

Perancangan Ulang Rem Tromol Sepeda Motor Supra Menggunakan Metode *Reverse Engineering* dengan Analisis Von Mises

Hanandira Wistikhirana¹, Achmad Adfa Alfiansyah², Dhiya Luqyana³

^{1,2,3} Politeknik Negeri Jakarta

Email: hanandira.wistikhirana.tm22@mhs.w.pnj.ac.id

Informasi Artikel:

Received:
24 Juni 2025

Accepted:
27 April 2026

Available:
20 Mei 2026

ABSTRAK

Penelitian ini melakukan perancangan ulang rem tromol sepeda motor Honda Supra melalui metode *reverse engineering*. Inovasi dilakukan pada material *brake shoe* dengan menggunakan paduan aluminium untuk menurunkan berat dan meningkatkan ketahanan korosi. Selain itu, ditambahkan *brake lining* berbahan *Non Asbestos Organic* (NAO) yang memiliki performa gesek tinggi dan ketahanan aus yang baik. Modifikasi desain meliputi penambahan ketebalan *rib brake shoe* untuk mengurangi konsentrasi tegangan dan menambah desain *brake lining* dengan chamfer pada permukaannya, dengan ketebalan *brake lining* 5 mm. Evaluasi kekuatan struktur dilakukan dengan simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) menggunakan tegangan von Mises sebagai indikator. Hasil analisis menunjukkan bahwa desain dan material baru berhasil mengurangi konsentrasi tegangan.

Kata Kunci:

Rem tromol
Reverse engineering
Aluminium
Non-Asbestos Organic
Finite Element Analysis

ABSTRACT

This study presents a redesign of the drum brake system on a Honda Supra motorcycle using a reverse engineering approach. Innovation was carried out by utilizing aluminum alloy as the brake shoe material to reduce weight and enhance corrosion resistance. In addition, a Non-Asbestos Organic (NAO) brake lining was applied, known for its high friction performance and excellent wear resistance. Design modifications include increasing the rib thickness of the brake shoe to reduce stress concentration and adding a chamfered surface to the brake lining, with a thickness of 5 mm. Structural strength was evaluated through Finite Element Analysis (FEA), using von Mises stress as the performance indicator. The results indicate that the redesigned structure and material successfully reduce stress concentration.

1 PENDAHULUAN

Rem merupakan salah satu komponen vital pada kendaraan bermotor yang berfungsi untuk memperlambat atau menghentikan laju kendaraan [1]. Sistem ini bekerja berdasarkan prinsip gesekan antara komponen *brake lining* dan permukaan tromol untuk menghasilkan gaya pengereman yang diperlukan[2]. Salah satu jenis rem yang banyak digunakan adalah rem tromol, yang terdiri atas komponen utama seperti tromol, *brake shoe*, *brake lining*, serta *wheel cylinder*, dengan masing-masing bagian berperan penting dalam memastikan performa pengereman yang optimal.



Gambar 1 Rem tromol

Tromol umumnya terbuat dari material besi cor kelabu (*gray cast iron*) yang dikenal memiliki keunggulan dalam ketahanan terhadap panas, keausan, serta kekuatan mekanis yang memadai. Namun, perhatian lebih dibutuhkan pada komponen *brake shoe* dan *brake lining* karena material konvensional yang digunakan pada bagian ini masih menunjukkan sejumlah kelemahan. Masalah umum yang sering ditemui adalah rendahnya ketahanan terhadap aus, umur pakai yang relatif pendek, serta stabilitas koefisien gesekan yang kurang optimal dalam berbagai kondisi operasi [3]. Hal ini mendorong perlunya inovasi, baik dalam pemilihan material maupun dalam desain komponen, untuk meningkatkan kinerja sistem pengereman secara keseluruhan.

Pengembangan material dan desain dilakukan pada komponen *brake shoe*. Material *brake shoe* dimodifikasi menggunakan paduan aluminium (Al) yang memiliki keunggulan ringan dengan densitas 2700 kg/m^3 serta sifat alami dari material aluminium yaitu tahan korosi untuk menunjang aplikasi pengereman[4]. Inovasi selanjutnya adalah penambahan *lining* pada rem tromol, material yg digunakan adalah *non asbestos organic* (NAO) dengan komposisi utamanya adalah *steel* dan BaSO_4 .

Modifikasi desain pada *brake shoe* dilakukan dengan menambah ketebalan *rib*, menambah desain *brake lining* dengan *chamfer* pada permukaannya, dengan ketebalan *brake lining* 5 mm. Perubahan ini bertujuan untuk mengurangi konsentrasi tegangan yang berpotensi menyebabkan kerusakan pada material. Analisis tegangan Von Mises dilakukan untuk mengevaluasi distribusi tegangan secara menyeluruh pada kondisi pembebanan kompleks. Dengan menggunakan analisis ini, dapat diprediksi apakah tegangan yang terjadi sudah melewati batas elastis material sehingga menghindari deformasi plastis. Dengan demikian, modifikasi desain dan analisis *Von Mises* memastikan *brake shoe* tetap aman dan tahan lama selama proses pengereman.

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini mencakup aspek material dan desain. Pengembangan dilakukan pada pemilihan material *brake shoe* dan *brake lining*, serta modifikasi bentuk struktur seperti ketebalan *rib*, penambahan *chamfer*, dan ketebalan *lining*. Hal ini berbeda dengan penelitian sebelumnya seperti yang dilakukan oleh Ibnu Rosyid Al Hassany dkk., yang hanya berfokus pada aspek material, yaitu peningkatan kekuatan tarik dan kekerasan besi cor FC 250 dengan penambahan 1% kromium sebagai material *brake shoe* [5]. Dengan menggabungkan pengembangan material dan desain, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan sistem rem yang lebih tahan lama dan stabil saat digunakan.

