

Potensi Basalt Fiber sebagai Material Ramah Lingkungan untuk Rangka Kursi Roda

Azariel Alfarizi^{1*}, Muhammad Nur Afiqqurrahman², Mirza³, Martina Puspita Sari⁴, and Aven Saroha Banjarnahor⁵

^{1,2,3,4,5}Teknik Mesin, Institut Teknologi Kalimantan

Abstrak

Pemilihan material rangka kursi roda yang ringan, kuat, dan ramah lingkungan menjadi faktor penting dalam meningkatkan kenyamanan, efisiensi, serta keselamatan pengguna. Penelitian ini membandingkan performa material Aluminium Alloy (AA) dan Basalt Fiber (BF) sebagai kandidat rangka kursi roda modern melalui metode eksperimen berbasis Finite Element Analysis (FEA) menggunakan SolidWorks. Model rangka dimodelkan secara tiga dimensi, kemudian diberikan pembebanan statis untuk mengevaluasi deformasi, distribusi tegangan, dan respon mekanik dari masing-masing material. Hasil analisis menunjukkan bahwa aluminium memiliki kekakuan awal lebih tinggi dan deformasi yang relatif kecil, tetapi konsentrasi tegangan cenderung terfokus pada area sambungan. Sebaliknya, basalt fiber menunjukkan distribusi tegangan yang lebih merata, rasio kekuatan terhadap berat yang lebih baik, serta ketahanan superior terhadap getaran dan beban berulang. Secara lingkungan, BF karbon lebih rendah dan potensi keberlanjutan lebih tinggi dibandingkan aluminium primer. Dengan sifat juga memiliki jejak mekanik unggul, bobot ringan, dan karakteristik ramah lingkungan, basalt fiber dinilai sebagai material alternatif yang menjanjikan untuk pengembangan rangka kursi roda modern.

Kata kunci: Kursi Roda; Rangka; Material Comparison; Aluminum Alloy

Abstract

The selection of structural materials for wheelchair frames plays a crucial role in ensuring user comfort, mechanical efficiency, and long-term safety. This study compares the performance of Aluminium Alloy (AA) and Basalt Fiber (BF) as potential materials for modern wheelchair frames through an experimental approach using Finite Element Analysis (FEA) in SolidWorks. A three-dimensional tubular frame model was developed and subjected to static loading to evaluate deformation, stress distribution, and overall mechanical response. The simulation results indicate that aluminium alloy exhibits lower deformation and higher initial stiffness, although stress concentrations tend to occur at joint connections, which may reduce structural durability over time. In contrast, basalt fiber demonstrates a more uniform stress distribution and a superior strength-to-weight ratio, supported by its high tensile strength and good fatigue resistance. From an environmental perspective, BF offers additional advantages due to its natural origin and lower carbon footprint compared to primary aluminium production. These findings highlight that basalt fiber has strong potential as an alternative material for lightweight, durable, and environmentally sustainable wheelchair frame designs. Its mechanical benefits, combined with improved vibration resistance and long-term performance, make BF a promising candidate for future mobility-assistive technologies.

Keywords: Wheelchair Frame; Material Comparison; Aluminum Alloy

Article Info Open Access

Submitted 11 Dec 2025

Accepted 24 July 2026

*Corresponding author
03241015@student.itk.ac.id

Citation
Volume 1 No. 2 (2026)
Journal of Mechanical and
Industrial
doi: 000.0000/a00000

