

*Published September 2019***Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi**<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>**Analisis Pengaruh Besar Gesekan Terhadap Tegangan Thermal Pada Sepatu Rem Mobil Ketebalan 2 mm Menggunakan Perangkat Lunak Msc.Nastran V.9****Sudirman Lubis^{1*}**¹⁾ Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Jalan Kapten Muchtar Basri No.3 Medan 20238, Indonesia*E-mail: sudirmanlubis@umsu.ac.id**ABSTRACT**

Braking failure better known as brake failure is caused by many factors, but one factor is due to excess heat that occurs in optimal braking conditions when the vehicle is driving at high speed and sufficient distance. The purpose of this research is to obtain the result of thermal stress simulation during braking, in special area of brake shoe with 8 mm thickness. However, it is unlikely that brake shoe is analyzed manually because brake shoes have many vertices, even up to thousands of vertices. So we need the software support finite element finishing method of MSC. NASTRAN V9 to simulate the distribution of temperature distribution on brake shoe for easy analysis. Thermal voltage that occurs in brake boots with a thickness of 2 mm in this study that brake shoe design model 2 has a maximum thermal voltage of 4.5701 Mpa and 2.5295 Mpa Minimum lower than the brake shoes model 1 maximum thermal voltage of 4.5585 Mpa and 2,5225 Mpa Minimum. With a maximum test difference of 0.25% and a minimum of 0.27%.

Keywords: Excess Heat, Scratch Field, Brake Shoe, Thermal Voltage**PENDAHULUAN****Latar Belakang**

Berdasarkan angka statistik, tingginya angka kematian dari kecelakaan kendaraan bermotor khususnya roda empat salah satunya disebabkan oleh sistem pengereman yang tidak baik. Rem merupakan salah satu komponen yang harus selalu dalam keadaan baik, karena rem merupakan suatu alat yang digunakan untuk memperlambat atau menghentikan perputaran roda. Rem cakram itu juga memiliki standar yaitu ABS (*Anti-lock Brake System*), namun standart ini juga sering disalah artikan sebagai performa pengereman yang lebih pakem, padahal fungsi ABS adalah berguna untuk mencegah terjadinya efek mengunci pada perangkat rem tatkala menginjak pedal secara mendadak sehingga mobil terhindar dari kemungkinan selip akibat efek gaya dorong kendaraan yang menjauhi titik pusat (*sentrifugal*). Tingginya suhu saat pemakaian rem berlangsung dapat menyebabkan hancurnya komponen sebelum waktunya, seperti penguapan/kebocoran cairan, rem blong, dan lainnya. Memodifikasi konstruksi cakram rem tanpa ventilasi menjadi cakram rem dengan ventilasi merupakan jawaban untuk mendapatkan sebaran suhu yang merata antara sepatu rem dengan cakram rem saat pengereman. Untuk itu perlu dilakukan analisa penyelesaian metode elemen hingga untuk mengetahui besarnya tegangan thermal yang terjadi saat pengereman.

Metode Elemen Hingga berusaha memecahkan *partial differential equations* dan persamaan integral lainnya yang dihasilkan dari hasil diskritisasi benda *kontinum*. Meski berupa pendekatan, metode ini dikenal cukup efektif memecahkan struktur-struktur yang kompleks dalam analisis mekanika benda padat (*solid mechanics*) dan perpindahan panas (*heat transfer*). Cakram rem ini merupakan konstruksi yang sangat kompleks, sehingga dibutuhkan perangkat lunak pendukung

Published September 2019

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

penyelesaian metode elemen hingga yang melakukan simulasi distribusi sebaran suhu cakram rem untuk mempermudah analisa. MSC. NASTRAN adalah sebuah *software* komputer yang dikembangkan di Amerika Serikat oleh *National Aeronautics And Space Administration* (NASA). Berdasarkan uraian pada latar belakang di atas, maka perlu dilakukan penelitian terhadap tingginya tingkat pengaruh thermal dari gesekan serta distribusi temperatur pada daerah pengereman khususnya sepatu rem ketebalan 2 mm pada dua pemodelan menggunakan simulasi MSC. NASTRAN.

