

SIMULASI KEKUATAN STRUKTUR MODEL VARIASI CAKRAM SEPEDA MOTOR MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Goodman Octavianus^{1)*}, Adhes Gamayel²⁾, dan Riyan Ariyansah³⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta, Jl Boulevard Raya No.2 Grand Depok City, Kota Depok, Jawa Barat 16412

*Email: goodman@student.jgu.ac.id

²⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta, Jl Boulevard Raya No.2 Grand Depok City, Kota Depok, Jawa Barat 16412

Email: adhes@jgu.ac.id

³⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta, Jl Boulevard Raya No.2 Grand Depok City, Kota Depok, Jawa Barat 16412

Email: riyanariyansah@jgu.ac.id

Abstrak. Cakram merupakan salah satu komponen utama pada sistem rem cakram sepeda motor yang berfungsi untuk memperlambat laju putaran roda sepeda motor. Cakram sepeda motor memiliki model pola lubang yang bervariasi jumlah dan bentuknya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tegangan maksimum variasi model cakram dan menginvestigasi potensi area cakram akan retak. Metode penelitian dilakukan dengan pendekatan *reverse engineering* menggunakan metode elemen hingga. Pengujian dilakukan dengan mensimulasikan cakram pada kondisi statis dengan tekanan sebesar 1.4 MPa dan transien dengan kecepatan putaran cakram sebesar 12 rad/s menggunakan perangkat lunak *Ansys Workbench R2 2021 Student Version*. Hasil penelitian menunjukkan tegangan maksimum terendah pada cakram Model 1 yaitu sebesar 3.1362 MPa (simulasi statis) dan 507.91 MPa (simulasi transien). Selain itu, visualisasi distribusi tegangan hasil simulasi menunjukkan potensi resiko terendah cakram akan mengalami retak yaitu pada cakram Model 1.

Kata Kunci: Variasi Model Cakram, Ansys Workbench, Tegangan (von-Mises) Maksimum

Abstrac. *Disc is one of the main components in the motorcycle disc brake system which serves to slow down the rotation speed of the motorcycle wheels. Motorcycle discs have a pattern of holes that vary in number and shape. For the purpose of this study, to analyze the maximum stress variation of the disc model and to investigate the potential area of the disc that will crack. The study tested with a reverse engineering approach using the finite element method. The test was carried out by simulating discs under static conditions with a pressure of 1.4 MPa and transients with a disc rotation speed of 12 rad/s using the Ansys Workbench R2 2021 Student Version software. The results showed that the lowest maximum stress on the Model 1 disc was 3.1362 MPa (static simulation) and 507.91 MPa (transient simulation). Moreover, the visualization of the stress distribution from the simulation results also shows the lowest potential risk of disc cracking occurs in Model 1.*

Keyword: *Disc Model Variations, Ansys Workbench, Maximum Stress (von-Mises)*

1. PENDAHULUAN

Keselamatan berkendara merupakan salah satu alasan mengapa rem cakram sering dipilih karena lebih stabil terhadap perlambatan dan atau penghentian kendaraan. Adapun kelebihan menggunakan rem cakram (*disc brake*) yaitu mampu menghasilkan radiasi panas yang lebih efektif, reponsif jika rem mendadak, lebih pakem dibandingkan rem tromol, jika rem basah terkena air akan cepat kering, dan daya pengereman yang dihasilkan maksimal karena seluruh permukaan kampas rem bergesekan langsung dengan piringan [1]. Prinsip kerja dari rem cakram relatif sederhana yaitu setelah tekanan hidrolik sistem dihasilkan, minyak rem melewati selang saluran, kemudian masuk ke hidrolik kaliper dan melalui piston mengubah tekanan hidrolik menjadi gaya mekanis, yang menyebabkan kontak gesekan kampas terhadap cakram. Akibat gesekan yang terjadi antara kampas yang bersentuhan dengan permukaan cakram, energi kinetik diubah menjadi panas dan putaran roda kendaraan melambat [2].

Variasi model dan jumlah lubang sangat mempengaruhi terhadap kekuatan struktur cakram. Sehingga, diperlukan analisis untuk mengetahui kekuatan struktur dan potensi retak cakram sepeda motor dengan cepat, mudah dan biaya yang relatif lebih murah. Metode elemen hingga atau disebut juga dengan *finite element method* (FEM) merupakan suatu metode numerik untuk menemukan perkiraan solusi untuk masalah – masalah dalam rekayasa teknik dan sains [3]. Metode ini digunakan sebagai teori dasar dari berbagai produk perangkat lunak berbasis *computer aided engineering* (CAE). Ansys Workbench merupakan salah satu perangkat lunak berbasis CAE yang memiliki beberapa sistem analisis, diantaranya adalah sistem analisis *static structural* dan *transient structural* yang banyak digunakan untuk menganalisis kekuatan struktur benda geometris terhadap proses fisik seperti gaya, tekanan, dan tumbukan [4]. Adapun keuntungan, menggunakan Ansys Workbench pada penelitian ini antara lain memudahkan, mempersingkat waktu, dan meringankan biaya proses analisis cakram, karena tidak perlu membuat alat uji dan bahan uji. Karena, semua parameter yang digunakan pada alat uji akan diasumsikan sebagai parameter *boundary conditions* pada saat proses simulasi dan bahan

uji akan direpresentasikan dengan variasi model cakram tiga dimensi [5].

