemudian pilih *analysis systems Steady-State Thermal*, terlihat gambar 2



Gambar 2. *Analysis systems Steady-State Thermal*

- 3) Klik kanan kemudian pilih edit pada *Engineering Data*

- a. Pada *Engineering Data*, masukkan bahan yang akan digunakan dalam menganalisa
- b. Dengan otomatis akan memunculkan nilai kekuatan bahan serta nilai defleksi bahan yang dipilih, terlihat gambar 3.



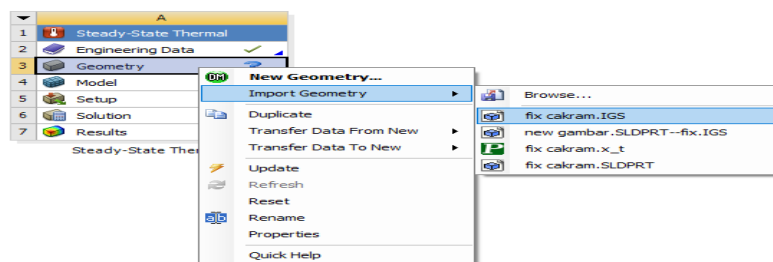
The image shows two overlapping windows from SolidWorks. The 'Outline of Schematic A2: Engineering Data' window has a table with columns A, B, C, and D. Row 1 contains 'Contents of Engineering Data' and 'Source'. Row 2 contains 'Material'. Row 3 contains 'Structural Steel' and a description: 'Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1'. Below the table is a link: 'Click here to add a new material'. The 'Table of Properties Row 2: Isotropic Thermal Conductivity' window shows a table with columns A and B. Row 1 contains 'Temperature (C)' and 'Thermal Conductivity (W m^-1 C^-1)'. Row 2 contains '21' and '60.5'.

A	B	C	D
1	Contents of Engineering Data	Source	Description
2	Material		
3	Structural Steel		Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
*	Click here to add a new material		

A	B
1	Temperature (C)
2	Thermal Conductivity (W m^-1 C^-1)
21	60.5
*	

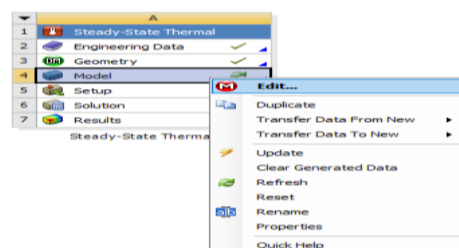
Gambar 3. *Engineering Data*

- c. Setelah dipilih bahan yang akan di gunakan selanjutnya klik *Return To Project* untuk kembali ke halaman utama
 - d. Kemudian lanjut ke step berikutnya.
- 4) Selanjutnya pilih *Geometry* dan klik kanan pilih *Import Geometry*. Sebelumnya desain yang di buat di SOLIDWORK akan di import ke dalam analysis dengan format .IGS terlihat gambar 4.



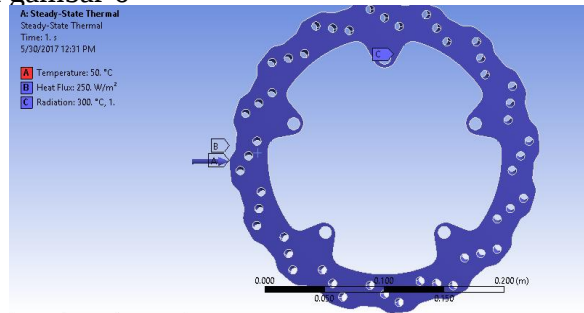
Gambar 4. *Geometry*

- a. Setelah di import selanjutnya klik kanan pilih edit *geometry*,
 - b. Pada edit *geometry* dilakukan perubahan ukuran dimensi dari desain yang sudah dibuat.
- 5) Selanjutnya klik kanan dan pilih edit pada pilihan Model.
- a. Pada edit model ini dapat melihat struktur dari desain dengan cara memilih *mesh* dan klik *generate mesh* pada model desain. terlihat gambar 5.



