

Analisis Desain Disc Brake Rotor Pada Kendaraan Roda Empat

A.L. Andriana Sjarip *), Amin Suhadi **)
 Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta
 Email: al_andriana@yahoo.com, aminsuhadi@gmail.com

ABSTRAK

Meningkatnya jumlah kendaraan yang tidak sebanding dengan penambahan ruas jalan, berpotensi meningkatkan angka kecelakaan lalu lintas. Dalam kurun waktu 2 tahun terakhir, setiap tahun di Indonesia tercatat hampir 3000 kejadian kecelakaan. Sebanyak 9,78% nya kejadian kecelakaan disebabkan karena faktor kendaraan, 59,03% faktor kendaraan yang dominan menimbulkan kecelakaan adalah karena rem [1]. Dari data Korlantas Mabes Polri menyebutkan bahwa 65,67% faktor penyebab kecelakaan adalah karena faktor kelalaian manusia dan kendaraan [2]. Lima aspek dari kendaraan pemicu kecelakaan lalu lintas sebesar 59,03% disebabkan karena rem yang kurang berfungsi [3]. Kasus panas memiliki efek yang besar terhadap pengereman, selain dapat memacetkan gerakan piston pendorong kampas rem, panas juga akan menurunkan koefisien gesek kampas rem secara drastis [4]. Sehingga, untuk mendapatkan pengereman yang efektif pada kondisi panas lebih, memerlukan gaya pengereman yang lebih besar. Keadaan ini berpotensi merusak *seal* atau selang minyak rem sehingga rem gagal berfungsi (blong).

Penelitian ini menghasilkan tipe *disc brake rotor* yang optimal melepas panas untuk kendaraan pada penelitian ini adalah tipe *drilled disc rotor*, yaitu model desain 7. Dengan jumlah lubang pada rotornya sebanyak 70 buah dengan diameter 5 mm. Desain *disc brake rotor* nya dibuat adanya alur melingkar antara piringannya dan dudukan ke porosnya. Dari hasil simulasi dengan menggunakan bantuan perangkat lunak Ansys menunjukkan hasil analisis *equivalent elastic strain disc brake* untuk simulasi tipe *static structural*, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa *equivalent elastic strain* terbesar yaitu sebesar sebesar 1.6711e-5 mm. Selanjutnya untuk hasil analisis *equivalent stress disc brake* untuk simulasi tipe *equivalent (von-Mises) stress*, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa *equivalent stress* terbesar yaitu sebesar sebesar 3.2985 MPa. Pada hasil analisis *total deformation disc brake* untuk simulasi tipe *static structural*, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa deformasi terbesar berada pada diameter terluar sebesar 0.00068122 mm.

Kata kunci : *disc brake rotor, drilled disc rotor, equivalent elastic strain, equivalent stress disc brake, total deformation*

ABSTRACT

The increasing number of vehicles that are not proportional to the addition of road sections, has the potential to increase the number of traffic accidents. In the last 2 years, every year in Indonesia there were almost 3000 accident incidents. As many as 9.78% of the accident occurrences were caused by vehicle factors, 59.03% of the dominant vehicle factors caused accidents were due to brakes [1]. From Korlantas Police Headquarters data states that 65.67% of the causes of accidents are due to human and vehicle negligence [2]. Five aspects of the vehicle triggering the traffic accident amounted to 59.03% due to a malfunctioning brake [3]. The case of heat has a great effect on braking, in addition to being able to jam the piston driving force of the brake lining, heat will also reduce the brake coefficient of the brake drastically [4]. So, to get effective braking in more hot conditions, requires greater braking force. This situation has the potential to damage the seal or brake fluid hose so that the brakes fail to function (blong).

This research produces an optimal type of disc brake rotor to release heat for vehicles in this study is the type of drilled disc rotor, which is a design model 7. With 70 holes in the rotor with 5 mm in diameter. The design of the disc brake rotor is made of a circular groove between the disc and the holder to the shaft. From the simulation results using Ansys software, the results of analysis of equivalent elastic strain disc brakes for static structural type simulations can be concluded that the largest equivalent elastic strain is equal to 1.6711e-5 mm. Furthermore, for the results of the analysis of equivalent stress disc brakes for simulating equivalent type (von-Mises) stress, it can be concluded that the largest equivalent stress is equal to 3,2985 MPa. In the analysis result of total disc brake deformation for static structural type simulation, it can be concluded that the largest deformation is at the outer diameter of 0.00068122 mm.

Keywords : *disc brake rotor, drilled disc rotor, equivalent elastic strain, equivalent stress disc brake, total deformation*

I. PENDAHULUAN

Meningkatnya jumlah kendaraan yang tidak sebanding dengan penambahan ruas jalan, berpotensi meningkatkan angka kecelakaan lalu lintas. Dalam kurun waktu 2 tahun terakhir, setiap tahun di Indonesia tercatat hampir 3000 kejadian kecelakaan. Sebanyak 9,78% nya kejadian kecelakaan disebabkan karena faktor kendaraan, 59,03% faktor kendaraan yang dominan menimbulkan kecelakaan adalah karena rem[1]. Dari data Korlantas Mabes Polri menyebutkan bahwa 65,67% faktor penyebab kecelakaan adalah karena faktor kelalaian manusia dan kendaraan[2]. Lima aspek dari kendaraan pemicu kecelakaan lalu lintas sebesar 59,03% disebabkan karena rem yang kurang berfungsi[3].

