ANALISIS *STATIC STRUCTURAL* RANGKA SEPEDA LISTRIK RODA TIGA BAGI TUNADAKSA MENGGUNAKAN *FINITE ELEMENT ANALYSIS* (FEA)

Muhamad Maulana Yusup [1], Raka Mahendra Sulistiyo [1], Faiz Listyanda [1]

[1] Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

Kapten Suparman No.39, Potrobangsan, Kec. Magelang Utara, Kota Magelang, Jawa Tengah

muhamad.maulana.yusup@students.untidar.ac.id [1]

Abstrak

Tunadaksa termasuk disabilitas yang memiliki keterbatasan dalam mobilitas, sehingga membutuhkan sarana transportasi yang aman, stabil, dan mudah digunakan. Akan tetapi, aspek keselamatan dan keamanan pada kendaraan disabilitas kurang diperhatikan, khususnya pada kekuatan rangka sebagai komponen utama pendukung beban. Penelitian ini mengkaji mengenai perancangan dan analisis *static structural* sepeda listrik roda tiga bagi tunadaksa menggunakan *Finite Element Analysis* (FEA). Rangka sepeda listrik roda tiga tersebut didesain dengan 3 variasi, yaitu bentuk *cruiser*, Y, dan T yang mengacu pada Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia No. 52 tahun 2024. Metode yang digunakan adalah kuantitatif komparatif dengan menggunakan metode numerik melalui *Finite Element Analysis* (FEA) pada *software* Ansys Workbench untuk menganalisis kekuatan struktur rangka sepeda listrik roda tiga berdasarkan variasi desain. Disisi lain, material yang digunakan pada ketiga variasi desain adalah *aluminium alloy* 6061-T6. Hasil simulasi menunjukkan bahwa geometri rangka berbentuk Y dapat menghasilkan nilai terbaik dibandigkan geometri rangka berbentuk *cruiser* dan T. Geometri rangka berbentuk Y tersebut dapat menghasilkan nilai maksimum *von mises stress* sebesar 110,85 MPa, *deformation* sebesar 1,4159 mm, dan *safety factor* sebesar 2,4808.

Kata kunci : *finite element analysis* (FEA), sepeda listrik roda tiga, tunadaksa.

Abstract

Physically disabled people are people with disabilities who have limitations in mobility, so they need a means of transportation that is safe, stable, and easy to use. However, the safety and security aspects of disability vehicles are less considered, especially the strength of the frame as the main component supporting the load. This study examines the design and static structural analysis of a electric tricycle for physically disabled people using Finite Element Analysis (FEA). The electric tricycle frame is designed with 3 variations, namely the cruiser, Y, and T shapes referring to the Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia No. 52 tahun 2024. The method used is comparative quantitative using numerical methods through Finite Element Analysis (FEA) in Ansys Workbench software to analyze the structural strength of the electric tricycle frame based on design variations. On the other hand, the material used in all three design variations is aluminum alloy 6061-T6. The simulation results show that the Y-shaped frame geometry can produce the best value compared to the cruiser and T-shaped frame geometries. The Y-shaped frame geometry can produce a maximum von mises stress value of 110.85 MPa, deformation of 1.4159 mm, and a safety factor of 2.4808.

Key words : *finite element analysis (FEA), electric tricycle, physically disabled.*

PENDAHULUAN

Tunadaksa merupakan salah satu jenis disabilitas yang ditandai dengan adanya kelainan gerak atau cacat fisik. Berdasarkan data, penyandang disabilitas tunadaksa di Indonesia pada tahun 2024 mencapai 317.062 jiwa [1]. Pada umumnya, penyandang disabilitas tunadaksa memiliki keterbatasan dalam melakukan mobilitas sehari-hari. Hal ini menjadikan beberapa penyandang disabilitas tunadaksa melakukan modifikasi pada kendaraan yang disesuaikan untuk memenuhi kebutuhan [2].