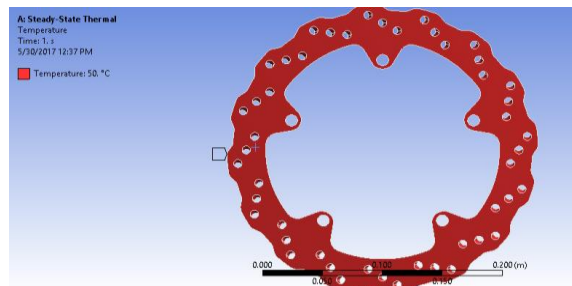
Gambar 5. Edit model

- b. Setelah masuk pada bidang kerja Model, pada bagian *steady state thermal* klik kanan kemudian pilih *insert – temperature, heat flow, convection, dan internal heat*. terlihat gambar 6



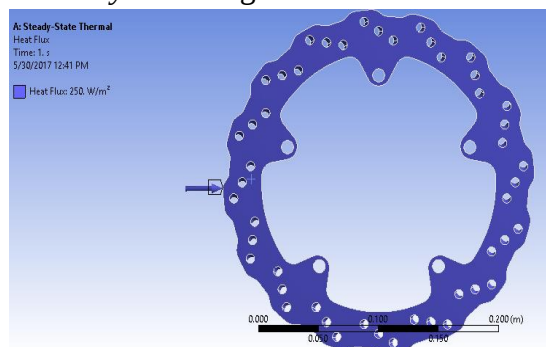
Gambar 6. Bagian *steady state thermal*

- 6) Setelah *insert temperature*, masukkan nilai magnitude dengan asumsi nilai 50° C, kemudian memilih *geometry full body* untuk temperature berlaku pada seluruh bidang. terlihat gambar 7.



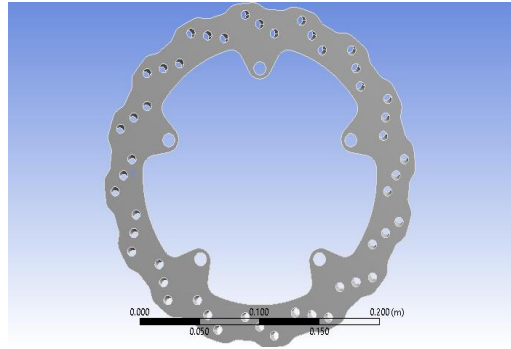
Gambar 7. Insert nilai *temperature*

- 7) Selanjutnya pada *heat flux*, masukkan nilai dengan asumsi 250 W/m² dan *geometry* pada seluruh *body*. terlihat gambar 8



Gambar 8. Insert nilai *heat flux*

- 8) Selanjutnya pilih *solution*, pada solution klik kanan kemudian pilih *insert thermal, total heat flux, directional heat flux, dan temperature*. Setelah itu klik kanan pada *solution* pilih *solve*. terlihat gambar 9.

