

Contents list available at [Sinta](https://sinta)**ARMATUR**

: Artikel Teknik Mesin &amp; Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur>**Analisis Komparatif Struktural Statis Handle Rem Sepeda Motor Sebelum dan Sesudah Optimasi Topologi****Bagas Achmad Darmawan<sup>1\*</sup>, Deri Teguh Santoso<sup>2</sup>, Uji Burrahman<sup>3</sup>, Rinaldi Suzatmiko<sup>4</sup>, Edrianzah Rahmat<sup>5</sup>.**<sup>1,2,3,4,5</sup>*Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang, Jl. HS. Ronggo Waluyo, Teluk Jambe Timur, Karawang, Indonesia.***ARTICLE INFO****Keywords:***Brake Handle**Finite Element Method**Safety Factor**Equivalent Stress**Topology Optimization***ABSTRACT**

*The brake handle is a critical component in motorcycles that plays an essential role in ensuring rider safety during the braking process. This study aims to analyze and compare the static structural performance of a motorcycle brake handle before and after topology optimization using the Finite Element Method (FEM). The simulation was conducted using ANSYS software with structural steel as the material and a static load of 300 N to represent braking conditions. The evaluated parameters include total deformation, equivalent elastic strain, equivalent stress, and safety factor to assess the structural response of the component. Topology optimization was performed using the Solid Isotropic Material with Penalization (SIMP) method to achieve a more efficient material distribution while maintaining structural integrity. The results indicate that topology optimization successfully reduced the component mass by approximately 20%, from 126.94 grams to 101.52 grams. The total deformation showed only a slight increase of 0.37%, indicating that the structural stiffness was largely preserved. However, the equivalent elastic strain increased by 132.6%, and the equivalent stress increased significantly by 185.84%, from 70.91 MPa to 202.69 MPa. Consequently, the safety factor decreased by 65.02%, from 3.52 to 1.23. Despite the reduction in the safety margin, the optimized design still meets the minimum required safety factor. These findings demonstrate that topology optimization can improve material*

\*Corresponding author: [bagas4077@gmail.com](mailto:bagas4077@gmail.com)

DOI: <https://doi.org/10.24127/armatur.v7i1.11208>

Received 27 February 2026; Received in revised form 22 March 2026; Accepted 30 March 2026

Available online March 2026

## **Pendahuluan**

Fungsi sistem rem pada kendaraan bermotor adalah untuk memperlambat atau menghentikan kendaraan dengan tingkat keselamatan maksimal dalam jarak sesingkat mungkin, dan pada saat yang sama harus tetap menjaga kestabilan kendaraan dalam setiap situasi [1].

Sistem pengereman harus memiliki kekuatan yang memadai untuk mengurangi percepatan kendaraan secara efektif [2].

Handle rem pada kendaraan roda dua merupakan salah satu komponen yang sangat berpengaruh terhadap keselamatan berkendara karena berperan dalam mengubah energi kinetik menjadi kerja rem yang menahan lajunya motor [3].

Rem merupakan komponen yang berguna menahan laju gerak kendaraan dengan menahan melalui mekanisme jepitan, rotasi roda dan laju kendaraan akan turun secara perlahan [4].

Untuk mengetahui respons struktural handle rem terhadap beban operasional, seperti distribusi tegangan maksimum, regangan, deformasi dan *Safety Factor* diperlukan pendekatan analisis secara numerik dan detail dengan menggunakan *Metode Finite Element Method* (FEM).

*Finite Element Method* (FEM) merupakan pendekatan dalam analisis struktural karena mampu memberikan evaluasi komprehensif terhadap distribusi tegangan, deformasi, serta faktor keamanan pada struktur geometri yang kompleks, implementasi komputasional dari pendekatan tersebut dikenal sebagai *Finite Element Analysis* (FEA), yang berfungsi sebagai teknik analisis berbasis simulasi numerik untuk mengevaluasi respons struktural secara sistematis dan kuantitatif [5]

Hasil evaluasi yang diperoleh melalui FEA dapat digunakan sebagai dasar dalam permasalahan optimasi struktural, khususnya dalam menentukan distribusi

material yang lebih efisien untuk menahan beban secara optimal. Permasalahan optimasi struktural yang berkaitan dengan penyusunan dan distribusi material guna menahan beban secara optimal telah dikaji dan diselesaikan melalui berbagai pendekatan, antara lain optimasi ukuran, bentuk atau topologi [6].