Ansys Workbench telah banyak dipakai oleh beberapa peneliti seperti pada penelitian peningkatan kinerja rem cakram berventilasi dengan modifikasi geometris rotor [6]. Dalam penelitiannya, dilakukan modifikasi dua tahap pada pengereman yang ada pada rem cakram berventilasi dan analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak berbasis simulasi Ansys untuk meningkatkan masa pakai dan karakteristik tegangan. Desain yang dimodifikasi dengan diameter lubang yang lebih besar ditemukan lebih baik dalam karakteristik tegangan karena tegangan maksimum berkurang 18,9% dan juga menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam rentang hidup minimum sistem pengereman. Tidak diragukan lagi, dengan bertambahnya diameter lubang, pembuangan panas akan lebih baik karena lebih banyak panas dapat mengalir dengan mudah melalui lubang yang lebih besar. Modifikasi lebih lanjut dapat dilakukan pada dimensi geometris dan karakteristik material untuk peningkatan kinerja sistem pengereman.

Berikutnya, penelitian tentang analisis termo-mekanik rem cakram menggunakan *finite element analysis* [7]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menemukan bahan yang paling cocok berdasarkan analisis termo-mekanik. Model CAD dari cakram rem dirancang menggunakan Catia dan dianalisis oleh ANSYS. Modelnya disimulasikan untuk empat bahan yang berbeda dan hasilnya dibandingkan berdasarkan deformasi total, tegangan dan termal perilaku bahan. Hasil penelitian menjelaskan bahwa semua bahan memberikan hasil deformasi yang relatif sama. Tetapi cakram rotor yang dibuat dari karbon-karbon, baja tahan karat dan paduan titanium memberikan hasil pembuangan panas yang lebih baik dibandingkan dengan cakram yang dibuat dari aluminium.

Selanjutnya, penelitian tentang komputasi *finite element analysis* dari rotor cakram rem menggunakan bahan yang berbeda [8]. Dalam penelitian ini simulasi numerik analisis struktural termal dan statis transien dilakukan secara berurutan dengan metode termo-struktural yang digabungkan. Prosedur numerik perhitungan didasarkan pada langkah-langkah penting seperti *Computational Fluid Dynamics*

(CFD) dan analisis termal yang diilustrasikan dengan baik dalam tiga dimensi. Dua desain rotor yang berbeda dan tiga bahan cakram rem yang berbeda diuji dan analisis komparatif dari hasilnya dilakukan untuk mendapatkan yang memiliki perilaku termal terbaik. Hasil numerik sesuai dengan hasil eksperimen sebelumnya yang tersedia dalam literatur. Beberapa kesimpulan dapat ditarik berdasarkan hasil penelitian ini. Pilihan tersebut akan memungkinkan untuk mendapatkan desain rotor yang sangat baik untuk memastikan kinerja pengereman kendaraan yang baik.

Kemudian, analisis termo-mekanik rem cakram menggunakan *finite element analisis* [9]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menemukan bahan yang paling cocok berdasarkan analisis termo-mekanik. Model CAD dari cakram rem dirancang menggunakan Catia dan dianalisis oleh ANSYS. Modelnya disimulasikan untuk empat bahan yang berbeda dan hasilnya dibandingkan berdasarkan deformasi total, tegangan dan termal perilaku bahan. Hasil penelitian menjelaskan bahwa semua bahan memberikan hasil deformasi yang relatif sama. Tetapi cakram rotor yang dibuat dari karbon-karbon, baja tahan karat dan paduan titanium memberikan hasil pembuangan panas yang lebih baik dibandingkan dengan cakram yang dibuat dari aluminium.

