

Perancangan Alat Uji Gesek Sederhana untuk Pengujian Kampas Rem
Sepeda Menggunakan Metode CAD-CAE

Riki Sumartin¹, M Zaenudin^{1,*}, YKP Saleh¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Global Jakarta, Jl. Boulevard
Raya No. 2, Tirtajaya, Sukmajaya, Depok 16412, Indonesia

Article Info	ABSTRAK
Article history: Received November 20th, 2025 Revised November 24th, 2025 Accepted November 24th, 2025 Section: <i>Article</i> Keywords: Alat uji gesek Kampas rem sepeda Analisis struktural ANSYS CAD-CAE	Dalam pengembangan alat uji gesek kampas rem sepeda, keandalan struktur rangka menjadi fondasi utama untuk memastikan hasil pengujian yang akurat sekaligus menjaga keselamatan selama operasi. Rangka yang kurang kokoh berpotensi menghasilkan data yang tidak valid atau bahkan mengalami kegagalan mekanis saat digunakan. Penelitian ini difokuskan pada perancangan dan evaluasi kinerja struktural rangka alat uji melalui pendekatan simulasi berbasis CAD-CAE. Menggunakan ANSYS 2023 versi Student, dilakukan analisis terhadap distribusi <i>equivalent stress</i>, <i>equivalent strain</i>, dan deformasi total pada rangka yang terbuat dari Carbon Steel. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan ekivalen maksimum sebesar 82,348 MPa muncul di area sambungan dan profil siku, namun tetap berada di bawah batas elastisitas material. Regangan ekivalen tertinggi tercatat hanya 0,00038851 mm/mm, menandakan bahwa deformasi yang terjadi bersifat elastis dan sangat kecil. Sementara itu, deformasi total maksimum sebesar 3,0879 mm masih dalam batas aman dan tidak mengancam integritas struktural alat. Temuan ini memberikan keyakinan bahwa desain rangka yang diusulkan layak diwujudkan secara fisik untuk pengujian kampas rem sepeda yang andal dan efisien.
*Corresponding Author: M Zaenudin Department, Faculty, University, Country, postcode Email: mzaenudin@jgu.ac.id DOI: 10.56904/imejour.v3i2.149	

1. PENDAHULUAN

Kinerja sistem pengereman sepeda sangat bergantung pada material kampas rem yang digunakan, terutama dalam hal koefisien gesek, ketahanan aus, dan stabilitas termal [1]. Untuk mengevaluasi parameter-parameter tersebut secara objektif, diperlukan alat uji gesek yang mampu mensimulasikan kondisi kerja nyata dalam lingkungan terkontrol. Namun, keberhasilan pengujian tidak hanya ditentukan oleh akurasi sensor atau kontrol beban, melainkan juga oleh integritas struktural alat uji itu sendiri. Rangka alat uji yang tidak cukup kuat atau dirancang tanpa pertimbangan mekanika yang memadai berpotensi menghasilkan data yang tidak valid, bahkan dapat mengalami kegagalan mekanis selama pengujian, sehingga mengancam keselamatan operator dan merusak komponen yang diuji.

Dalam konteks rekayasa mekanik, analisis kekuatan struktural menjadi langkah krusial dalam tahap perancangan [2]. Salah satu pendekatan yang paling andal dan luas digunakan adalah Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method/FEM*), yang memungkinkan evaluasi distribusi tegangan, regangan, dan deformasi pada struktur kompleks dengan akurasi tinggi [3]. Melalui FEM, titik-titik kritis yang rentan terhadap konsentrasi tegangan dapat diidentifikasi sejak dini, sehingga memungkinkan optimasi desain sebelum proses fabrikasi fisik dilakukan. Pemanfaatan perangkat

lunak simulasi seperti ANSYS telah menjadi standar dalam berbagai studi rekayasa struktural, mulai dari mesin pertanian hingga rangka kendaraan [4].

Beberapa penelitian terdahulu telah mengimplementasikan FEM untuk menganalisis kekuatan rangka perangkat mekanik. Sofyan dkk. menggunakan ANSYS untuk mengevaluasi rangka mesin pengering bawang merah, menemukan bahwa tegangan maksimum (33,45 MPa) dan defleksi (0,005 mm) masih berada dalam batas aman material [5]. Di bidang transportasi, Hermanto dkk. [6] menganalisis rangka sepeda statis dan sepeda hybrid, menunjukkan bahwa peningkatan beban secara langsung menurunkan faktor keamanan, sehingga menekankan pentingnya batas beban desain yang ketat. Dapat disimpulkan bahwa FEM efektif dalam menentukan kapasitas beban maksimum dan distribusi tegangan pada struktur rangka mesin dan kendaraan.

