

ANALISIS STRUKTUR PADA *DISC BRAKE* DENGAN VARIASI MATERIAL DAN JUMLAH LUBANG VENTILASI TERHADAP TEMPERATUR DAN TEGANGAN EKUIVALEN

Ronaldo Adam Nengdiastama¹, Hangga Wicaksono², Setiyo Destian Wicaksono³, Rafik Djoenaidi⁴

^{1,2,3,4} (Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Politeknik Negeri Malang)

¹ronaldoadamnengdiastama@gmail.com

²wicaksonohangga@polinema.ac.id

³destiansetiyo25@gmail.com

⁴prpx_equality@yahoo.com

Abstrak—*Disc brake* banyak diproduksi oleh bengkel pemesinan konvensional. Tetapi belum diketahui seberapa optimal *disc brake* hasil produksi bengkel tersebut dalam pelepasan panas dan keamanannya. Salah satu penyebab kecelakaan kendaraan adalah faktor kendaraan (rem blong). Pengereman yang lama dan terus menerus pada *disc brake* dapat mengakibatkan *fadding*. Pembentukan tegangan secara terus menerus dapat menurunkan *fatigue life*. Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan material dan jumlah lubang ventilasi yang tepat untuk *disc brake*. Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan *disc brake* yang optimal berdasarkan nilai temperatur dan tegangan. Pada penelitian ini dilakukan simulasi dengan *software CAE* pada *disc brake* dengan material Al 7075-T6, SS 304, *gray cast iron* serta jumlah lubang ventilasi 36, 48, 60. Dari penelitian didapatkan hasil, *disc brake* dengan material Al 7075-T6 dan jumlah lubang ventilasi 60 memiliki kemampuan pelepasan panas paling baik sebesar 38,005°C. Sementara itu, nilai *disc brake* dengan variasi material *gray cast iron* dan jumlah lubang ventilasi 48 menghasilkan tegangan ekuivalen terendah sebesar 89,272 Mpa. Dari penelitian yang dilakukan didapatkan kesimpulan, semakin besar massa *disc brake*, maka temperatur yang dihasilkan semakin tinggi. Semakin besar *tensile strength* material *disc brake*, tegangan yang dihasilkan semakin rendah. Material *gray cast iron* dan jumlah lubang ventilasi 48 paling optimal dalam penyerapan temperature temperatur, *fatigue life* terlama, dan *fatigue safety factor* tertinggi, dengan nilai temperatur 54,99°C, *fatigue life* 100000000 siklus, dan FOS 3,34. Semakin banyak jumlah lubang ventilasi, temperatur semakin rendah tetapi konsentrasi tegangan semakin banyak.

Kata Kunci— *Disc Brake*; Lubang Ventilasi; Variasi Material; Tegangan Ekuivalen; Temperatur

Abstract— *Manny disc brake are produced at conventional machinery workshop. But, the optimum value of disc brake based on heat dissipation, and the safety is unknown. One of the causes of vehicle accidents is the vehicle factor (brake failure). Prolonged and continuous braking on the disc brake can result in fadding. Continuous stress generation can decrease fatigue life. The required material and the right number of holes are needed to solve this problem. The Purpose of this research is to get the optimum temperature and stress value. In this study, simulations were carried out with CAE software on disc brakes with materials Al 7075-T6, SS 304, gray cast iron and the number of ventilation holes 36, 48, 60. The results show that the disc brake with Al 7075-T6 material and 60 ventilaton holes has the best heat dissipation with 38,005°C temperature value. Material gray cast iron with number of ventilation holes 48 produces the lower equivalent stress with 89,272 Mpa. From the research it can be concluded, disc brake with higher density, has higher temperature too. The greater tensile strength of disc brake material, resulting the lower equivalent stress. The gray cast iron material and the number of ventilation holes 48 is the most optimal in temperature absorption, the longest fatigue life, and the highest fatigue safety factor, with a temperature value of 54.99°C, a fatigue life of 100000000 cycles, and an FOS of 3.34. The more number of ventilation holes, has the lower of temperature result but the higher stress concentration.*

Keywords— *Disc Brake*; Ventilation Holes; Variation of Materials; Equivalent Stress; Temperature.

PENDAHULUAN

Angka kecelakaan lalu lintas di Indonesia semakin tinggi. [1]. Salah satu penyebab kecelakaan kendaraan adalah faktor kendaraan (rem blong). Kecelakaan kendaraan akibat rem blong berkontribusi sebanyak 27% terhadap kasus kecelakaan [2]. Sistem Pengereman berfungsi untuk menghentikan,

mengatur kecepatan putaran dan mencegah putaran yang tidak dikehendaki dengan menggunakan gesekan. Sistem pengereman pada kendaraan terdiri dari pedal rem, master silinder, kaliper, *brake pad*, *proportional valve* dan *disc brake*.

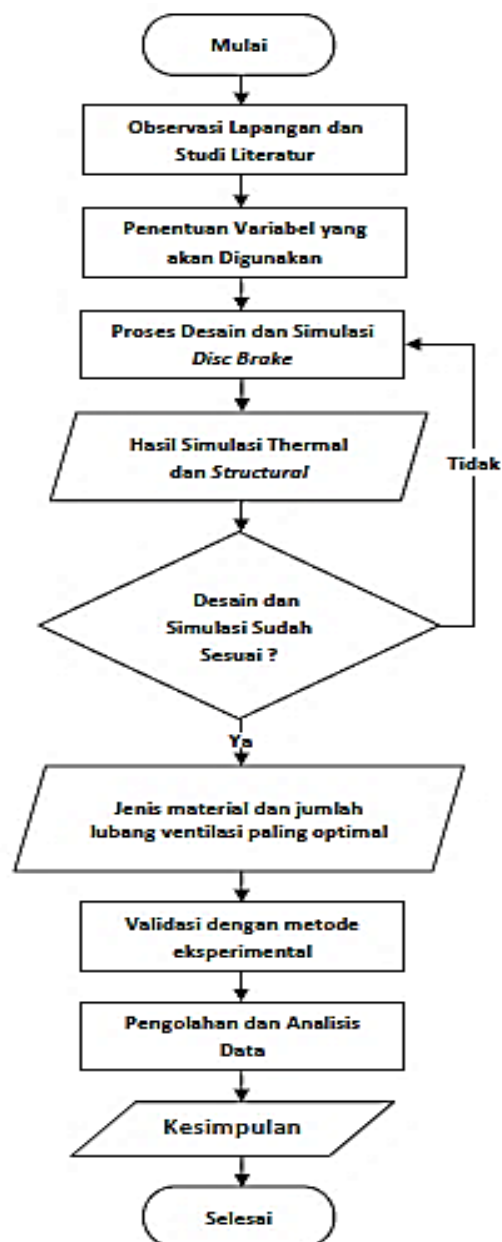
Disc brake merupakan salah satu komponen yang penting dalam sistem pengereman karena berfungsi untuk

memperlambat gerakan rotasi roda di kendaraan dengan menerapkan resistensi gesekan [3]. Saat ini banyak bengkel – bengkel pemesinan yang memproduksi *disc brake* dengan berbagai variasi. Tetapi belum diketahui seberapa optimal kemampuan *disc brake* tersebut terutama dalam menyerap tegangan. *Disc brake* harus didesain dengan baik sehingga perpindahan panas dari *disc brake* ke udara menjadi optimal. Pemilihan bahan pada *disc brake* merupakan aspek yang sangat kompleks dan penting. Saat memilih bahan, berbagai faktor dipertimbangkan seperti konduktivitas termal, koefisien gesekan & korosifitas [4]. Jumlah lubang ventilasi pada *disc brake* berpengaruh terhadap temperatur yang dihasilkan. Semakin banyak lubang ventilasi pada *disc brake*, efisiensi perpindahan panas pada *disc brake* juga akan meningkat [5]. Pengereman yang lama dan terus menerus mengakibatkan hilangnya efisiensi pengereman karena suhu yang berlebihan pada contact area antara kampas dan disc brake. Pembentukan tegangan secara terus menerus dapat menurunkan umur kelelahan disc dan bahkan mengakibatkan kegagalan dari disc brake [6].