Sistem pengereman adalah salah satu komponen keselamatan kendaraan yang sangat penting. Hal ini terutama digunakan untuk memperlambat kendaraan dari kecepatan awal ke kecepatan yang diinginkan. Pada saat pengereman, panas yang diterima komponen rem dilepaskan ke udara bebas, secara alami. 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*). Panas yang berlebihan juga dapat terjadi dalam waktu yang relatif singkat. Misalnya, ketika kendaraan berat melakukan pengereman secara mendadak. 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.

Kasus panas memiliki efek yang besar terhadap pengereman, selain dapat memacetkan gerakan piston pendorong kampas rem, panas juga akan menurunkan koefisien gesek kampas rem secara drastis[4]. Sehingga, untuk mendapatkan pengereman yang efektif pada kondisi panas lebih, memerlukan gaya pengereman yang lebih besar. Keadaan ini

berpotensi merusak *seal* atau selang minyak rem sehingga rem gagal berfungsi (blong). Terdapat dua tipe utama rotor rem berkinerja tinggi, yaitu *drilled disc rotor* dan *slotted disc rotor*. *Drilled disc rotor* seperti namanya, memiliki lubang yang dibor di dalamnya. Hal ini akan membuat kita beranggapan bahwa rotor penuh lubang berarti ada sedikit luas permukaan bantalan rem untuk memperlambat dan menghentikan laju kendaraan, tetapi ada beberapa hal yang menjadi alasan mengebor rotor masuk akal[5].

Penelitian ini didasari oleh penelitian-penelitian sebelumnya yang akan dibahas seperti berikut. A. Belhocine, C.-D. Cho, M. Nouby, Y. B. Yi, A. R. Abu Bakar, dalam penelitiannya peneliti mempresentasikan hasil perilaku termal *solid disc brake* dan *ventilated disc brake* dalam keadaan transien[6]. Sanaka. Durga Srinivas Prasad, K. Sandeep Kumar, penelitian ini menyajikan keunggulan kinerja *drilled disc rotor* dibandingkan dengan *solid disc rotor*, dan dapat ditawarkan/direkomendasikan untuk digunakan dalam rem cakram otomotif karena menawarkan lebih cepat melepaskan panas dan lebih ringan[7]. Deng-Kai Chen, melakukan percobaan untuk mengetahui pengaruh dari *cross drilling* dan *slotting* terhadap suhu rotor serta efek pada suhu sistem pengereman keseluruhan. Pada jarak 4,8 kilometer, *cross drilling* dan *slotting rotor* yang berjalan rata-rata 20% lebih dingin dari komponen bawaannya. Pada jarak 9,2 kilometer, *cross drilling* dan *slotting rotor* yang berjalan rata-rata 35% lebih dingin daripada rotor bawaannya[8]. Pandya Nakul Amrish, Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis perbedaan model *disc brake rotors*. *Solid rotor* dan *drilled rotor* dibuat dengan bantuan komputer desain software *Solidwork* dan di analisis pada perangkat lunak ANSYS[9]. R. S. Kajabe1, R. R. Navthar, penelitian ini mengulas tentang rem cakram rotor melalui pemodelan & analisis berbagai bentuk *disc rotor* rem kendaraan yang berbeda dengan diameter luar yang sama dan posisi mounting dalam lubang pada hub roda pada Bajaj Pulsar 150, hasil dari simulasi software pada kriteria kekuatan dan massa menunjukkan modifikasi bentuk memberikan nilai yang optimum[10].

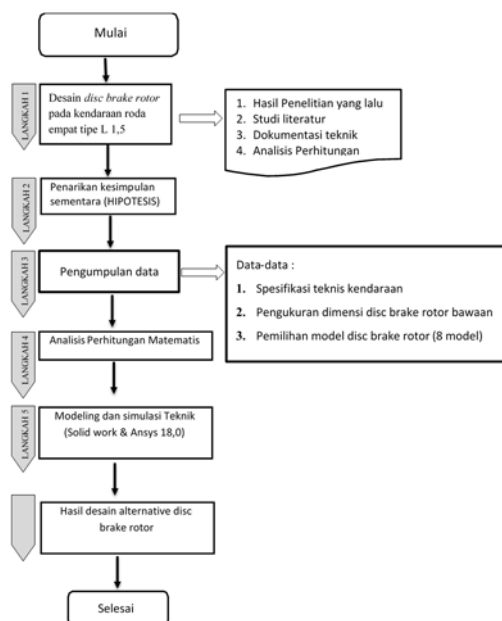
Berdasarkan latar belakang dan kajian pustaka di atas, maka tujuan utama dari

penelitian ini yaitu menganalisis variable penentu pelepasan panas pada *disc brake rotor*, mempelajari lebih lanjut korelasi antara diameter, jumlah dan pola susunan lubang pada *disc brake rotor* terhadap pelepasan panas, mendesain model *disc brake rotor* yang optimal pada kendaraan roda empat ini, menganalisis struktur statik yang terjadi pada *disc brake rotor*.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada kendaraan roda empat, yaitu menganalisis desain *disc brake rotor* yang standarnya berupa tipe *normal disc rotor (ventilated)* menjadi *drilled disc rotor* dengan dimensi rotor yang tetap. Dengan mengsinkronkan ukuran, jumlah dan pola susunan lubang dari *drilled disc brake* berbagai jenis kendaraan lain supaya diperoleh desain yang optimal untuk kendaraan jenis ini khususnya dalam pencegahan panas berlebih/*over heat* atau pelepasan panas yang optimal. Selanjutnya model yang paling optimal tersebut melalui tahapan analisis struktur, Sehingga hasil desain yang diperoleh bisa dibuat dan digunakan untuk kendaraan ini.