TINJAUAN PUSTAKA**Sepatu Rem**

Dengan berkembangnya performa kendaraan saat ini dibutuhkan sistem pengereman yang efektif dan juga sebagai *safety* dalam berkendara. Sistem pengereman yang baik harus dapat menunjang daya dan kecepatan pada kendaraan tersebut dimana bagian terpenting dari sistem pengereman adalah kampas rem, Kampas rem menjalankan fungsinya sebagai media pengereman. Dapat bekerja dengan maksimal apabila mempunyai daya pengereman yang baik serta efisien, dimana efisiensi dari rem sangat dipengaruhi oleh besarnya koefisien gesek kampas rem

Besarnya gaya gesek dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$F_k = N \cdot \mu_k \quad (2.1)$$

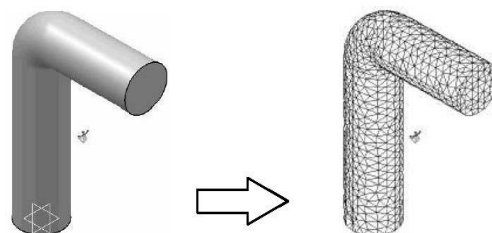
Dimana : F_k = gaya gesek (N)
 N = gaya normal (N)
 μ_k = koefisien gesek

Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga merupakan metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan problem matematis dari suatu gejala fisis. Menurut A. As'ad Sonief, (2003) tipe masalah teknis dan matematis fisis yang dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga terbagi dalam 2 kelompok, yaitu kelompok analisa struktur dan kelompok masalah-masalah non struktur.

Tipe-tipe permasalahan struktur tersebut meliputi :

1. Analisa tegangan (*stress*), meliputi analisa rangka (*truss*) dan rangka batang (*frame*) serta masalah-masalah yang berhubungan dengan tegangan-tegangan yang terkonsentrasi
2. Tekukan (*Bukling*)
3. Analisa getaran



Gambar 1. Permodelan Suatu Benda menggunakan Metode Elemen Hingga

Published September 2019

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

Tiap ujung dari elemen tersebut memiliki nodal yang terhubung satu sama lain dengan nodal dari elemen-elemen lainnya.

Tegangan dan Regangan Pada Bidang Tiga Dimensi

Secara umum, konsep dari regangan normal didefinisikan sebagai perbandingan antara perubahan panjang dengan panjang awal pada uji tarik. Maka secara matematis besarnya regangan dapat ditulis (Sigley, Joseph E. et, al. 2008):

$$\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{\Delta l}{L_0} \quad (2.2)$$

Dimana : ε = Regangan
 Δl = Perubahan panjang
 L_0 = Panjang awal

Berdasarkan hukum Hooke untuk uji tarik, hubungan antara tegangan dan regangan dapat dituliskan:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2.3)$$

Dimana: σ = Tegangan

E = Modulus Young atau modulus Elastisitas bahan

Pada sebuah uji tarik, tidak saja terdapat regangan aksial, tetapi juga terdapat regangan lateral. Sehingga dalam uji tarik dikenal dengan nilai Poisson ratio (ν).

$$\nu = - \frac{\text{regangan lateral}}{\text{regangan aksial}} \quad (2.4)$$

Untuk setiap bahan, nilai Poisson ratio berbeda-beda sesuai karakteristik bahan.

Berdasarkan Hukum Hooke, hubungan regangan geser γ dengan tegangan geser yang terjadi adalah:

$$\tau = G \cdot \gamma \quad (2.5)$$

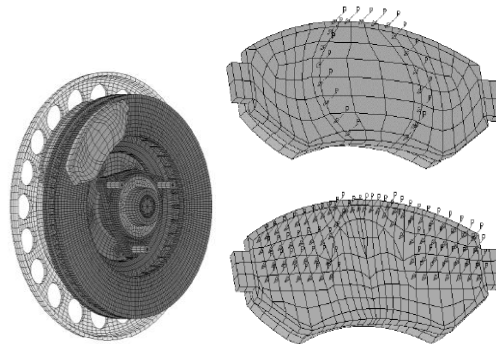
Dimana G adalah modulus geser elastis. Untuk material homogen dan isotropik, hubungan antara modulus elastisitas E , modulus geser elastis G , dan Poisson ratio dinyatakan dalam:

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad (2.6)$$

Analisa Tegangan Thermal Pada Sepatu Rem

Menurut Thomas Valvano. et, al., (2000) menyatakan bahwa performa dari rem berpengaruh penting kepada masuknya temperatur pada komponen komponendari suatu rem. Temperatur yang tinggi pada saat pemakaian rem berlangsung dapat menyebabkan rem tidak pakem, hancurnya komponen sebelum waktunya, penguapan cairan (vapor) dari suatu rem, rem blong, penghancuran thermal.