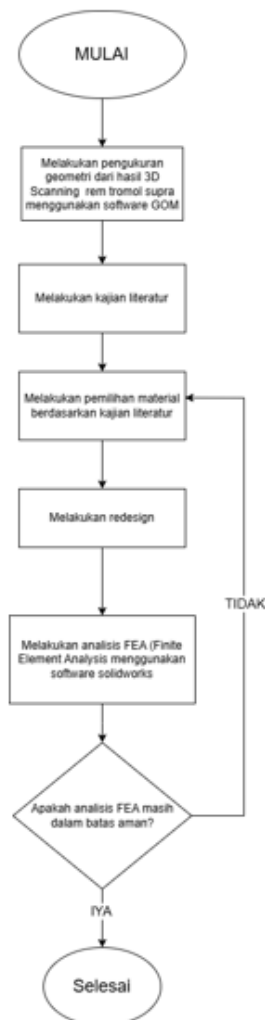
Perancangan Ulang Rem Tromol Sepeda Motor Supra Menggunakan *Metode Reverse Engineering* dengan Analisis *Von Mises*

Berdasarkan masalah tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk melakukan perancangan ulang (*reverse engineering*) pada sistem rem tromol sepeda motor Honda Supra dengan pendekatan modifikasi material dan desain struktur. Evaluasi performa dilakukan melalui simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) untuk mengukur tegangan *von Mises*, serta dibandingkan dengan perhitungan teoritis untuk memverifikasi validitas hasil simulasi. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem pengereman yang lebih kuat, ringan, dan andal.

2 METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Diagram Alir Penelitian

Metodologi dalam penelitian ini dirancang secara sistematis dengan pendekatan *reverse engineering* untuk mendukung proses analisis dan redesain komponen rem tromol pada sepeda motor Honda Supra. Setiap tahapan dilakukan secara berurutan mulai dari pengumpulan data geometri hingga analisis performa desain hasil modifikasi. Alur tahapan penelitian tersebut dapat dilihat pada diagram alir berikut:



Gambar 2 Diagram alir penelitian

Penelitian ini diawali dengan melakukan pengukuran geometri dari hasil 3D *scanning* benda uji berupa rem tromol Honda Supra menggunakan perangkat lunak *GOM Inspect*. Data geometri diperoleh dalam format file *.stl*, yang kemudian diproses dan diukur dimensinya secara presisi untuk menetapkan geometri dasar sebagai acuan dalam analisis dan pemodelan ulang. Selanjutnya dilakukan kajian literatur secara mendalam dengan meninjau berbagai sumber relevan seperti jurnal ilmiah, artikel, buku, dan laporan penelitian sebelumnya. Kajian ini difokuskan pada sistem pengereman, pemilihan material

kampas rem, serta performa desain rem tromol guna memperoleh pemahaman komprehensif serta landasan dalam proses *redesign* dan pemilihan material alternatif berdasarkan pendekatan rekayasa balik (*reverse engineering*).

Berdasarkan hasil kajian literatur, dilakukan pemilihan material yang tepat, khususnya untuk komponen *brake shoe* dan *brake lining*. Pemilihan material ini sangat penting karena sifat mekanik material secara langsung memengaruhi kinerja dan ketahanan komponen dalam kondisi kerja sebenarnya. Setelah pemilihan material, tahap berikutnya adalah melakukan redesain benda uji dengan mempertimbangkan hasil pengukuran dan kajian sebelumnya. Redesain dilakukan untuk meningkatkan performa struktur, seperti mengurangi konsentrasi tegangan yang dapat menyebabkan kegagalan komponen.

Proses dilanjutkan dengan melakukan analisis elemen hingga (*Finite Element Analysis/FEA*) pada desain asli dan desain hasil modifikasi menggunakan perangkat lunak Solidworks. Analisis ini difokuskan pada distribusi tegangan Von Mises di seluruh struktur, yang digunakan sebagai indikator untuk memprediksi potensi luluh pada material akibat beban kerja. Hasil dari FEA kemudian dievaluasi untuk memastikan bahwa nilai tegangan Von Mises berada di bawah batas luluh material yang telah ditentukan. Jika tegangan yang dihasilkan melebihi batas aman, maka desain dinyatakan tidak memenuhi syarat struktural dan proses kembali ke tahap pemilihan material untuk dilakukan perbaikan. Namun, jika tegangan berada dalam batas aman, maka desain dinyatakan layak secara struktural. Proses penelitian dinyatakan selesai setelah diperoleh desain yang memenuhi kriteria keamanan berdasarkan analisis tegangan Von Mises.

Penelitian ini diawali dengan pengukuran geometri rem tromol Honda Supra menggunakan data hasil pemindaian 3D dalam format .stl. Data ini kemudian diolah dan diukur dimensinya secara presisi menggunakan perangkat lunak GOM *Inspect* untuk mendapatkan geometri dasar yang akurat, yang selanjutnya akan menjadi acuan penting dalam proses pemodelan ulang desain. Setelah itu, kajian literatur mendalam dilakukan dengan meninjau berbagai sumber ilmiah seperti jurnal, artikel, buku, dan laporan penelitian terkait sistem pengereman, pemilihan material kampas rem, serta performa desain rem tromol. Kajian ini bertujuan untuk memahami kondisi pengetahuan terkini dan mengidentifikasi area potensial untuk perbaikan. Berdasarkan informasi yang terkumpul dari kajian literatur, pemilihan material untuk *brake shoe* dan *brake lining* dilakukan, dengan mempertimbangkan sifat material yang secara langsung memengaruhi kinerja dan durabilitas komponen.