Agar penelitian dapat terarah, maka dilakukan beberapa tahapan seperti dijelaskan pada gambar.1 yaitu gambar diagram alir penelitian dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

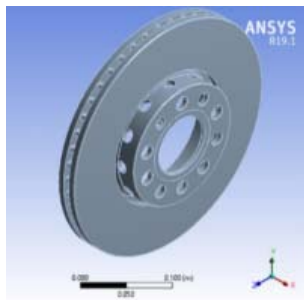
Tema penelitian yang akan dilakukan bersifat menggabungkan beberapa sifat penelitian yang bersifat baru didasari dan melakukan desain optimasi dari penelitian tersebut untuk dapat diterapkan dalam kehidupan nyata. Maka proses dan kegiatan penelitian ini akan dilakukan pada dua metode, yaitu penelitian pada skala laboratorium dan analisa menggunakan aplikasi simulasi teknik di laboratorium, sehingga durasi waktu proses penelitian terjadi cukup panjang. Dalam rencananya proses penelitian ini membutuhkan durasi waktu 6 bulan hingga rampung dalam bentuk tulisan.

Sebagai langkah awal yaitu melakukan studi pustaka, pengumpulan informasi tentang *disc brake system*, baik itu dari buku sumber/literatur atau dari penelitian-penelitian terdahulu melalui jurnal- jurnal penelitian sejenis tentang *disc brake rotor*, baik dari analisis matematis, simulasi teknik dan eksperimen. Pada langkah kedua peneliti melakukan hipotesis dasar berdasarkan data-data dari studi pustaka dan dari penelitian-penelitian sebelumnya dapat disimpulkan bahwa *drilled disc rotor* memiliki sifat pendinginan/pelepasan panas yang lebih baik dari *solid/ventilasi disc rotor*. Pada langkah ketiga peneliti melakukan pengumpulann data spesifikasi teknis dari kendaraan MPV, mulai dari massa kendaraan, torsi maksimum, kecepatan maksimum, sistem pengeremannya dan lain-lain. Pada langkah ini juga dilakukan pengukuran aktual dimensi *disc brake rotor* yang dimiliki kendaraan ini dengan melakukan pengefraisan agar dimensi ventilasi nya dapat diukur secara aktual. Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap 8 model *disc brake* dengan metode uji jalan secara langsung pada kendaraan dan memasang *disc brake* secara bergantian. Pada langkah ini peneliti melakukan analisis perhitungan matematis yaitu mencari data-data yang belum diketahui dengan menggunakan persamaan-persamaan yang akan digunakan pada saat melakukan langkah-langkah simulasi. Pada langkah ini peneliti melakukan simulasi dengan *software* bernama ansys 18.0. Pada *software* tersebut dilakukan simulasi perlakuan panas pada masing-masing model *disc brake rotor* dengan dua metode yaitu

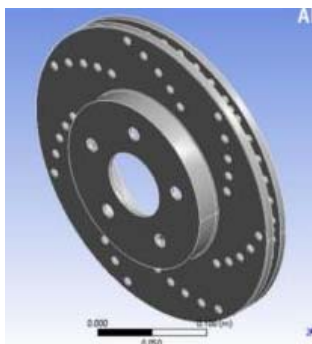
transient dan *steady state*. Sebelumnya model-model *disc brake rotor* tersebut dilakukan desain dasar menggunakan *software* solidwork 2017 yang kemudian dimasukkan ke *software* ansys 18.0. Pada langkah keenam peneliti melakukan simulasi teknik membandingkan data yang diperoleh dari hasil simulasi dari model-model *disc brake rotor* tersebut kemudian disimpulkan dengan mengurutkannya berdasarkan cara pengukuran *heat flux* nya yaitu *transient thermal* dan *steady state*. Sehingga diperoleh model alternatif yang memiliki sifat melepas panas yang optimal.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

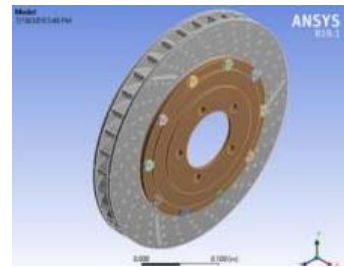
Pada penelitian ini diambil 8 model *disc brake rotor* yang ada di pasaran dengan dimensinya disesuaikan dengan *disc* yang dimiliki kendaraan MPV, agar nantinya hasil desain yang paling optimal dapat digunakan pada kendaraan jenis ini.



