METROTECH
Journal of Mechanical and Electrical Technology
Vol. 05 No. 02, Mei 2026, E-ISSN 2809-9605 | P-ISSN 2827-8097

Analisis Kekuatan *Footstep* Sepeda Motor pada Material AISI 4140 dan Aluminium 6061-T6 Menggunakan Metode Elemen Hingga

Muhammad Agha Al Farisi[1], Deri Teguh Santoso[2*], Aripin[3]
[1,2,3] Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang, Karawang
[*]Penulis Korespondensi, email: deri.teguh@ft.unsika.ac.id

Received:16/04/2026 *Revised:24/04/2026* *Accepted:25/04/2026*

Abstract. *This study aims to analyze and compare the structural performance of a motorcycle footstep using AISI 4140 steel and Aluminium 6061-T6 through the Finite Element Method (FEM). Previous studies have widely focused on general automotive components, while specific comparative analysis on motorcycle footstep structures remain limited. Therefore, this study provides a direct numerical comparison of both materials under identical geometry and loading conditions. The simulation was conducted in* ANSYS Workbench *under a static load of 646.8 N applied to the footstep surface. The evaluated parameters include* von Mises *stress, total deformation, and safety factor. The results show that maximum stress concentration occurs at the joint between the mounting and the footstep. The maximum stress values for AISI 4140 and Aluminium 6061-T6 are 351.94 MPa and 346.77 MPa, respectively, indicating similar stress behavior. However, Aluminium 6061-T6 exhibits higher deformation (0.610 mm) compared to AISI 4140 (0.223 mm). Furthermore, AISI 4140 demonstrates a minimum safety factor of 2.813, indicating safe operating conditions, whereas Aluminium 6061-T6 shows a safety factor of 0.796, indicating a critical condition. This study highlights that direct material substitution without structural optimization may lead to failure in lightweight materials. Therefore, AISI 4140 provides better structural reliability, while Aluminium 6061-T6 requires design optimization to meet safety requirements.*

Keywords: *Finite element method, Motorcycle footstep, AISI 4140, Aluminium 6061-T6, Structural analysis*

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan performa struktural *footstep* sepeda motor menggunakan material AISI 4140 dan Aluminium 6061-T6 dengan metode elemen hingga (*Finite Element Method*/FEM). Penelitian sebelumnya umumnya berfokus pada komponen otomotif secara umum, sementara analisis komparatif spesifik pada struktur *footstep* sepeda motor masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini menyajikan perbandingan numerik langsung kedua material pada geometri dan kondisi pembebanan yang sama. Simulasi dilakukan menggunakan ANSYS Workbench dengan pembebanan statis sebesar 646,8 N pada permukaan *footstep*. Parameter yang dianalisis meliputi tegangan von Mises, deformasi total, dan faktor keamanan. Hasil menunjukkan bahwa konsentrasi tegangan maksimum terjadi pada area sambungan antara dudukan dan pijakan. Nilai tegangan maksimum pada AISI 4140 sebesar 351,94 MPa dan Aluminium 6061-T6 sebesar 346,77 MPa, yang menunjukkan perilaku tegangan yang relatif serupa. Namun, Aluminium 6061-T6 mengalami deformasi lebih besar (0,610 mm) dibandingkan AISI 4140 (0,223 mm). Selain itu, AISI 4140 memiliki faktor keamanan minimum sebesar 2,813 yang menunjukkan kondisi aman, sedangkan Aluminium 6061-T6 memiliki faktor keamanan sebesar 0,796 yang menunjukkan kondisi kritis. Hasil ini menunjukkan bahwa substitusi material secara langsung tanpa optimasi struktur berpotensi menyebabkan kegagalan pada material ringan. Oleh karena itu, AISI 4140 memiliki keandalan struktural yang lebih baik, sementara Aluminium 6061-T6 memerlukan optimasi desain untuk memenuhi persyaratan keamanan.