Langkah selanjutnya adalah redesain benda uji, yakni dilakukan modifikasi dengan mempertimbangkan peningkatan kinerja, seperti pengurangan konsentrasi tegangan, berdasarkan data dan informasi yang telah terkumpul. Kemudian, analisis *Finite Element Analysis* (FEA) dilakukan pada benda hasil redesain dan benda asli menggunakan perangkat lunak Solidworks. Fokus utama dalam FEA ini adalah menghitung dan menganalisis distribusi tegangan Von Mises di seluruh objek. Tegangan Von Mises merupakan kriteria umum yang digunakan untuk memprediksi luluh (*yielding*) material ulet di bawah kondisi pembebanan kompleks, merepresentasikan tegangan ekuivalen yang akan menyebabkan energi distorsi yang sama dengan tegangan gabungan dalam keadaan multi-aksial. Analisis ini krusial untuk menentukan apakah material akan luluh di bawah beban yang diterapkan.

Setelah analisis FEA selesai, dilakukan evaluasi kritis untuk memeriksa apakah nilai tegangan Von Mises yang dihitung berada di bawah kekuatan luluh material atau batas aman yang telah ditentukan. Jika hasil FEA menunjukkan bahwa tegangan Von Mises melebihi batas aman, mengindikasikan ketidakmampuan material menahan beban, proses akan kembali ke tahap pemilihan material untuk penyesuaian. Sebaliknya, jika tegangan Von Mises berada dalam batas aman, hal tersebut menunjukkan desain yang kokoh secara struktural. Proses penelitian ini berakhir setelah tercapai desain yang memenuhi kriteria keamanan berdasarkan analisis tegangan Von Mises.

3 HASIL

3.1 Modifikasi Material Sepatu Rem (*Brake Shoe*)

Pemilihan material alternatif yang memiliki karakteristik mekanik lebih unggul, selain dari sisi desain. Dalam konteks ini, perbandingan material dilakukan untuk bagian sepatu rem (*brake shoe*). Material

Perancangan Ulang Rem Tromol Sepeda Motor Supra Menggunakan *Metode Reverse Engineering*
dengan Analisis *Von Mises*

yang dianalisis adalah besi cor (*cast iron*), sebagai material konvensional yang digunakan sebelumnya, dengan paduan aluminium (*aluminum alloy*) sebagai material alternatif yang diusulkan setelah modifikasi. Pemilihan paduan aluminium disesuaikan dengan keinginan agar mampu bertahan lama dalam aplikasi pengereman. Perbandingan properti material ini dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1 Data Perbandingan Sifat Mekanis Material

Property	Units	Aluminium Alloy	Cast Iron
<i>Density</i>	Kg/m ³	2700	7200
<i>Young Modulus</i>	Pa	7×10^{10}	$1,1 \times 10^{11}$
<i>Poisson's Ratio</i>		0,3	0,28
<i>Yield Strength</i>	Pa	$2,8 \times 10^8$	3×10^8
<i>Thermal Conductivity</i>	W/m.K	171	53
<i>Max Temperature</i>	°C	350	500

Pertama lihat dari kepadatan (densitas). Paduan aluminium memiliki kepadatan 2700 Kg/mm³, jauh lebih ringan dibandingkan besi cor yang memiliki kepadatan 7200 Kg/mm³. Perbedaan ini sangat penting karena sepatu rem yang lebih ringan akan membantu mengurangi berat keseluruhan kendaraan, sehingga kendaraan menjadi lebih hemat bahan bakar dan lebih lincah dalam bergerak. Selanjutnya, kemampuan menghantarkan panas (konduktivitas termal) paduan aluminium adalah 171 W/m.K, jauh lebih baik daripada besi cor yang hanya 53 W/m.K. Ini artinya, paduan aluminium lebih cepat memindahkan panas dari permukaan gesekan rem ke bagian lain Komponen, artinya paduan aluminium mampu mencegah penumpukan panas yang berlebihan.

Kapasitas menyimpan panas (*specific heat*) paduan aluminium sebesar 875 J/gK, lebih tinggi dari besi cor yang 447 J/gK. Kemampuan paduan aluminium untuk menghantarkan dan menyerap panas dengan cepat ini sangat bagus untuk rem. Ini membantu mencegah rem menjadi terlalu panas (fenomena yang disebut *brake fade*) sehingga mampu menjaga performa rem tetap stabil. suhu maksimum yang bisa ditahan besi cor (500 °C) lebih tinggi dari paduan aluminium (350 °C). Namun, karena paduan aluminium sangat efisien dalam membuang panas, suhu sepatu rem mungkin bisa dijaga di bawah batas ini selama penggunaan normal, meskipun besi cor memiliki beberapa keunggulan kecil di kekuatan struktural dan toleransi suhu, paduan aluminium adalah pilihan terbaik untuk sepatu rem karena keunggulannya yang besar dalam mengurangi bobot dan mengelola panas. Kemampuan paduan aluminium dalam mengelola panas berkontribusi pada umur pakai yang lebih panjang untuk seluruh sistem rem, karena mencegah penurunan performa akibat suhu ekstrem.

Sepatu rem harus memiliki kekuatan struktural yang cukup agar mampu menahan beban pengereman tanpa mengalami deformasi permanen. Dalam hal ini, besi cor memiliki kekakuan (Modulus Young) yang sedikit lebih tinggi, yaitu sekitar $1,1 \times 10^{11}$ Pa, dibandingkan paduan aluminium yang sebesar 7×10^{10} Pa. Artinya, besi cor cenderung lebih kaku dan tidak mudah berubah bentuk saat menerima beban. Dari sisi *yield strength*, yaitu batas sebelum material mulai mengalami deformasi permanen besi cor sedikit lebih unggul, dengan nilai sekitar 3×10^8 Pa, dibandingkan paduan aluminium sebesar $2,8 \times 10^8$ Pa. Ini menunjukkan bahwa besi cor bisa menahan beban yang sedikit lebih besar sebelum mulai berubah bentuk secara permanen.