Namun demikian, studi yang secara spesifik mengkaji alat uji gesek untuk kampas rem sepeda masih sangat terbatas. Penelitian oleh Andika dkk. [7] meskipun telah merancang alat uji rem cakram sepeda motor, belum menyertakan analisis struktural mendalam berbasis FEM dengan perangkat lunak simulasi yang terverifikasi secara luas. Padahal, seperti ditegaskan oleh Nurudin [8], integritas struktural suatu rangka dinilai aman hanya jika tegangan kerja berada di bawah batas luluh material, suatu prinsip fundamental dalam desain mekanik untuk memastikan umur pakai jangka panjang dan keandalan operasional. Penelitian serupa mengenai frame juga pernah dilakukan dan dilaporkan pada referensi [9] dan [10] yang membuahkan hasil bahwa penggunaan FEM mampu mempermudah dan mempercepat proses design, termasuk memperkirakan kekuatan yang diperlukan bagi rangka dalam suatu alat tertentu.

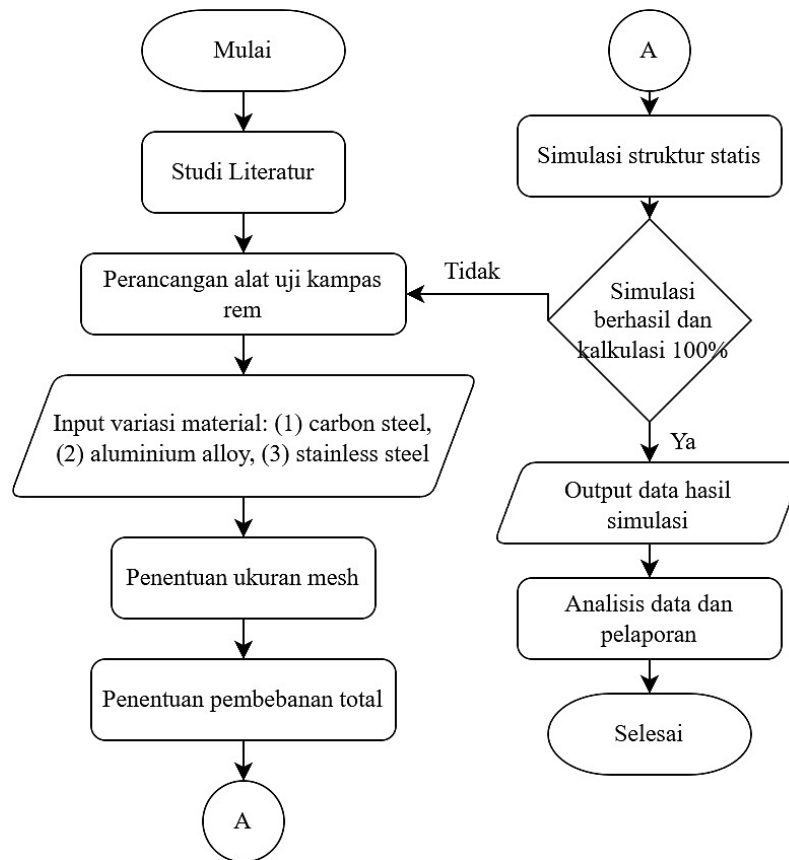
Mengacu pada celah penelitian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk merancang dan menganalisis kekuatan struktural rangka alat uji gesek kampas rem sepeda melalui pendekatan CAD-CAE dengan simulasi FEM menggunakan ANSYS 2023 versi *Student*. Fokus utama diberikan pada evaluasi distribusi equivalent stress, equivalent strain, dan total deformation guna memastikan bahwa desain rangka tidak hanya memenuhi persyaratan fungsional, tetapi juga aman dari risiko kegagalan struktural selama pengujian. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada pengembangan alat uji lokal yang terjangkau, tetapi juga memperkaya literatur mengenai penerapan FEM dalam evaluasi struktur perangkat pengujian tribologi dan friksi pada skala kecil.

2. METODE

Penelitian ini mengadopsi pendekatan kuantitatif berbasis simulasi numerik untuk merancang, menganalisis, dan memvalidasi kekuatan struktural rangka alat uji gesek kampas rem sepeda. Strategi penelitian dirancang secara bertahap, mengikuti alur metodologis yang terdiri atas: (1) studi literatur, (2) pemodelan geometris menggunakan perangkat lunak *Computer-Aided Design* (CAD), (3) simulasi struktural berbasis *Computer-Aided Engineering* (CAE) dengan metode elemen hingga (Finite Element Method, FEM), (4) fabrikasi prototipe, (5) pengujian eksperimental, dan (6) analisis serta interpretasi data. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi komprehensif terhadap integritas mekanis desain sebelum proses pembuatan fisik dilakukan.

Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. Langkah awal dimulai dengan studi literatur yang komprehensif untuk memahami prinsip dasar pengujian gesekan, karakteristik material kampas rem, serta penerapan CAD-CAE dalam perancangan alat uji mekanis. Studi ini juga mencakup tinjauan terhadap penelitian terdahulu guna mengidentifikasi celah metodologis dan menetapkan parameter desain yang relevan. Berbekal pemahaman tersebut, tahap selanjutnya adalah perancangan geometris alat uji menggunakan perangkat lunak SolidWorks. Model tiga dimensi dibuat dengan mempertimbangkan spesifikasi fungsional, termasuk dimensi komponen, titik pemasangan beban, dan aksesibilitas selama pengujian. Setelah validasi visual, model CAD dikonversi ke format *Initial Graphics Exchange Specification* (.igs) untuk kompatibilitas dengan perangkat lunak simulasi. Data simulasi dianalisis untuk mengidentifikasi titik kritis, mengevaluasi keamanan desain berdasarkan batas luluh material, dan membandingkan kinerja struktural antar material. Hasil simulasi juga divalidasi terhadap referensi teoretis dan studi terdahulu guna memastikan konsistensi dan keandalan temuan. Melalui pendekatan metodologis yang sistematis ini, penelitian bertujuan tidak hanya menghasilkan desain alat uji yang fungsional, tetapi juga

memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk pengembangan perangkat pengujian tribologi berskala laboratorium yang andal dan ekonomis.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

Simulasi struktural dilakukan menggunakan ANSYS 2023 Student, sebuah platform CAE yang terverifikasi secara luas dalam analisis mekanika rekayasa. Analisis statis struktural (static structural analysis) diterapkan untuk mengevaluasi respons mekanis rangka terhadap beban statis yang merepresentasikan kondisi operasional nyata. Dalam penelitian ini, tiga jenis material dipertimbangkan sebagai variabel bebas: Carbon Steel (setara AISI 1020), Aluminium Alloy, dan Stainless Steel. Sifat mekanis masing-masing material, meliputi densitas, modulus elastisitas, rasio Poisson, dan modulus geser, yang diinput secara eksplisit ke dalam modul *Engineering Data* di piranti lunak ANSYS (Tabel 1).

Tabel 1. Sifat fisik dan mekanik material yang digunakan dalam simulasi.

Material	Density (kg/m ³)	Young's Modulus (GPa)	Poisson's Ratio	Shear Modulus (GPa)
Carbon Steel	7850	212,4	0,29	82,326
Aluminum Alloy	2770	71	0,33	26,692
Stainless Steel	7750	193	0,31	73,664

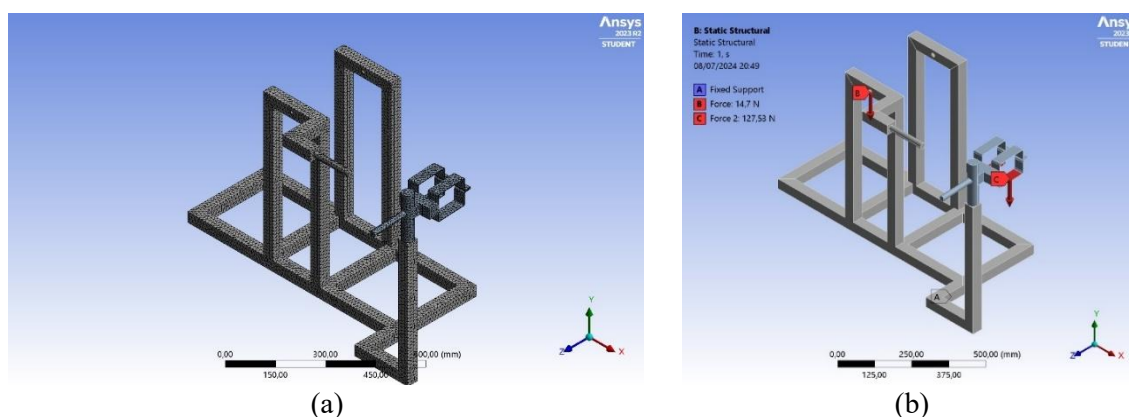
Sebagai variabel terikat, penelitian ini mengukur empat parameter utama: equivalent stress (von Mises stress), equivalent strain, total deformation, dan safety factor. Sementara itu, variabel kontrol dijaga konstan untuk memastikan validitas internal simulasi, termasuk: (1) suhu lingkungan simulasi (25°C), (2) besar dan distribusi beban statis, serta (3) metode analisis yang seragam menggunakan modul *Static Structural* ANSYS. Proses simulasi mengikuti urutan standar FEM. Pertama, geometri di-mesh menggunakan ukuran elemen adaptif, yaitu 12 mm untuk rangka utama dan 10 mm untuk dudukan motor, menghasilkan total 122.920 elemen dan 66.083 node, yang merupakan masih dalam

batas maksimum versi student. Kualitas mesh dievaluasi berdasarkan tiga metrik, seperti skewness, element quality, dan aspect ratio. Rata-rata skewness sebesar 0,59 dan element quality 0,52 menunjukkan bahwa mesh berada dalam kategori akseptabel untuk simulasi struktural, meskipun memiliki variasi internal yang cukup signifikan (Tabel 2).