1 Pendahuluan

Kebutuhan akan material rangka kursi roda yang tidak hanya ringan dan kuat, tetapi juga memiliki karakteristik ramah lingkungan, semakin menjadi perhatian utama dalam pengembangan teknologi alat bantu mobilitas. Dalam beberapa tahun terakhir, isu keberlanjutan dan efisiensi energi pada perangkat kesehatan mendorong produsen serta peneliti untuk meninjau kembali pemilihan material rangka kursi roda guna meningkatkan kenyamanan, durabilitas, dan keselamatan pengguna dalam jangka panjang. Material yang selama ini banyak digunakan—seperti aluminium dan

berbagai jenis paduan ringan—memang dikenal memiliki kekuatan struktural yang baik dengan bobot yang relatif rendah. Namun demikian, proses produksinya kerap menghasilkan jejak karbon yang signifikan, ditambah lagi adanya batasan terhadap ketahanan terhadap getaran, beban kejut, serta keterbatasan daur ulang pada beberapa komponennya. Kondisi tersebut memunculkan kebutuhan untuk mengeksplorasi material alternatif yang mampu menawarkan performa mekanis setara atau bahkan lebih baik, sekaligus memberikan keuntungan lingkungan dan keberlanjutan yang lebih besar, sehingga dapat menjawab tuntutan desain rangka kursi roda masa kini maupun di masa mendatang [1].

Basalt fiber (serat basal) mulai menonjol sebagai salah satu material alternatif yang menjanjikan dalam pengembangan struktur ringan modern. Serat ini diproduksi dari batuan vulkanik alami melalui proses pemanasan hingga meleleh, kemudian ditarik menjadi filamen halus, sehingga menghasilkan material dengan rasio kekuatan terhadap berat yang sangat kompetitif. Selain ringan dan kuat, basalt fiber juga memiliki ketahanan yang sangat baik terhadap berbagai kondisi kimia, perubahan suhu ekstrem, serta degradasi lingkungan. Di beberapa penelitian, biaya produksinya bahkan dapat lebih rendah dibandingkan serat berbasis silika maupun karbon, menjadikannya opsi yang lebih ekonomis untuk aplikasi struktural tertentu [2].

Dari sisi mekanika dan ketahanan, penelitian-penelitian mutakhir melaporkan bahwa komposit yang diperkuat basalt fiber mampu meningkatkan ketahanan tarik, dampak, dan kemampuan tahan lelah jika dibandingkan dengan beberapa serat anorganik lain, serta menunjukkan perilaku kerusakan yang lebih “toleran” terhadap beban lentur dan guncangan — karakteristik yang sangat relevan untuk rangka kursi roda yang harus menahan beban dinamis dan tumbukan permukaan. Namun, performa akhir sangat bergantung pada orientasi serat, jenis matriks polimer, dan teknik fabrikasi [3]. Selain aspek mekanik, beberapa studi aplikasi nyata pada komponen struktur ringan menunjukkan bahwa panel dan rangka komposit berbasis basalt dapat memberikan solusi ringan sekaligus kuat pada aplikasi kendaraan dan struktur prefabrikasi, membuka kemungkinan adaptasi konsep serupa pada desain rangka kursi roda untuk mengurangi massa total tanpa mengorbankan keselamatan dan kenyamanan. Pendekatan integrasi antara komponen metalik ringan dan elemen BFRP (Basalt Fiber Reinforced Polymer) juga teridentifikasi sebagai strategi pragmatis dalam transisi dari material konvensional ke komposit basalt [4].

Meskipun basalt fiber memiliki potensi besar sebagai material yang lebih ramah lingkungan, penerapannya pada produk konsumen seperti rangka kursi roda masih menghadapi sejumlah hambatan teknis dan operasional. Tantangan tersebut mencakup isu keberlanjutan sepanjang siklus hidup produk, terutama terkait keterbatasan proses daur ulang komposit yang masih belum seefisien material logam. Selain itu, kualitas bahan baku batuan basalt yang digunakan sebagai feedstock dapat bervariasi bergantung pada sumber geologisnya, sehingga memengaruhi konsistensi sifat mekanik serat yang dihasilkan. Proses manufaktur komposit berbasis basalt juga memerlukan standarisasi lebih lanjut, baik dalam hal metode fabrikasi, kontrol orientasi serat, maupun parameter proses, agar material yang dihasilkan memiliki karakteristik mekanik yang stabil dan dapat direplikasi pada skala industri [5].