Kata Kunci: *Finite element method*, *Footstep* sepeda motor, AISI 4140, Aluminium 6061-T6, Analisis struktur

I. PENDAHULUAN

Sepeda motor merupakan salah satu moda transportasi darat yang banyak digunakan karena memiliki mobilitas tinggi serta efisiensi bahan bakar yang baik. Dalam pengoperasiannya, kenyamanan dan keselamatan pengendara sangat dipengaruhi oleh kinerja komponen struktural kendaraan yang mampu menahan beban selama proses berkendara. Salah satu komponen penting pada sepeda motor adalah *footstep*, yaitu pijakan

kaki yang berfungsi menopang sebagian beban tubuh pengendara selama berkendara. Oleh karena itu, komponen *footstep* harus dirancang dengan kekuatan struktural yang memadai agar mampu menahan beban operasional dan mencegah terjadinya kegagalan struktur yang dapat membahayakan pengendara [1].

Perkembangan teknologi otomotif saat ini mendorong penerapan konsep *lightweight vehicle* untuk meningkatkan efisiensi energi serta performa kendaraan. Pengurangan massa kendaraan dapat dilakukan melalui pemilihan material yang memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang tinggi. [2]. Baja masih banyak digunakan pada berbagai komponen kendaraan karena memiliki kekuatan mekanik yang baik, namun memiliki massa jenis yang relatif besar sehingga dapat meningkatkan berat total kendaraan. Oleh karena itu, material alternatif seperti paduan aluminium Aluminium 6061-T6 mulai banyak digunakan dalam industri otomotif karena memiliki massa jenis lebih rendah, ketahanan korosi yang baik, serta rasio kekuatan terhadap berat yang cukup tinggi [3].

Dalam beberapa tahun terakhir, metode *Finite Element Method (FEM)* telah banyak digunakan untuk menganalisis perilaku mekanik komponen kendaraan sebelum proses manufaktur dilakukan. Metode ini mampu memprediksi distribusi tegangan, deformasi, serta faktor keamanan suatu struktur melalui simulasi numerik dengan tingkat akurasi yang baik [4]. Berbagai penelitian telah menerapkan *FEM* untuk menganalisis struktur kendaraan seperti rangka kendaraan listrik, velg sepeda motor, maupun komponen mekanik berbasis aluminium dan baja [5].

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan material aluminium pada komponen kendaraan dapat mengurangi massa struktur tanpa menurunkan kekuatan mekanik secara signifikan apabila desain struktur dioptimalkan dengan baik. Selain itu, analisis menggunakan *FEM* memungkinkan evaluasi parameter mekanik seperti tegangan von Mises, deformasi total, serta *safety factor* untuk memastikan keamanan suatu struktur terhadap pembebanan [6]. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya lebih berfokus pada analisis struktur rangka kendaraan atau komponen otomotif lainnya, sehingga penelitian yang secara khusus membandingkan performa struktural antara material baja dan aluminium pada komponen *footstep* sepeda motor masih relatif terbatas [7]-[8].

Penelitian ini menawarkan perbandingan numerik langsung antara material AISI 4140 dan Aluminium 6061-T6 pada geometri *footstep* yang identik dengan parameter evaluasi berupa tegangan von Mises, deformasi, dan faktor keamanan.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis serta membandingkan kekuatan struktur *footstep* sepeda motor menggunakan material baja AISI 4140 dan Aluminium 6061-T6 dengan menggunakan metode *Finite Element Method (FEM)*. Analisis dilakukan dengan mengevaluasi parameter tegangan von Mises, deformasi total, serta *safety factor* pada kondisi pembebanan statis sehingga dapat diperoleh rekomendasi material yang optimal antara kekuatan struktur dan efisiensi bobot komponen.

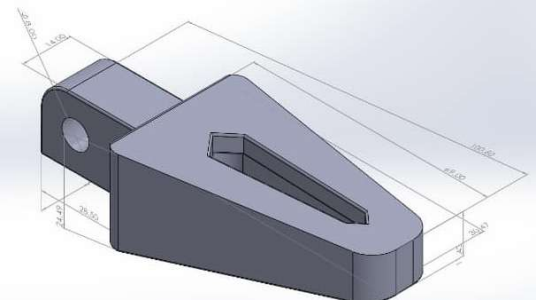
II. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis numerik berbasis *Finite Element Method* untuk mengevaluasi respons struktural *footstep* sepeda motor terhadap variasi material. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak ANSYS Workbench melalui modul *static structural* untuk memperoleh parameter utama berupa tegangan ekuivalen (von Mises stress), deformasi total, serta faktor keamanan akibat pembebanan statik pada struktur. Metode elemen hingga banyak digunakan dalam analisis komponen mekanik karena mampu memprediksi distribusi tegangan dan deformasi pada geometri kompleks secara numerik sebelum proses manufaktur dilakukan sehingga dapat meningkatkan efisiensi proses desain dan evaluasi struktur [1].