Perbedaan penting dalam sifat dasar kedua material tersebut adalah pada sifat kedua material tersebut. Paduan aluminium dikenal lebih ulet, artinya bisa mengalami deformasi plastis (melar atau menekuk) lebih banyak sebelum akhirnya patah. Sifat ini membuat aluminium lebih baik dalam menyerap energi dari benturan atau tekanan mendadak, sehingga mengurangi risiko retak atau patah mendadak. Sebaliknya, besi cor cenderung getas. Walaupun kuat dan kaku, material ini kurang mampu berubah bentuk sebelum patah. Akibatnya, besi cor lebih rentan mengalami kegagalan mendadak jika terkena benturan atau beban tarik yang besar. Sebagai kesimpulan, meskipun besi cor memiliki beberapa keunggulan kecil di kekuatan struktural dan toleransi suhu, paduan aluminium adalah pilihan terbaik untuk sepatu rem karena keunggulannya yang besar dalam mengurangi bobot, mengelola panas, dan

sifat uletnya yang meningkatkan ketahanan terhadap kegagalan mendadak. Ini sangat penting untuk meningkatkan performa dan umur pakai rem tromol.

3.2 Penambahan Kampas Rem (*Brake Lining*)

Penambahan komponen kampas rem (*brake lining*) dilakukan untuk melengkapi desain yang ada. Material gesek yang dipilih untuk komponen ini adalah berbasis *Non-Asbestos Organik* (NAO). Komposisi material ini melibatkan dua belas jenis bahan baku. Di antaranya, sepuluh bahan induk (65% berat/berat) dijaga konstan. Dua bahan yang divariasikan adalah *steel wool* dan *barite* (sebagai pengisi inert), dengan total persentase berat 35% dari keseluruhan komposisi. Berdasarkan penelitian terkait, variasi *steel wool* yang menjadi fokus dalam studi ini adalah 12% berat, yang merupakan salah satu komposisi yang dioptimalkan dalam literatur untuk performa yang baik. Karakteristik mekanik dari material kampas rem ini dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2 Data Sifat Mekanis Material *Steel Wool Barite Non Asbestos Organic* (NAO)

Property	Units	<i>Steel Wool Barite Non Asbestos Organic</i>
<i>Density</i>	Kg/m ³	2320
<i>Young Modulus</i>	Pa	9×10^9
$\mu_{Performance}$		0,407
<i>%Fade</i>		11,4
<i>Yield Strength</i>	Pa	10.542.000
<i>Thermal Conductivity</i>	W/m.K	2,51
<i>Wear of Pads</i>	m ³	$3,4 \times 10^{-6}$
<i>Spesific Heat</i>	J/gK	1233,8

Tabel 2 menampilkan properti mekanik dan termal dari material *kampas rem* berbasis *Non-Asbestos Organik* (NAO) dengan komposisi yang difokuskan (12% *steel wool* dan *barite* komplementer). Data ini diambil dari penelitian Bijwe dan Kumar, khususnya untuk komposisi NAO yang menunjukkan performa optimal. Properti material ini krusial dalam menentukan kemampuan pengereman dan umur pakai kampas rem selama penggunaannya.

Fungsi utama untuk kampas rem adalah performa gesekan dan ketahanan ausnya. Koefisien gesek $\mu_{Performance}$ dari material ini adalah 0.407. Angka ini adalah ukuran langsung seberapa kuat rem dapat daya cengkraman dalam menghentikan kendaraan. Nilai yang stabil dan memadai sangat penting untuk pengereman yang berfungsi baik. Material ini juga menunjukkan persentase *fade* (penurunan kinerja rem akibat panas) yang rendah, yaitu 11.4%. Nilai *fade* yang rendah ini sangat bagus karena menandakan bahwa koefisien gesek akan tetap stabil dan tidak banyak menurun meskipun suhu *kampas rem* meningkat drastis akibat gesekan saat pengereman berat. Stabilitas gesekan ini menjamin keamanan dan keandalan rem yang konsisten sepanjang pemakaiannya.

Kausan bantalan (*Wear of Pads*) tercatat $3,4 \times 10^{-6}$ m³ Nilai keausan yang rendah ini secara langsung menunjukkan daya tahan dan umur pakai material yang panjang, karena *kampas rem* tidak akan cepat habis meskipun sering digunakan. Sifat termal material ini juga sangat mendukung kinerja gesekan dan umur pakai. Konduktivitas termal tercatat sebesar 2.51 W/m.K, yang berarti material *kampas rem* sangat baik dalam menghantarkan panas yang timbul dari gesekan. Panas spesifik material ini adalah 1233.8 J/gK, menunjukkan kapasitas material untuk menyerap panas. Kedua sifat ini bekerja sama untuk mengatur panas yang dihasilkan gesekan dengan baik. Dengan cepatnya panas dibuang dan diserap, material *kampas rem* tidak akan mudah mengalami penurunan kualitas atau kerusakan akibat suhu tinggi, sehingga mempertahankan kemampuan pengereman optimalnya lebih lama dan memperpanjang umur pakainya.