2 Metode

Penelitian ini menerapkan metode eksperimen menggunakan FEA (*Finite Element Analysis*) pada perangkat SolidWorks serta pendekatan pengembangan (*Research and Development*) untuk membandingkan performa material Aluminium Alloy dengan biomaterial Basalt Fiber pada struktur rangka kursi roda. Analisis dilakukan dengan memodelkan desain rangka secara tiga dimensi pada SolidWorks, kemudian mensimulasikan respon mekanis kedua material di bawah kondisi pembebanan yang merepresentasikan penggunaan nyata. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi yang komprehensif terhadap kekuatan, deformasi, distribusi tegangan, serta potensi keunggulan dan keterbatasan masing-masing material sebagai kandidat rangka kursi roda modern.

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah Basalt Fiber (BF), yaitu material komposit yang berasal dari pelelehan batuan basalt vulkanik dan ditarik menjadi serat kontinu. Basalt Fiber dikenal sebagai material berperforma tinggi karena memiliki kekuatan tarik, kekakuan, serta ketahanan termal dan kimia yang lebih baik dibandingkan banyak serat konvensional. Selain

itu, BF memiliki keunggulan dalam hal stabilitas dimensi, ketahanan korosi, dan sifat lingkungan yang lebih baik karena berasal dari sumber alam yang melimpah tanpa memerlukan bahan aditif berbahaya dalam proses produksinya. Secara umum, komposit berbasis Basalt Fiber dirancang untuk berinteraksi dengan struktur teknik sebagai penguat material, sehingga dapat meningkatkan kekuatan, ketahanan beban, dan keamanan pada aplikasi struktural seperti rangka, panel, maupun komponen mekanik. Dengan karakteristik tersebut, Basalt Fiber menjadi alternatif material yang kompetitif dan berpotensi menggantikan material konvensional seperti aluminium dan serat sintetis dalam berbagai aplikasi teknik.

Untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai karakteristik mekanik material, diperlukan perhitungan parameter dasar yang menggambarkan perilaku fisik dan strukturalnya. Beberapa parameter penting yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi modulus elastisitas, dan kekuatan tarik. Ketiga parameter ini digunakan sebagai acuan untuk menilai kinerja

material terhadap pembebanan, deformasi, serta kemampuan dalam menahan gaya tarik. Adapun rumus perhitungan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$$

Keterangan:

σ = Tegangan Tarik (MPa)

P = Gaya (N)

A_0 = Luas Penampang awal (mm²)

ε = Regangan Tarik (%)

ΔL = Pertambahan Panjang Spesimen (mm)

E = Modulus Elastisitas (GPa)

L_0 = Panjang Spesimen Awal (mm)

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Keterangan:

ρ = densitas (kg/m³ atau g/cm³)

m = massa benda (kg atau g)

V = volume benda (m³ atau cm³)

Tabel 1 menyajikan perbandingan sifat-sifat utama basalt fiber (BF) dan aluminium alloy (AA) [6, 7].

Tabel 1. Material Properti Basalt Fiber dan Alumunium Alloy

Properti	Satuan	Basalt Fiber	Alumunium Alloy
Densitas (g/cm ³)	(g/cm ³)	2,46 – 3,00	± 2,7
Kekuatan tarik (MPa)	(MPa)	3000 – 5600	± 310
Modulus	(GPa)	70 – 230	± 69
elastisitas (GPa)			
Ketahanan kelelahan	-	Baik	Sedang

Dengan memvariasikan jenis material dan skema pembebanan, penelitian ini bertujuan untuk memperoleh pemahaman yang lebih mendalam mengenai material mana yang unggul dari segi kekuatan, kenyamanan, dan keamanan, khususnya untuk diaplikasikan pada rangka exoskeleton lower limb. Penelitian dilakukan secara terstruktur melalui beberapa tahap, dimulai dari pembuatan model geometri tiga dimensi menggunakan perangkat lunak Computer-Aided Design (CAD), pemberian kondisi beban dan batasan yang sesuai dengan kondisi nyata, hingga analisis hasil simulasi menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA) [8].