Modifikasi kendaraan bagi penyandang disabilitas tunadaksa dapat dilakukan dengan memenuhi peraturan Undang-Undang Nomor 22 tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan dan melakukan pengujian kendaraan untuk

memastikan kelayakan kendaraan [3]. Akan tetapi, kendaraan yang digunakan para penyandang disabilitas umumnya tidak dilakukan pengujian keamanan dalam menjamin dapat digunakan secara aman dan mudah digunakan.

Salah satu alternatif kendaraan yang dapat digunakan bagi penyandang disabilitas tunadaksa adalah sepeda listrik roda tiga. Secara umum, sepeda listrik memiliki kecepatan rata-rata sebesar 28 km/jam yang termasuk ke dalam kategori kecepatan sedang [4]. Disisi lain, sepeda listrik yang menggunakan tiga roda memiliki tingkat kestabilan yang lebih baik dibandingkan kendaraan roda dua, sehingga dapat membantu dalam melakukan mobilitas [5]. Akan tetapi, keamanan kendaraan juga harus memperhatikan aspek keselamatan dengan penggunaan rangka yang kuat dan kokoh sebagai komponen utama penopang beban.

Rangka sepeda listrik yang kuat dan kokoh dapat ditentukan berdasarkan penggunaan materialnya. Material *aluminium alloy* 6061-T6 termasuk salah satu logam bukan *ferro* yang memiliki kekuatan tinggi, namun memiliki massa jenis yang rendah [6]. Kekuatan tarik dari *aluminium alloy* 6061-T6 dapat mencapai 310 MPa, sedangkan kekuatan luluhnya sebesar 275 MPa. Disisi lain, massa jenis dari *aluminium alloy* 6061-T6 sebesar 2,7 g/cm^3. Material *aluminium alloy* 6061-T6 juga memiliki lapisan oksidasi yang berfungsi mengurangi korosi Oleh karena itu, penggunaan material *aluminium alloy* 6061-T6 pada rangka sepeda listrik dapat menghasilkan kualitas rangka yang kuat, ringan, dan tidak mudah korosi [7].

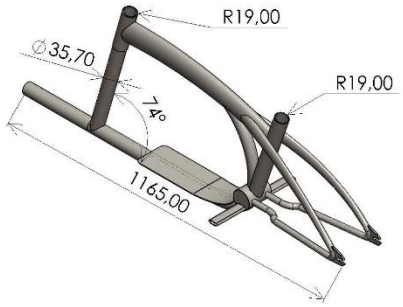
Penerapan bentuk geometri juga dapat mempengaruhi kekuatan pada rangka sepeda listrik. Pada Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia No. 52 tahun 2024 menegaskan bahwa geometri rangka sepeda diklasifikasikan menjadi 7 jenis, diantaranya *diamond*, bentuk V, bentuk U, bentuk H, bentuk T, bentuk *cruiser*, dan Y [8]. Geometri rangka yang berbeda tersebut semestinya memiliki karakteristik respon yang berbeda, sehingga mempengaruhi jalur distribusi beban dan titik konsentrasi tegangan yang dapat menghasilkan perbedaan kekuatan.

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan material dan geometri pada rangka sepeda listrik roda tiga dapat mempengaruhi kekuatannya. Oleh sebab itu, diperlukan penelitian mengenai variasi desain pada rangka sepeda listrik roda tiga bagi tunadaksa dengan perbedaan geometri. Pada penelitian ini menggunakan 3 variasi desain, yaitu bentuk *cruiser*, bentuk Y, dan bentuk T dengan material *aluminium alloy* 6061-T6. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh nilai *von mises stress*, *deformation*, dan *safety factor* melalui metode *Finite Element Analysis* (FEA). Hasil yang diharapkan pada penelitian ini adalah memperoleh geometri rangka sepeda yang memiliki nilai *von mises stress* dan *deformation* terendah, serta *safety factor* tertinggi.