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui variasi dan jumlah lubang ventilasi yang optimal untuk disc brake dalam pelepasan panas dan tegangan. Sehingga, kegagalan pada disc brake bisa diminimalisir.

METODE

Jenis penelitian ini adalah studi simulasi menggunakan software CAE yang hasilnya nanti di validasi dengan menggunakan alat uji temperatur disc brake. Tahapan penelitian ditunjukkan pada gambar 1.



Gbr 1. Flowchart Penelitian

Penelitian dimulai dengan observasi lapangan di bengkel pembuat disc brake. Kemudian, studi literatur dilakukan untuk menentukan variabel dan parameter penelitian yang ditunjukkan pada tabel 1.

TABEL I
PARAMETER PENELITIAN

Parameter Penelitian	
Massa kendaraan (m)	103 kg
Kecepatan kendaraan (v)	11,11 m/s
Waktu pengereman (t)	5s
Luas Area Kampas (A)	1.800 mm
Koefisien gesek kampas (μ)	0,34
Diameter luar disc brake (D^0)	190 mm
Ketebalan disc brake	4 mm
Effective outer diameter (D)	0,186 m
Effective inner diameter (d)	0,126 m
Perlambatan (a)	-7,66 m/s
Specific heat of air at 30°C (C_p)	1.007 J/kg.K
Dynamic viscosity of air at 30°C (U_v)	1,872e-5 kg/m.s
Thermal conductivity of air at 30°C (k)	0,02588 W/m. K
Density of air at 30°C (ρ)	1,164 kg/m ³
Relative velocity of air at 30°C (v)	11,11 m/s
Absolute viscosity of air at 30°C (u)	1,872e-5 Ns/m ²
Specific heat of Al 7075- T6	960 J/kgK
Specific heat of gray cast iron	586 J/kgK
Specific heat of SS 304	500 J/kgK

Proses desain adalah tahap pertama sebelum melakukan simulasi. Software Solidworks 2020 digunakan untuk mendesain disc brake dengan dimensi ketebalan 4 mm, diameter luar 190 mm, jumlah lubang baut 4, diameter lubang baut 10 mm, jumlah lubang ventilasi 36, 48, dan 60, dan diameter lubang ventilasi 8 mm. Desain disc brake di tunjukkan pada gambar 2.



Gbr 2 Desain Disc Brake

Hasil desain disimpan dengan format IGES agar bisa dilakukan simulasi dengan software CAE. Simulasi dilakukan dengan software ANSY 19.0 dengan metode *thermo mechanical*. Tahapan simulasi dimulai dengan melakukan *set up engineering data* seperti ditunjukkan pada gambar 3.

A	B	C	D	E
Contents of General Materials	Add	Source	Description	
Silicon Anisotropic		General_Materials.xml		
Stainless Steel		General_Materials.xml		
Structural Steel		General_Materials.xml		
Titanium Alloy		General_Materials.xml		

A	B	C
Property	Value	Unit
Density	7750	kg m ⁻³
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
Isotropic Elasticity		
Tensile Yield Strength	2,07E+08	Pa
Compressive Yield Strength	2,07E+08	Pa
Tensile Ultimate Strength	5,86E+08	Pa
Compressive Ultimate Strength	0	Pa

Gbr 3 Engineering data

Data yang dimasukkan pada *material properties* dari Al 7075-T6, gray cast iron, dan SS 304 yang didapatkan dari studi literatur. *Material Properties* ditunjukkan pada tabel 2,3,4.

TABEL II
MATERIAL PROPERTIES AL 7075-T6

Material Properties	Aluminium Alloy 7075-T6
Density	2810 kg/m ³
Modulus young	71700 Mpa
Tensile strength	572 Mpa
Specific heat	960 J/kgK
Poisson Ratio	0,33

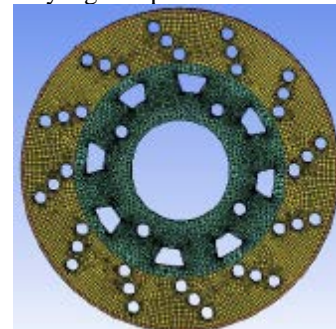
TABEL III
MATERIAL PROPERTIES GRAY CAST IRON

Material Properties	Gray Cast Iron
Density	7395 kg/m ³
Modulus young	101500 Mpa
Tensile strength	275,8 Mpa
Specific heat	450 J/kgK
Poisson Ratio	0,253

TABEL IV
MATERIAL PROPERTIES STAINLESS STEEL 304

Material Properties	Stainless Steel 304
Density	8000 kg/m ³
Modulus young	193000 Mpa
Tensile strength	515 Mpa
Specific heat	500 J/kgK
Poisson Ratio	0,29

Kemudian memberikan mesh sebesar 2 mm. Semakin kecil ukuran mesh, data yang didapat semakin akurat.



Gbr 4 Meshing

Kemudian, thermal load berupa heat flux dan convection diberikan pada desain disc brake [7]. Nilai heat flux berbeda – beda tergantung dari densitas material dan massa disc brake. Disc brake dengan densitas material yang tinggi memiliki massa yang besar. Sebelum menghitung heat flux, harus menghitung gaya – gaya yang bekerja pada disc brake [8]. Pertama adalah mengitung perbandingan tuas rem menggunakan persamaan berikut:

$$K = \frac{L_1}{L_2} \quad (1)$$

Dimana:

K = Perbandingan tuas rem tangan

L_1 = Jarak tuas rem tangan ke pusat tumpuan 17 cm

L_2 = Jarak dari engsel ke tumpuan 2,25 cm

Perhitungan:

$$K = \frac{17}{2,25}$$

$$= 7,55$$

Kemudian menghitung gaya pengereman dari tuas rem dengan persamaan berikut:

$$F_k = F \frac{L_1}{L_2} \quad (2)$$

Dimana:

F_k = gaya pengereman dari tuas rem (kgf)

F = Gaya dari tangan untuk menekan tuas rem 5kgf

Perhitungan:

$$K = 5 \frac{17}{2,25}$$

$$= 37,75 \text{ kgf atau } 370,75 \text{ N}$$

Menghitung moment dengan persamaan berikut:

$$M = F_b \times R \quad (3)$$

Dimana:

M = Moment (Nmm)

F_b = Gaya Pengereman 370,75 N

R = Radius disc brake 95 mm

Perhitungan:

$$M = 370,75 \text{ N} \times 95 \text{ mm}$$

$$= 35220 \text{ Nmm}$$

Menghitung gaya tekan hidrolik dari master rem dengan persamaan:

$$P_e = \frac{F_k}{0,785 \times d^2} \quad (4)$$

Dimana:

P_e = Gaya tekan hidrolik (kgf/cm²)

F_k = Gaya pengereman = 37,75kgf

d = Diameter silinder = 1,09 cm

Perhitungan

$$P_e = \frac{37,75}{0,785 \times 1,09^2}$$

$$= 40,51 \text{ kgf/cm}^2$$

Menghitung gaya tekan kampas rem:

$$F_p = P_e \times 0,785 (d^2) \quad (5)$$

Dimana:

F_p = Gaya tekan kampas rem (kgf)

P_e = Gaya tekan hidrolik 40,51 kgf/cm²

d = Diameter silinder rem 1,1 cm

Perhitungan:

$$F_p = 40,51 \text{ kgf/cm}^2 \times 0,785 (1,1^2)$$

$$= 38,478 \text{ kgf}$$

$$= \text{Tekanan untuk satu kampas adalah } 19,239 \text{ kgf}$$

Menghitung gaya gesek antara kampas rem dengan disc brake:

$$F_\mu = \mu \times F_p \quad (6) \text{ Dimana:}$$

F_μ = Gaya gesek (kgf)

μ = Koefisien gesek 0,34

F_p = Gaya tekan kampas rem 19,239 kgf

Perhitungan:

$$F = 0,34 \times 19,239 \text{ kgf}$$

$$= 6,54 \text{ kgf}$$

Pada sistem pengereman terdapat energi kinetik. Untuk menghitungnya, harus diketahui massa disc brake dan kecepatan kendaraan. Diketahui kecepatan kendaraan (v) 11,11m/s. Massa dari masing – masing disc brake, ditunjukkan pada tabel 5 berikut ini.

TABEL V
MASSA DISC BRAKE

Material Disc Brake	Jumlah Lubang Ventilasi	Massa (m)
Al 7075-T6	36	0,252 kg
Al 7075-T6	48	0,246 kg
Al 7075-T6	60	0,240 kg
Gray Cast Iron	36	0,646 kg
Gray Cast Iron	48	0,630 kg
Gray Cast Iron	60	0,614 kg
SS 304	36	0,718 kg
SS 304	48	0,701 kg
SS 304	60	0,682 kg

Besarnya massa dipengaruhi oleh densitas atau massa jenis setiap material disc brake. Semakin besar densitas suatu material, maka massa material dalam satuan volume juga semakin besar.

Kemudian energi kinetik dihitung dengan persamaan:

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 \quad (7)$$

Dimana:

KE = Energi Kinetik (J)

m = Massa Disc Brake (kg)

v = Kecepatan Kendaraan (m/s)

Hasil dari perhitungan energi kinetik untuk masing – masing disc brake ditunjukkan pada tabel 6.

TABEL VI
ENERGI KINETIK DISC BRAKE

Energi Kinetik			
Jumlah Lubang Ventilasi	Variasi Material		
	Al 7075-T6	Gray Cast Iron	SS 304
36	15,57 J	39,91 J	44,35 J
48	15,19 J	38,93 J	43,26 J
60	14,81 J	37,95 J	42,11 J

Energi kinetik digunakan untuk menghitung daya pengereman (P_b) dengan persamaan:

$$P_b = \frac{KE}{t} \quad (8)$$

Dimana:

P_b = Daya Pengereman (W)

KE = Energi Kinetik (J)

t = Waktu Pengereman 5 detik

Hasil dari perhitungan daya pengereman ditunjukkan pada tabel 7.

TABEL VII
ENERGI KINETIK DISC BRAKE

Daya Pengereman			
Jumlah Lubang Ventilasi	Variasi Material		
	Al 7075-T6	Gray Cast Iron	SS 304
36	3,11 W	7,98 W	2,96 W
48	3,03 W	7,78 W	7,59 W
60	2,96 W	8,65 W	8,42 W

Selanjutnya adalah menghitung besaran heat flux atau laju aliran panas dengan persamaan:

$$Q = \frac{P_b}{A} \quad (9)$$

Dimana:

Q = Heat flux (W/mm²)

P_b = Daya Pengereman (W)

A = Luas permukaan gesekan kampas rem 6.140 mm² Hasil dari perhitungan heat flux ditunjukkan pada tabel 8.

TABEL VIII
HEAT FLUX

Heat Flux			
Jumlah Lubang Ventilasi	Variasi Material		
	Al 7075-T6	Gray Cast Iron	SS 304
36	0,00050715 W/mm ²	0,00129996 W/mm ²	0,00144453 W/mm ²
48	0,00049477 W/mm ²	0,00126804 W/mm ²	0,00140908 W/mm ²
60	0,00047653 W/mm ²	0,00123612 W/mm ²	0,00137162 W/mm ²

Kemudian mengkalkulasi *film coefficient* dengan menghitung *prandtl number*, *reynold number*, dan *nusselt number* menggunakan *physical properties* dari udara sebagai acuan. *Physical properties* udara pada temperatur 30°C digunakan sebagai acuan perhitungan *film coefficient*. Langkah pertama dalam menghitung *film coefficient* adalah menentukan *prandtl number* dengan persamaan berikut.

$$Pr = (C_p \times Uv)/k \quad (10)$$

$$= (1.007 \text{ J/kgK} \times 1.872 \text{ e-5 kg/ms})/0,02588 \text{ W/mK}$$

$$= 0.728$$

Menghitung *reynold number* dengan persamaan:

$$Re = (\text{density} \times v \times D_0)/\mu \quad (11)$$

$$= (1,164 \text{ kg/m}^3 \times 11,11 \text{ m/s} \times 0,19 \text{ m})/1,872 \text{ e-5 Ns/m}^2$$

$$= 131.254,679$$

Selanjutnya adalah menghitung *nusselt number* dengan persamaan:

$$Nu = 0,027 \times Re^{0,8} \times Pr^{0,33} \quad (12)$$

$$= 0,027 \times 131.254,679^{0,8} \times 0,728^{0,33}$$

$$= 302,23$$

Kemudian, *film coefficient* dapat dihitung dengan persamaan:

$$\text{Film Coefficient} = (Nu \times k)/D_0 \quad (13)$$

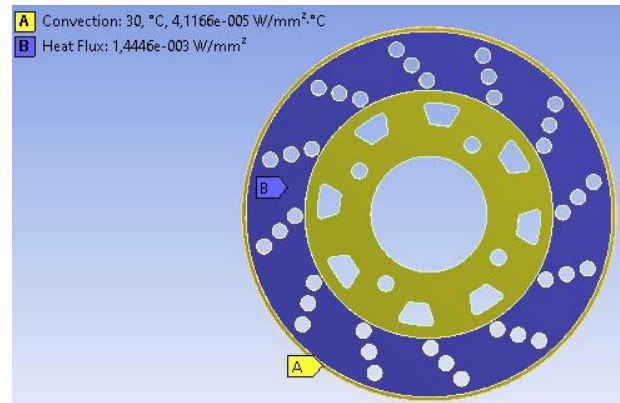
$$= (302,23 \times 0,02588 \text{ W/mK})/0,19 \text{ m}$$

$$= 41,166 \text{ W/m}^2$$

$$= 0,000041166 \text{ W/mm}^2$$

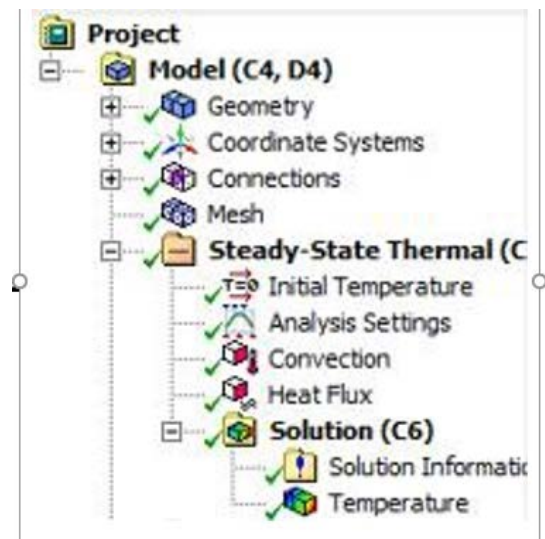
Hasil perhitungan *film coefficient* akan dimasukkan kedalam simulasi pada software ANSYS untuk menentukan nilai *convection*.