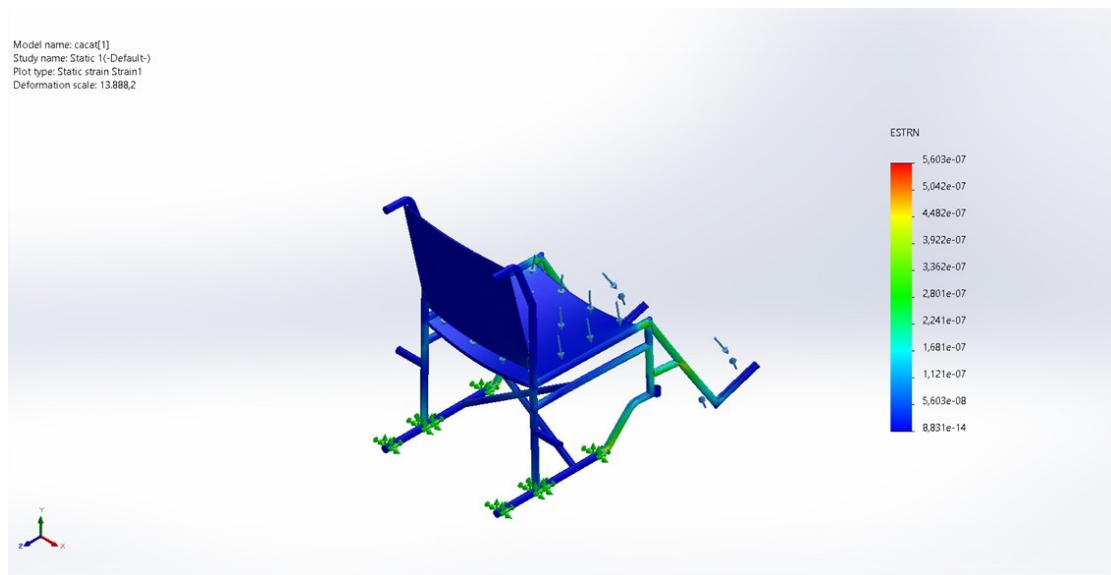
3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil

Desain rangka kursi roda yang dimodelkan pada perangkat SolidWorks memiliki konfigurasi struktur tubular dengan geometri sederhana dan fungsional, terdiri dari rangka utama berbentuk segi empat, sandaran punggung, dudukan, serta rangka penopang kaki di bagian depan. Model ini mencerminkan desain kursi roda ringan tanpa roda pada visualisasi awal, yang berfokus pada struktur rangkanya saja untuk keperluan analisis material. Bentuk rangka yang menggunakan banyak elemen batang lurus membuatnya sangat cocok untuk divariasikan menggunakan dua jenis material berbeda, yakni aluminium alloy dan basalt fiber, karena profil tubular yang dimodelkan dapat dianalisis secara konsisten pada kedua material tersebut.