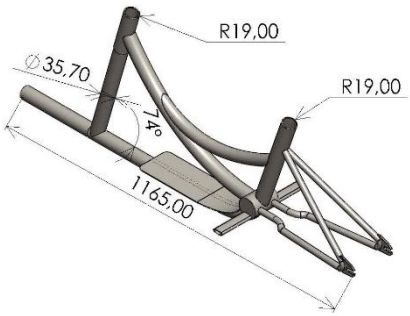
METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah kuantitatif komparatif dengan pendekatan menggunakan metode numerik melalui *Finite Element Analysis* (FEA) pada *software* Ansys Workbench. Penggunaan penelitian kuantitatif komparatif bertujuan untuk menganalisis kekuatan struktur rangka sepeda listrik roda tiga berdasarkan variasi desain. Jenis simulasi yang digunakan adalah *static structural* untuk menganalisis kekuatan struktur rangka sepeda roda tiga bagi tunadaksa dalam keadaan statis. Disisi lain, material yang digunakan pada rangka sepeda roda tiga tersebut adalah *aluminium alloy* 6061-T6.

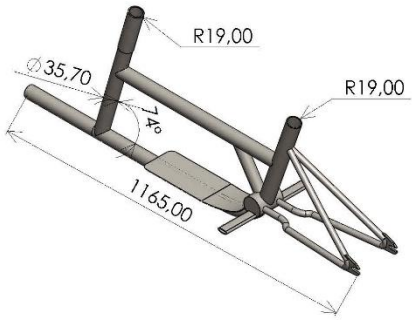
Penelitian ini menggunakan 3 variasi desain, yaitu bentuk *cruiser*, bentuk Y, dan bentuk T seperti pada Gambar 1 – Gambar 3.



Gambar 1 Dimensi Variasi Desain 1 (dalam mm)

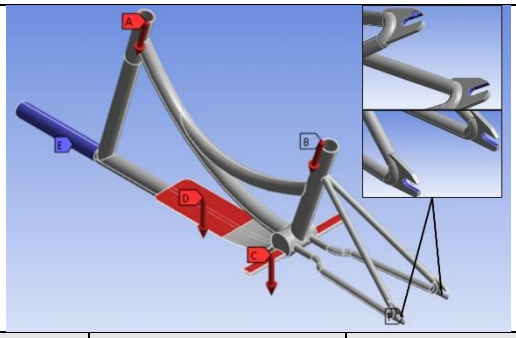


Gambar 2 Dimensi Variasi Desain 2 (dalam mm)



Gambar 3 Dimensi Variasi Desain 3 (dalam mm)

Pembebanan yang diterapkan pada ketiga variasi desain rangka sepeda menggunakan massa pengendara sebesar 100 kg dan baterai sebesar 10 kg. Berdasarkan standar ISO:4210, pembebanan pada rangka sepeda dikenakan pada tiga area, yaitu *head tube* sebesar 11,1%, *seat tube* sebesar 33,3%, dan *bottom bracket* sebesar 55,5% dari total massa pengendara [9]. Disisi lain, lokasi tumpuan pada rangkas sepeda listrik roda tiga dialokasikan pada bagian *tilting* dan *rear end* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Kode	Nama Bagian	Nilai Gaya
A	*Head Tube*	108,89 Newton
B	*Seat Tube*	326,67 Newton
C	*Bottom Bracket*	544,46 Newton
D	Dudukan Baterai	98,1 Newton
E	*Tilting*	-
F	*Rear End*	-