Optimasi topologi adalah metode desain struktural yang kuat yang menentukan konfigurasi optimal dengan mendistribusikan material secara efisien dalam domain desain yang diberikan sambil memenuhi batasan beban, kinerja, dan volume yang ditentukan. Berbeda dengan optimasi ukuran dan bentuk, optimasi topologi tidak bergantung pada desain awal, sehingga menawarkan ruang desain yang lebih luas [7].

Penelitian terkini membahas penerapan *Finite Element Analysis* (FEA) dan optimasi desain ringan pada handle rem sepeda motor dengan mempertimbangkan pengaruh variasi material terhadap kinerja struktural dan reduksi massa [3].

Penelitian sebelumnya umumnya berfokus pada analisis tegangan dan deformasi tanpa mempertimbangkan efisiensi distribusi material melalui optimasi topologi.

Namun kajian mengenai pengurangan massa komponen melalui optimasi distribusi material pada handle rem masih belum banyak dikaji secara spesifik.

Pengurangan massa komponen mekanik merupakan faktor penting dalam meningkatkan efisiensi desain, namun berpotensi menurunkan kekuatan struktural jika tidak dianalisis secara tepat.

Berdasarkan uraian tersebut, permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana merancang handle rem yang lebih ringan melalui optimasi topologi tanpa menurunkan kinerja strukturalnya secara signifikan, khususnya dalam menahan beban pengereman handle rem sepeda motor

sebelum dan sesudah dilakukan optimasi topologi menggunakan metode Finite Element Analysis (FEA).

Parameter yang dianalisis meliputi total deformasi, *equivalent elastic strain*, *equivalent stress*, serta *safety factor* untuk mengetahui pengaruh optimasi topologi terhadap kinerja struktural komponen. Untuk mendukung analisis tersebut, digunakan konsep mekanika material.

Regangan (*strain*) dinyatakan sebagai ( $\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$ ), yang menggambarkan perubahan panjang relatif terhadap panjang awal material akibat pembebanan.

Tegangan (*Stress*) dirumuskan sebagai ( $\sigma = \frac{F}{A}$ ), yang menunjukkan bahwa tegangan berbanding lurus dengan gaya yang bekerja dan berbanding terbalik dengan luas penampang.

Untuk mengevaluasi tingkat keamanan struktur digunakan *safety factor* yang dirumuskan sebagai ( $SF \frac{\sigma_{yield}}{\sigma_{max}}$ ), yang menunjukkan kemampuan material dalam menahan beban kerja tanpa mengalami kegagalan.

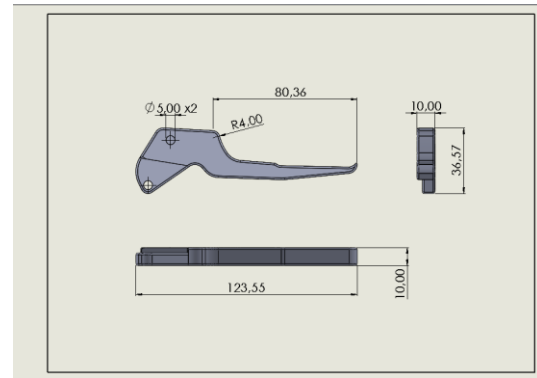
### Metode Penelitian

**Modeling.** Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode simulasi numerik, analisis dilakukan untuk mengevaluasi respons struktural handle rem sepeda motor sebelum dan sesudah dilakukan optimasi topologi.

Langkah awal penelitian dimulai dengan pembuatan model geometri tiga dimensi (3D). Selanjutnya dilakukan penentuan jenis analisis, material yang digunakan, pembebanan, serta proses meshing.

Simulasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *static structural analysis* dengan pendekatan *topology optimization*.

Setelah desain handle rem dibuat lalu diimpor ke dalam software Ansys untuk melakukan analisis *static structural* berbasis elemen hingga (*Finite Element Analysis*) [8].



Gambar 1. Ukuran dan Desain Handle Rem

**Optimasi Topologi.** Metode optimasi yang digunakan adalah *topology optimization* berbasis *Solid Isotropic Material With Penalization* (SIMP), dimana distribusi material direpresentasikan dalam bentuk variabel densitas kontinu antara 0 hingga 1. Nilai densitas tersebut dikenakan penalti untuk menghasilkan distribusi material diskrit, sehingga optimasi dapat dilakukan menggunakan metode berbasis gradien [9].