Komposit NAO dengan komposisi utama *steel wool* memiliki kepadatan material 2320 Kg/m³. Kekakuan (*Modulus Young*) material adalah 9×10^9 Pa, dan kekuatan luluh (*Yield Strength*) sebesar 10.542.000 Pa. Properti ini memastikan *kampas rem* tetap mempertahankan bentuk strukturalnya di bawah tekanan pengereman. *Kampas rem* yang kokoh secara struktural akan menjaga kontak yang merata dengan permukaan rem lainnya. Ini penting untuk pola keausan yang seragam dan konsistennya koefisien gesek

sepanjang umur pakainya. Secara keseluruhan, kombinasi performa friksional yang stabil (koefisien gesek dan ketahanan *fade*), keausan yang rendah, kemampuan manajemen panas yang sangat baik, serta kekuatan struktural yang memadai, menjadikan material NAO dengan 12% *steel/ wool* ini pilihan yang cocok untuk *kampas rem*, karena mampu memberikan daya pengereman yang kuat dan umur pakai yang panjang bagi kendaraan.

Gaya gesek memegang peran sangat penting dalam kemampuan pengereman. Besarnya gaya ini menunjukkan seberapa kuat rem dapat menghentikan laju sepeda motor. Perhitungan gaya gesek ini menggunakan koefisien gesek ($\mu_{Performance}$) yang sudah diketahui dari material *kampas rem* yang dipilih. Menentukan nilai gaya gesek yang sebenarnya sangat penting untuk analisis performa rem. Perhitungan gaya gesek akan dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$F_{Gesek} = \mu \times N \quad (1)$$

Untuk menghitung gaya gesek, langkah pertama adalah menentukan gaya normal. Gaya normal ini adalah gaya tekan yang bekerja tegak lurus pada permukaan kontak rem. Besarnya gaya normal ini sangat memengaruhi seberapa besar gaya gesek yang akan dihasilkan. Kami perlu menghitung gaya normal untuk mendapatkan nilai yang akurat. Gaya normal dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut

$$F_{Normal} = m \times g \quad (2)$$

$$F_{Normal} = 27,7 \times 9,81 = 271,737 \text{ N} \quad (3)$$

Setelah perhitungan, gaya normal yang didapatkan adalah 271,737 N. Nilai gaya normal ini sangat penting untuk perhitungan gaya gesek selanjutnya. Perhitungan gaya gesek akan menggunakan nilai gaya normal ini. Selain itu, koefisien gaya gesek ($\mu_{Performance}$) yang kami ambil dari properti material Steel Wool Barite Non Asbestos Organic (NAO) juga akan dipakai. Kedua nilai ini akan digunakan dalam rumus gaya gesek utama.

$$F_{Gesek} = 0,407 \times 271,737 \text{ N} = 110,48 \text{ N} \quad (4)$$

Berdasarkan perhitungan, gaya gesek yang dihasilkan adalah 110,48 N. Angka ini menunjukkan seberapa besar kekuatan pengereman yang mampu dihasilkan rem. Gaya gesek yang memadai ini sangat penting untuk menghentikan laju sepeda motor Honda Supra 125. Kekuatan pengereman ini membuktikan material *kampas rem* yang dipilih berfungsi dengan baik. Ini menunjukkan material *kampas rem* dan desain rem secara keseluruhan mampu memberikan kinerja pengereman yang handal.

3.3 Analisis Tekanan Kontak pada Rem Tromol

Tekanan kontak pada rem tromol adalah faktor penting dalam kinerja pengereman. Besarnya tekanan ini perlu dihitung untuk memahami beban yang diterima komponen rem. Hasil perhitungan tekanan kontak ini akan digunakan sebagai beban *input* dalam analisis FEA. Tekanan ini akan diaplikasikan pada model *brake shoe* dan juga *lining* atau *kampas rem*. Perhitungan tekanan kontak dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

Gaya pengereman (F_b) adalah kekuatan utama yang dibutuhkan untuk menghentikan kendaraan. Besarnya gaya ini menunjukkan seberapa cepat dan aman sepeda motor dapat melambat. Nilai gaya pengereman dipengaruhi oleh berat kendaraan dan seberapa cepat ia dihentikan. Menghitung gaya ini sangat penting untuk mengetahui beban yang sebenarnya pada rem. Gaya pengereman (F_b) dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$F_b = 0,7 \times \text{massa kendaraan} \times \text{percepatan} (a) \quad (5)$$

Gaya pengereman (F_b) yang telah dihitung ini merupakan input penting selanjutnya. Gaya ini menunjukkan total kekuatan yang bekerja pada sistem rem. Nilai gaya F_b tersebut akan digunakan untuk menentukan tekanan kontak. Tekanan kontak inilah yang menjadi beban yang diterapkan pada analisis FEA. Perhitungan tekanan kontak (P_B) dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$P_B = \frac{F_B}{Area} \quad (6)$$

Langkah awal perhitungan adalah menentukan gaya pengereman (F_b) yang diperlukan. Gaya ini dihitung dengan mengalikan faktor 0.7 dengan massa kendaraan 106 kg dan percepatan 48.4. Hasilnya menunjukkan gaya pengereman total yang dihasilkan adalah 3337.33 N. Gaya pengereman ini merupakan dasar untuk menghitung tekanan yang terjadi pada komponen rem. Nilai gaya F_b ini akan digunakan sebagai pembilang dalam perhitungan tekanan selanjutnya:

$$F_b = 0,7 \times 106 \text{ kg} \times 48,4 = 3337,33 \text{ N} \quad (7)$$

Setelah mendapatkan gaya pengereman, dilakukan penghitungan tekanan kontak pada sepatu rem. Tekanan ini didapat dengan membagi gaya pengereman 3337,33 N dengan luas area sepatu rem 2854.86. Hasil perhitungan menunjukkan tekanan kontak sebesar 1.169 MPa. Tekanan ini adalah beban yang diterima langsung oleh material sepatu rem. Angka ini penting untuk analisis kekuatan sepatu rem.