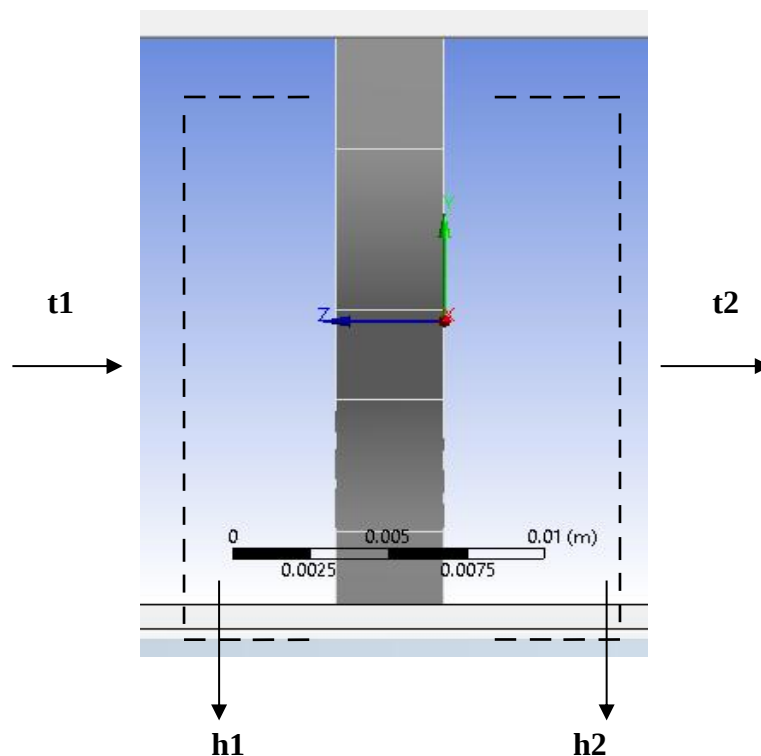


Gambar 9. *Solution*

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Data dan Perhitungan Teoritis

Pada gambar 1 menunjukkan Radiasi Panas Rem Cakram



Gambar 1. Radiasi Panas Rem Cakram

Dalam perhitungan laju perpindahan panas pada rem cakram digunakan perhitungan pada kondisi *steady state*. Adapun yang diketahui :

- $V_1 = 45 \text{ km/jam}$
 - $V_2 = 65 \text{ km/jam}$
 - $V_3 = 80 \text{ km/jam}$
 - $L = 0,26 \text{ m}$
 - $t_{\text{plat}} = 120^\circ\text{C}$
- $$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} \frac{120 + 27}{2} = 73,5^\circ\text{C} \rightarrow 70^\circ\text{C}$$

- $t_{udara} = 27^{\circ}\text{C}$
dari tabel pada 70°C (Lampiran 1) :
- $\rho = 1,028 \text{ kg/m}^3$
- $k = 0,02881 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$
- $\nu = 1,995 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$
- $\text{Pr} = 0,7177$

3.2 Perhitungan Iterasi

➤ Kecepatan (V_1)

$$V_1 = 45 \frac{\text{km}}{\text{jam}} \cdot \frac{1000}{3600} = 12,5 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = \frac{VL}{\nu} = \frac{12,5 \cdot 0,26}{1,995 \times 10^{-5}} = 1,629 \times 10^5$$

Bentuk plat data $\text{Re} < 5 \cdot 10^5 \rightarrow \text{laminar}$

$\text{Re} > 5 \cdot 10^5 \rightarrow \text{tubuler}$

$$\text{Nusselt (Nu)} = 0,664 (\text{Re})^{1/2} (\text{Pr})^{1/3} = \frac{hL}{k} \quad (\text{Rajput, 2012})$$

$$= 0,664 (1,629 \times 10^5)^{1/2} (0,7177)^{1/3}$$

$$= 0,664 \cdot 403,6 \cdot 0,905$$

$$= 242,53$$

$$h = \frac{\text{Nu} \times k}{L} = \frac{242,53 \times 0,02881}{0,26}$$

$$= 26,874 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$Q = h A (\Delta T) = 26,87 \cdot 0,05 \text{ m}^2 \cdot (120^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C})$$

$$= 1,343 (93)$$

$$= 124,89 \text{ W}$$

3.3 Kecepatan (V_2)

$$V_2 = 65 \frac{\text{km}}{\text{jam}} \cdot \frac{1000}{3600} = 18,05 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = \frac{VL}{\nu} = \frac{18,05 \cdot 0,26}{1,995 \times 10^{-5}} = 2,352 \times 10^5$$

$$\text{Nusselt (Nu)} = 0,664 (\text{Re})^{1/2} (\text{Pr})^{1/3} = \frac{hL}{k}$$