**Material.** Handle rem pada penelitian ini menggunakan asumsi material Structural Steel sebagai bahan utama dalam proses simulasi. *Structural steel* memiliki sifat mekanik yang baik seperti kekuatan yang tinggi, keuletan yang cukup, serta ketahanan terhadap deformasi plastis [10]

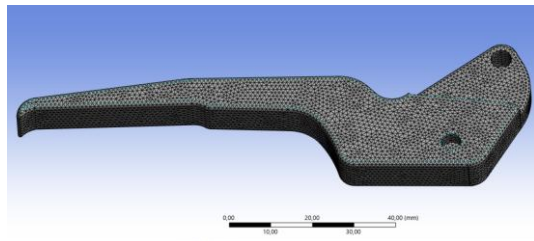
Tabel 1. Spesifikasi Material

<i>Structural Steel</i>	
Density	7850 kg/m <sup>3</sup>
Young's Modulus	200 GPa
Poisson's Ratio	0,3
Yield Strength	250 MPa
Ultimate Strength	460 MPa

**Meshing.** Proses meshing dilakukan setelah model geometri dan properti material didefinisikan, meshing membagi model menjadi sejumlah node dan elemen yang digunakan dalam perhitungan numerik berbasis metode elemen hingga. Mesh yang baik sangat mempengaruhi pada hasil perhitungan dari sebuah simulasi [11].

Jenis mesh yang digunakan pada penelitian ini adalah elemen tetrahedral, yang dipilih karena mampu menyesuaikan

geometri handle rem yang memiliki bentuk kompleks dan tidak beraturan [11]

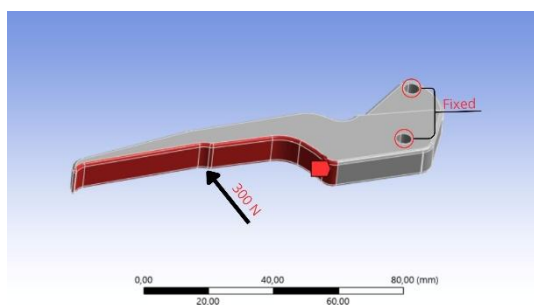


Gambar 2. Meshing Handle Rem

Ukuran mesh yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1 mm untuk meningkatkan ketelitian hasil simulasi. Proses meshing menghasilkan 202.077 nodes dan 140,891 elements pada model handle rem yang dianalisis.

**Boundary Condition dan Pembebanan.** Simulasi *static structural* dilakukan dengan menetapkan (*boundary condition*) dan pembebanan yang merepresentasikan kondisi saat handle rem dalam keadaan pengereman. Gambar 3 menunjukkan penerapan kondisi batas dan pembebanan pada model handle rem yang dianalisis.

Pada simulasi ini diberikan gaya sebesar 300 N pada area pegangan tuas rem untuk merepresentasikan gaya pengereman yang diberikan oleh tangan pengendara. Sementara itu bagian pivot ditetapkan sebagai *fixed support* yang berfungsi sebagai titik tumpuan tuas rem selama proses pengereman.



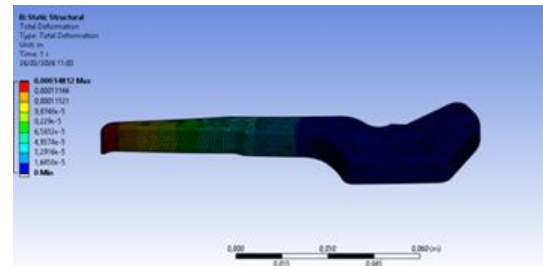
Gambar 3. Analisis Static Structural

Analisis tegangan dan regangan ditentukan berdasarkan asumsi gaya maksimum, gaya tersebut diterapkan secara terarah sesuai sistem koordinat model [12].

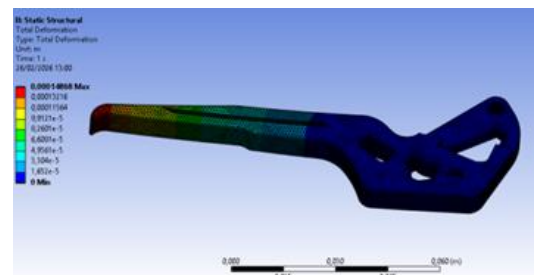
### Simulasi Static Structural.