A. Pemodelan geometri (modeling)

Model 3D *footstep* sepeda motor dirancang menggunakan perangkat lunak CAD dan kemudian diimpor ke dalam lingkungan simulasi ANSYS

Workbench dengan format file *STEP*. Pada tahap ini dilakukan penyederhanaan bentuk geometri guna mengurangi kompleksitas perhitungan, namun fitur-fitur penting seperti lubang baut pengikat dan area pijakan kaki tetap dipertahankan karena berpotensi mengalami konsentrasi tegangan selama proses analisis struktur [9].



Gambar 1. 3D *Footstep* Sepeda Motor

B. Variasi material

Penelitian ini menganalisis dua jenis material yaitu **AISI 4140** dan **Aluminium 6061-T6**. Parameter material yang digunakan dalam simulasi meliputi densitas, modulus elastisitas, rasio Poisson, serta *yield strength* yang digunakan untuk menghitung faktor keamanan struktur.

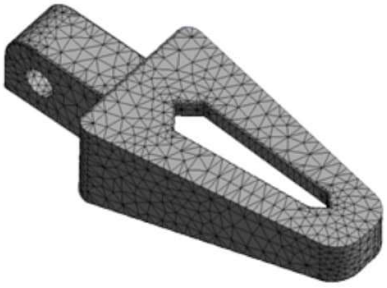
Tabel 1. *Properti Material Footstep* Sepeda Motor

Nama Material	*Modulus (GPa)*	*Yield (MPa)*	*Tensile (MPa)*	*Density*
AISI 4140	210 GPa	990 MPa	655 MPa	7.85 g/cm³
Aluminium 6061-T6	69 GPa	276 MPa	310 MPa	2.70 g/cm³

Sifat material yang dimasukkan ke dalam perangkat lunak simulasi meliputi modulus elastisitas (E), rasio Poisson (ν), massa jenis (ρ), serta *yield strength*. Modulus elastisitas digunakan untuk merepresentasikan kekakuan material terhadap deformasi, sedangkan *yield strength* digunakan sebagai acuan dalam perhitungan faktor keamanan struktur [10].

C. Penentuan mesh (meshing)

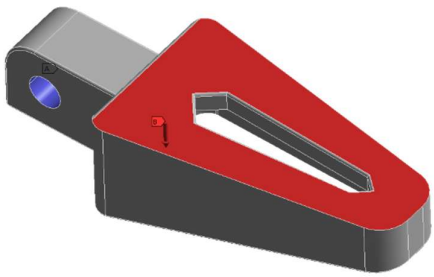
Proses *meshing* dilakukan dengan menggunakan elemen solid *tetrahedral* untuk membagi geometri menjadi elemen-elemen kecil. Penyempurnaan mesh diterapkan pada area yang berpotensi mengalami konsentrasi tegangan seperti lubang baut dan permukaan pijakan kaki guna meningkatkan akurasi hasil simulasi [4].



Gambar 2. 3D Proses *Meshing* pada *Footstep* Sepeda Motor

D. Kondisi batas (boundary condition) dan pembebanan

Kondisi batas ditentukan dengan memberikan *fixed support* pada lubang baut *footstep* yang terhubung dengan rangka sepeda motor. Pembebanan diberikan secara statik pada permukaan pijakan kaki dengan arah gaya vertikal ke bawah untuk mensimulasikan beban dari pengendara.



Gambar 3. 3D *Fix Support* dan *Titik Force* pada *Footstep* Sepeda Motor

Kondisi batas pada model *footstep* diterapkan dengan memberikan *fixed support* pada bagian lubang baut yang terhubung dengan rangka sepeda motor sehingga komponen dianggap tidak mengalami perpindahan selama proses simulasi. Pembebanan diberikan secara statik sebesar 646,8 N

pada area permukaan pijakan kaki dengan arah gaya vertikal ke bawah untuk merepresentasikan beban yang diterima *footstep* dari kaki pengendara saat berkendara.