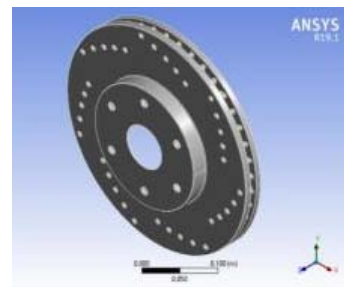
Gambar 2. Model 1 desain *disc brake rotor*



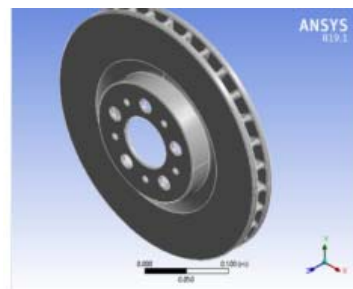
Gambar 3. Model 2 desain *disc brake rotor*



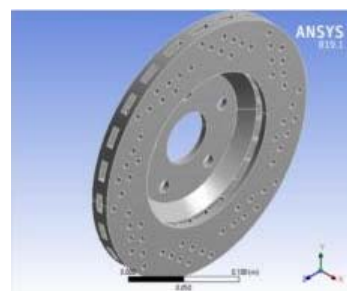
Gambar 4. Model 3 desain *disc brake rotor*



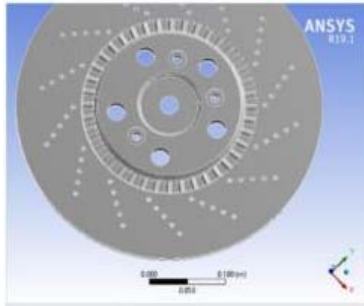
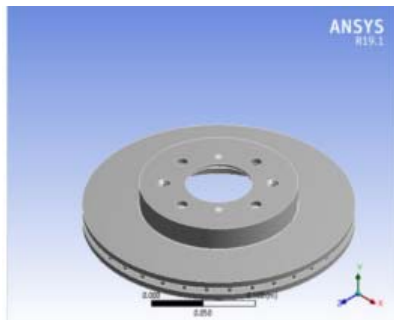
Gambar 5. Model 4 desain *disc brake rotor*



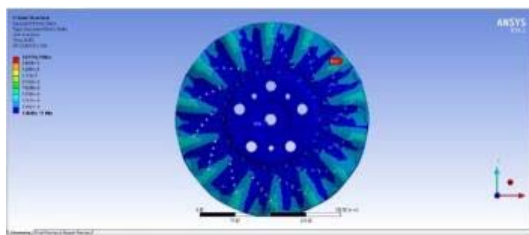
Gambar 6. Model 5 desain *disc brake rotor*



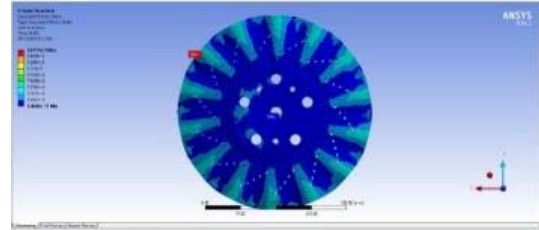
Gambar 7. Model 6 desain *disc brake rotor*

Gambar 8. Model 7 desain *disc brake rotor*Gambar 9. Model 8 desain *disc brake rotor*

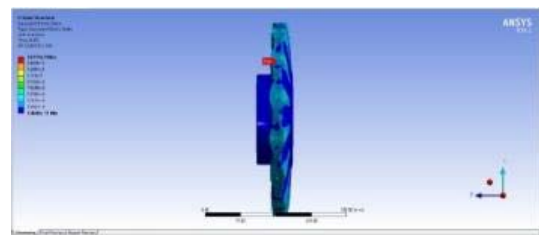
Equivalent elastic strain digunakan untuk mencari regangan pada permukaan *interface disc brake*, Analisis *equivalent elastic strain* dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak Ansys, dan pada simulasi ditentukan dengan tipe *static structural*, dan akan dijelaskan seperti dibawah ini.

Gambar 10. *Equivalent elastic strain disc brake* bagian depan

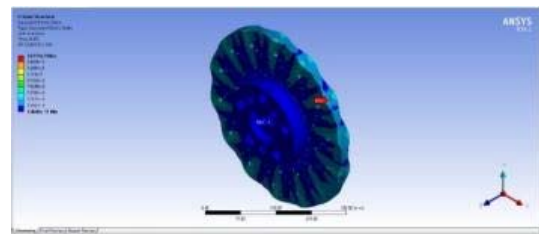
Gambar.10 diatas menampilkan hasil analisis *equivalent elastic strain disc brake* bagian depan untuk simulasi tipe *static structural*.

Gambar 11. *Equivalent elastic strain disc brake* bagian belakang

Gambar.11 diatas menampilkan hasil analisis *equivalent elastic strain disc brake* bagian belakang untuk simulasi tipe *static structural*.

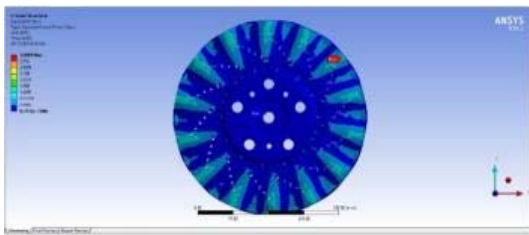
Gambar 12. *Equivalent elastic strain disc brake* bagian samping

Gambar.12 diatas menampilkan hasil analisis *equivalent elastic strain disc brake* bagian samping untuk simulasi tipe *static structural*.