$$P_B = \frac{3337,33}{2854,86} = 1,169 \text{ MPa} \quad (8)$$

Selanjutnya, perhitungan tekanan kontak pada kampas rem yang memiliki *chamfer*. Perhitungan ini menggunakan gaya pengereman yang sama 3337,33 N. Namun, luas area kampas rem dengan *chamfer* adalah 2540,72, yang menghasilkan tekanan 1.313 MPa. Luas area yang lebih kecil karena adanya *chamfer* ini menyebabkan tekanan yang sedikit lebih tinggi. Tekanan ini akan berpengaruh pada performa gesekan di area kontak kampas rem.

$$P_B = \frac{3337,33}{2540,72} = 1,313 \text{ MPa} \quad (9)$$

Terakhir, perhitungan tekanan kontak pada kampas rem tanpa *chamfer*. Gaya pengereman yang digunakan tetap sama, yaitu 3337,33 N. Kampas rem tanpa *chamfer* memiliki luas area paling besar, yaitu 3300,37. Luas area yang lebih besar ini menghasilkan tekanan kontak yang paling rendah, yaitu 1.011 MPa. Tekanan yang lebih rendah ini dapat memengaruhi distribusi gaya gesek secara keseluruhan.

$$P_B = \frac{3337,33}{3300,37} = 1,011 \text{ MPa} \quad (10)$$

Perhitungan gaya pengereman menunjukkan beban total yang harus ditangani sistem rem. Hasil perhitungan tekanan kontak bervariasi tergantung pada luas area komponen yang terlibat. Kampas rem tanpa *chamfer* memiliki luas area terbesar (3300,37) sehingga tekanannya paling rendah (1.011 MPa). Sebaliknya, kampas rem dengan *chamfer* memiliki luas area terkecil (2540,72) dan tekanan paling tinggi (1.313 MPa). Variasi tekanan ini sangat penting untuk memahami distribusi beban pada rem, yang akan digunakan dalam analisis FEA selanjutnya.

3.4 Analisis Simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) Von Mises

Evaluasi performa struktural dari desain dan material baru dilakukan melalui simulasi menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA). Simulasi ini bertujuan untuk menganalisis distribusi tegangan yang terjadi pada komponen saat menerima beban kerja. Selain itu, simulasi juga digunakan untuk

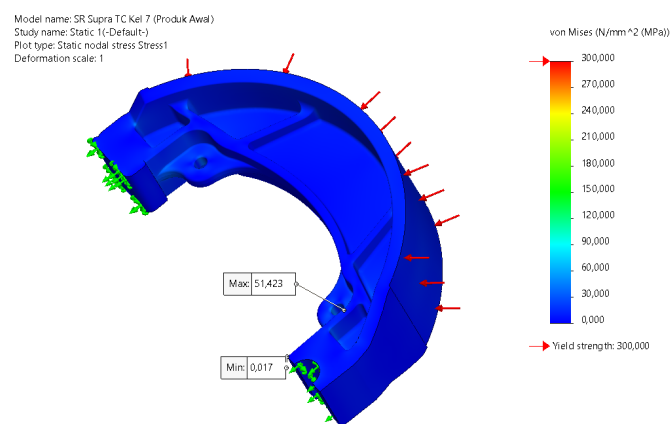
Perancangan Ulang Rem Tromol Sepeda Motor Supra Menggunakan *Metode Reverse Engineering* dengan Analisis *Von Mises*

menilai efektivitas perubahan desain terhadap kekuatan struktural. Pemilihan material baru juga dievaluasi melalui simulasi ini guna memastikan kekuatan struktural yang optimal.

3.4.1 Hasil Simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) *Von Mises Brake Shoe*

Hasil simulasi dari produk awal dan produk hasil modifikasi dilakukan sebagai bahan perbandingan. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi dampak nyata dari modifikasi yang telah diterapkan. Analisis ini difokuskan pada distribusi tegangan yang terjadi pada masing-masing model. Distribusi tegangan tersebut divisualisasikan dalam bentuk kontur tegangan *von Mises*.

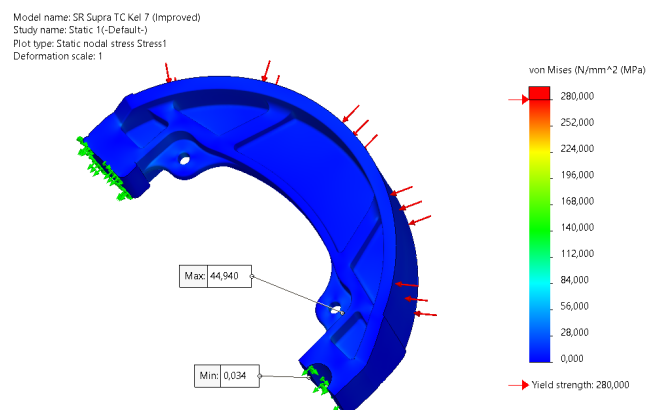
Produk *brake shoe* awal menggunakan material cast iron sebagai bahan utamanya. Geometri komponen pada model ini belum mengalami modifikasi, sehingga tetap mengikuti desain standar pabrik. Simulasi dilakukan untuk mengetahui distribusi tegangan yang timbul saat produk menerima beban pengereman. Hasil visualisasi distribusi tegangan pada produk awal ini ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Analisis *von mises brake shoe* produk awal

Dalam simulasi ini, tekanan pengereman yang diberikan sebesar 1,169 MPa diaplikasikan secara merata pada permukaan tempat *lining*. Berdasarkan hasil analisis FEA (*Finite Element Analysis*), distribusi tegangan maksimum terjadi pada bagian tertentu dari komponen, dengan nilai maksimum mencapai 51,779 MPa dan nilai minimum sebesar 0,019 MPa.