Setelah perhitungan selesai, nilai *heat flux* dan *convection* dimasukkan kedalam simulasi sebagai *thermal load* seperti pada gambar 5 berikut ini.



Gbr 5 Thermal Load

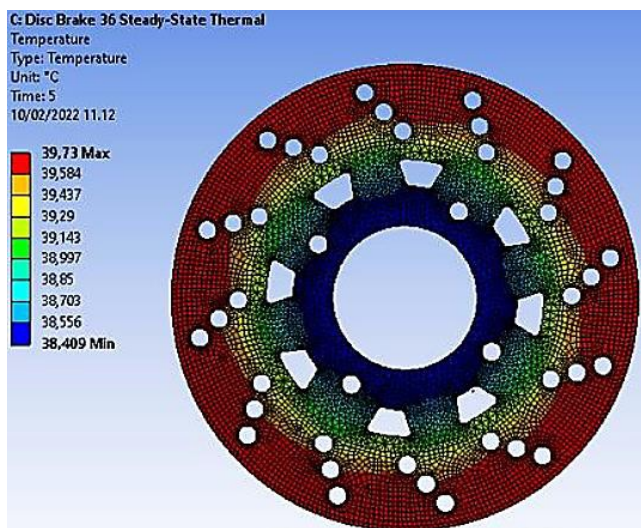
Setelah itu melakukan pemberian solution berupa temperature seperti pada gambar 6.



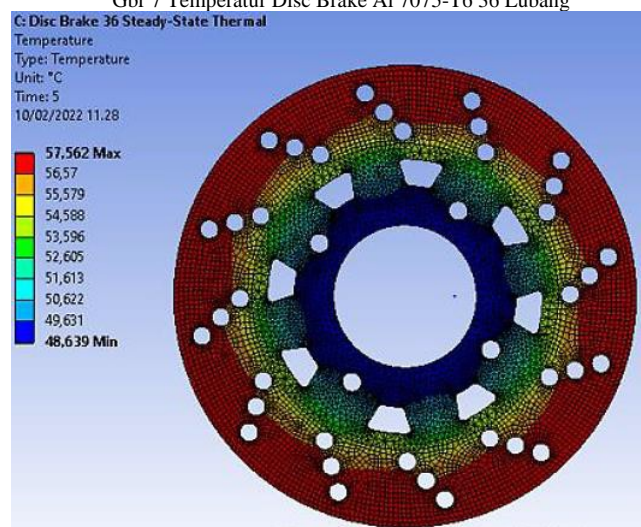
Gbr 6 Solution Steady State Thermal

HASIL DAN DISKUSI

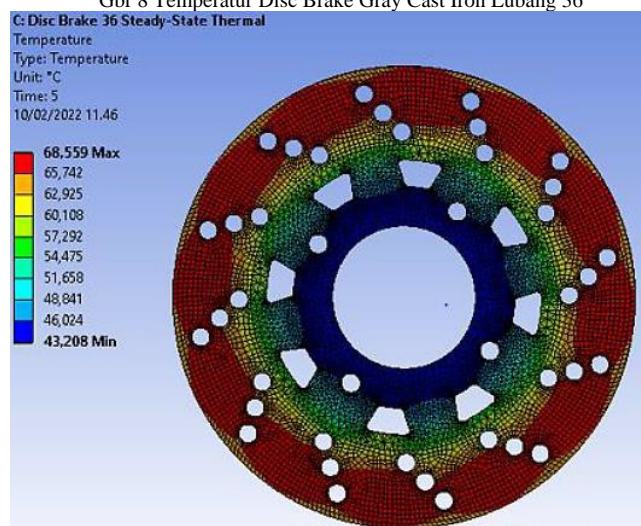
Hasil dari simulasi steady state thermal untuk disc brake dengan jumlah lubang ventilasi 36 adalah sebagai berikut.



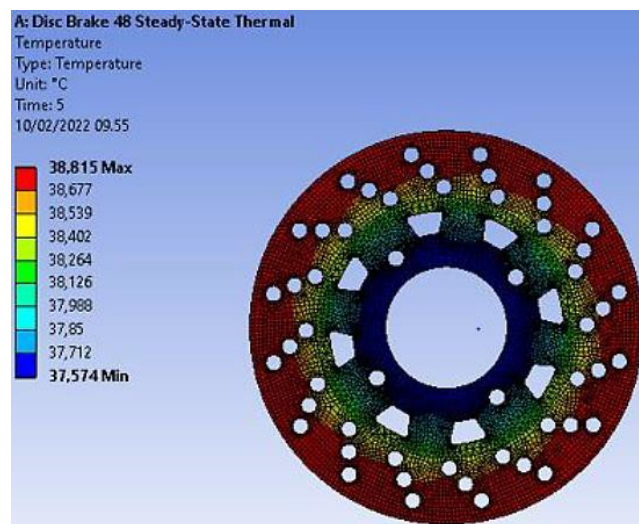
Gbr 7 Temperatur Disc Brake Al 7075-T6 36 Lubang



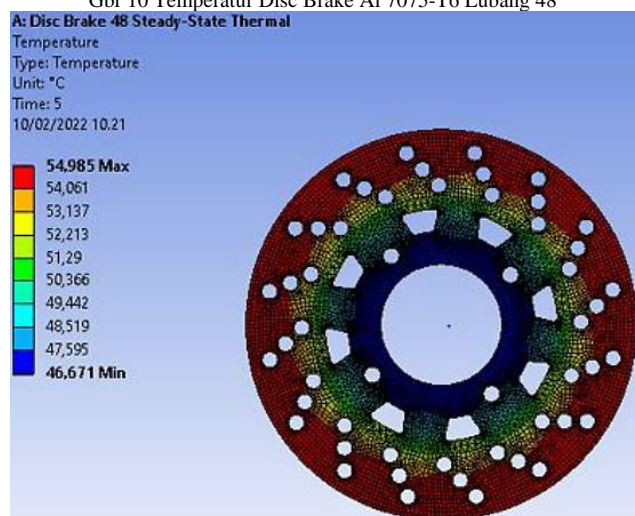
Gbr 8 Temperatur Disc Brake Gray Cast Iron Lubang 36