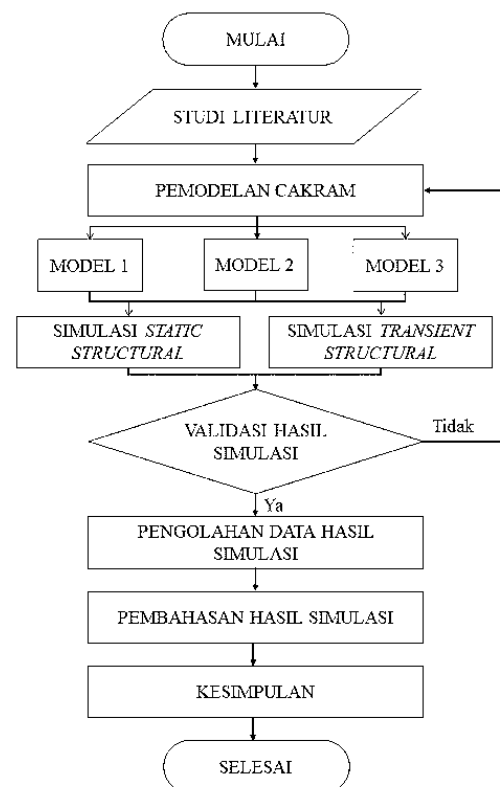
Selain itu, penelitian tentang Analisis simulasi struktural dari rem cakram jenis kendaraan tertentu berdasarkan ANSYS Workbench [10]. Cakram rem sebagai objek penelitian, model 3D yang dibuat menggunakan SolidWorks diimpor ke ANSYS Workbench, dan kemudian dilakukan analisis simulasi kekuatan dan modal. Diketahui titik tegangan maksimum dan posisi deformasi maksimum di bawah keadaan pengereman darurat, dikombinasikan dengan hasil bagan awan analisis modal, rentang resonansi diverifikasi dengan membandingkan dengan frekuensi alami, yang memberikan referensi untuk pengujian aktual dan peningkatan struktural.

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dijelaskan dan studi literatur sebelumnya yang banyak menggunakan Ansys Workbench untuk menganalisis atau mensimulasikan kekuatan struktur cakram. Maka, pada penelitian ini dilakukan simulasi secara statis dan transien menggunakan perangkat lunak Ansys Workbench yang bertujuan untuk

menganalisis tegangan maksimum variasi model cakram dan menginvestigasi potensi area cakram akan retak (*crack*).

2. METODE PENELITIAN

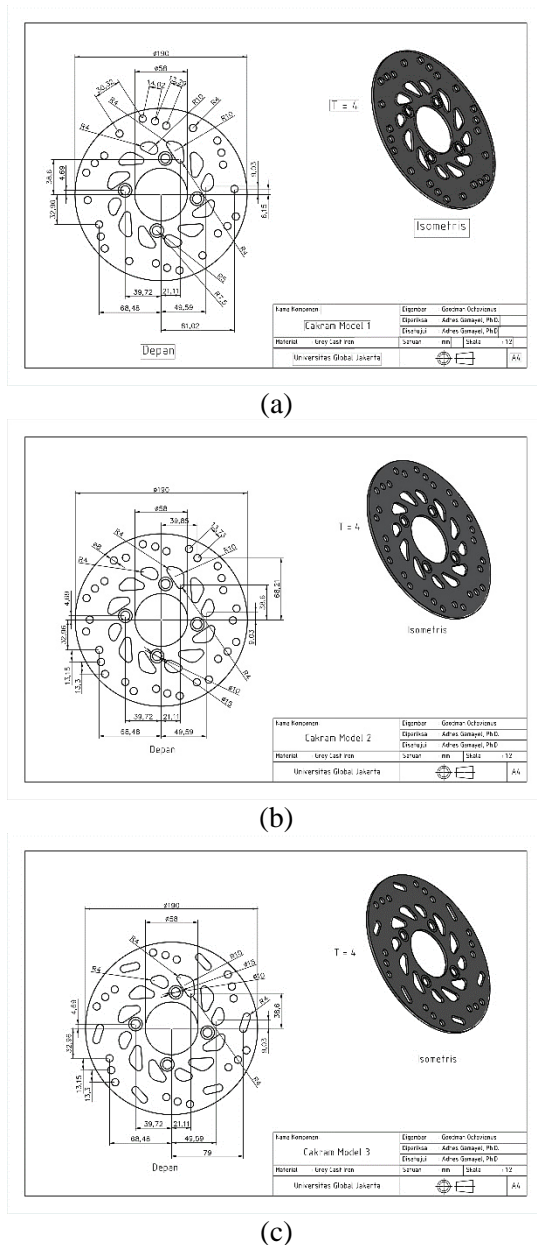
Pendekatan penelitian ini adalah *reverse engineering* dengan melakukan simulasi kekuatan struktur menggunakan perangkat lunak Ansys Workbench 2021 R2 *Student Version* dengan sistem analisis *static structural* dan *transient structural*. Untuk gambaran alur proses penelitian dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1. Pemodelan Variasi Cakram

Pemodelan variasi cakram dibuat menggunakan perangkat lunak berbasis *computer aided design* (CAD) yaitu Autodesk Inventor Professional 2022 *Student Version*. Variasi model cakram terinspirasi dari desain *rear disc* sepeda motor Supra X 125 FI *double disc* dengan memvariasikan pola 2 lubang dan mempertahankan pola 3 lubang. Model cakram dibuat dalam bentuk tiga dimensi dengan tebal 3 mm seperti pada gambar 2. Setelah itu, *file* model geometri yang sudah dibuat, formatnya *diexport* ke dalam bentuk format (.igs).