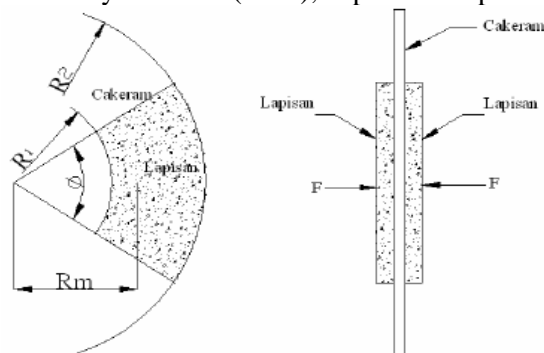
Published September 2019

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

(a) (b)

Gambar 2. (a) Pemodelan Rem dengan Elemen Hingga, (b) pengaplikasian tekanan didalam dan di luar sepatu rem

Adapun kelemahannya adalah umur lapisan yang relatif lebih pendek dikarenakan terjadinya gesekan secara kontiniu antara lapisan cakram dengan lapisan remnya. Serta ukuran silinder rem yang besar pada roda, dalam bukunya Sularso (1997), dapat dilihat pada Gambar 3 dibawah ini:



Gambar 3. Notasi untuk rem cakram

Jika lambang-lambang seperti diperlihatkan pada Gambar 2.15. dipakai, maka momen rem (T_1) yang terjadi dari satu sisi cakram adalah:

$$T = \mu \times F \times K \times R_m \quad (2.7)$$

Dimana: μ = Koefisien gesek lapisan sisi pengereman

F = Hasil perkalian antara luas piston atau silinder roda A_w (cm²) tekanan minyak P_w (kg/cm²)

T_1 = Momen rem

Satu cakram di tekan oleh gaya P (kg) x 2 dari kedua sisinya. Jika pusat tekanan ada di K_1 x $R_m = r$, maka faktor efektivitas rem (FER) adalah:

$$(FER) = \frac{2.T}{F.r} = 2\mu \quad (2.8)$$

Published September 2019

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

Harga faktor efektivitas tergantung pada macam dan ukuran dari silinder cakram rem tersebut. Dibandingkan dengan macam rem yang lainnya, rem cakram mempunyai harga FER terendah karena pemancaran panas yang sangat baik, sehingga banyak dipakai.

Lelah Thermal

Tegangan-tegangan thermal terjadi apabila perubahan dimensi benda akibat perubahan suhu dihalangi oleh suatu bentuk kendala. Pada batang yang kedua ujungnya dijepit, tegangan yang terjadi akibat perubahan suhu adalah

$$\sigma = E \alpha_1 \Delta T \quad (2.9)$$

Dimana : E = Modulus elastisita
 α_1 = Koefisien muai thermal
 ΔT = Perubahan suhu

Kecenderungan untuk mengalami kegagalan lelah thermal, berkaitan dengan parameter $\sigma_f/k/E\alpha$, dimana σ_f adalah kekuatan lelah pada suhu rata-rata, dan k adalah konduktivitas thermal. Nilai tinggi untuk parameter ini menandakan ketahanan thermal yang baik.

METODE PENELITIAN

Adapun material properties dari material gesek komposit dari sepatu rem yang akan dianalisa adalah sebagai berikut:

- Shear strength, $G = 978 \sim 1310 \text{ N/cm}^2$
- Modulus elastisitas, $E = 32030 \sim 53809 \text{ N/cm}^2$
- Konduktivitas thermal, $k = 0,77 \sim 0,93 \text{ W/m}^0\text{K}$

(Sumber : Sembiring, HarsaDelanis. 2008)

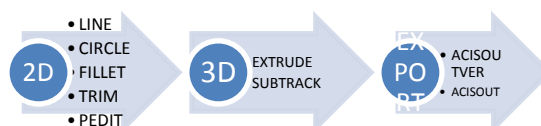
Untuk analisa selanjutnya maka diambil rata-rata dari data diatas sebagai berikut:

- Shear strength, $G = 11,44 \times 10^6 \text{ N/m}^2$
- Modulus elastisitas, $E = 429,2 \times 10^6 \text{ N/m}^2$
- Konduktivitas thermal, $k = 0,85 \text{ W/m}^0\text{K}$

Dari hasil survey didapat temperature pada saat bekerja adalah $150 \text{ }^\circ\text{C}$ ($423 \text{ }^\circ\text{K}$) dan temperature kamar adalah $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ($303 \text{ }^\circ\text{K}$).