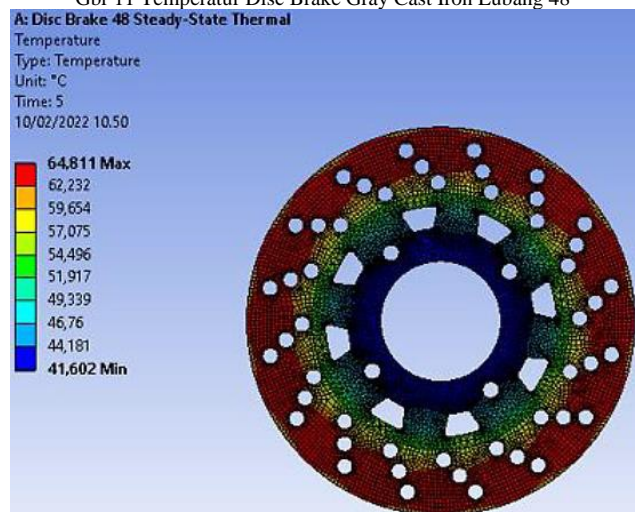
Gbr 9 Temperatur Disc Brake SS 304 Lubang 36



Gbr 10 Temperatur Disc Brake Al 7075-T6 Lubang 48

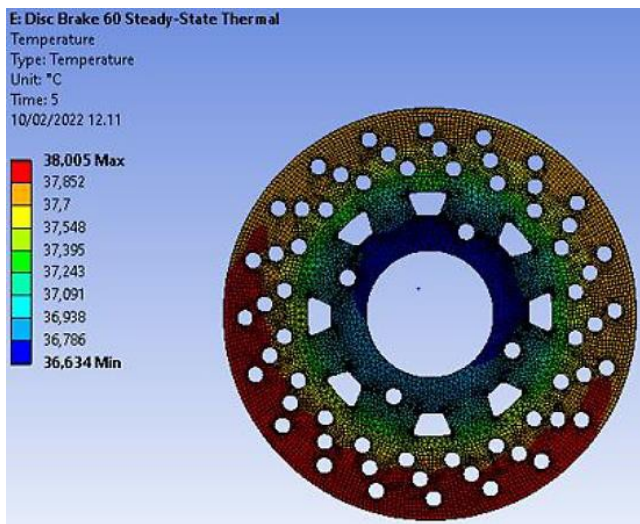


Gbr 11 Temperatur Disc Brake Gray Cast Iron Lubang 48

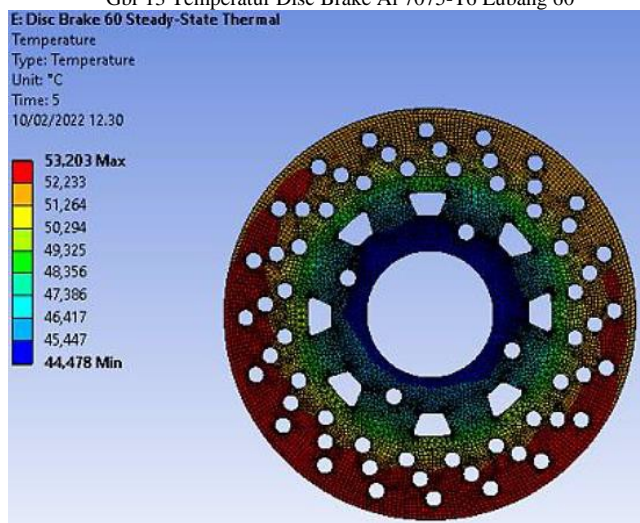


Gbr 12 Temperatur Disc Brake SS 304 Lubang 48

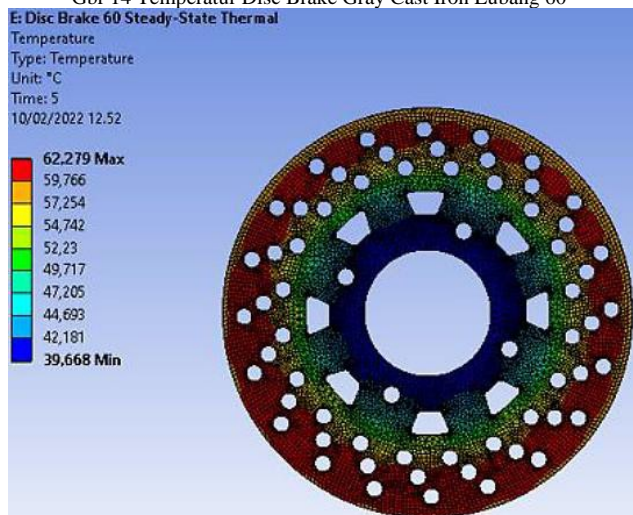
Berikut ini adalah hasil simulasi steady state thermal untuk disc brake dengan jumlah lubang ventilasi 60.



Gbr 13 Temperatur Disc Brake Al 7075-T6 Lubang 60



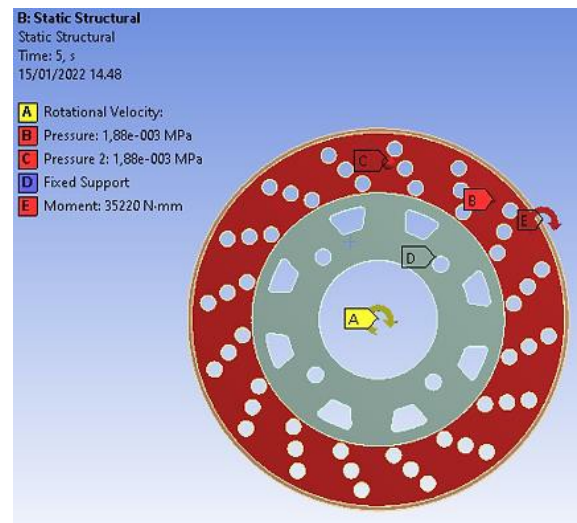
Gbr 14 Temperatur Disc Brake Gray Cast Iron Lubang 60



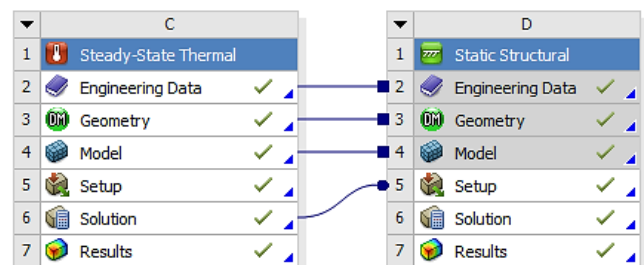
Gbr 15 Temperatur Disc Brake SS 304 Lubang 60

Setelah selesai mendapatkan nilai temperatur, berikutnya hasil simulasi thermal diimport kedalam simulasi static structural untuk mendapatkan nilai tegangan seperti yang ditunjukkan pada gambar 17. Set up yang diberikan adalah

moment, pressure, dan rotational velocity yang ditunjukkan pada gambar 16 berikut ini.