Gambar 2. Variasi Cakram (a) Model 1 (b) Model 2 (c) Model 3.

2.2. Engineering Data

Material yang digunakan untuk cakram yaitu *grey cast iron* dengan nilai *engineering data* seperti pada Tabel 1 [2].

Tabel 1. *Engineering Data*

Komponen	Density (kg/m ³)	Young's Modulus (GPa)	Poisson's Ration
Cakram	7155	125	0.23
Kampas	2045	11.13	0.34
Back Plate	7850	210	0.30

2.3. Mesh

Pada tahap ini dilakukan *mesh body sizing* pada cakram sebesar 3.8 mm dan pada kedua kampas sebesar 2.1 mm, agar mendapatkan konvergensi dan akurasi yang lebih baik pada saat perhitungan komputer (*running calculation*). Jumlah elemen/node pada Model 1, Model 2, dan Model 3 seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Jumlah Element/Node Model Cakram

Mesh	Model 1	Model 2	Model 3
Elements	14497	15020	14579
Nodes	31206	31820	31193

2.4. Boundary Conditions

Adapun batas-batas kondisi (*boundary conditions*) yang diasumsikan pada penelitian ini dan dijadikan parameter dalam simulasi ini yaitu, sebagai berikut [2]:

1. Kecepatan putaran cakram 12 rad/s
2. *Displacement* 1 mm
3. Tekanan kampas ke cakram 1.4 MPa
4. Koefisien Gesek 0.2
5. *End Time* 1 s

2.5. Result

Diakhir, tahapan simulasi ini dilakukan *running calculation data output* yang diinginkan yaitu tegangan – regangan maksimum (*von-Mises*) sehingga, dapat menampilkan hasil simulasi yang divisualisasikan dengan perbedaan gradasi warna pada variasi model geometri. Selain itu, data hasil simulasi ditampilkan oleh *Legend* di sebelah kiri *layout* geometri.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

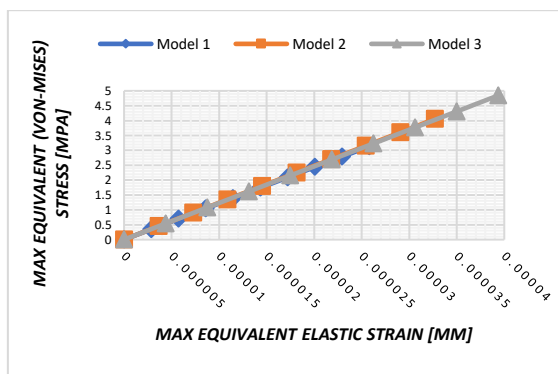
3.1. Simulasi Static Structural

Dari hasil simulasi *static structural* menunjukkan bahwa nilai maksimum *equivalent (von-Mises) stress* tertinggi pada cakram model 3 yaitu sebesar 4.8472 MPa dan nilai maksimum *equivalent elastic strain* sebesar 0.000039376 mm/mm. Sedangkan, nilai maksimum *equivalent (von-Mises) stress* terendah pada cakram Model 1 sebesar 3.1362 MPa dan nilai maksimum *equivalent elastic strain* sebesar 0.000025815 mm/mm. Untuk data hasil simulasi *static structural* pada kondisi *pressure* 1.4 MPa dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Simulasi *Static Structural* pada Kondisi *Pressure* 1.4 MPa

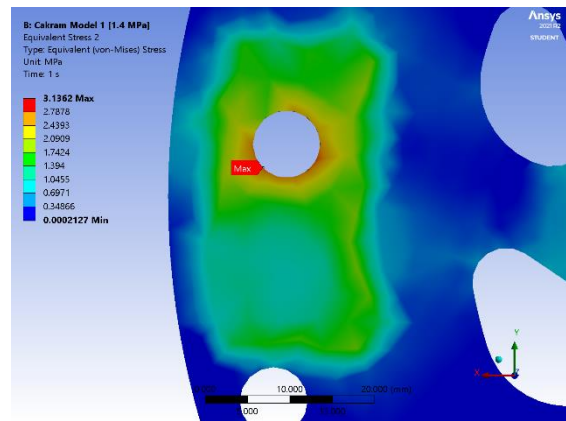
Variasi Cakram	Max. Eq. Stress (MPa)	Max. Eq. Elastic Strain (mm/mm)
Model 1	3.1362	0.000025815
Model 2	4.0545	0.000032694
Model 3	4.8472	0.000039376

Data hasil simulasi pada Tabel 3 diketahui bahwa nilai tegangan - regangan maksimum yang terjadi pada ketiga variasi model cakram masih relatif kecil atau masih dalam batas kondisi elastis seperti yang ditunjukkan oleh grafik tegangan – regangan maksimum pada Gambar 2.