Simulasi *static structural* pada desain awal dilakukan untuk memperoleh distribusi tegangan, regangan, deformasi dan *Safety Factor* akibat pembebanan statis sebesar 300 N.

**Deformation.** *Deformation* adalah perubahan bentuk, posisi, atau dimensi suatu material dari kondisi awal akibat adanya gaya dari luar [13].



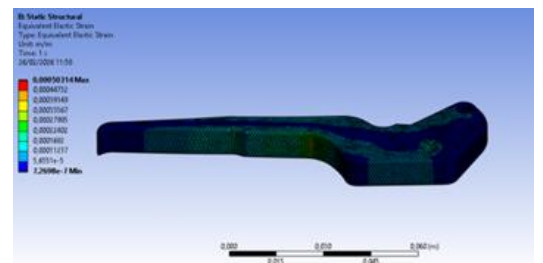
Gambar 4. Simulasi *Deformation*



Gambar 5. Simulasi *Deformation Topologi*

### Equivalent elastic strain.

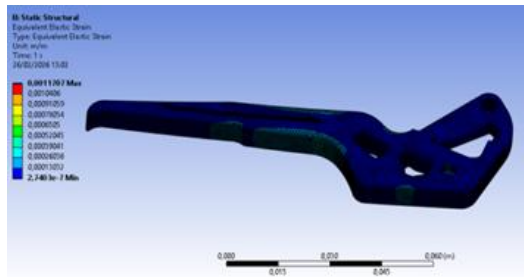
Equivalent elastic strain adalah nilai regangan elastis ekuivalen yang digunakan untuk menggambarkan tingkat deformasi elastis material akibat pembebanan dalam berbagai arah [14].



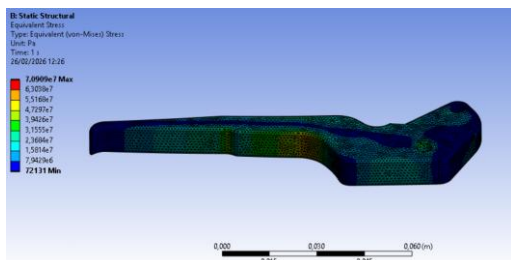
Gambar 6. Simulasi Equivalent Elastic Strain

**Equivalent Stress.** *Equivalent Stress* adalah parameter keluaran penting dalam analisis struktur yang mempresentasikan kondisi tegangan yang telah disederhanakan dengan tegangan *von mises*

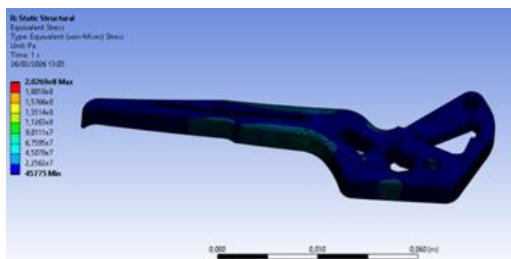
pada pengaruh tegangan utama yang bekerja pada suatu titik struktur [15].



Gambar 7. Simulasi Equivalent Elastic Strain Topologi

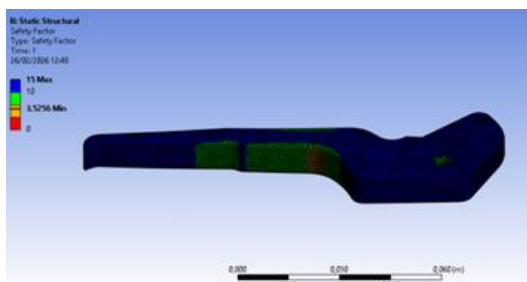


Gambar 8. Simulasi Equivalent Stress



Gambar 9. Simulasi Equivalent Stress Topologi

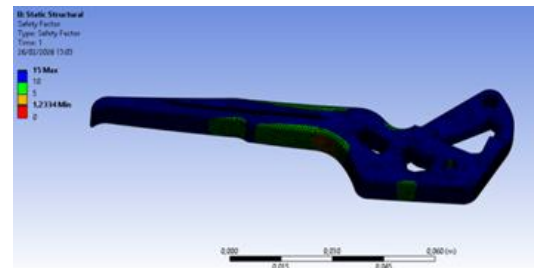
**Safety Factor.** Definisi *Safety Factor* dapat berbeda beda bergantung pada situasi dan kondisi aplikasinya, pada dasarnya *Safety Factor* diperoleh dengan membagi kekuatan batas material dengan tegangan tertinggi yang bekerja pada komponen itu sendiri [16]



Gambar 10. Simulasi Safety Factor

**Topologi Density.** Optimasi topologi merupakan metode pengurangan

massa pada suatu struktur dengan cara menghilangkan material di bagian yang tidak terlalu dipengaruhi oleh beban, sehingga menghasilkan desain yang lebih ringan dengan tingkat tegangan yang tidak berbeda jauh dari desain aslinya [17].