Pemodelan

Adapun langkah pemodelan Sepatu rem dengan menggunakan AutoCAD 2008, namun dapat dilakukan dengan versi lebih rendah atau lebih tinggi. Adapun perintah-perintah yang digunakan dalam pembuatan sepatu rem dapat terlihat seperti *flowchart* di bawah ini:

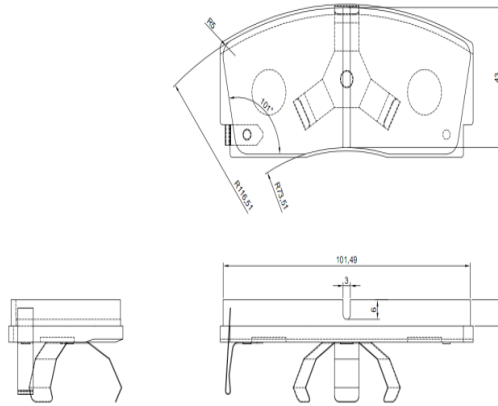


Gambar 4. Proses pemodelan dengan software AutoCAD

Published September 2019

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi

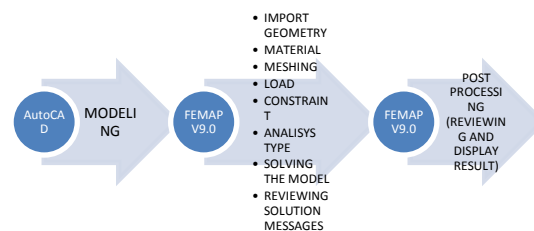
<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>



Gambar 5. 2D Sepatu rem model 1

Analisa

Adapun langkah analisa dengan menggunakan Software CAE yaitu FEMAP (Finite Element Modeling And Postprocessing) version 9.0 dan sebagai Preprocessing yaitu NX Nastran yang telah terintegrasi didalam FEMAP V9.0.

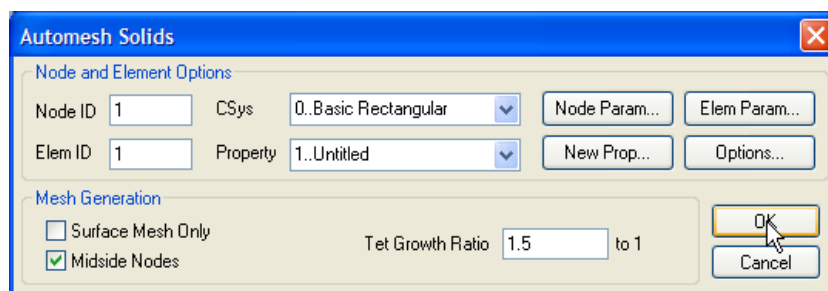


Gambar 6. Proses Analisa dengan FEMAP V9.0

Buka program FEMAP V9.0 lalu import geometri sepatu rem yang telah dibuat pada program AutoCAD, langkahnya sebagai berikut:

File – Import – Geometry ...

Selanjutnya bentuk mesh dengan nilai seperti dibawah, lalu klik *OK*, selanjutnya *Load...* Pilih Komposit_Keramik, lalu klik *OK*



Gambar 7. Sepatu rem yang telah di beri mesh dalam pandangan Isometri

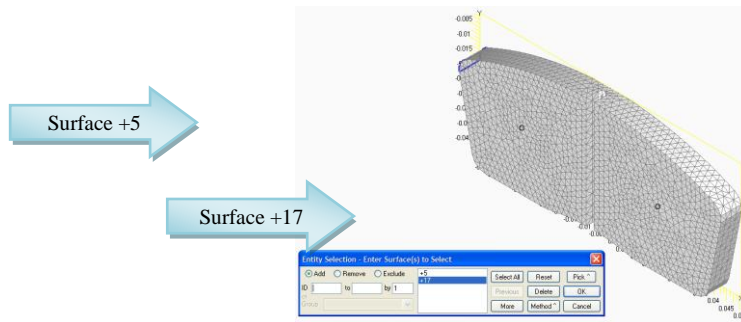
Model – Load – Body ...