Gambar 3 menampilkan hasil simulasi pada produk *brake shoe* hasil modifikasi yang menggunakan material paduan aluminium, dengan geometri yang telah disesuaikan melalui penambahan ketebalan tulangan (*rib*).

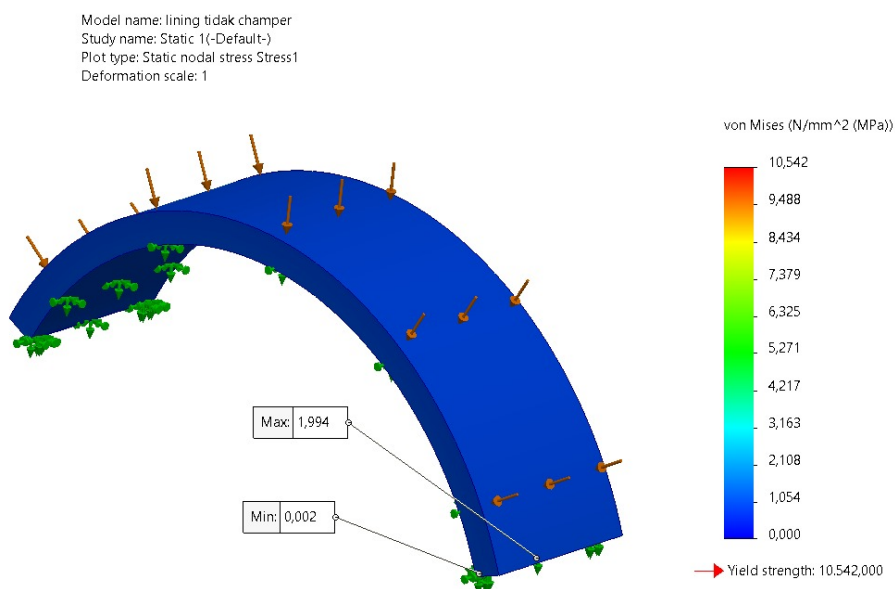


Gambar 3 Analisis *von mises brake shoe* produk hasil modifikasi

Hasil analisis menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi adalah sebesar 44,940 MPa, sementara tegangan minimum tercatat 0,034 MPa. Nilai ini lebih rendah dibandingkan tegangan maksimum pada desain awal yang mencapai 51,779 MPa, menunjukkan bahwa perbaikan desain berhasil mengurangi konsentrasi tegangan secara signifikan.

3.4.2 Hasil Simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) Von Mises *Brake Lining*

Hasil simulasi dari dua variasi desain *brake lining* dibandingkan untuk mengevaluasi pengaruh geometri. Variasi desain yang diuji adalah *lining* tanpa *chamfer* dan *lining* dengan *chamfer* pada ujung permukaannya. Analisis difokuskan pada distribusi tegangan von Mises yang terjadi selama proses pengereman. Tegangan *von Mises* dianalisis pada permukaan kontak *brake lining* saat menerima beban pengereman. Material yang diaplikasikan pada analisis FEA untuk kedua variasi desain *brake lining* adalah *Steel Wool Barite Non Asbestos Organic* (NAO). Visualisasi distribusi tegangan desain *lining* tanpa *chamfer* di ujung permukaannya ditampilkan pada Gambar 4.

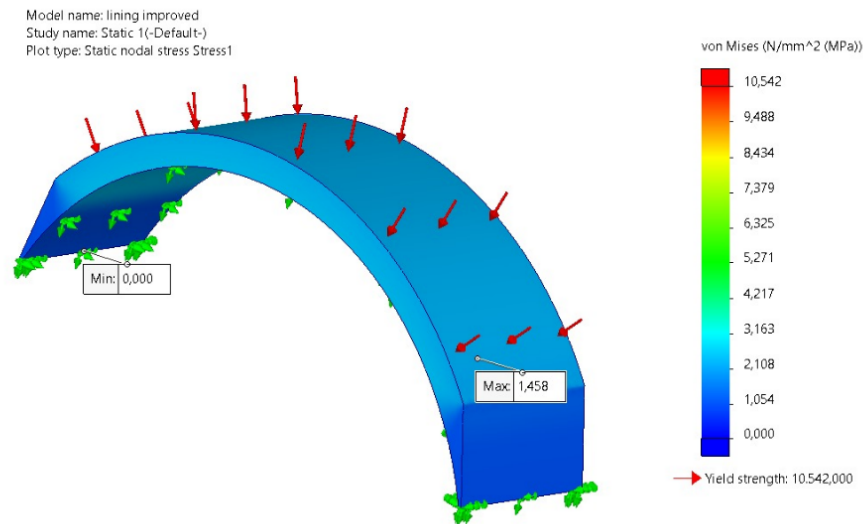


Gambar 4 Analisis *Von mises brake lining* tanpa chamfer

Dalam simulasi ini, tekanan pengereman sebesar 1,313 MPa diaplikasikan secara merata pada permukaan tempat lining tanpa *chamfer*. Berdasarkan hasil analisis FEA (*Finite Element Analysis*), distribusi tegangan maksimum terjadi pada bagian tepi bawah lengkungan, dengan nilai maksimum mencapai 1,994 MPa dan nilai minimum sebesar 0,002 MPa. Tegangan ini masih berada jauh di bawah batas luluh material sebesar 10,542 MPa. Dengan demikian, struktur dinyatakan aman dan mampu menahan beban pengereman tanpa mengalami kegagalan atau deformasi plastis.