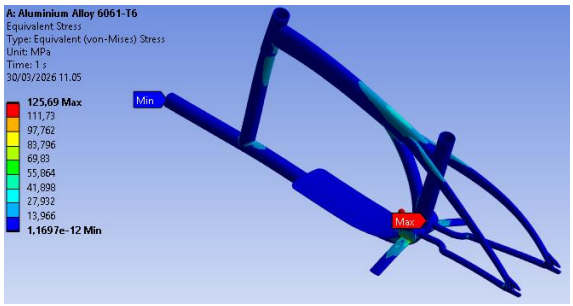
Gambar 4 Lokasi Pembebanan dan Tumpuan

HASIL DAN PEMBAHASAN

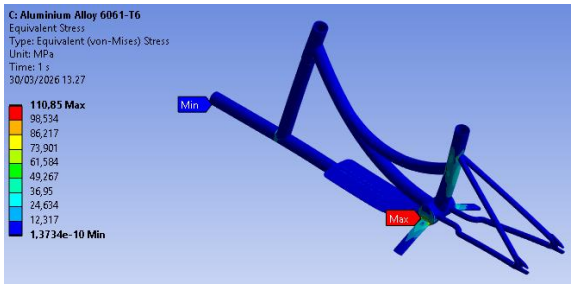
Hasil yang didapat dari simulasi *static structural* pada rangka sepeda listrik roda tiga menggunakan material *aluminium alloy* 6061-T6 meliputi nilai *von mises stress, deformation,* dan *safety factor* dari tiap variasi desain.

Analisis *Von Mises Stress*

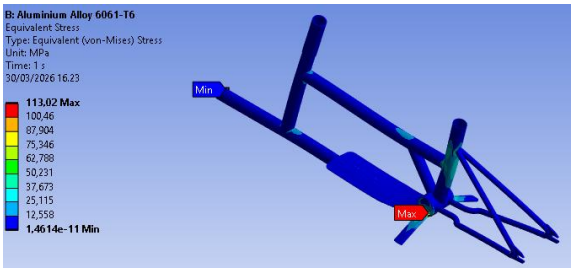
Von mises stress atau tegangan *von mises* digunakan untuk mengetahui nilai dan distribusi tegangan maksimum yang terjadi pada komponen akibat pembebanan yang diberikan [10]. Pada Gambar 5 – Gambar 7 ditunjukkan hasil *von mises stress* yang terjadi pada ketiga variasi desain.



Gambar 5 Hasil *Von Mises Stress* Variasi Desain 1



Gambar 6 Hasil *Von Mises Stress* Variasi Desain 2



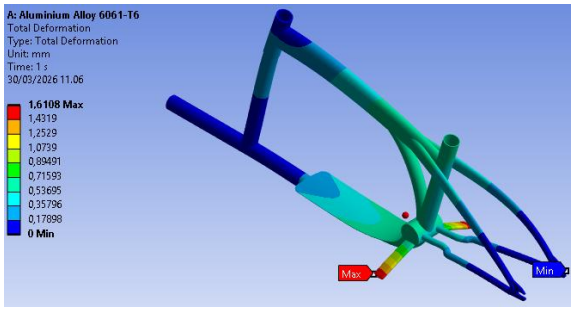
Gambar 7 Hasil *Von Mises Stress* Variasi Desain 3

Berdasarkan simulasi yang dilakukan, variasi desain 1 dengan geometri rangka berbentuk *cruiser* menghasilkan nilai maksimum *von mises stress* sebesar 125,69 MPa, sedangkan nilai minimum dari *von mises stress* sebesar 1,1697 x10^{-12} MPa. Variasi desain 2 dengan geometri rangka berbentuk Y menghasilkan nilai maksimum *von mises stress* sebesar 110,85 MPa, sedangkan nilai minimum dari *von mises stress* sebesar 1,3734 x10^{-10} MPa. Variasi desain 3 dengan geometri rangka berbentuk T menghasilkan nilai maksimum *von mises stress* sebesar 113,02 MPa, sedangkan nilai minimum dari *von mises stress* sebesar 1,4614 x10^{-12} MPa.

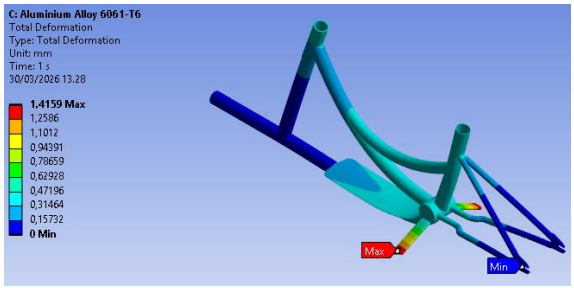
Analisis *Deformation*

Deformation atau deformasi dilakukan untuk mengetahui nilai perubahan bentuk yang terjadi pada komponen akibat adanya pembebanan