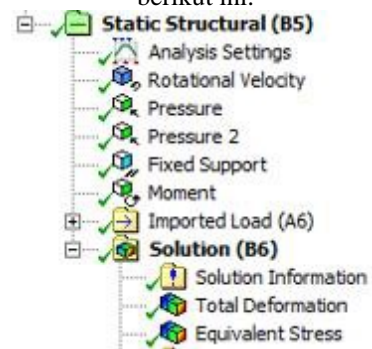


Gbr 16 Structural Load



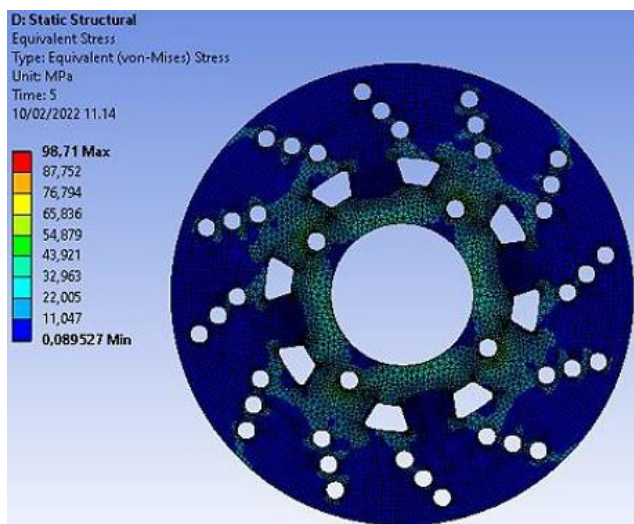
Gbr 17 Import Thermal to Structural Analysis

Untuk pemberian solution ditunjukkan pada gambar 18 berikut ini.

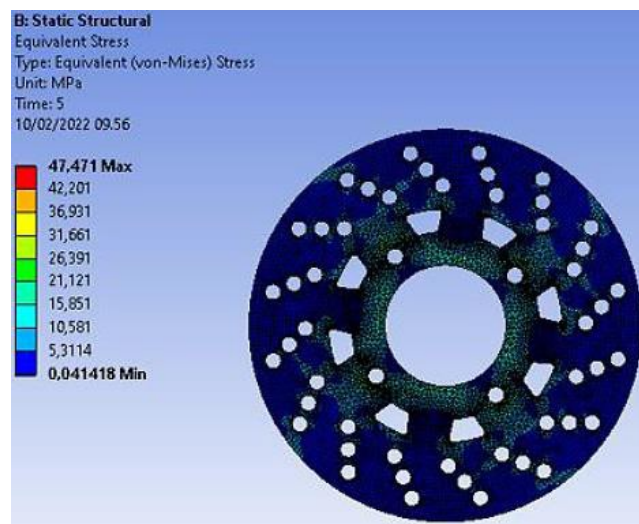


Gbr 18 Solution Static Structural

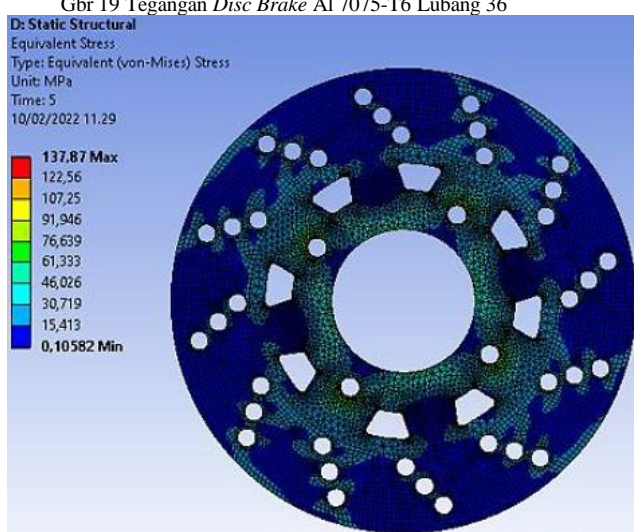
Hasil dari simulasi static structural untuk disc brake dengan jumlah lubang ventilasi 36 adalah sebagai berikut ini.



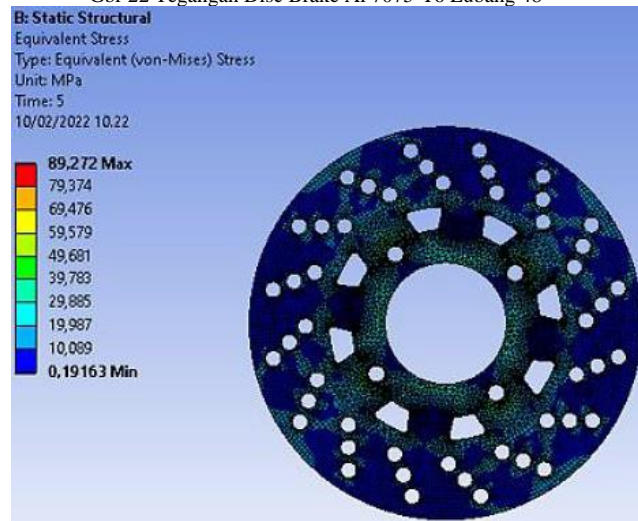
Gbr 19 Tegangan Disc Brake Al 7075-T6 Lubang 36



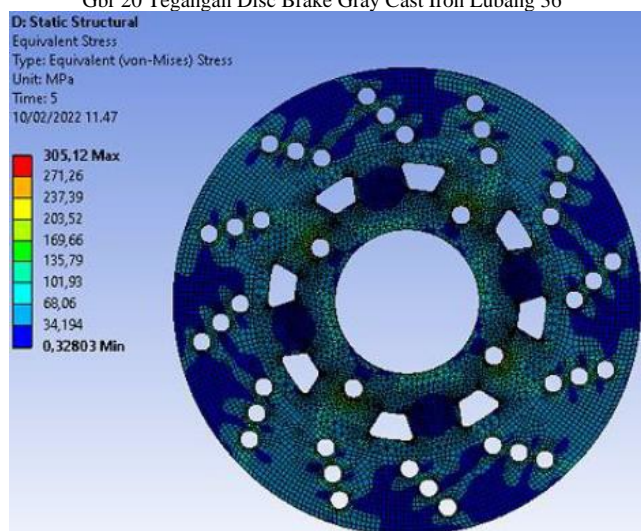
Gbr 22 Tegangan Disc Brake Al 7075-T6 Lubang 48



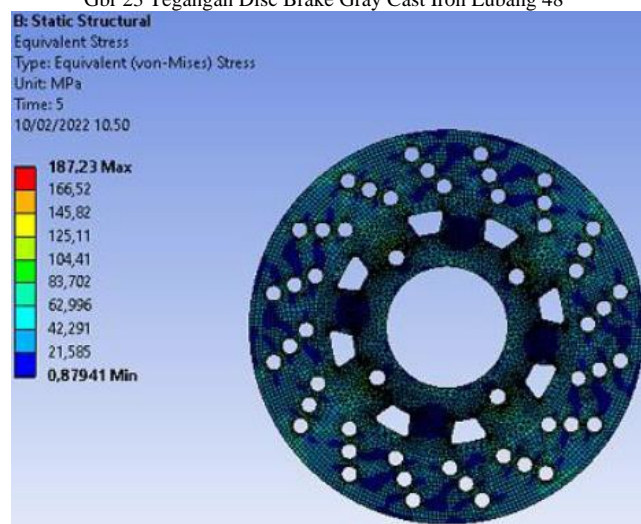
Gbr 20 Tegangan Disc Brake Gray Cast Iron Lubang 36