Tabel 2. Kualitas mesh

No.	Mesh Metric	Rerata	Standard Deviation
1	Skewness	0,59138	0,30759
2	Element Quality	0,52341	0,26908
3	Aspect Ratio	4,3196	2,3419

Selanjutnya, kondisi batas (*boundary conditions*) diterapkan sesuai kondisi nyata. Tumpuan tetap (*fixed support*) ditempatkan pada permukaan bawah rangka, sementara beban statis diberikan sebagai representasi gravitasi dari komponen sistem: 14,7 N (setara massa roda 1,5 kg) dan 78,48 N (setara motor penggerak 8 kg). Visualisasi mesh dan *boundary conditions* dapat dilihat pada Gambar 2, di mana (a) merupakan visualisasi *mesh* dan (b) merupakan konfigurasi *boundary condition*. Simulasi kemudian dijalankan, dan hasilnya divisualisasikan dalam bentuk peta kontur bergradasi warna, dengan legenda yang menunjukkan distribusi numerik parameter mekanis.



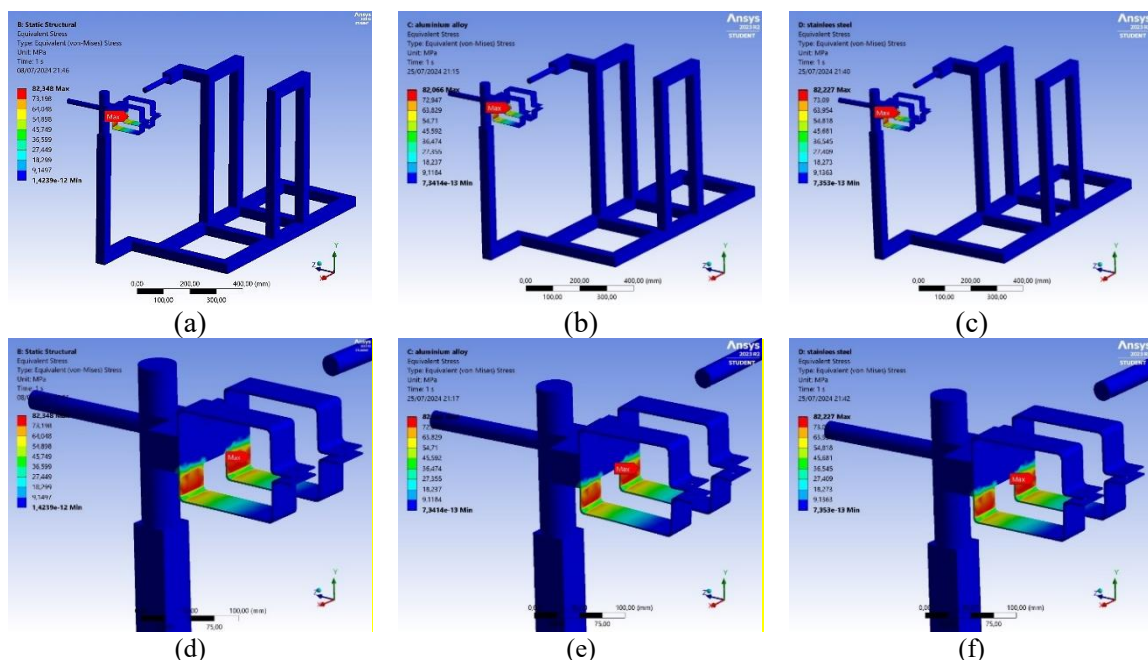
Gambar 2. Visualisasi mesh (a) dan boundary condition (b) dari desain alat uji gesek sederhana untuk kampas rem sepeda.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis struktural terhadap rangka alat uji gesek kampas rem sepeda menunjukkan bahwa distribusi tegangan tidak merata di seluruh struktur, sebagaimana umum terjadi pada sistem mekanis dengan geometri kompleks dan pembebanan lokal. Parameter utama yang digunakan untuk menilai keamanan struktural adalah *equivalent stress* (atau *von Mises stress*), yang merepresentasikan kondisi tegangan multiaxial dalam bentuk skalar ekuivalen. Nilai ini menjadi indikator kritis untuk memprediksi onset deformasi plastis atau kegagalan pada material ulet seperti baja karbon. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konsentrasi tegangan tertinggi terjadi pada daerah sambungan dan profil siku, khususnya di sekitar kedudukan motor penggerak, di mana wilayah yang mengalami kombinasi beban berat dan perubahan geometri mendadak. Pada visualisasi kontur (Gambar 3a–c), area ini ditandai dengan gradasi warna merah, mencerminkan tingginya nilai tegangan lokal. Sebaliknya, bagian rangka yang jauh dari titik pembebanan dan memiliki geometri lebih seragam menunjukkan distribusi tegangan rendah, diwakili oleh warna biru pada peta kontur. Pola ini konsisten dengan prinsip mekanika rekayasa: perubahan tajam pada penampang atau adanya sudut tajam berpotensi menimbulkan stress concentration, yang pada gilirannya meningkatkan risiko inisiasi retak bila tegangan melebihi batas luluh material.