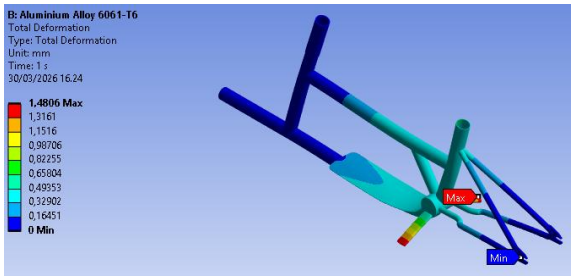
[11]. Pada Gambar 8 – Gambar 10 ditunjukkan hasil *deformation* yang terjadi pada ketiga variasi desain.



Gambar 8 Hasil *Deformation* Variasi Desain 1



Gambar 9 Hasil *Deformation* Variasi Desain 2

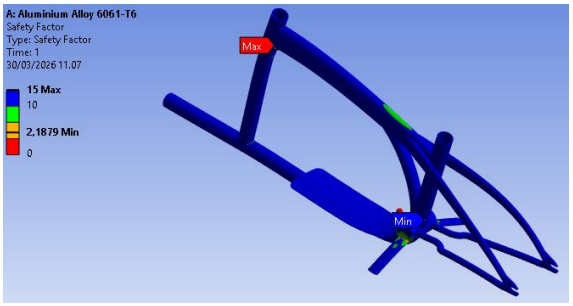


Gambar 10 Hasil *Deformation* Variasi Desain 3

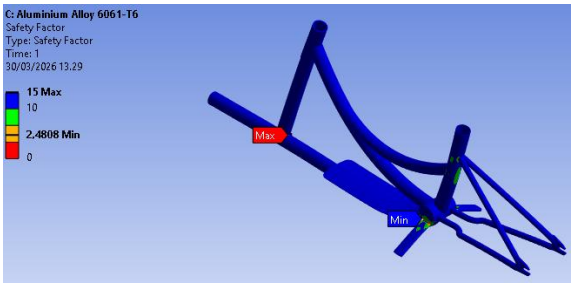
Berdasarkan simulasi yang dilakukan, variasi desain 1 dengan geometri rangka berbentuk *cruiser* menghasilkan nilai maksimum *deformation* sebesar 1,6108 mm, sedangkan nilai minimum dari *deformation* sebesar 0 mm. Variasi desain 2 dengan geometri rangka berbentuk Y menghasilkan nilai maksimum *deformation* sebesar 1,4159 mm, sedangkan nilai minimum dari *deformation* sebesar 0 mm. Variasi desain 3 dengan geometri rangka berbentuk T menghasilkan nilai maksimum *deformation* sebesar 1,4806 mm, sedangkan nilai minimum dari *deformation* sebesar 0 mm.

Analisis Safety Factor

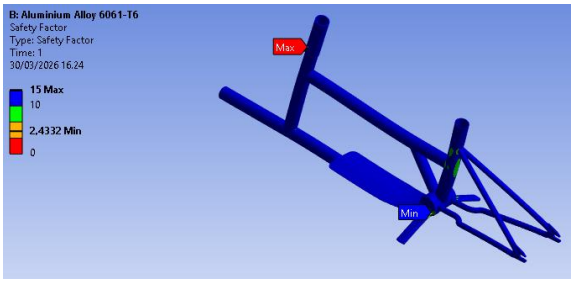
Safety factor atau faktor keamanan adalah parameter yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat keamanan suatu komponen terhadap kegagalan. Nilai *safety factor* diperoleh dari perbandingan nilai kekuatan luluh material dengan nilai maksimum *von mises stress*. Nilai *safety factor* yang dapat digunakan pada komponen harus memiliki nilai > 1 [12]. Pada Gambar 11 – Gambar 13 ditunjukkan hasil *safety factor* yang terjadi pada ketiga variasi desain.