Gbr 23 Tegangan Disc Brake Gray Cast Iron Lubang 48



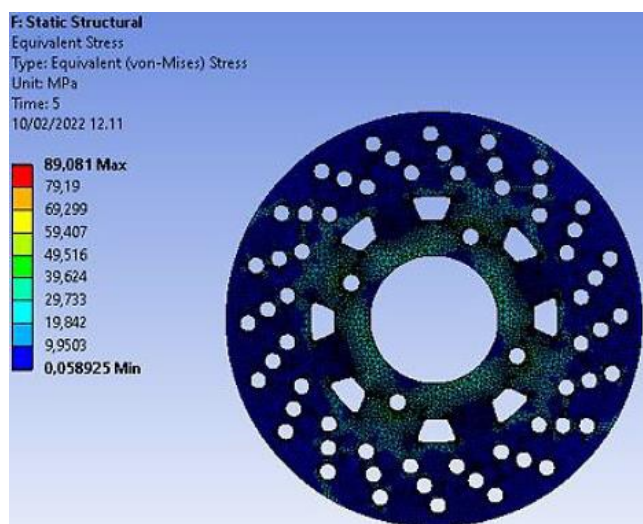
Gbr 21 Tegangan Disc Brake SS 304 Lubang 36



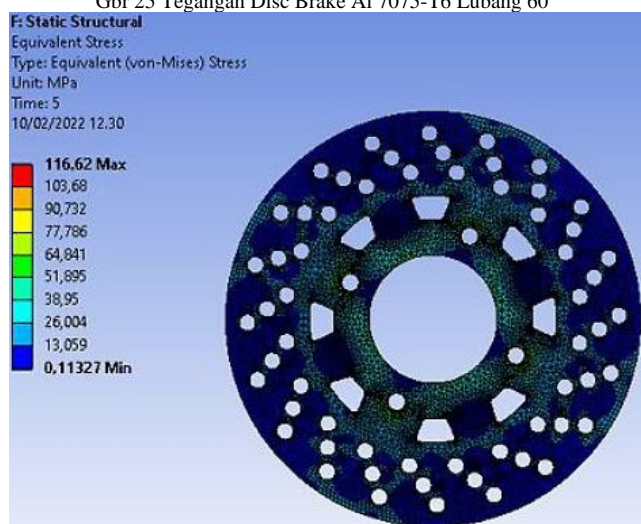
Gbr 24 Tegangan Disc Brake SS 304 Lubang 48

Hasil tegangan disc brake dengan jumlah lubang ventilasi 48 adalah sebagai berikut ini.

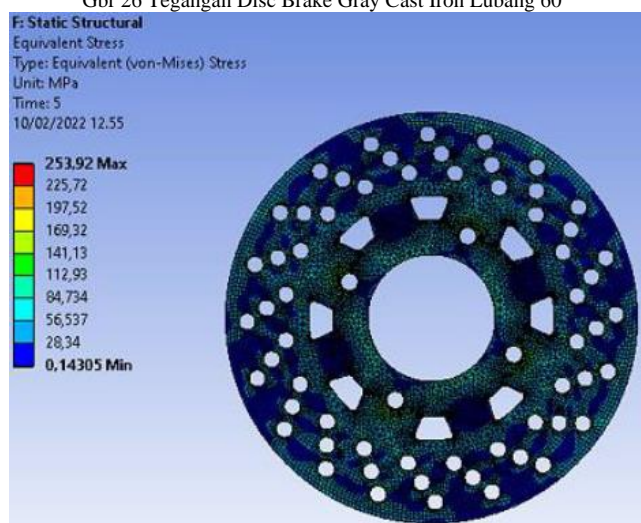
Untuk Hasil Tegangan disc brake dengan jumlah lubang ventilasi 60 adalah sebagai berikut.



Gbr 25 Tegangan Disc Brake Al 7075-T6 Lubang 60



Gbr 26 Tegangan Disc Brake Gray Cast Iron Lubang 60



Gbr 27 Tegangan Disc Brake SS 304 Lubang 60

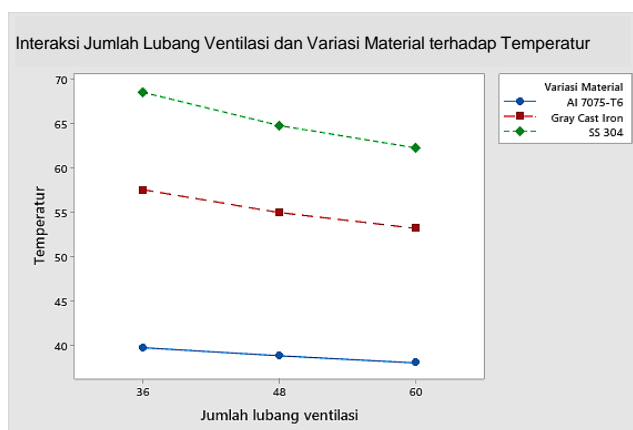
TABEL IX
HASIL SIMULASI TEMPERATUR

Jumlah Lubang Ventilasi	Nilai Temperatur		
	Variasi Material		
	Al 7075-T6	Gray Cast Iron	SS 304
Lubang 36	39,73°C	57,562°C	68,559°C
Lubang 48	38,815°C	54,985°C	64,811°C
Lubang 60	38,005°C	53,203°C	62,279°C

TABEL X
HASIL SIMULASI TEGANGAN

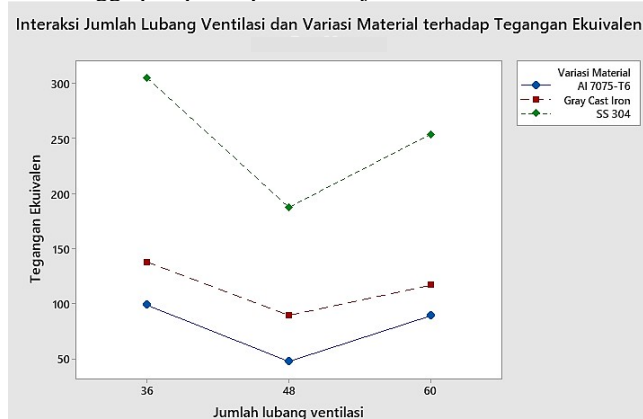
Jumlah Lubang Ventilasi	Nilai Tegangan		
	Variasi Material		
	Al 7075-T6	Gray Cast Iron	SS 304
Lubang 36	98,71 Mpa	137,87 Mpa	305,12 Mpa
Lubang 48	47,471 Mpa	89,272 Mpa	187,23 Mpa
Lubang 60	89,021 Mpa	116,62 Mpa	253,92 Mpa

Interaksi dari variasi material dan jumlah lubang ventilasi terhadap temperatur dan tegangan ditunjukkan pada gambar 28 dan 29 berikut ini.



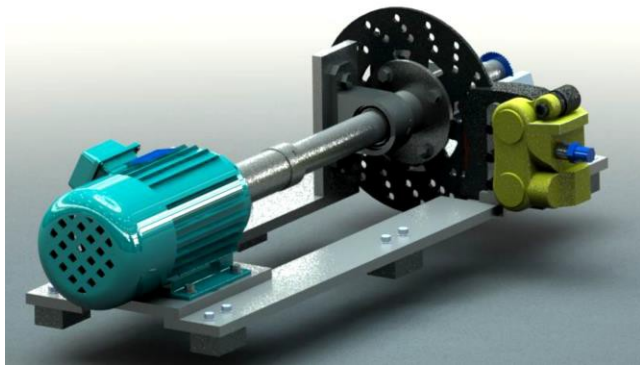
Gbr 28 Pengaruh Jumlah Lubang Ventilasi dan Material Terhadap Temperatur Maksimal

Interaksi paling signifikan terjadi pada variasi SS 304 dengan variasi jumlah lubang ventilasi 36. Hal ini dipengaruhi oleh massa SS 304 yang paling besar dari pada Al 7075-T6 dan gray cast iron [9] maka otomatis densitasnya juga semakin besar, sehingga pelepasan panas menjadi sulit.