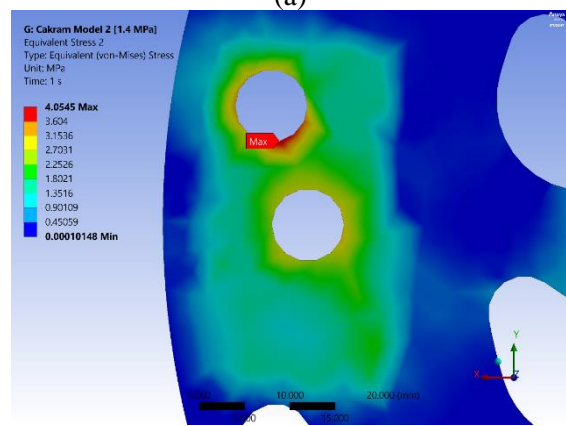


Gambar 2. Grafik Tegangan – Regangan Maksimum (*Pressure* 1.4 MPa)

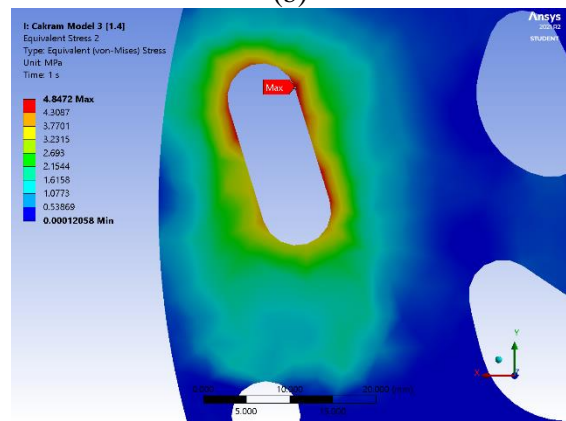
Investigasi area model cakram yang berpotensi tinggi akan mengalami crack dapat diketahui dari visualisasi distribusi tegangan yang terjadi pada hasil simulasi *static structural* seperti pada Gambar 3. Area model cakram yang warnanya semakin mendekati warna merah artinya semakin tinggi potensi akan mengalami retak (*crack*), sebaliknya area model cakram yang warnanya semakin mendekati warna biru artinya semakin rendah potensi akan mengalami retak (*crack*). Dari data - data hasil simulasi *static structural* yang dilakukan pada ketiga model cakram dengan menggunakan parameter yang sama pada masing-masing model cakram dapat diketahui bahwa cakram Model 1 yang memiliki nilai *equivalent (von-Mises) stress* terkecil dan visualisasi sebaran tegangan yang lebih sempit dibandingkan Model 2 dan Model 3. Artinya, cakram Model 1 adalah model cakram yang paling kuat dan memiliki resiko terendah mengalami retak (*crack*) dibandingkan Model 2 dan Model 3.



(a)



(b)