Gambar 11 Hasil *Safety Factor* Variasi Desain 1



Gambar 12 Hasil *Safety Factor* Variasi Desain 2



Gambar 13 Hasil *Safety Factor* Variasi Desain 3

Berdasarkan simulasi yang dilakukan, variasi desain 1 dengan geometri rangka berbentuk *cruiser* menghasilkan nilai minimum *safety factor* sebesar 2,1879, sedangkan nilai maksimum dari *safety factor* sebesar 15. Variasi desain 2 dengan geometri rangka berbentuk Y menghasilkan nilai minimum *safety factor* sebesar 2,4808, sedangkan nilai maksimum dari *safety factor* sebesar 15. Variasi desain 3 dengan geometri rangka berbentuk T menghasilkan nilai minimum *safety factor* sebesar 2,4332, sedangkan nilai maksimum dari *safety factor* sebesar 15. Nilai minimum yang dihasilkan dari ketiga variasi desain tersebut menunjukkan nilai lebih dari 1, sehingga penggunaan *aluminium alloy* 6061-T6 pada ketiga variasi desain aman ketika diberikan massa pengendara 100 kg dan massa baterai sebesar 10 kg.

Analisis Perbandingan Antar Variasi Desain

Analisis perbandingan antar variasi desain dilakukan untuk mengevaluasi hasil simulasi berdasarkan nilai *von mises stress*, *deformation*, dan *safety factor*. Pada Tabel 1 ditunjukkan perbandingan hasil simulasi dari ketiga variasi desain.

Tabel 1 Perbandingan Hasil Simulasi

	Von Mises Stress (MPa)	*Deformation* (mm)	*Safety Factor*
Variasi Desain 1	125,69	1,6108	2,1879
Variasi Desain 2	110,85	1,4159	2,4808
Variasi Desain 3	113,02	1,4806	2,4332

Berdasarkan Tabel 1, variasi desain 2 menunjukkan nilai tegangan *von mises* paling rendah, yaitu sebesar 110,85 MPa. Nilai ini lebih kecil dibandingkan variasi desain 1 dan desain 3 yang masing-masing sebesar 125,69 MPa dan 113,02 MPa. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa variasi desain 2 memiliki distribusi tegangan yang lebih merata, sehingga mampu mengurangi konsentrasi tegangan pada titik tertentu yang berpotensi menyebabkan kegagalan struktur.

Variasi desain 2 juga menghasilkan nilai *deformation* paling kecil, yaitu 1,4159 mm. Nilai tersebut menunjukkan bahwa geometri rangka berbentuk Y memiliki tingkat kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan geometri rangka berbentuk *cruiser* dan T. Maka dari itu, variasi desain 2 dapat lebih sulit mengalami perubahan bentuk akibat pembebanan.

Nilai *safety factor* pada variasi desain 2 juga memiliki nilai tertinggi sebesar 2,4808 yang diikuti oleh variasi desain 3 sebesar 2,4332 dan variasi desain 1 sebesar 2,1879. Nilai *safety factor* pada variasi desain 2 tersebut menunjukkan bahwa struktur geometri rangka berbentuk Y memiliki margin keamanan yang lebih besar terhadap kemungkinan kegagalan material.

Secara keseluruhan, variasi desain 2 memiliki nilai *von mises stress* dan *deformation* terendah serta *safety factor* tertinggi dibandingkan variasi desain 1 dan desain 3. Perbedaan nilai tersebut menjadikan variasi desain 2 dengan geometri rangka berbentuk Y memiliki desain terbaik. Oleh karena itu, penggunaan geometri rangka berbentuk Y pada sepeda listrik roda tiga bagi tunadaksa direkomendasikan karena mampu memberikan kinerja struktural yang lebih optimal, sehingga dapat mendukung kenyamanan dan keselamatan pengguna.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa variasi geometri rangka dan penggunaan material *aluminium alloy* 6061-T6 berpengaruh terhadap kinerja struktural rangka sepeda listrik roda tiga bagi tunadaksa. Hasil simulasi menunjukkan bahwa ketiga variasi desain, yaitu bentuk *cruiser*, Y, dan T memiliki nilai *safety factor* lebih dari 1, sehingga seluruh desain dinyatakan aman dalam menahan massa pengendara sebesar 100 kg dan baterai sebesar 10 kg. Akan tetapi, variasi desain 2 dengan geometri rangka berbentuk Y dapat menghasilkan desain yang terbaik berdasarkan nilai *von mises stress* terendah sebesar 110,85 MPa, *deformation* terkecil sebesar 1,4159 mm, dan *safety factor* tertinggi sebesar 2,4808. Oleh karena itu, geometri rangka berbentuk Y direkomendasikan sebagai desain optimal untuk rangka sepeda listrik roda tiga bagi tunadaksa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Tidar beserta semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian serta penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Pusdatinkesos, "Tahukah kamu jika ada sebanyak 1.033.073 penyandang disabilitas yang sudah terdaftar di DTKS.," 13 Maret 2024. [Online]. Available: https://www.instagram.com/p/C4dR1RVJO7M/. [Diakses 10 April 2026].