Gambar 13. *Equivalent elastic strain disc brake* tampak keseluruhan

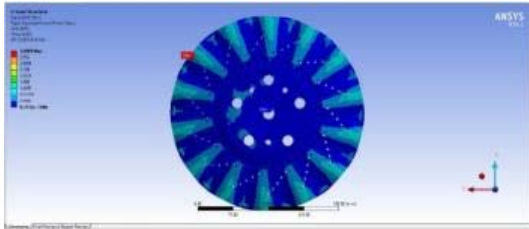
Gambar.13 diatas menampilkan hasil analisis *equivalent elastic strain disc brake* tampak keseluruhan untuk simulasi tipe *static structural*. Berdasarkan gambar.10, gambar.11, gambar.12, dan gambar.13 diatas menunjukkan hasil analisis *equivalent elastic strain disc brake* untuk simulasi tipe *static structural*, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa *equivalent elastic strain* terbesar yaitu sebesar sebesar $1.6711e-5$ mm.

Dalam ilmu material dan teknik, kriteria luluh *von Mises* dapat juga diformulasikan dalam *von Mises stress* atau *equivalent tensile stress*. Tegangan *von Mises* digunakan untuk memprediksi tingkat keluluhan material terhadap kondisi pembebanan dari hasil pengujian tarik simple uniaksial. Analisis *equivalent stress* dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak Ansys, dan pada simulasi ditentukan dengan tipe *equivalent (von-Mises) stress*, dan akan dijelaskan seperti dibawah ini.



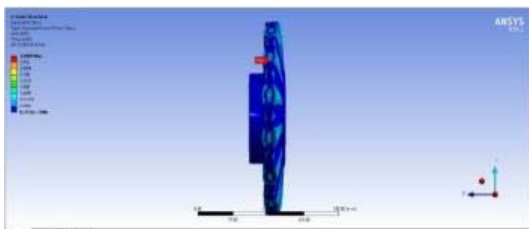
Gambar 14. *Equivalent stress disc brake* bagian depan

Gambar.14 diatas menampilkan hasil analisis *equivalent stress disc brake* bagian depan untuk simulasi tipe *equivalent (von-Mises) stress*.



Gambar 15. *Equivalent stress disc brake* bagian belakang

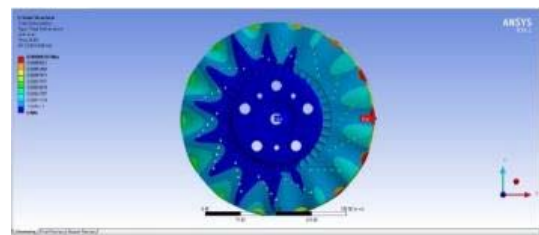
Gambar.15 diatas menampilkan hasil analisis *equivalent stress disc brake* bagian belakang untuk simulasi tipe *equivalent (von-Mises) stress*.



Gambar 16. *Equivalent stress disc brake* bagian belakang

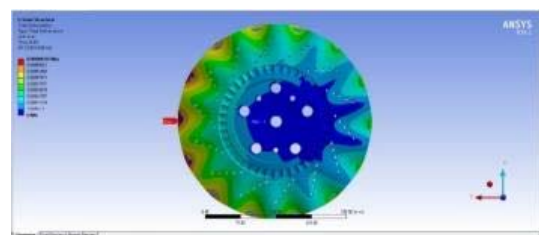
Gambar.16 diatas menampilkan hasil analisis *equivalent stress disc brake* tampak keseluruhan untuk simulasi tipe *equivalent (von-Mises) stress*. Berdasarkan gambar.14, gambar.15, dan gambar.16 diatas menunjukkan hasil analisis *equivalent stress disc brake* untuk simulasi tipe *equivalent (von-Mises) stress*, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa *equivalent stress* terbesar yaitu sebesar sebesar 3.2985 MPa.

Apabila suatu benda kerja dikenai beban sampai daerah plastis, maka perubahan bentuk yang terjadi adalah gabungan antara deformasi elastis dan deformasi plastis. Penjumlahan dari kedua deformasi ini merupakan *total deformation*. Analisis *total deformation* dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak Ansys, dan pada simulasi ditentukan dengan tipe *static structural*, dan akan dijelaskan seperti dibawah ini.



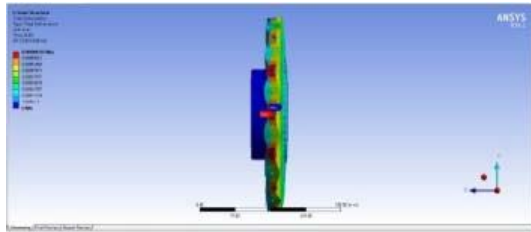
Gambar 17. *Total deformation disc brake* bagian depan

Gambar.17 diatas menampilkan hasil analisis *total deformation disc brake* bagian depan untuk simulasi tipe *static structural*.



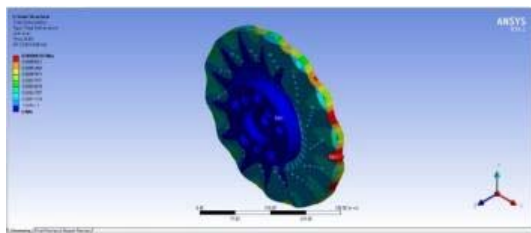
Gambar 18. *Total deformation disc brake* bagian belakang

Gambar.18 diatas menampilkan hasil analisis *total deformation disc brake* bagian belakang untuk simulasi tipe *static structural*.