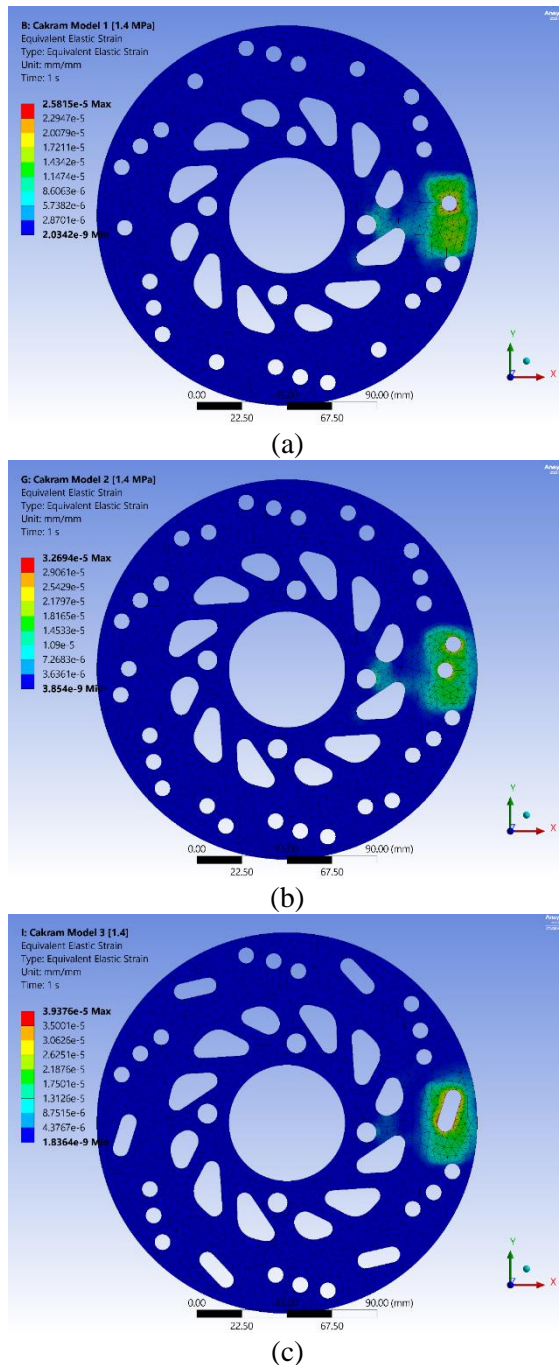


(c)

Gambar 3. Hasil Investigasi Cakram dengan Simulasi *Static Structural* (a) Model 1 (b) Model 2 (c) Model 3

Kemudian, visualisasi regangan yang terjadi pada ketiga model cakram hasil simulasi *static structural* pada Gambar 4 menjelaskan pada area cakram yang warnanya semakin mendekati warna merah artinya pada area cakram tersebut semakin meregang atau nilai regangannya semakin tinggi, sebaliknya pada area cakram yang warnanya semakin mendekati

warna biru artinya pada area cakram tersebut semakin kecil nilai regangannya.



Gambar 4. Hasil Simulasi *Static Structural* [Equivalent Elastic Strain] (a) Model 1 (b) Model 2 (c) Model 3

3.2. Simulasi *Transient Structural*

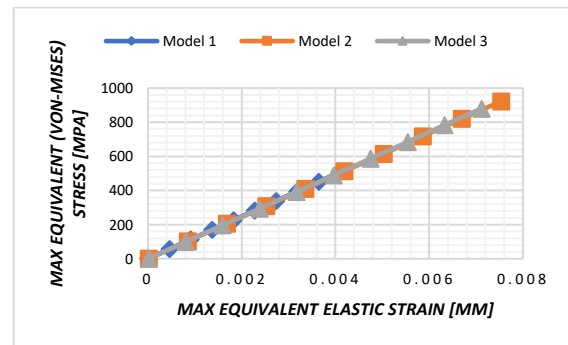
Hasil simulasi *transient structural* menunjukkan bahwa nilai maksimum *equivalent (von-Mises) stress* tertinggi pada cakram Model 2 yaitu sebesar 922.28 MPa dan

nilai maksimum *equivalent elastic strain* sebesar 0.0075305 mm/mm. Untuk data hasil simulasi *transient structural* dengan kondisi kecepatan putaran cakram sebesar 12 rad/s dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Simulasi *Transient Structural* dengan Kecepatan Putaran 12 rad/s

Variasi Cakram	Max. Eq. Stress (MPa)	Max. Eq. Elastic Strain (mm/mm)
Model 1	507.91	0.0040941
Model 2	922.28	0.0075305
Model 3	879.75	0.0071166

Dari data hasil simulasi pada Tabel 4 diketahui nilai regangan maksimum yang terjadi pada ketiga variasi model cakram masih relatif kecil atau masih dalam batas kondisi elastis, namun nilai tegangan maksimum terjadi perbedaan yang cukup signifikan seperti yang ditunjukkan oleh grafik tegangan – regangan maksimum pada Gambar 3.

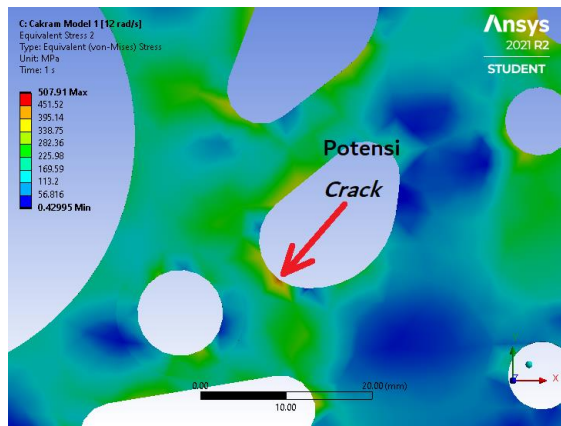


Gambar 3. Grafik Tegangan – Regangan Maksimum (*Disc Rotation* 12 rad/s)