$$= 0,664 (2,352 \times 10^5)^{1/2} (0,7177)^{1/3}$$

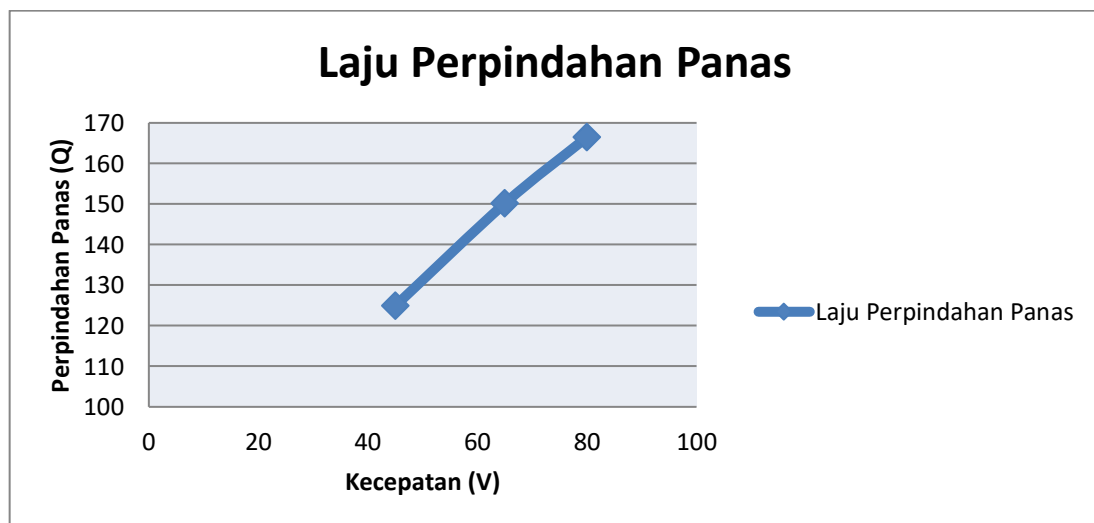
$$\begin{aligned}
 &= 0,664 \cdot 484,97 \cdot 0,905 \\
 &= 291,42 \\
 h &= \frac{Nu \times k}{L} \\
 &= \frac{291,42 \times 0,02881}{0,26} \\
 &= 32,29 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \\
 Q &= h A (\Delta T) \\
 &= 32,29 \cdot 0,05 \text{ m}^2 \cdot (120^\circ\text{C} - 27^\circ\text{C}) \\
 &= 1,6145 \text{ (93)} \\
 &= 150,14 \text{ W}
 \end{aligned}$$

3.4 Kecepatan (V_3)

$$\begin{aligned}
 V_3 &= 80 \frac{\text{km}}{\text{jam}} \cdot \frac{1000}{3600} = 22,22 \text{ m/s} \\
 Re &= \frac{VL}{\nu} = \frac{22,22 \cdot 0,26}{1,995 \times 10^{-5}} = 2,896 \times 10^5 \\
 \text{Nusselt (Nu)} &= 0,664 (Re)^{1/2} (Pr)^{1/3} = \frac{hL}{k} = 0,664 (2,896 \times 10^5)^{1/2} (0,7177)^{1/3} \\
 &= 0,664 \cdot 538,05 \cdot 0,905 = 323,32 \\
 h &= \frac{Nu \times k}{L} = \frac{323,32 \times 0,02881}{0,26} = 35,8 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \\
 Q &= h A (\Delta T) = 35,8 \cdot 0,05 \text{ m}^2 \cdot (120^\circ\text{C} - 27^\circ\text{C}) = 1,79 \text{ (93)} \\
 &= 166,47 \text{ W}
 \end{aligned}$$