[2] A. Swandhani dan D. Wahjudi, "Perancangan Tuas Pada Kursi Roda Untuk Membantu Mobilitas Penyandang Difabel Beraktivitas di Luar," *Gorga : Jurnal Seni Rupa*, pp. 558-565, 2023.

[3] A. Dywanada dan Z. Chumaida, "Pengaturan Kendaraan Modifikasi Untuk Difabel dalam Pengoperasian Lalu Lintas dalam Prespektif Hukum Transportasi," *Media Iuris*, vol. 7, no. 1, pp. 51-68, 2024.

[4] M. Saputra, E. Fitriani, N. Paramyta dan T. Ariyadi, "*Update* Sepeda Biasa Menjadi Sepeda Listrik Menggunakan Arduino Untuk Monitoring Kapasitas Baterai," *Jurnal*

Pendidikan Tambusai, vol. 8, no. 1, pp. 8828-8841, 2024.

[5] N. Jati, G. Prayogo, Y. Silalahi, M. Fikri dan G. Kiswanto, "Stabilitas Manuver Sepeda Roda Tiga: Simulasi dan Analisis," *Prosiding SNTTM XXII 2024*, vol. 22, pp. 446-452, 2024.

[6] M. Ikhsannudin, A. Gamayel dan M. Zaenudin, "Desain dan Analisa Velg Mobil 15 Inch Tipe *Aluminium Alloy* 6061 Melalui Simulasi Pengujian *Dynamic Cornering Fatigue* Sesuai Standar SAE J 328," *Machine : Jurnal Teknik Mesin*, vol. 10, no. 1, pp. 6-13, 2024.

[7] Suyitno, Bahan teknik untuk rekayasawan : logam bukan ferro, D.I.Yogyakarta: Pustaka Pranala, 2022.

[8] Menperin, "Permenperin No. 52 Tahun 2024," 15 Oktober 2024. [*Online*]. Available: https://peraturan.bpk.go.id/Details/307968/permenperin-no-52-tahun-2024. [Diakses 10 April 2026].

[9] N. Putra dan A. Harijono, "Analisis Ketahanan Rangka Sepeda MTB Berbahan AISI 4130 Terhadap Variasi Beban dan Ketebalan," *Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek*, vol. 9, no. 6, pp. 1-11, 2025.

[10] Fakhri, S. Mulyono dan I. Nuriskasari, "Analisis Beban Struktur Pada Perancangan Pressure Vessel Separator Untuk Menampung Hydrocarbon Gas/Liquid Dengan Tekanan Desain 80,1 [psi] di PT.X," *Prosiding A Seminar Nasional Teknik Mesin*, pp. 482-491, 2023.

[11] R. Ardika, F. Awalludin, K. Winangun, R. Arifin, Fadelan, Munaji dan Y. Winardi, "Analisa Desain Chassis Mobil Listrik Satu Penumpang Dengan Finite Element Methode," *AutoMech*, vol. 5, no. 2, pp. 68-75, 2025.

[12] D. Wigenaputra, A. Ramdan dan F. Akbar, "Meningkatkan Kapasitas Produksi Susu Kemasan Kaleng Melalui Perancangan Mesin Palletizing," *Machine : Jurnal Teknik Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 31-37, 2023.