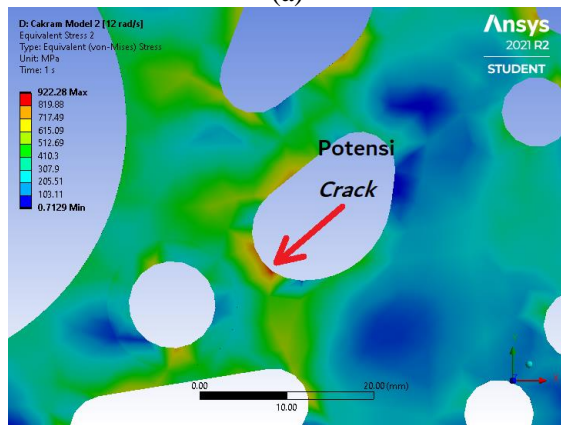
Investigasi potensi *crack* pada ketiga variasi model cakram dilakukan dengan memvisualisasikan distribusi tegangan yang ditunjukkan pada hasil simulasi *transient structural*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Dapat diketahui area model cakram yang menunjukkan potensi retak (*crack*) yang tinggi adalah daerah model piringan yang warnanya mendekati merah, sedangkan daerah model piringan yang warnanya mendekati biru potensi retaknya rendah. Selain itu, visualisasi hasil simulasi *transient structural* dengan parameter kecepatan *disc rotation* sebesar 12 rad/s juga menunjukkan sebaran tegangan dan regangan yang terjadi pada

cakram menjadi lebih menyebar ke area pola lubang cakram yang di tengah.

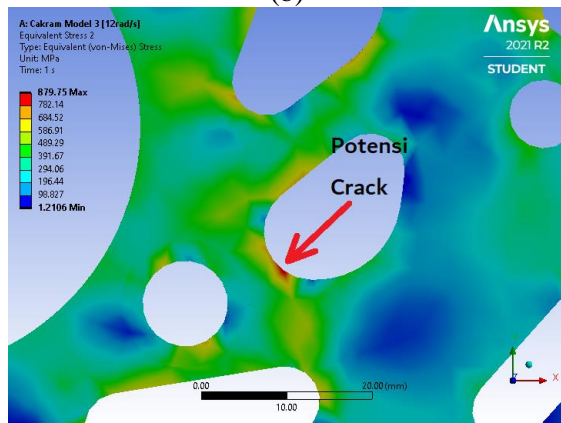
area lubang cakram berpola yang ditengah seperti pada Gambar 5.



(a)



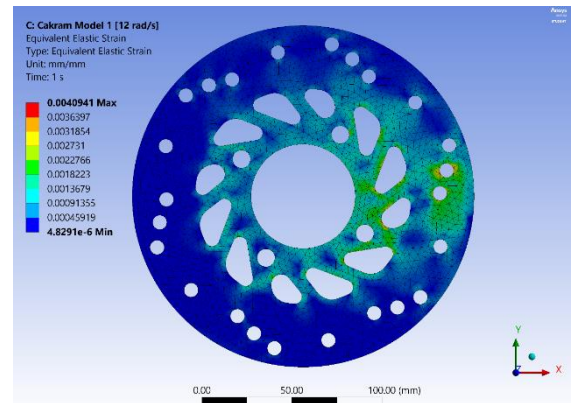
(b)



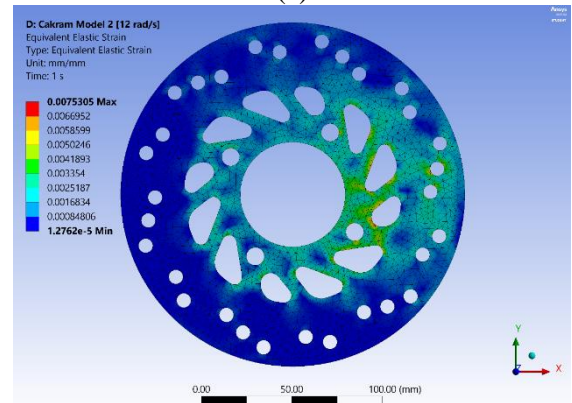
(c)

Gambar 4. Hasil Investigasi Cakram dengan Simulasi *Transient Structural* (a) Model 1 (b) Model 2 (c) Model 3

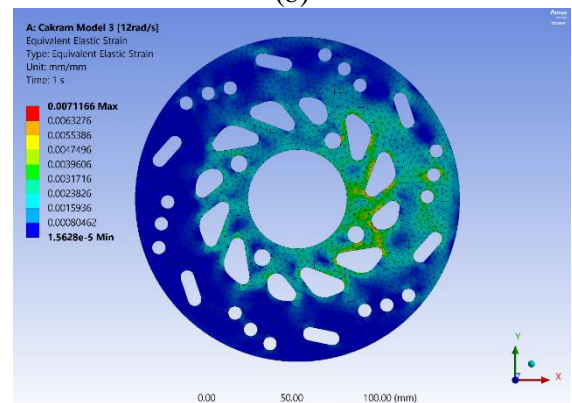
Visualisasi hasil simulasi *transient structural* dengan parameter kecepatan putaran cakram sebesar 12 rad/s menunjukkan bahwa distribusi atau sebaran regangan yang terjadi, pada area sekitar kampas menjepit cakram dan