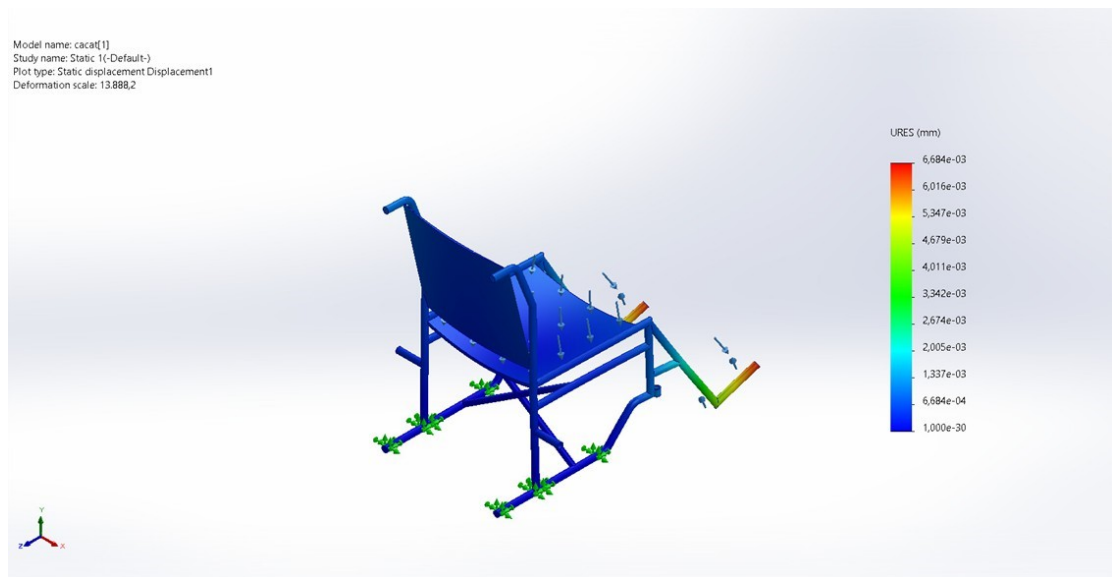
Gambar 1. Rangka Kursi Roda



Gambar 2. Uji Strain

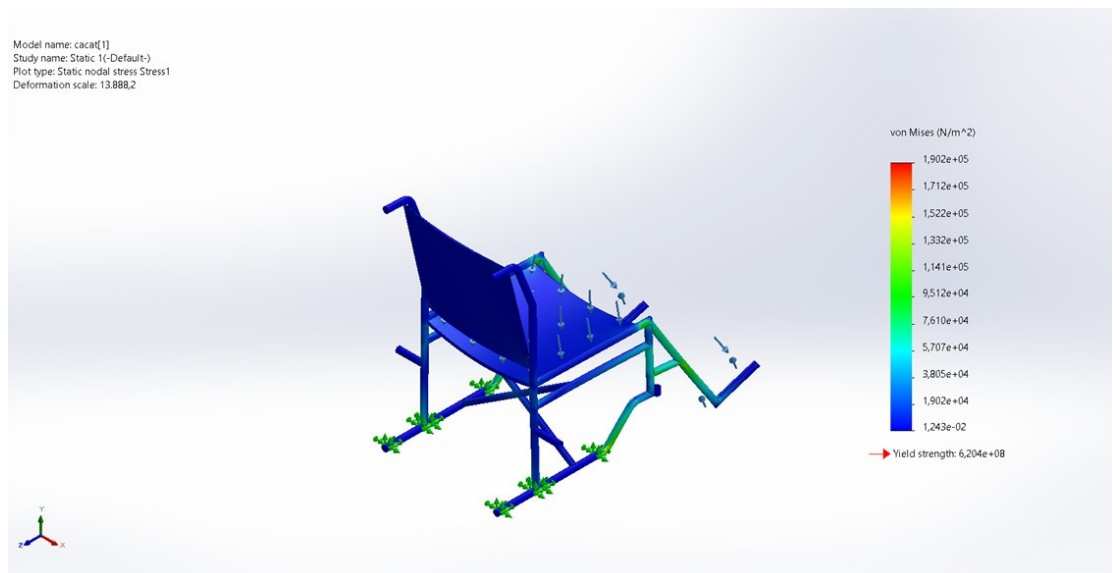
Gambar ini menunjukkan hasil analisis strain pada rangka kursi roda akibat pembebanan statis. Warna pada model menggambarkan besar kecilnya regangan, dengan biru sebagai nilai paling kecil dan merah sebagai nilai paling besar. Hasil simulasi menunjukkan bahwa hampir seluruh bagian rangka berada pada warna biru hingga hijau, menandakan regangan sangat kecil dan material tidak mengalami perubahan bentuk yang berarti. Nilai strain tertinggi berada pada area rangka depan, namun tetap dalam batas aman dan jauh dari potensi kegagalan material. Secara keseluruhan, hasil

ini menunjukkan bahwa rangka mampu menahan beban dengan baik tanpa mengalami regangan berlebih.