Secara kuantitatif, nilai *equivalent stress* maksimum yang tercatat pada simulasi dengan material Carbon Steel (setara AISI 1020) adalah 82,348 MPa, terlokalisasi tepat pada profil siku kedudukan motor (Gambar 3d–f). Nilai ini berada jauh di bawah batas luluh Carbon Steel (sekitar 210–250 MPa,

tergantung komposisi), sehingga struktur masih beroperasi dalam regime elastis dan tidak berisiko mengalami deformasi permanen atau kegagalan struktural selama pengujian. Dengan kata lain, meskipun area tersebut merupakan “titik kritis” dalam konteks distribusi tegangan, desain saat ini tetap memenuhi kriteria keamanan struktural. Hasil ini juga selaras dengan prinsip desain mekanis yang ditegaskan oleh Nurudin [8] suatu struktur dianggap aman selama tegangan kerja tidak melebihi batas elastis material. Lebih lanjut, konsistensi hasil ini dengan studi terdahulu, seperti penelitian Sofyan dkk. [5], memperkuat validitas pendekatan simulasi yang digunakan. Kedua studi tersebut juga mengidentifikasi sambungan dan transisi geometri sebagai lokasi dominan konsentrasi tegangan, sekaligus menegaskan bahwa optimasi desain pada wilayah tersebut (misalnya melalui fillet, penguatan lokal, atau redistribusi beban) dapat meningkatkan faktor keamanan secara signifikan. Penting dicatat bahwa meskipun Aluminium Alloy dan Stainless Steel turut dianalisis sebagai alternatif material, Carbon Steel tetap dipilih sebagai referensi utama dalam pembahasan ini karena kombinasi optimal antara kekuatan, ketahanan terhadap deformasi, dan biaya fabrikasi—faktor-faktor yang sangat relevan dalam pengembangan alat uji skala laboratorium. Namun, perbandingan kinerja antar material (melalui equivalent stress, deformasi total, dan faktor keamanan) memberikan dasar rasional bagi adaptasi desain di masa depan sesuai kebutuhan spesifik, seperti prioritas terhadap bobot ringan (*lightweighting*) atau ketahanan korosi.



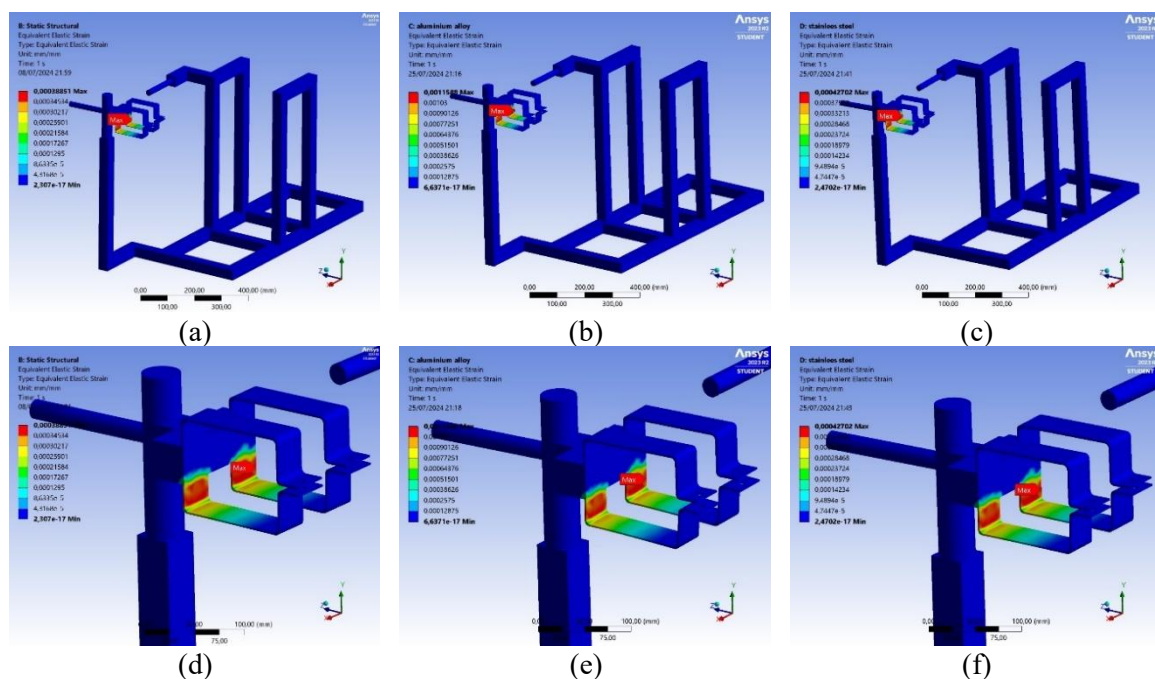
Gambar 3. Hasil pengujian dan visualisasi distribusi equivalent stress pada rangka dengan (a), (b), dan (c) merupakan visualisasi keseluruhan dan (d), (e), dan (f) merupakan visualisasi rinci pada titik kritis. (a) dan (d) menggunakan material baja karbon, sedangkan (b) dan (e) menggunakan paduan aluminum, serta (c) dan (f) menggunakan *stainless steel*.