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. Hasil Simulasi *Transient Structural* [*Equivalent Elastic Strain*] (a) Model 1 (b) Model 2 (c) Model 3

Area atau pola lubang cakram yang divariasikan (Model 1 & Model 3) dari model asli (Model 2) terbukti mereduksi tegangan. Hal ini, disebabkan bentuk lubang cakram yang divariasikan pada Model 1 menjadi semakin sedikit jumlah lubangnya. Kemudian, pada

Model 3 bentuk lubang cakram yang divariasikan berubah menjadi bentuk elips. Dimana bentuk elips ini terjadi dengan menghilangkan area yang berada ditengah kedua lubang bulat pada model asli (Model 2). Sehingga, distribusi tegangan tidak muncul di area celah lubang cakram. Tetapi, tegangan mulai menyebar dari area pingir lubang cakram yang divariasikan. Hasil simulasi pada penelitian ini menunjukkan koherensi dengan hasil penelitian sebelumnya [6] bahwa desain cakram yang dimodifikasi dengan diameter lubang yang lebih besar ditemukan lebih baik dalam karakteristik tegangan karena dapat mengurangi nilai tegangan maksimum.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan simulasi kekuatan struktur yang dilakukan pada cakram Model 1, Model 2, dan Model 3 dapat disimpulkan bahwa pada simulasi kondisi statis ($Pressure = 1.4 \text{ MPa}$) cakram Model 1 memiliki nilai *maximum equivalent (von-Mises) stress* terendah yaitu sebesar 3.1362 MPa kemudian, pada kondisi transien ($Disc \text{ Velocity Rotation} = 12 \text{ rad/s}$) sebesar 507.91 MPa artinya cakram Model 1 memiliki kekuatan struktur yang lebih kuat dibandingkan Model 2 dan Model 3.

Selain itu, hasil investigasi pada ketiga model cakram menunjukkan bahwa potensi resiko terendah cakram akan mengalami crack yaitu pada cakram Model 1. Namun, pada visualisasi hasil simulasi statis menunjukkan area yang akan mengalami *crack* pada area lubang cakram yang divariasikan atau hanya pada area disekitar kampas menjempit cakram. Sedangkan, pada visualisasi hasil simulasi transien menunjukkan area yang akan mengalami *crack* pada area pola lubang cakram di tengah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PPPPTK BOE, *Memelihara Sistem Rem*, OTO.SM02.0. Malang: Direktorat Jendral Guru dan Tenaga Kependidikan, 2018.
- [2] M. H. P. Miranda, R. do Nascimento Rodrigues, R. de Araújo Bezerra, P. M. C. Lamary, dan R. A. de Oliveira Neto, "Numerical investigation of material properties and operating parameters effects in generating motorcycle brake squeal using the finite element method," *J. Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng.*, vol. 42, no. 5, 2020, doi: 10.1007/s40430-020-02324-3.
- [3] P. Dechaumphai dan S. Sucharitpwatskul, *Finite Element Analysis with ANSYS Workbench*. Oxford: Alpha Science International Ltd., 2018.
- [4] A. Gamayel dan G. Octavianus, *Tutorial Ansys Workbench untuk Bidang Mekanikal*, Jilid 1. Bandung: Media Sains Indonesia, 2021.
- [5] A. Gamayel dan G. Octavianus, *Tutorial Ansys Workbench Untuk Bidang Mekanikal*, Jilid 2. Bandung: Media Sains Indonesia, 2022.
- [6] S. Mithlesh, Z. A. Tantray, M. Bansal, K. V. K. P. Kumar, V. S. Kurakula, dan M. Singh, "Improvement in performance of vented disc brake by geometrical modification of rotor," *Mater. Today Proc.*, vol. 47, no. xxxx, hal. 6054–6059, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.05.006.
- [7] Vishvajeet, F. Ahmad, M. Sethi, dan R. K. Tripathi, "Thermo-mechanical analysis of disk brake using finite element analysis," *Mater. Today Proc.*, vol. 47, no. xxxx, hal. 4316–4321, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.04.614.
- [8] A. Belhocine dan A. Afzal, "Computational finite element analysis of brake disc rotors employing different materials," *Aust. J. Mech. Eng.*, vol. 00, no. 00, hal. 1–14, 2020, doi: 10.1080/14484846.2020.1733175.
- [9] M. H. Pranta, M. S. Rabbi, S. C. Banik, M. G. Hafez, dan Y. M. Chu, "A computational study on structural and thermal behavior of modified disk brake rotors," *Alexandria Eng. J.*, 2021, doi: 10.1016/j.aej.2021.07.013.
- [10] C. Cui, N. Liu, T. Bei, dan W. Luo, "Structural simulation analysis of a certain vehicle type disc brake based on ANSYS Workbench," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1653, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1653/1/012029.