Pembebanan sebesar 646,8 N tersebut ditentukan berdasarkan asumsi massa pengendara sebesar 66 kg. Besarnya gaya dihitung menggunakan persamaan dasar gaya ($F = m \times g$), dengan percepatan gravitasi sebesar 9,8 m/s^2, sehingga diperoleh gaya sebesar 646,8 N. Dalam penelitian ini diasumsikan bahwa sebagian beban tubuh pengendara terdistribusi pada *footstep*, sehingga pembebanan vertikal digunakan untuk merepresentasikan kondisi operasional aktual.

Pendekatan pembebanan ini digunakan untuk menggambarkan kondisi kerja aktual dari komponen *footstep* ketika menerima beban statis dari pengguna [9].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

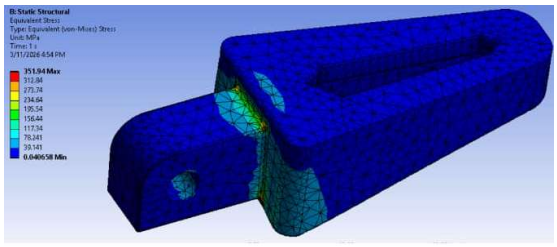
Berdasarkan hasil analisis struktural menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*) pada *footstep* sepeda motor, diperoleh respons mekanik dari dua jenis material yang dibandingkan. Simulasi numerik ini secara spesifik dilakukan untuk mengevaluasi respons mekanik dari dua jenis material yang berbeda, yaitu baja paduan AISI 4140 dan Aluminium 6061-T6, ketika diberikan pembebanan statis operasional sebesar 646,8 N.

Dalam pengujian tersebut, parameter utama yang dievaluasi meliputi tegangan von Mises, deformasi total (*displacement*), serta faktor keamanan (*safety factor*). Analisis komparatif ini bertujuan untuk membandingkan performa aktual dari kedua material guna menemukan keseimbangan yang paling optimal antara keandalan struktur komponen dan efisiensi reduksi bobot kendaraan (*lightweighting*) [1].

A. Von Mises stress

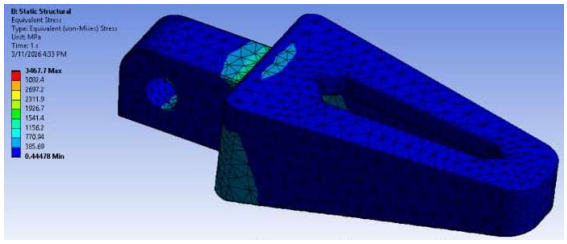
Distribusi tegangan von Mises digunakan untuk mengetahui tingkat tegangan yang terjadi pada struktur *footstep* akibat pembebanan yang diberikan. Tegangan maksimum umumnya terjadi pada area dengan perubahan geometri seperti *fillet* dan lubang baut, karena daerah tersebut mengalami konsentrasi tegangan [4].

Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada material AISI 4140 sebesar 351,94 Mpa. Tegangan maksimum terjadi pada bagian sambungan antara dudukan dan pijakan *footstep.*

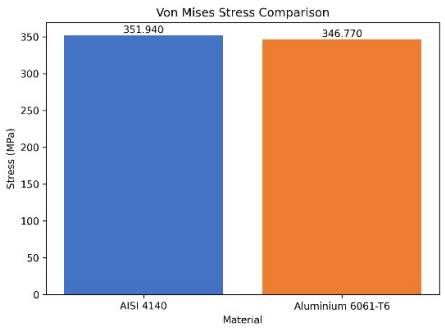


Gambar 4. Distribusi Tegangan Von Mises Stress pada Material AISI 4140

Pada material Aluminium 6061-T6, tegangan maksimum yang terjadi sebesar 346,77 MPa. Nilai tegangan yang melebihi batas luluh material menunjukkan bahwa struktur mulai mengalami deformasi plastis.



Gambar 5. Distribusi Tegangan Von Mises Stress pada Material Aluminium 6061-T6



Grafik 1. Perbandingan (Von Mises Stress) Terhadap Variasi Material pada *Footstep* Sepeda Motor

Tabel 2. Hasil Analisis Von Mises Stress pada Variasi Material dari *Footstep* Sepeda Motor

	MATERIAL	
	AISI 4140	Aluminium 6061-T6
von Mises stress	351,94 MPa	346,77 MPa

Berdasarkan hasil komputasi (Tabel 2), distribusi tegangan pada material baja AISI 4140 menunjukkan bahwa konsentrasi tegangan (*stress concentration*) terbesar terpusat pada area sekitar lubang *mounting* yang terhubung dengan rangka utama. Fenomena ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Bangunmas dkk serta Prasetiyo dkk. yang menyatakan bahwa area sambungan pada komponen penopang selalu menjadi titik kritis akibat menerima momen lentur terbesar [4]-[5].