3.5 Grafik Laju Perpindahan Panas dan Kecepatan

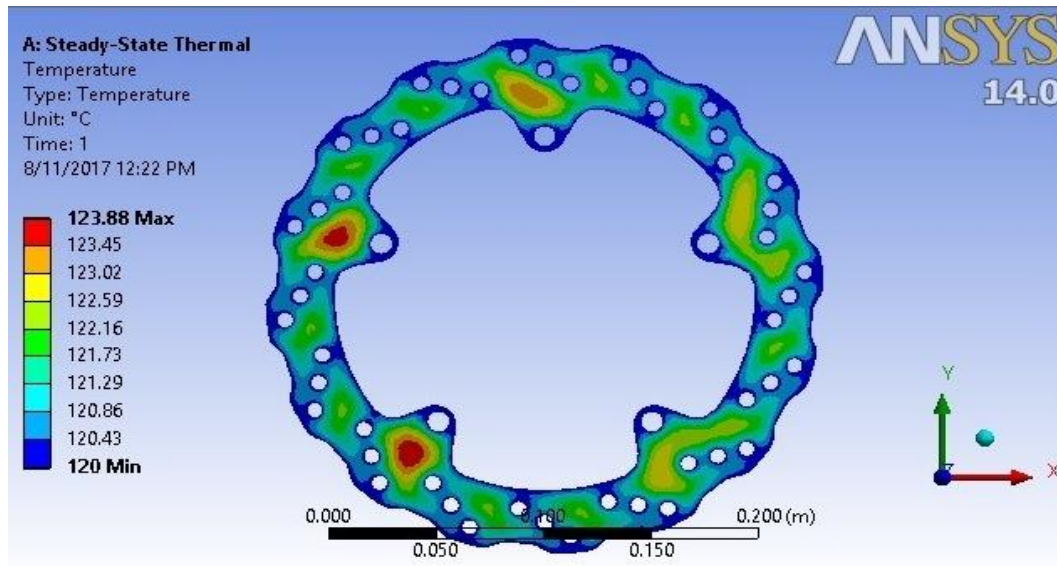
Pada gambar 10. Grafik perbandingan laju perpindahan panas terhadap kecepatan



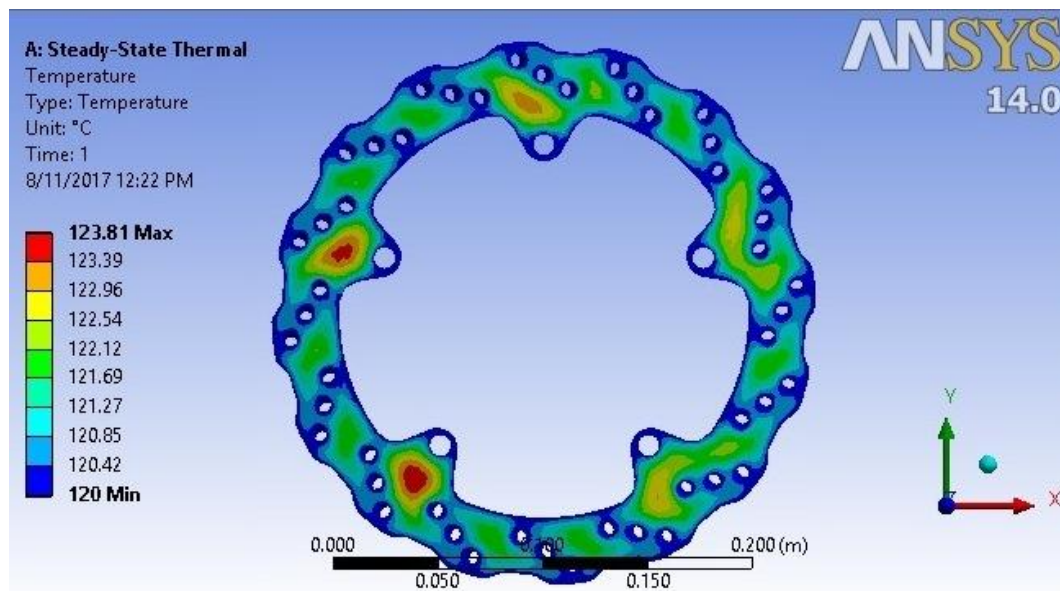
Gambar 10. Grafik perbandingan laju perpindahan panas terhadap kecepatan

3.6 Perbandingan Analisa

Dari hasil analisa menggunakan Ansys 17.0 dengan perbandingan antara lubang pada *disk* cakram kemiringan 45° dengan *disk* standar memperlihatkan hasil perbedaan pada distribusi panas yang terjadi pada permukaan *disk* cakram terlihat pada Gambar 11. di bawah ini.