Selain tegangan, parameter deformasi juga menjadi indikator krusial dalam menilai kinerja struktural suatu komponen mekanis. Dalam konteks ini, *equivalent strain* (atau *von Mises strain*) digunakan untuk menggambarkan besarnya distorsi atau perubahan bentuk yang dialami material akibat pembebanan, terlepas dari arah deformasinya. Analisis distribusi *equivalent strain* memberikan wawasan tentang wilayah-wilayah pada rangka alat uji yang paling rentan terhadap perubahan geometri, baik bersifat elastis maupun plastis, serta berpotensi mengalami kelelahan material (*fatigue*) dalam kondisi pembebanan siklik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa distribusi *equivalent strain* pada rangka alat uji tidak merata, dengan nilai maksimum terkonsentrasi pada area sambungan dan profil siku, khususnya di sekitar kedudukan motor penggerak, lokasi yang secara konsisten muncul sebagai

daerah kritis dalam analisis tegangan sebelumnya. Visualisasi kontur pada Gambar 4a–c menggambarkan pola ini dengan jelas: gradasi warna merah menandai wilayah dengan regangan tinggi, sedangkan warna biru mencerminkan deformasi minimal. Nilai *equivalent strain* maksimum yang tercatat adalah 0,00038851 mm/mm, yang terlokalisasi pada profil sikuudukan motor (Gambar 4d–f).

Nilai regangan ini, meskipun kecil secara absolut, memiliki makna teknis yang signifikan. Pertama, karena berada jauh di bawah batas regangan plastis khas untuk baja karbon (yang umumnya dimulai sekitar 0,002-0,005 mm/mm), deformasi yang terjadi bersifat elastis murni. Artinya, struktur akan kembali ke bentuk semula setelah beban dilepas, tanpa menyisakan cacat permanen. Kedua, konsistensi lokasi regangan maksimum dengan lokasi tegangan maksimum menegaskan bahwa daerah tersebut mengalami kombinasi beban tinggi dan ketidakseragaman geometri, yang merupakan dua faktor utama yang memperkuat konsentrasi respons mekanis. Hasil ini sejalan dengan prinsip dasar mekanika material bahwa deformasi lokal cenderung meningkat di wilayah dengan gradien geometri tajam, seperti sudut siku atau transisi penampang mendadak. Meskipun deformasi elastis saat ini tidak menimbulkan risiko kegagalan struktural, keberadaan regangan tinggi di area tersebut tetap menjadi perhatian dalam konteks ketahanan jangka panjang. Jika alat uji dioperasikan secara berulang atau dalam durasi panjang, misalnya dalam pengujian keausan kampas rem, daerah ini berpotensi menjadi lokasi inisiasi retak akibat kelelahan material. Hal ini konsisten dengan temuan Ismail dkk. [11], yang menekankan bahwa regangan siklik meski kecil dapat mengakumulasi kerusakan mikrostruktural seiring waktu.

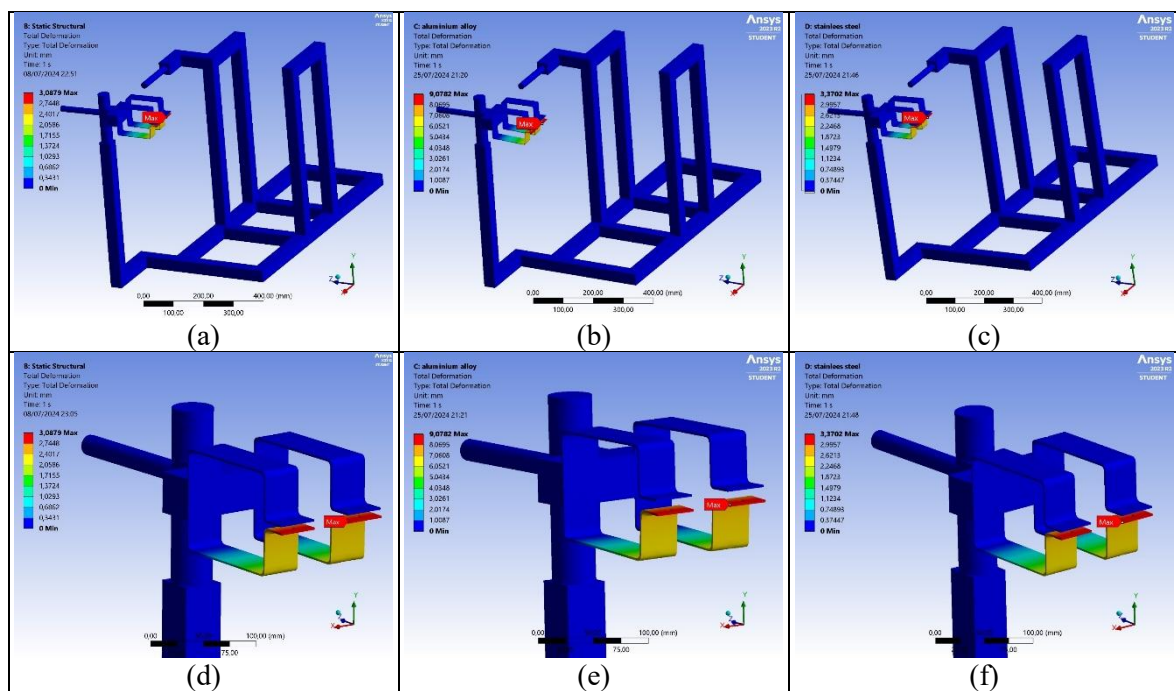
Oleh karena itu, meskipun desain saat ini memenuhi kriteria keamanan untuk kondisi statis, optimasi geometri pada profil siku, seperti penambahan *fillet*, pelunakan transisi sudut, atau penguatan lokal, dapat menjadi langkah strategis untuk mengurangi konsentrasi regangan dan memperpanjang umur operasional alat. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan keandalan struktural, tetapi juga menjamin konsistensi hasil pengujian dalam jangka panjang, karena deformasi berlebih pada rangka dapat memengaruhi presisi pengukuran koefisien gesek.