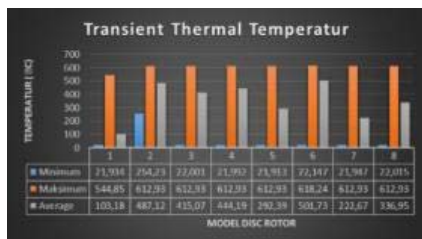
Gambar 19. Total deformation disc brake bagian samping

Gambar.19 diatas menampilkan hasil analisis total deformation disc brake bagian samping untuk simulasi tipe static structural.



Gambar 20. Total deformation disc brake tampak keseluruhan

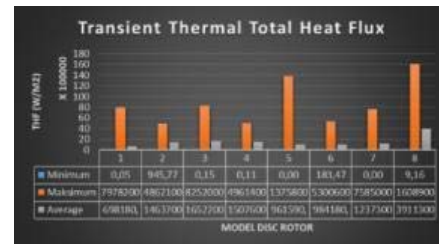
Gambar.20 diatas menampilkan hasil analisis total deformation disc brake tampak keseluruhan untuk simulasi tipe static structural. Berdasarkan gambar.17, gambar.18, gambar.19, dan gambar.20 diatas menunjukkan hasil analisis total deformation disc brake untuk simulasi tipe static structural, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa deformasi terbesar berada pada diameter terluar sebesar 0.00068122 mm.



Gambar 21. Grafik transient thermal temperatur

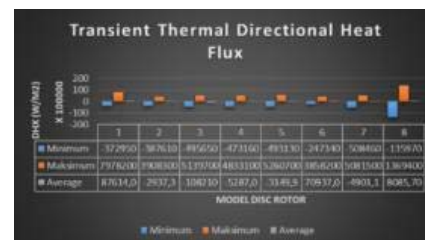
Pada gambar.21 diatas menunjukkan grafik hasil pengolahan menggunakan transient thermal, terlihat pada grafik bahwa urutan pertama yang memiliki temperature rata-rata dimiliki oleh model 1 dimana terlihat pada model 1 yang merupakan disc rotor dengan ventilasi tanpa adanya lubang yang berhubungan langsung dengan pad rem dengan suhu rata-rata 103,18°C. Selanjutnya urutan kedua yang memiliki suhu 222,67°C dimiliki oleh model 7 yang merupakan

sebuah disc rotor dengan ventilasi dan variasi lubang dengan variasi perantara antara disc rotor yang berhubungan dengan pad rem dan lubang penghubung dengan poros. Pada urutan ketiga dengan suhu 292,39°C terlihat pada model 5 dimana merupakan disc dengan ventilasi tanpa lubang tetapi menggunakan variasi perantara antara disc rotor yang berhubungan dengan pad rem dan lubang penghubung dengan poros.



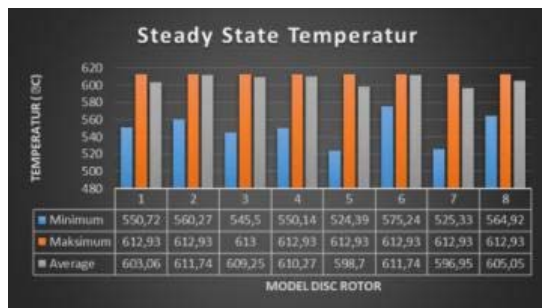
Gambar 22. Grafik transient thermal total heat flux

Pada gambar.22 diatas menunjukkan grafik hasil pengolahan menggunakan transient thermal, terlihat pada grafik bahwa urutan pertama yang memiliki total heat flux rata-rata dimiliki oleh model 8 yang merupakan disc rotor dengan ventilasi tanpa ada lubang dan variasi perantara antara disc yang berhubungan dengan pad rem dan lubang penghubung dengan poros menghasilkan nilai 3911300 W/m², dan model 8 ini adalah model disc rotor bawaan kendaraan MPV ini. Selanjutnya urutan kedua ditempati oleh model 3 dengan nilai 1652200 W/m² yang merupakan model gabungan ventilasi dengan lubang serta drill. Untuk urutan ketiga selanjutnya ditempati oleh model 4 dengan nilai 1507600 W/m² yang merupakan model dengan gabungan ventilasi dengan lubang tanpa ada variasi perantara antara disc yang berhubungan dengan pad rem dan lubang penghubung dengan poros.



Gambar 23. Grafik transient thermal total heat flux

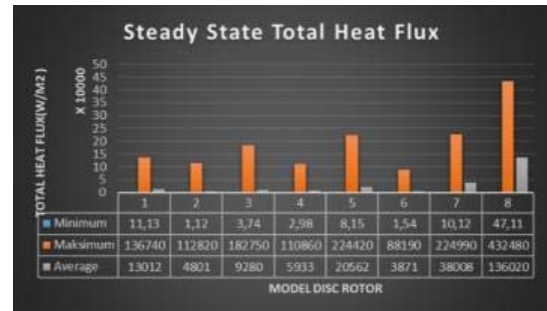
Pada gambar.23 diatas menunjukkan grafik hasil *directional heat flux* terbaik yang merupakan nilai rata-rata yang paling mendekati dengan nilai kesetimbangan, dimana dijelaskan bahwa benda tersebut lebih stabil dalam mengalirkan *heat flux* tanpa adanya tegangan berlebihan yang mengakibatkan panas yang tidak stabil didalam aliran panas setiap luas penampang. Nilai *directional heat flux* rata-rata urutan pertama yang paling mendekati titik kesetimbangan di tempati model 2 dengan nilai 2937.3 W/m² dengan model gabungan ventilasi dan lubang tanpa adanya variasi perantara antara *disc* rotor yang berhubungan dengan *pad* rem dan lubang penghubung dengan poros. Urutan kedua ditempati oleh model 5 dengan nilai 3149.9 W/m² yang merupakan bentuk model gabungan ventilasi dan variasi perantara antara *disc* yang berhubungan dengan *pad* rem dan lubang penghubung dengan poros. Sedangkan urutan ketiga ditempati oleh model 7 dengan nilai 4901,1 W/m², merupakan *disc* rotor dengan ventilasi dan variasi lubang dengan variasi perantara antara *disc* rotor yang berhubungan dengan *pad* rem dan lubang penghubung dengan poros