(i) *disk* cakram dalam keadaan standar

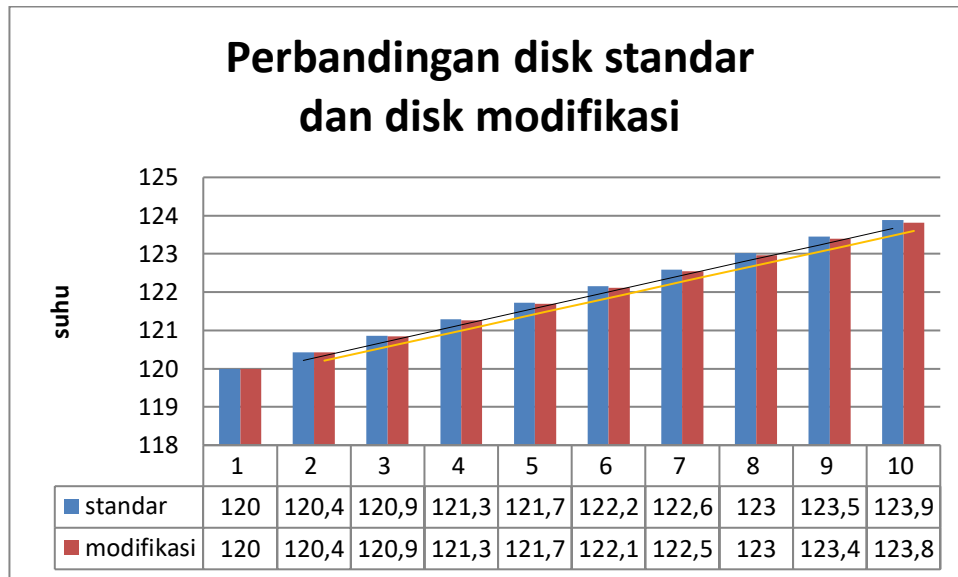


(ii) *disk* cakram dengan kemiringan lubang 45°

Gambar 11. Perbandingan analisa panas dan grafik, dengan desain pada lubang *disk* cakram.

Dengan melakukan analisa perbandingan desain dengan Ansys 17.0 pada *disk* cakram dapat diketahui perbedaan distribusi panas pada permukaan cakram. Hasilnya

yaitu diketahui bahwa dengan adanya kemiringan lubang pada *disk* cakram distribusi panas tidak terlalu luas di banding dengan cakram standar. Di bawah ini adalah Gambar 12. (iii). Grafik perbandingan temperature *disk*.



(iii) Perbandingan *disk* cakram standar dengan kemiringan lubang 45°

3.7 Hasil Analisa dengan Software Ansys

Tabel 1. Data *Steady-State Thermal* untuk *disk* dengan modifikasi (*Results*)

Display Option		Averaged	
Results			
Minimum	120. °C	14.329 W/m²	-69567 W/m²
Maximum	123.81 °C	82695 W/m²	73129 W/m²
Information			
Time	1. s		
Load Step	1		
Substep	1		
Iteration Number	2		

Berdasarkan data pada tabel 1. diketahui *temperature maximum disk* standar yaitu 123.88°C, setelah dilakukan modifikasi dan hasil analisa diperoleh *temperature maximum* yang dicapai oleh *disk* dengan modifikasi yaitu 123.81°C pada kondisi nilai *input temperature*, *total heat flux* dan *directional heat flux* sama dengan *input disk* standar, hal ini menandakan bahwa terdapat penurunan suhu sebesar 0,07°C setelah *disk* dimodifikasi.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Pada penelitian ini didapatkan kesimpulan yaitu sebagai berikut :

1. Diperoleh nilai laju perpindahan panas (kondisi *unsteady*) yaitu :
 - a. pada kecepatan (V_1) 45 km/jam yaitu 124,89 W
 - b. pada kecepatan (V_2) 65 km/jam yaitu 150,14 W
 - c. pada kecepatan (V_3) 80 km/jam yaitu 166,47 W
2. Dapat dilihat pada grafik untuk semua hasil penelitian baik dari teori maupun simulasi bahwa perubahan laju perpindahan panas menunjukkan tren naik. Disini dapat disimpulkan berdasarkan hasil perhitungan (keadaan *unsteady*) bahwa semakin besar nilai kecepatan (V) maka semakin besar perpindahan panas (Q).
3. Perpindahan panas pada rem cakram dalam kondisi *steady* dapat menggunakan salah satu perangkat lunak (*software*) pada komputer yaitu *Ansys Steady State Thermal* 17.0 dengan analisa parameter Temp 120°C, *heat flux* 300 w/m², radiasi 300°C, dimana hasil analisa diperoleh bahwa *disk* yang dimodifikasi (lubang udara pada *disk* kemiringan 45°) terdapat penurunan suhu sebesar 0,07°C dibandingkan dengan *disk* standar.