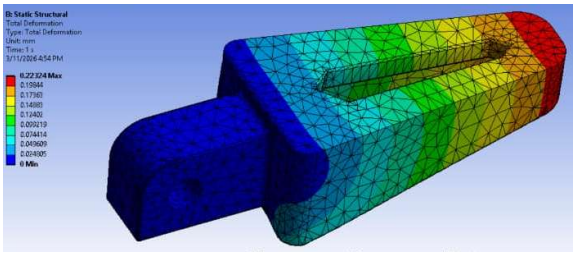
Tegangan maksimum yang tercatat pada material AISI 4140 adalah sebesar 351,94 MPa, jauh di bawah batas luluh (*yield strength*) materialnya yaitu 990 MPa. Hasil ini mengonfirmasi teori dasar mekanika material [9]. bahwa baja paduan memiliki ketahanan yang superior terhadap pembebanan statis. Sementara itu, tegangan maksimum pada material Aluminium 6061-T6 tercatat sebesar 346,77 MPa. Meskipun angka tegangannya mirip, nilai ini telah melampaui batas luluh material Aluminium 6061-T6 yang hanya sebesar 276 MPa, mengindikasikan bahwa struktur berbahan aluminium ini mulai mengalami fase deformasi plastis pada area kritisnya [7].

Meskipun nilai tegangan maksimum pada kedua material relatif serupa, hal ini menunjukkan bahwa distribusi tegangan lebih dipengaruhi oleh geometri dan kondisi pembebanan dibandingkan jenis material. Namun demikian, kemampuan material dalam menahan tegangan sangat bergantung pada nilai *yield strength* masing-masing material. Dalam hal ini, AISI 4140 memiliki margin keamanan yang lebih tinggi karena nilai *yield strength* yang jauh lebih besar dibandingkan Aluminium 6061-T6.

Oleh karena itu, meskipun distribusi tegangan pada kedua material relatif serupa, pemilihan material dengan *yield strength* yang lebih tinggi menjadi faktor krusial dalam menjamin keamanan struktur terhadap pembebanan operasional.

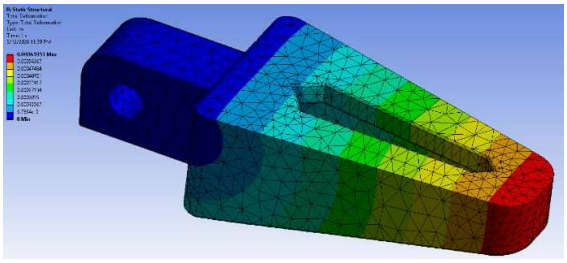
B. Displacement

Analisis deformasi total menunjukkan seberapa besar perpindahan fisik atau lendutan yang terjadi pada ujung luar *footstep* akibat gaya tekan dari pengendara sebesar 646,8 N.



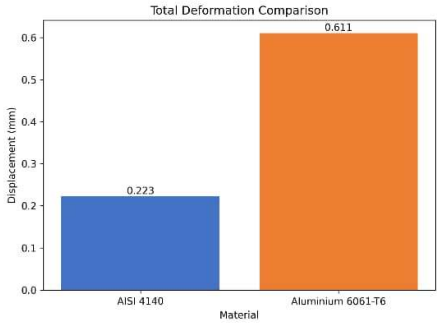
Gambar 6. Total Deformasi (*Displacement*) pada Material AISI 4140

Nilai deformasi ini relatif kecil karena material AISI 4140 memiliki modulus elastisitas yang tinggi (±210 GPa) sehingga struktur memiliki kekakuan yang lebih baik dalam menahan pembebanan [3], [11]. Distribusi deformasi menunjukkan bahwa sebagian besar area *footstep* mengalami deformasi yang sangat kecil, sementara deformasi terbesar terkonsentrasi pada ujung pijakan.