Gambar 4. Hasil pengujian dan visualisasi distribusi equivalent strain pada rangka dengan (a), (b), dan (c) merupakan visualisasi keseluruhan dan (d), (e), dan (f) merupakan visualisasi rinci pada titik

kritis. (a) dan (d) menggunakan material baja karbon, sedangkan (b) dan (e) menggunakan paduan aluminum, serta (c) dan (f) menggunakan *stainless steel*.

Deformasi total (*total deformation*) merupakan parameter kunci dalam menilai stabilitas geometris suatu struktur di bawah beban, karena menggambarkan besarnya perpindahan atau lendutan yang terjadi pada setiap titik komponen. Dalam konteks alat uji gesek, deformasi berlebih, meskipun tidak menyebabkan kegagalan struktural, hal ini dapat mengganggu presisi pengukuran, mengubah jarak antar komponen kritis (seperti antara kampas rem dan cakram), atau bahkan mengakibatkan vibrasi yang tidak diinginkan selama pengujian. Oleh karena itu, memastikan bahwa deformasi tetap berada dalam batas toleransi desain merupakan aspek esensial dalam validasi kinerja alat. Hasil simulasi menunjukkan bahwa total deformation pada rangka alat uji terdistribusi secara tidak merata, dengan pola yang konsisten dengan prinsip mekanika struktur. Visualisasi kontur pada Gambar 5a–c mengungkap bahwa sebagian besar struktur, terutama di dekat tumpuan tetap, mengalami deformasi sangat kecil, ditandai dengan dominasi warna biru. Sebaliknya, deformasi maksimum terjadi pada ujungudukan motor penggerak, wilayah yang berada paling jauh dari titik-titik penahan utama. Lokasi ini menunjukkan warna merah pada peta kontur (Gambar 5d–f), mencerminkan lendutan terbesar akibat momen lentur yang dihasilkan oleh berat motor (78,48 N) yang bekerja pada kantilever pendek.



Gambar 5. Hasil pengujian dan visualisasi distribusi total deformation pada rangka dengan (a), (b), dan (c) merupakan visualisasi keseluruhan dan (d), (e), dan (f) merupakan visualisasi rinci pada titik kritis. (a) dan (d) menggunakan material baja karbon, sedangkan (b) dan (e) menggunakan paduan aluminum, serta (c) dan (f) menggunakan *stainless steel*.

Nilai deformasi total maksimum yang tercatat adalah 3,0879 mm. Meskipun tampak signifikan secara numerik, nilai ini tetap berada dalam batas toleransi desain yang ditetapkan berdasarkan pertimbangan fungsional dan geometris alat. Secara struktural, deformasi sebesar ini tidak mengindikasikan risiko kegagalan, karena tidak menyebabkan interaksi mekanis yang tidak diinginkan antar komponen, tidak mengganggu keselarasan sistem

rotasi, dan tetap memungkinkan pengoperasian alat secara aman dan konsisten. Lebih penting lagi, nilai ini jauh di bawah ambang batas deformasi yang dapat memicu lelah struktural atau distorsi permanen pada material baja karbon.