Gambar 11. Simulasi Safety Factor Topologi



Gambar 12. Perbandingan Desain Handle rem sebelum dan sesudah optimasi topologi

Gambar 12 menunjukkan perbandingan desain handle rem sebelum dan sesudah dilakukan optimasi topologi. Hasil optimasi memperlihatkan adanya pengurangan material pada beberapa area yang tidak kritis, sementara bagian utama yang berfungsi sebagai jalur distribusi beban tetap dipertahankan untuk menjaga kekuatan struktural komponen.

### Hasil dan Pembahasan

**Hasil Analisis Deformasi (Total Deformation).** Berdasarkan hasil simulasi analisis *Deformation* yang ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5, total *Deformation* menganalisis perubahan bentuk, posisi, atau dimensi sebuah benda dari kondisi awal sebelum dan sesudah dilakukan optimasi topologi.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa komponen mengalami peningkatan yang sangat kecil, yaitu sebesar 0,37% peningkatan yang tidak signifikan ini membuktikan pengurangan material berhasil dilakukan tanpa menurunkan

tingkat kekakuan struktural komponen secara drastis.

Tabel 2. Perbandingan Total *Deformation* setelah dan sebelum Topologi

Total <i>Deformation</i>	
Desain awal	0,00014812 m
Desain akhir	0,00014868 m
Peningkatan	0.37 %

**Hasil Analisis Equivalent Elastic Strain.** Berdasarkan hasil simulasi *Equivalent Elastic Strain* yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7 analisis *Equivalent Elastic Strain* dilakukan untuk menganalisis tingkat deformasi elastis material akibat pembebanan, Sehingga stabilitas bentuk tetap terjaga saat menerima pembebanan, baik sebelum dan sesudah dilakukan optimasi topologi.

Tabel 3. Perbandingan Equivalent Elastic Strain setelah dan sebelum Topologi

Equivalent Elastic Strain	
Desain awal	0,00050314 m/m
Desain akhir	0,0011707 m/m
Peningkatan	132.6%

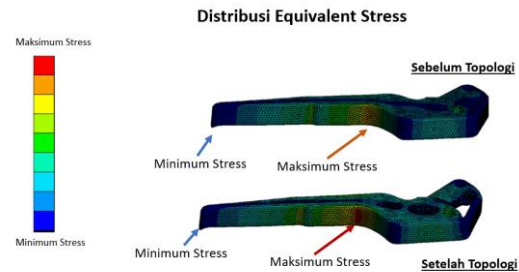
Berdasarkan data pada tabel di atas, hasil simulasi menunjukkan terjadinya peningkatan nilai regangan *equivalent elastic strain* pada saat optimasi topologi, peningkatan ini merupakan akibat dari berkurangnya volume dan luas distribusi material yang menahan beban.

**Hasil Analisis Equivalent Stress.** Berdasarkan hasil distribusi *Equivalent Stress* yang ditunjukkan pada Gambar 8 dan Gambar 9, nilai tegangan maksimum terjadi pada area pertemuan antara tuas rem dan badan utama handle.

Gambar 13 menunjukkan lokasi konsentrasi tegangan maksimum yang terjadi akibat pembebanan gaya pengereman pada tuas rem. Konsentrasi tegangan ini terjadi karena perubahan geometri dan penyempitan luas penampang pada bagian tersebut, sehingga menjadi area paling kritis pada struktur.

Hasil simulasi menunjukkan terjadinya peningkatan nilai tegangan equivalent stress yang cukup signifikan

setelah dilakukan optimasi topologi, yaitu sebesar 185,84%. Peningkatan ini merupakan dampak langsung dari berkurangnya volume material dan penyempitan luas penampang pada handle rem.