Gambar 7. Total Deformasi (*Displacement*) pada Material Aluminium 6061-T6

Nilai ini lebih besar dibandingkan dengan material AISI 4140. Hal ini disebabkan oleh sifat mekanik aluminium yang memiliki modulus elastisitas lebih rendah (±69 GPa) dibandingkan baja, sehingga material tersebut lebih mudah mengalami perubahan bentuk ketika menerima beban yang sama [3].



Grafik 2. Perbandingan Total Deformasi (*Displacement*) terhadap Variasi Material pada *Footstep* Sepeda Motor

Tabel 3. Perbandingan *Displacement* terhadap Variasi Material pada *Footstep* Sepeda Motor

	MATERIAL	
	AISI 4140	Aluminium 6061-T6
Displacement	0,223 mm	0,611 mm

Berdasarkan hasil tersebut, deformasi yang terjadi pada material Aluminium 6061-T6 sekitar 2.7 kali lebih besar dibandingkan AISI 4140. Hal ini menunjukkan bahwa material baja memiliki kekakuan struktur yang lebih tinggi sehingga mampu mempertahankan bentuk struktur dengan lebih baik ketika menerima pembebanan.

Meskipun deformasi pada aluminium lebih besar, nilai tersebut masih berada pada skala milimeter sehingga secara umum struktur masih dapat berfungsi. Namun demikian, peningkatan deformasi dapat mempengaruhi kenyamanan dan stabilitas *footstep* ketika digunakan oleh pengendara.

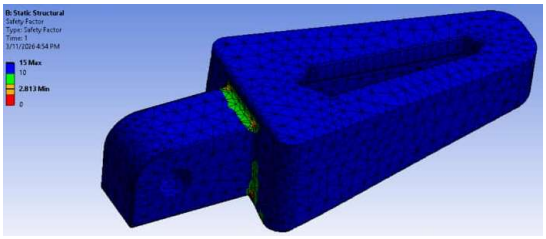
Dengan demikian, pemilihan material baja AISI 4140 memberikan performa struktural yang lebih baik dalam menjaga kestabilan bentuk *footstep* dibandingkan aluminium.

Perbedaan deformasi ini menunjukkan bahwa kekakuan material menjadi faktor dominan dalam menentukan respons struktur terhadap pembebanan. Nilai modulus elastisitas Aluminium 6061-T6 yang lebih rendah menyebabkan material lebih mudah mengalami deformasi elastis dibandingkan AISI 4140. Dalam konteks aplikasi *footstep*, deformasi yang lebih besar berpotensi menurunkan kenyamanan dan kestabilan pijakan pengendara, terutama pada kondisi pembebanan berulang.

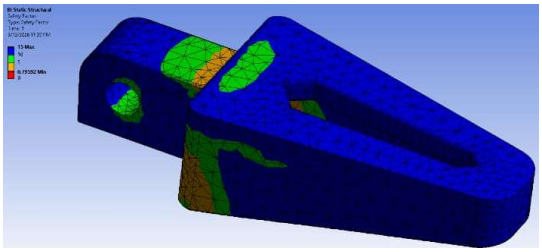
Oleh karena itu, material dengan modulus elastisitas yang lebih tinggi lebih direkomendasikan untuk menjaga kestabilan bentuk struktur selama digunakan.

C. Safety factor

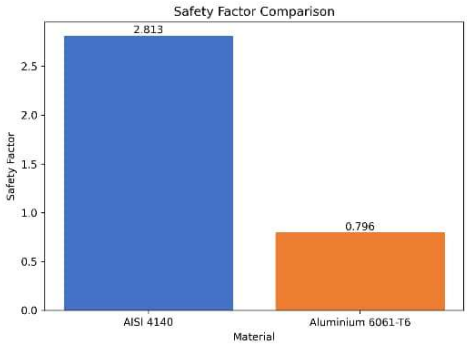
Berdasarkan hasil dari simulasi struktur menggunakan *ANSYS*, analisis *safety factor* dilakukan untuk menentukan keandalan desain *footstep* sepeda motor terhadap beban statis 646,8 N. Parameter ini mengukur rasio antara kekuatan luluh material dengan tegangan kerja maksimum yang terjadi [12].