Gbr 29 Pengaruh Jumlah Lubang Ventilasi dan Material Disc Brake Terhadap Tegangan Maksimal

Interaksi antara jumlah lubang ventilasi 36 dengan material SS 304 menghasilkan tegangan paling tinggi. Hal ini disebabkan oleh sifat material SS 304 yang memiliki *tensile strength* lebih rendah dibandingkan dengan Al 7075-T6 dan gray cast iron serta dipengaruhi juga oleh geometri dari *disc brake* itu sendiri serta temperatur saat proses pengereman. Dapat dilihat juga nilai tegangan maksimal dari jumlah lubang ventilasi 36 menuju 48 mengalami penurunan tetapi kembali mengalami kenaikan pada jumlah lubang ventilasi 60. Hal ini dikarenakan, semakin banyak jumlah lubang ventilasi pada *disc brake*, maka tegangan juga semakin menurun [10], tetapi jumlah tegangan yang terkonsentrasi juga semakin banyak terutama di sekitar lubang ventilasi. Sehingga, memungkinkan terjadinya *crack* atau retakan di daerah antar lubang ventilasi. Setelah simulasi, dilakukan validasi pada temperatur dengan menggunakan alat uji temperatur *disc brake* dan temperatur diukur dengan *thermal camera* seperti yang ditunjukkan pada gambar 30 dan 31 berikut ini.

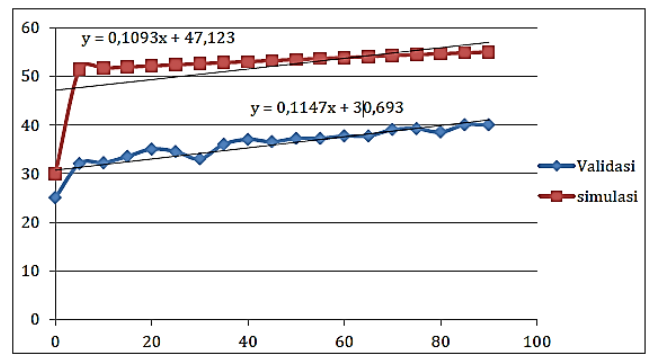


Gbr 30 Instalasi pada Alat Uji Temperatur Disc Brake



Gbr 31 Proses Pengambilan Nilai Temperatur

Hasil validasi *disc brake* menunjukkan perubahan temperatur maksimal dari 0 sampai 90 detik sebesar 40°C. Perbandingan hasil simulasi dan validasi ditunjukkan pada gambar 33 berikut ini.



Gbr 31 Perbandingan Hasil Simulasi dengan Validasi

Perbedaan hasil saat validasi dengan simulasi dipengaruhi oleh temperatur lingkungan dimana ketika simulasi, temperatur lingkungan diseting 30°C secara konstan. Sementara saat validasi temperatur lingkungan adalah 25°C. Tetapi temperatur lingkungan saat validasi selalu berubah dipengaruhi oleh pergerakan angin karena dilakukan di ruang terbuka. Getaran juga memengaruhi hasil. Karena ketika melakukan pengukuran temperatur, *thermal camera* dipegang dengan tangan tidak diletakkan secara tegak lurus dengan *disc brake* selain getaran jarak *thermal camera* dengan *disc brake* juga berpengaruh akurasi pengukuran temperatur. Karena perbedaan *ambient temperature*, maka untuk membandingkan hasil simulasi dan validasi diambil pada selisih antara temperatur awal dan temperatur akhir.

KESIMPULAN

Dari data penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Data-data yang diambil untuk menentukan *disc brake* yang paling optimal berdasarkan nilai temperatur maksimal terendah, *fatigue life* rata-rata tertinggi, dan nilai *fatigue safety factor* minimal terbesar. Material gray cast iron dan jumlah lubang ventilasi 48 paling optimal dalam penyereapan temperatur, *fatigue life* terlama, dan *fatigue safety factor* tertinggi, dengan nilai temperatur 54,99°C, *fatigue life* 100000000 siklus, dan FOS 3,34.
2. Semakin banyak jumlah lubang ventilasi, semakin rendah temperatur yang dihasilkan. Semakin banyak jumlah lubang ventilasi, tegangan yang dihasilkan semakin rendah tetapi, konsentrasi tegangan juga semakin banyak, sehingga meningkatkan resiko terjadinya *crack* atau retakan di daerah antar lubang ventilasi. Semakin kecil tegangan ekuivalen pada *disc brake*, semakin panjang *fatigue life* nya. Semakin besar perbandingan antara tegangan dan *tensile strength* suatu material maka, nilai *safety factor* juga semakin tinggi.

REFERENSI

- [1] (2022) Badan Pusat Statistik (Online), <https://www.bps.go.id>, tanggal akses: 14 April 2022
- [2] Herawati, "Karateristik dan penyebab kecelakaan lalu lintas di Indonesia tahun 2012", *Warta Penelitian Perhubungan.*, vol. 26, no. 3, hal. 133 – 142, Feb. 2014.
- [3] R. Kumar & M. Narwariya, "Failure analysis and design of disc in two wheeler", *International Journal for Research in Applied Science &*

- Engineering Technology (IJRASET)*., vol. 8, no. 2, hal. 782-789, Feb. 2020.
- [4] J. Aakash, A. Rahul, G. Aman, "Design and Thermal Analysis of Brake disc for Optimum Performance", *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*., vol. 8, no. 4, hal. 1902-1905, Mei. 2020.
- [5] H. Dubale, V. Paramasivam, E. Gardia, "Numerical investigation of thermo-mechanical properties for disc brake using light commercial vehicle", *Materials Today: Proceedings*, hal. 1-9, 2021.
- [6] C. B. Chavan, A. S. More, N. N. Patil, "Static structural and thermal analysis of brake disc with different cut patterns", *Journal of Applied Research and Technology*, vol. 16, hal. 41-52, 2018.
- [7] P. Mahajan, D. Gupta, V. K. Chawla, "Design and Analysis of Brake Disc Assembly for an FSAE vehicle", *Materials Today: Proceedings*, hal. 1-6, 2021.
- [8] D. Hafid, "Gaya Tekan terhadap Disc Rotor pada Kendaraan Mini Buggy", *Jurnal Konversi dan Energi dan Manufaktur UNJ*, vol. 1, Hal. 29-34, 2016.
- [9] J. R. Putra, H. Maksun, Daswarman, "Pengaruh Massa Piringan Cakram Terhadap Jarak Pengereman Pada Sepeda Motor Honda Supra X 125", hal. 1-6, 2014.
- [10] Arifin, M. Tauviquirrahman, Muchammad, "Thermo-mechanical investigation of ventilated disc brake with finite element analysis", *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, vol. 8, no. 6, hal. 3073-3081, Jan. 2017.