Gambar 24. Grafik *steady state* temperatur

Pada gambar.24 diatas menunjukkan grafik hasil pengolahan data menggunakan *steady state*, model dengan temperatur rata-rata yang paling rendah merupakan model yang paling stabil dalam mengalirkan panas. Urutan pertama ditempati oleh model 7 dengan nilai 596.95 °C yang merupakan *disc* rotor dengan ventilasi dan variasi lubang dengan variasi perantara antara *disc* rotor yang berhubungan dengan *pad* rem dan lubang penghubung dengan poros. Urutan kedua ditempati model 5 dengan nilai 598.7 °C dimana sebuah model *disc* dengan ventilasi tanpa lubang tetapi menggunakan

variasi perantara antara *disc* yang berhubungan dengan *pad* rem dan lubang penghubung dengan poros. Urutan ketiga ditempati oleh model 1 yang merupakan *disc* rotor dengan ventilasi tanpa adanya lubang yang berhubungan langsung dengan *pad* rem dengan suhu rata-rata 603,06°C



Gambar 25. Grafik *steady state total heat flux*

Pada gambar.25 diatas menunjukkan grafik hasil *steady state total heat flux*. Berdasarkan rumus, semakin besar nilai *heat flux* maka semakin rendah nilai rata-rata temperature yang menjelaskan bahwa transfer panas pada bahan berbanding lurus dengan luas penampang. Urutan pertama nilai *heat flux* tertinggi terjadi pada model 8 dengan nilai 136020 W/m² merupakan *disc* dengan ventilasi tanpa ada lubang dan variasi perantara antara *disc* yang berhubungan dengan *pad* rem dan lubang penghubung dengan poros. Urutan kedua dengan nilai *heat flux* 38008 W/m² diberikan oleh model 7 yang merupakan model sebuah *disc* dengan ventilasi dan variasi lubang dengan variasi perantara antara *disc* yang berhubungan dengan *pad* rem dan lubang penghubung dengan poros. Urutan ketiga diberikan oleh model 5 dengan nilai *heat flux* 20562 W/m² dimana sebuah model *disc* dengan ventilasi tanpa lubang tetapi menggunakan variasi perantara antara *disc* yang berhubungan dengan *pad* rem dan lubang penghubung dengan poros.



Gambar 26. Grafik *steady state directional heat flux*

Pada gambar.26 diatas menunjukkan grafik hasil *directional heat flux*, nilai yang terbaik merupakan nilai rata-rata yang paling mendekati dengan nilai kesetimbangan, dimana menjelaskan bahwa benda tersebut lebih stabil dalam mengalirkan *heat flux* tanpa adanya tegangan berlebihan yang mengakibatkan panas yang tidak stabil didalam aliran panas setiap luas penampang. Urutan pertama diberikan oleh model 2 dengan nilai 3.8335 W/m² yang merupakan model gabungan ventilasi dan lubang tanpa adanya variasi perantara antara *disc* yang berhubungan dengan pad rem dan lubang penghubung dengan poros. Urutan kedua dengan nilai 12.032 W/m² oleh model 4 dengan model dengan gabungan ventilasi dengan lubang tanpa ada variasi perantara antara *disc* yang berhubungan dengan pad rem dan lubang penghubung dengan poros. Urutan ketiga ditempati oleh model 5 dengan nilai 75,10, dimana sebuah model *disc* dengan ventilasi tanpa lubang tetapi menggunakan variasi perantara antara *disc* yang berhubungan dengan pad rem dan lubang penghubung dengan poros.

Tabel 1. Tabel urutan desain *disc brake rotor* berdasarkan temperatur.

Urutan	Steady	Transient
1	Model 7	Model 1
2	Model 5	Model 7
3	Model 1	Model 5
4	Model 8	Model 8
5	Model 3	Model 3
6	Model 4	Model 4
7	Model 2	Model 2
8	Model 6	Model 6

Tabel.1 diatas menunjukkan urutan pada desain *disc brake rotor* berdasarkan temperatur. Urutan temperature mulai dari terendah ke temperature tertinggi.

Tabel 2. Tabel urutan desain *disc brake rotor* berdasarkan *total heat flux*.

Urutan	Steady	Transient
1	Model 8	Model 8
2	Model 7	Model 3
3	Model 5	Model 4
4	Model 1	Model 2

Urutan	Steady	Transient
5	Model 3	Model 7
6	Model 4	Model 6
7	Model 2	Model 5
8	Model 6	Model 1

Tabel.2 diatas menunjukkan urutan pada desain *disc brake rotor* berdasarkan *total heat flux*. Urutan mulai dari tertinggi ke yang terendah.