Gambar 8. *Safety Factor* dengan Material AISI 4140



Gambar 9. *Safety Factor* dengan Material Aluminium 6061-T6



Grafik 3. Perbandingan *Safety Factor* terhadap Variasi Material pada *Footstep* Sepeda Motor

Tabel 4. Perbandingan *Safety Factor* terhadap Variasi Material pada *Footstep* Sepeda Motor

	MATERIAL	
	AISI 4140	Aluminium 6061-T6
safety factor	2,813	0,796

Data simulasi menunjukkan bahwa baja AISI 4140 menghasilkan nilai *safety factor* minimum sebesar 2,813. Dalam konteks perancangan *footstep*, nilai ini dinilai sangat aman dan menjamin umur pakai komponen yang panjang. Sebaliknya, evaluasi pada Aluminium 6061-T6 menunjukkan nilai *safety factor* yang kritis, yaitu hanya sebesar 0,796. Karena nilainya berada di bawah ambang batas 1, desain *footstep* dengan dimensi awal ini dinyatakan gagal atau tidak aman (*unsafe*) jika diproduksi menggunakan material aluminium.

Perbedaan nilai *safety factor* yang signifikan ini menunjukkan bahwa meskipun kedua material mengalami tingkat tegangan yang hampir sama, kemampuan Aluminium 6061-T6 dalam menahan beban sangat terbatas karena nilai *yield strength* yang lebih rendah. Hal ini menegaskan bahwa kegagalan struktur lebih dipengaruhi oleh batas kekuatan material dibandingkan distribusi tegangan semata.

Oleh karena itu, penggunaan Aluminium 6061-T6 pada komponen *footstep* tidak dapat dilakukan secara langsung tanpa modifikasi desain. Diperlukan optimasi geometri seperti penambahan ketebalan atau penguatan struktur untuk menurunkan tegangan kerja dan meningkatkan faktor keamanan.

Hasil analisis komparatif ini memberikan wawasan penting. Meskipun penggunaan material ringan seperti paduan aluminium sangat direkomendasikan untuk mendukung tren kendaraan ringan (*automotive lightweighting*) [3]. Penggantian material secara langsung tanpa optimasi geometri (*direct substitution*) tidak selalu berhasil. Pengaplikasian Aluminium 6061-T6 pada desain *footstep* ini menuntut adanya modifikasi struktural lanjutan—seperti penebalan penampang atau penambahan *rib* penguat—agar tegangan kerjanya menurun dan batas keamanan operasional dapat terpenuhi [12].

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode elemen hingga *(Finite Element Method)* pada perangkat lunak ANSYS Workbench, diperoleh bahwa distribusi tegangan maksimum pada struktur *footstep* sepeda motor terjadi pada area sambungan antara dudukan dan pijakan *footstep* yang mengalami konsentrasi tegangan akibat perubahan geometri dan kondisi penahan struktur. Nilai tegangan von Mises maksimum yang diperoleh pada material AISI 4140 sebesar 351,94 MPa, sedangkan pada material Aluminium 6061-T6 sebesar 346,77 MPa. Nilai tegangan maksimum pada kedua material relatif mendekati satu sama lain karena geometri dan kondisi pembebanan yang digunakan sama pada kedua simulasi. Namun demikian, perbedaan jenis material memberikan pengaruh yang cukup jelas terhadap deformasi dan faktor keamanan struktur.

Material AISI 4140 menunjukkan performa struktural yang lebih baik dibandingkan Aluminium 6061-T6. Hal ini ditunjukkan oleh nilai deformasi maksimum yang lebih kecil yaitu 0,223 mm, serta nilai *safety factor* minimum sebesar 2,813 yang menunjukkan bahwa struktur berada dalam kondisi aman terhadap pembebanan yang diberikan. Sementara itu, Aluminium 6061-T6 mengalami deformasi yang lebih besar yaitu 0,611 mm dengan nilai *safety factor* minimum sebesar 0,796, yang menunjukkan bahwa struktur berada pada kondisi yang lebih kritis. Dengan demikian, pemilihan material sangat mempengaruhi kekakuan struktur serta margin keamanan komponen, sehingga material AISI 4140 lebih direkomendasikan untuk digunakan pada komponen *footstep* sepeda motor apabila prioritas utama adalah kekuatan dan stabilitas struktur.