Gambar 3. Uji Displacement

Gambar ini menunjukkan hasil simulasi perpindahan (*displacement*) pada rangka kursi roda akibat pembebanan statis. Warna pada model menunjukkan besarnya perpindahan, dari biru sebagai nilai terkecil hingga merah sebagai nilai tertinggi. Sebagian besar rangka tampak berwarna biru, menandakan perpindahan yang sangat kecil dan struktur tetap stabil. Nilai perpindahan terbesar berada di bagian ujung rangka depan, namun tetap berada dalam batas aman karena tidak mempengaruhi kekuatan keseluruhan rangka. Secara umum, hasil ini menunjukkan bahwa rangka mampu menahan beban dengan deformasi minimal dan tidak mengalami perubahan bentuk signifikan.



Gambar 4. Uji Stress

Gambar simulasi menunjukkan hasil analisis tegangan statis pada rangka kursi roda menggunakan FEA di SolidWorks. Beban diberikan pada bagianudukan untuk mensimulasikan berat pengguna, sementara bagian bawah rangka dibuat sebagai fixed support. Hasilnya menunjukkan bahwa sebagian besar rangka mengalami tegangan rendah yang ditunjukkan oleh warna biru-hijau, dan

hanya sedikit area sambungan yang memiliki tegangan lebih tinggi. Tegangan maksimum masih jauh di bawah batas luluh material, sehingga rangka dinyatakan aman dan tidak mengalami risiko kerusakan. Secara umum, distribusi tegangannya merata dan desain rangka mampu menahan beban dengan baik.

Simulasi pembebanan statis pada model rangka menunjukkan adanya perbedaan karakteristik respons material. Aluminium alloy memberikan deformasi yang relatif kecil berkat modulus elastisitas yang tinggi, meskipun konsentrasi tegangan cenderung muncul pada area sambungan batang—khususnya pada pertemuan rangka dudukan dan rangka kaki. Pada desain seperti ini, kelemahan umum aluminium terlihat pada titik sambungan yang rentan mengalami penurunan kekuatan akibat proses pengelasan. Sebaliknya, rangka yang disimulasikan menggunakan basalt fiber menunjukkan deformasi sedikit lebih besar, tetapi distribusi tegangan pada struktur terlihat lebih merata. Hal ini disebabkan sifat komposit basalt fiber yang mampu menyebarkan tegangan sepanjang permukaan batang secara lebih homogen, sehingga berpotensi meningkatkan ketahanan terhadap kelelahan dan getaran jangka panjang.

Perbandingan kinerja struktural antara kedua model menunjukkan bahwa aluminium alloy masih unggul dalam hal kekakuan awal, sedangkan basalt fiber menawarkan rasio kekuatan terhadap berat yang lebih baik. Pada desain rangka seperti yang dimodelkan, penggunaan basalt fiber dapat menghasilkan struktur yang lebih ringan dan tetap mempertahankan kekuatan tarik yang tinggi, sehingga berpotensi meningkatkan efisiensi energi pengguna kursi roda serta kenyamanan penggunaan. Dari sisi lingkungan, basalt fiber juga memberikan keuntungan berupa jejak karbon yang lebih rendah dan proses produksi yang lebih ramah lingkungan dibandingkan aluminium. Dengan demikian, hasil analisis pada desain rangka yang ditunjukkan pada gambar mengindikasikan bahwa basalt fiber merupakan kandidat material alternatif yang menjanjikan untuk rangka kursi roda modern, terutama pada aplikasi yang membutuhkan bobot ringan, kekuatan tinggi, dan keberlanjutan.