Gambar 13. Distribusi Equivalent Stress pada handle rem sebelum dan sesudah optimasi topologi.

Tabel 4. Perbandingan *Equivalent Stress* setelah dan sebelum Topologi

<i>Equivalent Stress</i>	
Desain awal	70,91 MPa
Desain akhir	202,69 MPa
Peningkatan	185,84 %

**Hasil Analisis Safety Factor.** Berdasarkan hasil simulasi *Safety Factor* yang ditunjukkan pada Gambar 10 dan Gambar 11, *Safety Factor* menganalisis tingkat keamanan dan ketahanan ketika menerima beban kerja maksimal [17].

Tabel 5. Perbandingan Tabel *Safety Factor* Setelah dan Sebelum Topologi

<i>Safety Factor</i>	
Desain Awal	3,52
Desain Akhir	1,23
Penurunan	65,02%

Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai *Safety Factor* mengalami penurunan setelah dilakukan optimasi topologi, nilai faktor keamanan mengalami penurunan menjadi 1,23 atau 65,02%. Meskipun demikian, nilai tersebut masih berada di atas batas minimum yang umumnya digunakan dalam desain komponen mekanik, sehingga komponen masih berada dalam kondisi aman. Namun demikian, penurunan faktor keamanan ini menunjukkan berkurangnya margin keselamatan, sehingga perlu menjadi pertimbangan dalam penerapan desain pada

kondisi nyata yang berkaitan dengan aspek keselamatan.

**Hasil Optimasi Topologi.** Hasil Optimasi topologi menunjukkan keberhasilan reduksi volume dan massa komponen handle rem. Volume berkurang dari 16170 mm<sup>3</sup> menjadi 12932 mm<sup>3</sup>, sedangkan massa berkurang dari 126,94 gram menjadi 101,52 gram, atau sekitar 20%, nilai volume tersebut diperoleh dari output ANSYS dan telah terverifikasi melalui hubungan massa dan densitas material.

Pengurangan ini menunjukkan bahwa distribusi material menjadi lebih efisien, yang ditunjukkan oleh nilai densitas rata-rata sebesar 0,77 (hasil dari variabel densitas pada metode SIMP yang menunjukkan distribusi material). Hal ini mengindikasikan bahwa eliminasi material terjadi pada area non-kritis, sementara bagian yang berfungsi sebagai penahan beban utama tetap dipertahankan.

Tabel 6. Hasil Optimasi Topologi

Hasil	
Minimum	1 x 10 <sup>-6</sup>
Maximum	1
Average	0,77096
Original Volume	16170 mm <sup>3</sup>
Final Volume	12932 mm <sup>3</sup>
Percent Volume Of Original	79,976 %
Original Mass	126,94 gram
Final Mass	101,52 gram
Percent Mass of Original	79,976 %

Hal ini mengindikasikan bahwa eliminasi material hanya berfokus pada area non-kritis, sementara area yang memiliki beban utama tetap dipertahankan secara utuh.

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan, penerapan optimasi topologi pada handle rem sepeda motor berhasil mereduksi massa dan volume komponen sekitar 20%, dari 126,94 gram menjadi 101,52 gram.

Pengurangan material ini tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap

deformasi, yang hanya meningkatkan sebesar 0,37%, sehingga kekakuan struktur masih tetap dapat dipertahankan.

Namun optimasi topologi menyebabkan peningkatan *equivalent elastic strain* sebesar 132,6% dan *equivalent stress* sebesar 185,84%, yang berdampak pada penurunan *safety factor* sebesar 65,02% menjadi 1,23. Hal ini menunjukkan adanya konsekuensi terhadap kekuatan struktur akibat pengurangan material.

Meskipun demikian, nilai *safety factor* yang masih berada di atas batas minimum, peningkatan tegangan yang signifikan menunjukkan adanya potensi risiko terhadap ketahanan struktur, terutama pada kondisi pembebanan ekstrem.

Oleh karena itu, optimasi topologi terbukti mampu meningkatkan efisiensi material namun perlu mempertimbangkan keseimbangan antara pengurangan massa dan tingkat keamanan struktur dalam proses perancangan.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman mengenai pengaruh optimasi topologi terhadap efisiensi material dan kinerja struktural handle rem sepeda motor, serta menjadi dasar pertimbangan dalam pengembangan desain komponen yang ringan namun tetap aman.