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, analisis dapat diperluas dengan mempertimbangkan pembebanan dinamis dan analisis kelelahan material *(fatigue analysis)* agar hasil yang diperoleh lebih merepresentasikan kondisi penggunaan aktual pada kendaraan. Selain itu, optimasi desain

geometri pada area yang mengalami konsentrasi tegangan seperti bagian *fillet* dan sambungan dudukan *footstep* juga dapat dilakukan untuk meningkatkan faktor keamanan struktur tanpa menambah massa secara signifikan. Pengujian eksperimental pada prototipe nyata juga disarankan sebagai langkah validasi terhadap hasil simulasi numerik sehingga hasil penelitian dapat diterapkan secara lebih meyakinkan pada kondisi nyata.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan syukur kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Bapak Ir. Deri Teguh Santoso, S.T., M.T. dan Bapak Aripin, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, serta masukan selama proses penelitian dan penyusunan laporan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan yang telah memberikan dukungan serta membantu dalam proses pengumpulan data dan diskusi teknis. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya.

REFERENSI

[1] N. Ananda, R. Hanifi, A. Santosa, T. Mesin, F. Teknik, and S. Karawang, "Perancangan dan Analisis Tegangan pada Desain Footrest Sepeda Motor Menggunakan Autodesk Inventor," *JURNAL Teknik Mesin*, vol. 14, no. 1, pp. 1–5, 2021, [Online]. Available: http://ejournal2.pnp.ac.id/index.php/jtm

[2] V. K. Patel *et al.*, "'Innovations in Lightweight Materials for Automotive Engineering,'" 2024. [Online]. Available: https://www.prescouter.com/2020/01/automotive-lightweight-materials-composite/

[3] "Research on Aluminum Alloy Materials and Application Technology for Automotive Lightweighting," *A*CAD *emic Journal of Materials & Chemistry*, vol. 4, no. 6, 2023, doi: 10.25236/ajmc.2023.040601.

[4] K. Nafa Bangunmas, H. Setya Novanto, R. Rido Utomo, D. Arie Saputra, M. Solikin, and A. Yudianto, "Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri (SINTA) Optimasi struktur *footstep* belakang sepeda motor menggunakan finite element method," 2022.

[5] A. Bagus Prasetiyo, K. Ayuhikmatin Sekarjati, and I. A. Pradana Assagaf, "Analisis Frekuensi Natural Velg Ring 16 Menggunakan Finite Element Method," pp. 354–359, 2021, [Online]. Available: http://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII

[6] I. Dumyati and S. Nurhaji, "Modeling dan Simulasi Finite Element Analysis pada Segitiga T Sepeda Motor Menggunakan Sofware Ansys 2023," *Quantum Teknika : Jurnal Teknik Mesin Terapan*, vol. 5, no. 1, pp. 26–30, Nov. 2023, doi: 10.18196/jqt.v5i1.19012.

[7] F. Firman and Y. Fernanda, "Analisis Kekuatan Struktur Rangka Alat Uji Konduktivitas Termal Berbasis Metode Elemen Hingga," *MASALIQ*, vol. 6, no. 2, pp. 729–741, Feb. 2026, doi: 10.58578/masaliq.v6i2.9121.

[8] I. M. G. Karohika, J. T. Prasetyo, I. M. Parwata, I. N. G. Antara, and I. N. Budiarsa, "Topology Optimization of Motorbike *Footstep*s Using Finite Element Method," *Engineering Innovations*, vol. 11, pp. 19–27, Jun. 2024, doi: 10.4028/p-8ehmyy.

[9] K. A. Sekarjati *et al.*, "Analisis Thermal Transient dan Static Structure Pada Disc Brake Berbasis Finite Element," *Politeknik ATI Makasar*, vol. 220, [Online]. Available: https://journal.atim.ac.id/

[10] C. P. Padhy and P. P. K. Reddy, "Investigating the Structural Strength of Al5052-PVC-Al5052 Sandwich Sheets Using Lap-Shear and T-Peel Testing," *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering*, vol. 22, no. 2, pp. 12253–12266, 2025, doi: 10.15282/ijame.22.2.2025.1.0938.

[11] A. B. Prasetiyo and K. A. Sekarjati, "Desain dan Analisis Frekuensi Natural Rangka Mesin Penyiang Gulma Menggunakan Metode Finite Element Analysis," *JRST (Jurnal Riset Sains dan Teknologi)*, vol. 6, no. 2, p. 181, Nov. 2022, doi: 10.30595/jrst.v6i2.14428.

[12] R. C. Hibbeler, *Mechanics of Materials Tenth Edition in SI Units*, 10th ed. Pearson, 2017.