Gambar tersebut menunjukkan tegangan tersebar di area *chamfer* ketika komponen menerima beban. Distribusi tegangan ini penting untuk menganalisis potensi titik lemah pada desain. Dengan adanya *chamfer*, diharapkan tegangan dapat tersebar lebih merata sehingga mengurangi risiko kegagalan struktural. Hasil visualisasi distribusi tegangan akibat modifikasi tersebut ditampilkan pada Gambar 5.

Perancangan Ulang Rem Tromol Sepeda Motor Supra Menggunakan *Metode Reverse Engineering* dengan Analisis *Von Mises*



Gambar 5 Analisis *von mises* brake lining dengan *chamfer*

Dalam simulasi ini, tekanan pengereman sebesar 1,011 MPa diberikan secara merata pada permukaan atas struktur melengkung sebagai representasi gaya kerja pada sistem. Berdasarkan hasil analisis FEA (*Finite Element Analysis*), distribusi tegangan maksimum terjadi pada bagian sisi bawah lengkungan dengan nilai maksimum sebesar 1,458 MPa dan nilai minimum sebesar 0 MPa. Tegangan yang dihasilkan masih jauh di bawah batas luluh material, yaitu 10,542 MPa, sehingga struktur berada dalam kondisi aman. Hasil ini menunjukkan bahwa desain komponen mampu menahan beban tanpa mengalami kegagalan material atau deformasi permanen.

Dalam simulasi ini, tekanan pengereman sebesar 1,011 MPa diberikan secara merata pada permukaan atas struktur melengkung sebagai representasi gaya kerja pada sistem. Berdasarkan hasil analisis FEA (*Finite Element Analysis*), distribusi tegangan maksimum terjadi pada bagian sisi bawah lengkungan dengan nilai maksimum sebesar 1,458 MPa dan nilai minimum sebesar 0 MPa. Hasil ini menunjukkan perbaikan yang signifikan dibandingkan desain tanpa *chamfer*, dengan tegangan maksimum mencapai 1,994 MPa. Adanya *chamfer* membantu mengurangi konsentrasi tegangan lokal, sehingga menurunkan nilai tegangan maksimum sebesar 26,8%. Tegangan yang dihasilkan masih jauh di bawah batas luluh material, yaitu 10,542 MPa, sehingga struktur berada dalam kondisi aman. Hasil ini menunjukkan bahwa desain komponen dengan *chamfer* tidak hanya mampu menahan beban tanpa mengalami kegagalan material atau deformasi permanen, tetapi juga lebih optimal dalam mendistribusikan tegangan dibandingkan desain sebelumnya.

4 KESIMPULAN

- 1) Penggunaan material paduan aluminium untuk sepatu rem (*brake shoe*) memberikan keunggulan dalam hal bobot yang lebih ringan, kemampuan pelepasan panas yang lebih baik, serta sifat ulet yang mampu meningkatkan ketahanan terhadap beban dinamis.
- 2) Penggunaan material *Non-Asbestos Organic* (NAO) dengan kandungan 12% steel wool pada kampas rem (*brake lining*) memberikan stabilitas koefisien gesek yang baik, ketahanan aus tinggi, serta karakteristik termal yang mendukung performa pengereman optimal.
- 3) Modifikasi desain, khususnya penambahan ketebalan *rib*, secara signifikan mampu menurunkan konsentrasi tegangan. Hal ini didukung oleh hasil simulasi *Finite Element Analysis* (FEA) yang menunjukkan penurunan tegangan maksimum dari 51,7 MPa pada produk awal menjadi 44,94 MPa pada desain yang telah dimodifikasi.

- 4) Penambahan kampas (*brake lining*) dengan *chamfer* dilakukan karena hasil tegangan maksimum menunjukkan penurunan dari kampas tanpa *chamfer* 1,994 MPa menjadi 1,458 MPa setelah ditambahkan *chamfer*.

5 REFERENSI

- [1] A. Maulana, I. Prasetyo, and T. Towijaya, "PENGARUH PEMILIHAN KAMPAS REM PADA RODA DEPAN HONDA SONIC 150R," 2021.
- [2] D. G. O. Sastrawan, I Made Gatot Karohika, and I Made Widiyarta, "Analisa Hubungan Keausan Dengan Tegangan Dan Regangan Brake Pad Sepeda Akibat Gaya Gesek," *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, vol. 12, no. 2, pp. 120–130, Aug. 2024, doi: 10.23887/jptm.v12i2.84213.
- [3] D. Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Memperoleh and S. Terapan, "TUGAS AKHIR RANCANG BANGUN ALAT PENDETEKSI SUHU REM TROMOL DAN CAKRAM BERBASIS RASPBERRY PI."
- [4] A. T. Mohammed, M. F. M. Said, N. Othman, A. C. Opia, and I. Veza, "Feasibility Study of Biofuel Incorporated Nanoparticles as Sustainable IC Engine Fuel: Opportunities and Challenges - An overview," Jan. 01, 2023, *Universitas Muhammadiyah Magelang*. doi: 10.31603/ae.7846.
- [5] I. R. Al Hassany, S. Yoso, and M. N. Al Ridwan, "ANALISIS KEKUATAN TARIK DAN KEKERASAN BESI COR FC 250 DENGAN PENAMBAHAN 1% KROMIUM SEBAGAI MATERIAL *BRAKE SHOE* REM TROMOL," *Teknika*, vol. 9, no. 2, pp. 124–130, Oct. 2024, doi: 10.52561/teknika.v9i2.376.