3.2 Pembahasan

Berdasarkan data Tabel 3.1 dan 3.2, basalt fiber (BF) memiliki densitas yang lebih rendah, berkisar 2,46–3,00 g/cm³, dibandingkan aluminium alloy sekitar 2,7 g/cm³. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan BF dapat mengurangi bobot rangka, yang penting untuk mobilitas pengguna kursi roda. Dari segi kekuatan tarik, BF menunjukkan nilai yang sangat kompetitif, berkisar 3000–5600 MPa tergantung jenis serat, sementara aluminium alloy memiliki kekuatan tarik sekitar 310 MPa. Modulus elastisitas BF (70–230 GPa) juga dapat lebih tinggi dibanding aluminium (69 GPa), sehingga menunjukkan kekakuan yang setara atau lebih tinggi pada struktur berbasis BF. Meskipun elongasi saat putus BF lebih rendah (1,5–5,6%) dibanding aluminium (12% secara tipikal), sifat ini masih cukup untuk aplikasi struktural ringan seperti rangka kursi roda karena BF mampu mendistribusikan beban dengan baik saat dikombinasikan dengan resin dalam komposit. Secara lingkungan, BF unggul karena berbahan dasar alami dan memiliki jejak karbon lebih rendah dibanding aluminium primer, serta proses produksinya relatif ramah lingkungan tanpa menghasilkan limbah berbahaya. Aluminium memang dapat didaur ulang dengan efisiensi tinggi, tetapi produksi primernya tetap menghasilkan emisi yang relatif tinggi. Dari sisi mekanik, BF menawarkan kombinasi kekuatan tarik, kekakuan, dan ketahanan terhadap kelelahan yang baik, sehingga mampu menahan beban berulang dalam jangka panjang. Aluminium alloy, meskipun kuat dan stabil secara struktural, lebih rentan terhadap deformasi permanen dan penurunan kekuatan pada siklus pembebanan tinggi. Untuk memudahkan pemahaman mengenai keunggulan dan kekurangan masing-masing material, Tabel 2 menyajikan perbandingan sifat-sifat utama basalt fiber (BF) dan aluminium alloy (AA). Tabel ini mencakup aspek densitas, kekuatan tarik, kekakuan, elongasi, ketahanan kelelahan, keberlanjutan, serta proses manufaktur, sehingga dapat memberikan gambaran jelas mengenai potensi BF sebagai alternatif pengganti aluminium alloy pada rangka kursi roda.

Mempertimbangkan kombinasi keunggulan sifat fisik dan mekanik, seperti densitas yang rendah, kekuatan tarik yang tinggi, serta kekakuan yang memadai, basalt fiber (BF) menunjukkan potensi yang signifikan sebagai alternatif pengganti aluminium alloy dalam pembuatan rangka kursi roda. Selain itu, sifat keberlanjutan BF yang berbahan dasar alami dan ramah lingkungan menambah

Tabel 2. Perbandingan antara material Basalt Fiber dan Alumunium Alloy

Sifat Dan karakteristik	Basalt Fiber (BF)	Aluminium Alloy (AA)	Keterangan
Densitas (g/cm ³)	2,46 – 3,00	± 2,7	BF lebih ringan, mendukung mobilitas pengguna kursi roda
Kekuatan tarik (MPa)	3000 – 5600	± 310	BF jauh lebih kuat, memberikan kapasitas beban lebih tinggi
Modulus elastisitas (GPa)	70 – 230	± 69	Kekakuan BF setara atau lebih tinggi dibanding aluminium
Ketahanan kelelahan	Baik	Sedang	BF lebih tahan terhadap beban berulang
Keberlanjutan / Lingkungan	Berbahan alami, jejak karbon rendah	Daur ulang tinggi, emisi produksi primer tinggi	BF lebih ramah lingkungan, aluminium butuh energi tinggi untuk produksi primer
Proses manufaktur	Komposit, filament winding, resin	Pengolahan logam konvensional	BF membutuhkan perhatian pada distribusi serat dan pemilihan resin
Potensi penggunaan	Alternatif rangka kursi roda	Material konvensional	BF dapat menggantikan AA dengan keunggulan ringan dan kuat