Published September 2019

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi

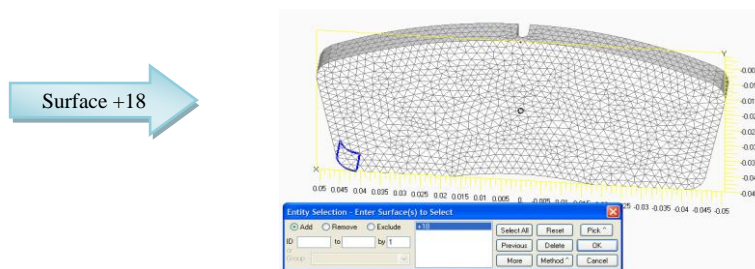
<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

Buat Title = Temperatur_Kamar, lalu klik *OK*
 Masukkan nilai temperature kamar 303 ⁰K.Lalu klik *OK*
Model – Load – On Surface ...



Gambar 8.

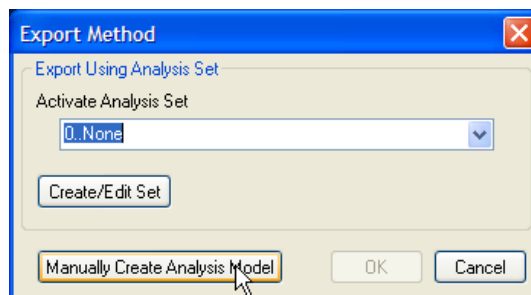
Pilih Surface 5 & 17 lalu klik *OK*
 Masukkan temperature kerja sepatu rem yaitu 423 ⁰K, lalu klik *OK*
Model – Constraint – On Surface ...



Gambar 9.

Pilih Surface 18, lalu klik *OK*, lalu pilih *Fixed* kemudian klik *OK*
File – Analyze ...

Klik *Manually Create Analysis Model*, kemudian pilih *Analysis Type = 20. Steady State Heat Transver*, lalu klik *OK*



Gambar 10.

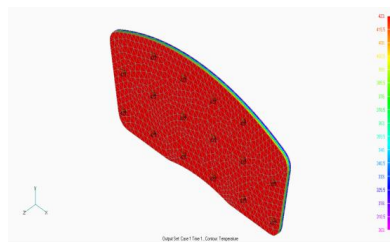
Published September 2019

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>**View – Select ... F5**

Pilih Contour Style : Contour, kemudian klik *Deformed and Contour Data...* lalu pilih *Contour: 31. Temperature*, kemudian klik *OK*

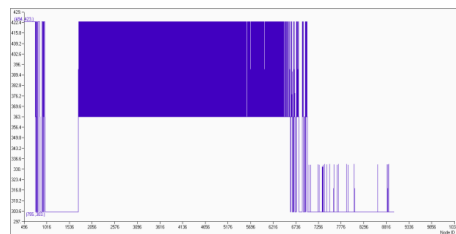
HASIL DAN PEMBAHASAN**Analisa Distribusi Temperatur Sepatu Rem Model 1**

Hasil simulasi elemen hingga untuk distribusi temperatur yang terjadi pada sepatu rem model 1 dengan ketebalan 2mm dapat dilihat pada Gambar 11 dibawah ini.



Gambar 11. Hasil simulasi Distribusi temperatur sepatu rem model 1 dengan ketebalan 2mm dilihat dari samping

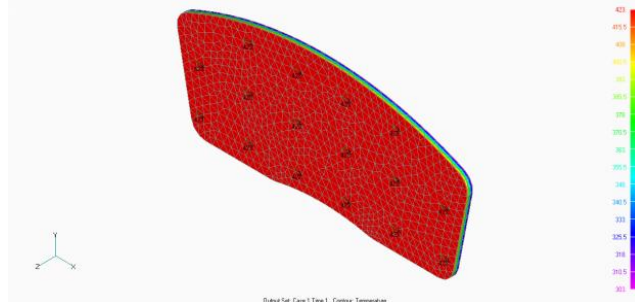
selanjutnya diperoleh grafik penjalaran distribusi temperatur yang terjadi pada elemen tersebut seperti pada Gambar 12 dibawah ini.