Tabel 3. Tabel urutan desain *disc brake rotor* berdasarkan *directional heat flux*.

Urutan	Steady	Transient
1	Model 2	Model 2
2	Model 4	Model 5
3	Model 5	Model 7
4	Model 7	Model 4
5	Model 8	Model 8
6	Model 3	Model 6
7	Model 6	Model 1
8	Model 1	Model 3

Tabel.3 diatas menunjukkan urutan pada desain *disc brake rotor* berdasarkan temperatur. Urutan mulai dari yang terdekat ke titik nol.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan beberapa kesimpulan yang dapat digunakan sebagai rekomendasi untuk penelitian berikutnya. Tipe *disc brake rotor* yang optimal melepas panas untuk kendaraan pada penelitian ini adalah tipe *drilled disc rotor*, yaitu model desain 7. Dengan jumlah lubang pada rotornya sebanyak 70 buah dengan diameter 5 mm. Desain *disc brake rotor* nya dibuat adanya alur melingkar antara piringannya dan dudukan ke porosnya.

Selain lubang-lubang pada *disc brake rotor*, bagian yang sangat signifikan berpengaruh terhadap optimalnya pelepasan panas pada saat terjadi pengereman adalah adanya alur melingkar antara penampang *pad* pada *rotor* dan dudukan *rotor* ke poros roda. Hal ini bisa dilihat pada desain model 5, meskipun hanya tipe *ventilated disc rotor* dan tidak berlubang/*drilled disc rotor* tetapi sangat signifikan dalam pelepasan

panasnya. *Disc brake* dengan jumlah lubang ventilasi yang lebih sedikit, setelah proses pengereman, akan menghasilkan temperatur yang lebih tinggi pada permukaan *disc* jika dibandingkan dengan *disc brake* lain yang jumlah lubang ventilasi yang lebih banyak, akan tetapi jarak pengereman yang dibutuhkan oleh *disc brake* lebih pendek dibandingkan dengan *disc brake* dengan jumlah lubang ventilasi yang lebih banyak. Demikian juga sebaliknya, *disc brake* dengan jumlah lubang ventilasi yang lebih banyak, setelah pengereman, temperatur yang dihasilkan pada permukaan *disc* akan lebih rendah dibandingkan *disc brake* lain dengan jumlah lubang ventilasi yang lebih sedikit akan tetapi jarak pengereman yang dibutuhkan menjadi lebih panjang.

Dari hasil simulasi dengan menggunakan bantuan perangkat lunak Ansys menunjukkan hasil analisis *equivalent elastic strain disc brake* untuk simulasi tipe *static structural*, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa *equivalent elastic strain* terbesar yaitu sebesar sebesar 1.6711e-5 mm. Selanjutnya untuk hasil analisis *equivalent stress disc brake* untuk simulasi tipe *equivalent (von-Mises) stress*, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa *equivalent stress* terbesar yaitu sebesar sebesar 3.2985 MPa. Pada hasil analisis *total deformation disc brake* untuk simulasi tipe *static structural*, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa deformasi terbesar berada pada diameter terluar sebesar 0.00068122 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] "Angka Kecelakaan dan Korban Meninggal Arus Mudik 2016 Turun Signifikan," 14 Juli 2016. [Online]. Available: <http://www.republika.co.id/>
- [2] F. Arnando, "Analisa Kecelakaan Lalu Lintas di Indonesia Dengan Pengguna Kendaraan Bermotor Serta Penyebabnya," 2017.
- [3] E. Rusyanto, "Traffic, Masalah Rem Penyebab Terbesar Kecelakaan," 2016.
- [4] A. Lubi, "Perancangan Kampas Rem Beralur Dala Usaha Meningkatkan Kinerja Serta Umur Dari Kampas Rem," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 1, no. 22, 2001.
- [5] "Brake Parts - Brake Rotors," [Online]. Available: <https://www.auto.howstuffworks.com/auto-parts/brakes/brake-parts/brake-rotors1.htm>. [Accessed 14 Juni 2017].
- [6] M. Bouchetara, A. Belhocine, M. Nouby, D. C. Barton and A. Bakar, "Thermal Analysis of Ventilated and Full Disc Brake Rotors With Frictional Heat Generation," *Applied Computer Mechanical*, vol. 8, pp. 5-24, 2014.
- [7] Sanaka, D. S. Prasad and K. S. Kumar, "Analysis Comparison Performance Drilled Disc Rotor With Solid Disc Rotor".
- [8] D.-K. Chen, "The Effect of Cross Drilling and Slotting on Rotor Temperature," 2002.
- [9] P. N. Amrishi, "Computer Aided Design and Analysis of Disc Brake Rotors," *Advance Automotive Engineering*, vol. 5, no. 2, 2016.
- [10] R. S. Kajabe and R. R. Navthar, "Optimization of Disc Brake Rotor With Modified Shape," vol. 3, no. 3, pp. 52-60, 2015.
- [11] wst, "Tribology The Study of Interacting Surfaces," WST, 09 05 2018. [Online]. Available: <http://id.wstbearinguae.com/info/tribology-the-study-of-interacting-surfaces-in-27306819.html>. [Accessed 27 08 2019].