B. SARAN

1. Disarankan perlu dilakukan validasi dari hasil perhitungan teori dan simulasi menggunakan metode eksperimental agar hasil teori dan simulasi dapat dibandingkan dengan hasil uji laboratorium secara aktual.
2. Perlu dilakukan simulasi lebih lanjut untuk proses pendinginan cepat melalui celah pada *disk*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih saya Ucapkan Kepada Program Studi Teknik Mesin Universitas Pamulang Kampus Serang, rekan-rekan dosen dan mahasiswa yang telah membantu dan serta Tim peneliti dari Teknik Mesin dan Semua Pihak yang sudah berperan aktif dan sudah berkontribusi dan mendukung baik secara moral ataupun material

DAFTAR PUSTAKA

1. Abdullah, A. A., & Hassan, M. A. (2021). *Steady-State and Transient Thermal Analysis on Ventilated Brake Disc Using FEA*. Engineering Science and Technology

- International Research Journal, 5(2), 58–64.
2. Albana, M. H., & Putra, Y. (2017). Variasi Jumlah Lubang Ventilasi Disc Brake serta Pengaruhnya terhadap Jarak Pengereman dan Temperatur Permukaan Disc. *Jurnal Integrasi*, 9(2), 125. <https://doi.org/10.30871/ji.v9i2.510>
 3. Babukanth, G., & Teja, M. V. (2019). Transient Analysis of Disk Brake By using Ansys Software. *International Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 2231, 132–136. <https://doi.org/10.47893/ijmie.2012.1082>
 4. Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2015). *Shigley's Mechanical Engineering Design* (10th ed.). McGraw-Hill Education.
 5. Dewanto, J., & Andreas Wijaya, A. (2019). Sistem Pendingin Paksa Anti Panas Lebih (Over Heating) pada Rem Cakram (Disk Brake) Kendaraan. *Jurnal Teknik Mesin*, 12(2), 97–101. <https://doi.org/10.9744/jtm.12.2.97-101>
 6. Muhammad, N. (2017). Analisis Sistem Rem Tromol Pada Trainer Sistem Rem Mobil Suzuki Futura Tahun 2003. *Jurnal Mekanikal*, 11(09), 2–6.
 7. Lee, K., & Dinata, R. (2020). “Thermal Analysis of a Disc Brake System Using Finite Element Method.” *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, 17(1), 7725–7736. <https://doi.org/10.15282/ijame.17.1.2020.11.0585>
 8. Pateriya, J., Yadav, R. K., Mukhraiya, V., Singh, P., & Prof, A. (2015). Brake Disc Analysis with the help of ansys software. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 6 (11), 114 – 122.
 9. Patel, K. D., & Bhatt, N. K. (2016). *Thermal Analysis of Disc Brake Using Finite Element Analysis*. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research (IJMERR)*, 5(4), 317–322.
 10. Rani, S., & Singh, G. (2018). *Analysis of Thermal Stresses in a Ventilated Disc Brake Rotor Using FEA*. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 6425–6432. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.12.218>
 11. Sharma, R. K., & Verma, P. (2017). “Finite Element Analysis of Heat Dissipation in Disc Brake.” *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 6(5), 231–235.
 12. Sjarip, A. L. A., & Suhadi, A. (2019). Analisis Desain Disc Brake Rotor Pada Kendaraan Roda Empat. *Teknobiz*, 9(3), 36–45.
 13. Sukandi, A., Prayoga, K. A., & Rasyid, K. (2020). *Modeling dan Simulasi Transient Thermal pada Rem Cakram Sepeda Motor*. 34–47.