Gambar 12. Grafik Distribusi Temperatur – Element ID pada sepatu rem model 1 dengan ketebalan 2 mm

Analisa Distribusi Temperatur Sepatu Rem Model 2

Sedangkan hasil simulasi elemen hingga untuk distribusi temperatur yang terjadi pada sepatu rem model 2 dengan ketebalan 2mm dapat dilihat pada Gambar 13 dibawah ini.

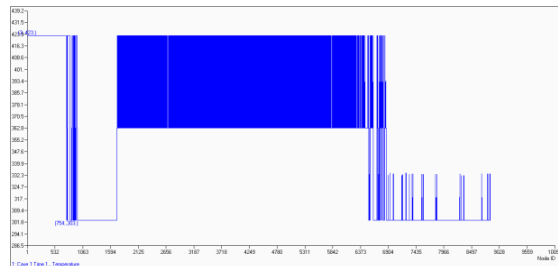


Gambar 13. Hasil simulasi Distribusi temperatur sepatu rem model 2 dengan ketebalan 2 mm dilihat dari samping

Published September 2019

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

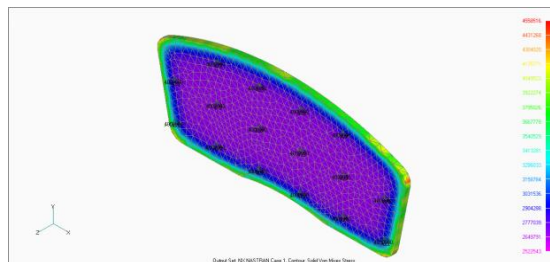
Setelah melakukan analisa distribusi temperatur yang terjadi pada pada sepatu rem model 2 dengan ketebalan **2mm**, maka selanjutnya akan diperoleh grafik penjalaran distribusi temperatur yang terjadi pada elemen tersebut seperti pada Gambar 14 dibawah ini.



Gambar 14. Grafik Distribusi Temperatur – Element ID pada sepatu rem model 2 dengan ketebalan 2 mm

Analisa Tegangan Thermal Sepatu Rem Model 1

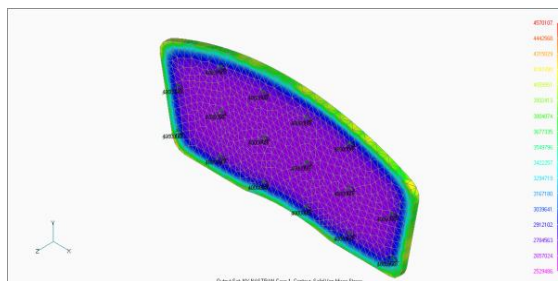
Hasil simulasi elemen hingga untuk tegangan thermal yang terjadi akibat adanya tekanan dari piston dan kenaikan temperatur pada sepatu rem model 1 dengan ketebalan 2mm dapat dilihat pada Gambar 15 dibawah ini. Dari Gambar terlihat bahwa $\sigma_{\max} = 4,5585\text{Mpa}$ dan $\sigma_{\min} = 2,5225\text{ Mpa}$.



Gambar 15. Hasil simulasi Tegangan Thermal sepatu rem model 1 dengan ketebalan 2 mm dilihat dari samping

Analisa Tegangan Thermal Sepatu Rem Model 2

Hasil simulasi elemen hingga untuk tegangan thermal yang terjadi akibat adanya tekanan dari piston dan kenaikan temperatur pada sepatu rem model 2 dengan ketebalan 2mm dapat dilihat pada Gambar 16 dibawah ini. Dari Gambar terlihat bahwa $\sigma_{\max} = 4,5701\text{Mpa}$ dan $\sigma_{\min} = 2,5295\text{ Mpa}$.