### Referensi.

- [1] A. Phalke and M. R. B. Agrewale, "Optimal brake force distribution in motorcycle for straight-line braking," in *Materials Today: Proceedings*, Elsevier Ltd, Jan. 2023, pp. 1335–1341. doi: 10.1016/j.matpr.2022.09.309.
- [2] Y. Winardi, "Failure Analysis of Brake Panel on Automotive Braking System," *Journal of Energy, Mechanical, Material, and Manufacturing Engineering*.
- [3] A. Puji Prasetyono, A. Yudianto, and I. W. Adiyasa, "Lightweight Design and Finite Element Analysis of Brake Lever for Motorcycle Application," *ComTech: Computer, Mathematics and Engineering Applications*, vol. 14, no. 1,

- pp. 21–32, May 2023, doi: 10.21512/comtech.v14i1.8604.
- [4] I. Suparta and D. Sumardiyanto, “Desain Perangkat Uji Pengereman Cakram Kendaraan Bermotor,” 2024.
- [5] U. Soliwal, P. Sahu, and G. Dhanera, “Design and Analysis of Wheel Rim Using Finite Element Method,” *International Research Journal of Engineering and Technology*, 2023, [Online]. Available: [www.irjet.net](http://www.irjet.net)
- [6] H. S. Gebremedhen, D. E. Woldemicael, and F. M. Hashim, “Three-dimensional stress-based topology optimization using SIMP method,” *International Journal for Simulation and Multidisciplinary Design Optimization*, vol. 10, 2019, doi: 10.1051/smdo/2019005.
- [7] T. Tang *et al.*, “Topology Optimization: A Review for Structural Designs Under Statics Problems,” Dec. 01, 2024, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/ma17235970.
- [8] I. Dumyati and S. Nurhaji, “Modeling dan Simulasi Finite Element Analysis pada Segitiga T Sepeda Motor Menggunakan Software Ansys 2023,” *Quantum Teknika : Jurnal Teknik Mesin Terapan*, vol. 5, no. 1, pp. 26–30, Nov. 2023, doi: 10.18196/jqt.v5i1.19012.
- [9] Z. Houta, T. Huguet, N. Lebbe, and F. Messine, “Solid Isotropic Material with Penalization-Based Topology Optimization of Three-Dimensional Magnetic Circuits with Mechanical Constraints,” *Mathematics*, vol. 12, no. 8, Apr. 2024, doi: 10.3390/math12081147.
- [10] A. Bodyakova and A. Belyakov, “Microstructure and Mechanical Properties of Structural Steels and Alloys,” Jul. 01, 2023, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/ma16145188.
- [11] A. Bagus Prasetyo, A. Asyratul Azmi, D. Setyo Pamuji, and R. ilmal Yaqin, “Pengaruh Perbedaan Mesh Terstruktur dan Mesh Tidak Terstruktur Pada Simulasi Sistem Pendinginan Mold Injeksi Produk Plastik,” pp. 400–406, 2018, [Online]. Available: <http://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII>
- [12] I. Hasanuddin, Husaini, M. Syahril Anwar, B. Z. Sandy Yudha, and H. Akhyar, “Stress and strain analysis from dynamic loads of mechanical hand using finite element method,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, May 2018. doi: 10.1088/1757-899X/352/1/012017.
- [13] Scholarly Community Encyclopedia, “Deformation (Mechanics),” Scholarly Community Encyclopedia.
- [14] Y. Liang *et al.*, “The effects of simvastatin on the bone microstructure and mechanics of ovariectomized mice: a micro-CT and micro-finite element analysis study,” *BMC Musculoskelet. Disord.*, vol. 25, no. 1, Dec. 2024, doi: 10.1186/s12891-024-07860-w.
- [15] “International Journal of Multidisciplinary Research,” 2024, doi: 10.15680/IJMRSET.2024.0704195.
- [16] A. A. Ghyferi, A. Bahatmaka, M. Y. Wibowo, A. Anwar, A. Ridananda, and A. Vandika, “Pengaruh Material terhadap Deformasi, Strain, dan Safety Factor pada Bracket Caliper Menggunakan Metode Elemen Hingga,” *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 15, no. 3, pp. 1437–1450, Dec. 2024, doi: 10.21776/jrm.v15i3.1700.
- [17] D. Putratama Nugraha and S. Hadi Suryo, “Optimasi Desain Topologi Struktur Boom Excavator Cat 374D L dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga,” 2022.