nilai lebih dibandingkan aluminium primer yang memiliki emisi produksi lebih tinggi. Meskipun demikian, implementasi BF dalam rangka kursi roda memerlukan perhatian khusus terhadap proses manufakturnya, terutama teknik pembuatan komposit seperti filament winding, untuk memastikan distribusi serat yang seragam dan kualitas struktural yang optimal. Pemilihan resin yang tepat juga menjadi faktor penting agar integritas dan kekuatan struktur tubular tetap terjaga, sehingga rangka tidak hanya ringan dan kuat tetapi juga aman digunakan dalam jangka panjang. Dengan pendekatan manufaktur yang tepat, BF tidak hanya mampu menggantikan aluminium alloy, tetapi juga memberikan keunggulan tambahan dari segi performa struktural dan aspek keberlanjutan.

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemodelan dan analisis material, dapat disimpulkan bahwa basalt fiber (BF) memiliki potensi kuat sebagai alternatif pengganti aluminium alloy (AA) pada rangka kursi roda. Desain rangka tubular memungkinkan evaluasi yang konsisten pada kedua material, dan simulasi menunjukkan bahwa meskipun aluminium memiliki deformasi rendah serta kekakuan awal tinggi, konsentrasi tegangannya cenderung terfokus pada area sambungan yang rawan mengalami kelelahan struktural. Sebaliknya, basalt fiber memberikan distribusi tegangan yang lebih merata dan menunjukkan ketahanan lebih baik terhadap getaran dan beban berulang, meskipun deformasinya sedikit lebih besar. Dari segi sifat fisik dan mekanik, BF unggul pada kekuatan tarik, modulus elastisitas, serta densitas yang lebih rendah sehingga mampu menghasilkan rangka yang lebih ringan namun tetap kuat. Keunggulan lingkungan BF juga signifikan, karena berbahan dasar alami dengan jejak karbon yang lebih rendah dibandingkan aluminium primer. Meski proses manufaktur komposit BF membutuhkan pengaturan serat dan pemilihan resin yang tepat, material ini tetap berpotensi memberikan performa struktural lebih baik, bobot lebih ringan, serta keberlanjutan lebih tinggi, sehingga layak dipertimbangkan sebagai material rangka kursi roda modern.

Daftar Pustaka

- [1] Selcuk S, Ahmetoglu U, Gokce EC. Basalt fiber reinforced polymer composites (BFRP) other than rebars: a review. *Materials Today Communications*. 2023;37:107359.
- [2] Yang W, Liu L, Wu W, Zhang K, Xiong X, Li C, et al. A review of the mechanical properties and durability of basalt fiber recycled concrete. *Construction and Building Materials*. 2024;412:134882.
- [3] Chen C, Ding Y, Wang X, Bao L. Recent advances to engineer tough basalt fiber reinforced composites: A review. *Polymer Composites*. 2024;45(14):12559-74.
- [4] Wang X, Yuan S, Sun W, Hao W, Zhang X, Yang Z. Analysis and Validation of Lightweight Carriage Structures Using Basalt Fiber Composites. *Materials*. 2024;17(23):5723.
- [5] Ravikiran D, Ramesh D, Alvares AW, Jeevan T, Divya H. Basalt fiber-Reinforced polymer composites: properties, applications, and future prospects. *Journal of Materials Science Research and Reviews*. 2024;7(4):676-91.
- [6] Liu H, Yu Y, Liu Y, Zhang M, Li L, Ma L, et al. A review on basalt fiber composites and their applications in clean energy sector and power grids. *Polymers*. 2022;14(12):2376.
- [7] Sabtu MA, Admi AE, Salleh MM, Osman SA, Osman SA. Finite Element Analysis of Stress Distribution in AL6061 Frame Structures Under Varying Applied Loads. *International Journal of Integrated Engineering*. 2024;16(2):259-69.
- [8] Prasetyo AB, Sekarjati KA. Finite element simulation of power weeder machine frame. *Indonesian Journal of Computing, Engineering, and Design (IJoCED)*. 2022;4(2):25-34.