Gambar 16. Hasil simulasi Tegangan Thermal sepatu rem model 2 dengan ketebalan **2mm** dilihat dari samping

Published September 2019

Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

Perbandingan hasil simulasi tegangan thermal dari kedua model sepatu rem dapat disajikan dalam bentuk Tabel 1. seperti berikut ini :

Tabel 1. Perbandingan Tegangan Thermal

Model Sepatu Rem	Ketebalan Sepatu Rem (mm)	Tegangan Thermal (Mpa)	
		σ_{max}	σ_{min}
Sepatu Rem Model I	2	4,5585	2,5225
Sepatu Rem Model II	2	4,5701	2,5295
Selisih(%)		0,2538	0,2767

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dari Hasil Analisa terlihat bahwa pada desain sepatu rem model 2 memiliki distribusi temperatur yang lebih baik jika dibandingkan dengan desain sepatu rem model 1.
2. Tegangan thermal yang terjadi pada sepatu rem dengan ketebalan 2 mm dalam penelitian ini bahwa desain sepatu rem model 2 memiliki tegangan thermal 4,5701 Mpa maksimum dan 2,5295 Mpa Minimum yang lebih rendah dibandingkan sepatu rem model 1 tegangan thermal 4,5585 Mpa maksimum dan 2,5225 Mpa Minimum. Dengan selisih pengujian maksimum sebesar 0,25 % dan minimum sebesar 0,27 %.
3. Dengan turunnya temperatur kerja pengereman, maka harga koefisien gesek tidak turun terlalu besar, sehingga efektifitas pengereman lebih baik. Dan dengan menjaga koefisien gesek tidak turun terlalu besar, maka keausan kampas rem menjadi lebih rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wahyudi, D., Amelia. 2002, "*Optimasi Kekerasan Kampas Rem Dengan Metode Desain Eksperimen*", Diakses 19 November 2008 dari www.petra.ac.id/~puslit/journals/pdf.php?PublishedID=MES02040108
- [2] Shigley, Joseph E. Mischke, Charles R. Budynas, Richard G. 2008, *Mechanical Engineering Design*, Edisi kedelapan. McGraw-Hill, USA.
- [3] Gotowicki, Pier. et.al. 2005, "*Numerical And Experimental Analysis Of A Pegs-Wing Ventilated Disk Brake Rotor, With Pads And Cylinders*". EAEC 2005. <http://www.google.com>. Accessed January 10, 2007.
- [4] Gere, Timoshenko.(2000). "*Mekanika Bahan*", jilid 1. Penerjemah. Bambang Suryoatmono, Ir, MSc,Phd. Edisi keempat. PT. Erlangga, Jakarta.
- [5] Holman, J. P. 1995. "Perpindahan panas", Edisi Keenam, Terjemahan Ir. E. Jasjfi, Erlangga, Jakarta.
- [6] Valvano, Thomas., Lee, Kwangjin. 2000. "*An Analytical Method to Predict Thermal Distortion of a Brake Rotor*". SAE paper 2000-01-0445.<http://www.google.com>. Accessed November 02, 2007.
- [7] Sularso., Prof. Kiyosuga. 1987, "*Dasar-Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*", Edisi Ketiga, Penerbit PT. Pradiya Paramitha, Jakarta.

*Published September 2019***Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi**<http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>

-
- [8] Sonief, A.As'ad, Ir,MT. 2003, "*Diktat Metode Elemen Hingga Fakultas Teknik Mesin Universitas Brawijaya*", Malang.
- [9] Syahril, Ridwan. 2004, "*Pemodelan dan Analisa Tegangan Statis Pada Roda Gigi Lurus Berbantuan Komputer*". Tugas Akhir Teknik Mesin Institut Teknologi Medan, Medan.
- [10] Bakar, Abu, Abd, Rahim., Huajiang, Ouyang. 2005. "*Prediction Of Disc Brake Contact Pressure Distributions By Finite Element Analysis*" Universiti Teknologi Malaysia.
- [11] Kurniawan, Ade. 2008, "*Analisa Distribusi Tegangan Thermal pada Disk Brake Ventilasi dan Non Ventilasi dengan Menggunakan Software Simulasi Msc. Nastran*" Tugas Akhir Teknik Mesin Universitas Islam Sumatera Utara, Medan.
- [12] Sembiring, Harsa Delanis. 2008, "*Studi Analisis Pengaruh Kekuatan Backing Plate Dan Temperatur Pengereman Terhadap Modus Kegagalan Blok Rem Komposit Pada Kereta Dan Gerbong*", Tugas Akhir. Teknik Mesin. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- [13] <http://www.wikipedia.com>