Hasil ini selaras dengan teori lentur balok dan perilaku struktur kantilever: semakin jauh suatu titik dari tumpuan, semakin besar lendutan yang diharapkan di bawah beban terkonsentrasi. Dengan demikian, lokasi deformasi maksimum bukanlah indikasi kesalahan desain, melainkan konsekuensi alami dari distribusi beban dan kondisi tumpuan. Namun, hal ini tetap menjadi pertimbangan penting dalam pengembangan lanjutan. Misalnya, jika alat uji nantinya dimodifikasi untuk menampung motor yang lebih berat atau digunakan dalam pengujian dinamis berkecepatan tinggi, lendutan pada ujung dudukan dapat diperkecil melalui beberapa strategi desain, seperti penambahan penyangga sekunder, peningkatan kekakuan lokal dengan profil berongga, atau penggunaan material dengan modulus elastisitas lebih tinggi. Selain itu, konsistensi lokasi deformasi maksimum dengan area konsentrasi tegangan dan regangan (sebagaimana dijelaskan pada bagian sebelumnya) memperkuat identifikasi dudukan motor penggerak sebagai zona kritis dalam keseluruhan sistem. Meskipun saat ini respons strukturalnya masih aman, zona ini memerlukan perhatian khusus dalam proses fabrikasi, misalnya melalui pengelasan berkualitas tinggi, inspeksi non-destruktif, atau penguatan mekanis, untuk memastikan keandalan dalam jangka panjang.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan menganalisis kekuatan struktural rangka alat uji gesek kampas rem sepeda melalui pendekatan simulasi berbasis metode elemen hingga. Hasil menunjukkan bahwa desain rangka yang menggunakan *Carbon Steel* (setara AISI 1020) mampu menahan beban operasional statis tanpa mengalami deformasi plastis atau kegagalan struktural. Tegangan ekuivalen maksimum (82,348 MPa) berada jauh di bawah batas luluh material, sementara deformasi total maksimum (3,0879 mm) tetap dalam batas toleransi fungsional. Area kritis teridentifikasi pada profil siku dudukan motor penggerak, merupakan lokasi yang mengalami konsentrasi tegangan, regangan, dan lendutan tertinggi akibat kombinasi beban dan ketidakseragaman geometri. Meskipun respons struktural saat ini aman, optimasi desain pada zona tersebut (misalnya melalui *fillet* atau penguatan lokal) direkomendasikan untuk meningkatkan ketahanan jangka panjang, terutama jika alat dioperasikan dalam kondisi dinamis atau berulang.

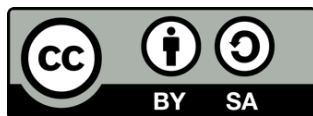
UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada Universitas Global Jakarta atas dukungannya selama menyelesaikan penelitian ini.

REFERENCES

- [1] D. Y. K. Putra, I. M. Suartika, and S. H. Pramudi, "PENGARUH TATA CARA PEMUATAN TERHADAP KINERJA PENGGEREMAN," *j.keselam.transportasijalan*, vol. 10, no. 1, pp. 47–56, June 2023, doi: 10.46447/kjtj.v10i1.559.
- [2] I. A. Karnovsky and O. Lebed, *Advanced Methods of Structural Analysis*. Springer International Publishing, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-44394-8.
- [3] G. Dhatt, G. Touzot, and E. Lefrançois, "Finite Element Method." Wiley, Oct. 2012. doi: 10.1002/9781118569764.
- [4] E. H. Dill, *The Finite Element Method for Mechanics of Solids with ANSYS Applications*. CRC Press, 2011. doi: 10.1201/b11455.
- [5] A. Sofyan, J. Glusevic, A. J. Zulfikar, and B. Umroh, "Analisis Kekuatan Struktur Rangka Mesin Pengereng Bawang Menggunakan Perangkat Lunak Ansys APDL 15.0," *JMEMME*, vol. 3, no. 1, p. 20, July 2019, doi: 10.31289/jmemme.v3i1.2417.
- [6] Hermanto, R. Ariyansah, and A. Gamayel, "Analisis Kekuatan Struktur Rangka Pembangkit Listrik Sepeda Statis Menggunakan Perangkat Lunak Ansys Workbench," *teknobiz*, vol. 11, no. 1, pp. 20–25, Mar. 2021, doi: 10.35814/teknobiz.v11i1.2039.
- [7] S. Andika, A. Gamayel, and R. Ariyansah, "Desain dan Analisis Chassis Pada Alat Uji Rem Cakram

- Sepeda Motor Menggunakan Autodeks Inventor,” metiks, vol. 2, no. 1, pp. 20–26, July 2022, doi: 10.30598/metiks.2022.2.1.20-26.
- [8] F. Nurudin, “Analisa Kekuatan Chassis Sapuagin Speed Menggunakan Material Aluminum dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga,” Skripsi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, June 2020. Link: <http://repository.its.ac.id/id/eprint/76172>
- [9] H. Isworo, “Permodelan Analisis Pengaruh Tinggi Main Roll Hoop Terhadap Tegangan dan Displacement Pada Mobil Formula Student Automotive Engineering,” SJME Kinematika, vol. 2, no. 1, pp. 37–51, June 2017, doi: 10.20527/sjmekinematika.v2i1.42.
- [10] R. Hadikusuma, M. Zaenudin, and M. U. Z. Priyadi, “Analisis Frame Body Pada Mesin Pengupas Dan Pemotong Kentang Sederhana,” IMEJOUR, vol. 2, no. 2, pp. 101–110, Nov. 2024, doi: 10.56904/imejour.v2i2.62.
- [11] R. Ismail, M. Munadi, Z. K. Ahmad, and A. P. Bayuseno, “Analisis Displacement dan Tegangan von Mises Terhadap Chassis Mobil Listrik Gentayu,” Rot., vol. 20, no. 4, p. 231, Jan. 2019, doi: 10.14710/rotasi.20.4.231-236.



Integrated Mechanical Engineering Journal (IMEJOUR) is licensed under a [Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).