

Analisis Kekuatan Rangka Sepeda Listrik Roda 3 untuk Mobilitas Laboratorium Berkapasitas 150 KG

Fadly Achmad Azhar^{1*}, Zainuddin¹, dan Leo Van Gunawan²

¹Teknik Perancangan dan Konstruksi Mesin, Politeknik Negeri Bandung, Bandung, Indonesia.

²Teknik Mesin, Politeknik Negeri Indramayu, Indramayu, Indonesia.

ABSTRAK – Kemudahan berpindah dari satu tempat ke tempat lain, terutama untuk membawa peralatan atau hasil pengujian, menjadi kebutuhan yang penting. Namun demikian, aksesibilitas dan efisiensi mobilitas sering kali menjadi kendala, terlebih lagi bagi individu dengan keterbatasan fisik. Sepeda roda tiga memberikan kestabilan lebih baik dibandingkan dengan sepeda roda dua, sehingga sangat cocok untuk operasional di lingkungan kampus atau laboratorium yang memiliki medan terbatas dan padat aktivitas. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun rangka sepeda listrik roda tiga yang digunakan untuk mendukung mobilitas laboratorium dengan kapasitas beban maksimal 150 kg. Proses perancangan dilakukan melalui metode Pahl and Beitz untuk pengembangan konsep, pemodelan tiga dimensi menggunakan perangkat lunak SolidWorks, dan analisis kekuatan struktur dengan metode Finite Element Analysis (FEA). Perhitungan manual juga dilakukan untuk memvalidasi hasil simulasi numerik. Tahap manufaktur rangka melibatkan proses pemotongan, bending, dan pengelasan pipa baja berprofil hollow, dengan mempertimbangkan aspek ergonomi dan efisiensi biaya. Pengujian simulasi menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi sebesar 30,3 MPa, jauh di bawah batas yield strength material ASTM A36, menghasilkan faktor keamanan sebesar 8,2. Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan sarana transportasi laboratorium yang ramah lingkungan, efisien, dan aman.

Kata kunci: *Sepeda listrik roda tiga, rangka sepeda, mobilitas laboratorium, Finite Element Analysis, transportasi ramah lingkungan.*

ABSTRACT – The ease of moving from one place to another, especially to carry equipment or test results, is an important necessity. However, accessibility and mobility efficiency are often an obstacle, even more so for individuals with physical limitations. Tricycles provide better stability compared to two-wheeled bicycles, making them suitable for operations in campus or laboratory environments that have limited terrain and are densely active. This research aims to design and construct a three-wheeled electric bicycle frame to support laboratory mobility with a maximum load capacity of 150 kg. The design process follows the Pahl and Beitz method for concept development, with three-dimensional modeling conducted using SolidWorks software, and structural strength analysis performed through Finite Element Analysis (FEA). Manual calculations were also carried out to validate the numerical simulation results. The manufacturing stage involved cutting, bending, and welding hollow steel pipes, with considerations for ergonomics and cost efficiency. Simulation testing indicated a maximum stress of 30.3 MPa, which is significantly lower than the yield strength of ASTM A36 material, resulting in a high safety factor of 8.2. This research contributes to the development of environmentally friendly, efficient, and safe transportation solutions for research environments.

Keyword: *Three-wheeled electric bicycle, bicycle frame, laboratory mobility, Finite Element Analysis, environmentally friendly transportation.*

Dikirim: 29 April 2025; Direvisi: 21 Agustus 2025; Diterima: 22 Agustus 2025

PENDAHULUAN

Mobilitas merupakan aspek krusial dalam menunjang aktivitas manusia di berbagai bidang kehidupan, termasuk dalam lingkungan pendidikan dan riset seperti laboratorium teknik. Dalam konteks tersebut, kemudahan berpindah dari satu tempat ke tempat lain, terutama untuk membawa peralatan atau hasil pengujian, menjadi kebutuhan yang penting. Namun demikian, aksesibilitas dan efisiensi mobilitas sering kali menjadi kendala, terlebih lagi bagi individu dengan keterbatasan fisik.

Salah satu solusi inovatif untuk menjawab tantangan ini adalah pengembangan sepeda listrik roda tiga, yang mengombinasikan stabilitas, efisiensi energi, dan aksesibilitas tinggi. Sepeda roda tiga memberikan kestabilan lebih baik dibandingkan dengan sepeda roda dua, sehingga sangat cocok untuk operasional di lingkungan kampus atau laboratorium yang memiliki medan terbatas dan padat aktivitas.

Penggunaan sepeda roda tiga khususnya telah terbukti secara signifikan meningkatkan mobilitas penyandang disabilitas. Tricycle listrik mempermudah pergerakan tanpa perlu kekuatan fisik yang besar dan memberikan rasa aman bagi penggunanya. Penelitian oleh Kumar pada tahun 2024 menunjukkan bahwa penambahan sistem penggerak listrik pada sepeda roda tiga memberikan keleluasaan lebih bagi penyandang disabilitas untuk beraktivitas secara mandiri, termasuk dalam lingkungan yang kompleks seperti laboratorium[1].



Gambar 1. Pengguna disabilitas sepeda roda 3

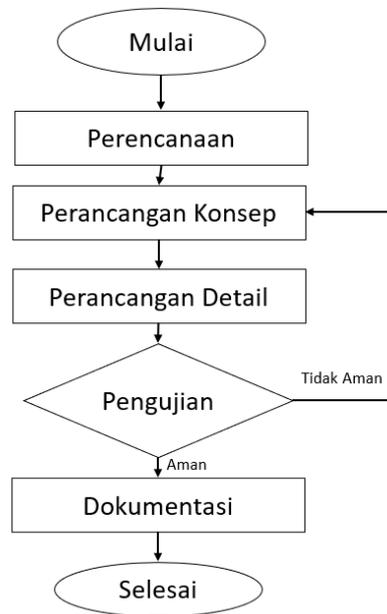
Pengembangan kendaraan jenis ini juga relevan dari sisi keberlanjutan. Tricycle listrik merupakan kendaraan nol-emisi yang dapat membantu mengurangi polusi udara dan kebisingan, menjadikannya ideal untuk digunakan di lingkungan akademik yang berkomitmen pada prinsip green campus [2].

Kebutuhan akan solusi mobilitas inklusif semakin mendesak merujuk pada laporan Dwivedi pada tahun 2023 menunjukkan bahwa banyak penyandang disabilitas kesulitan menggunakan kendaraan umum maupun alat bantu manual seperti kursi roda, terutama di area dengan medan yang tidak rata[3]. Dalam konteks laboratorium teknik mesin Politeknik Negeri Bandung, sepeda listrik roda tiga tidak hanya berfungsi sebagai kendaraan, tetapi juga sebagai objek penelitian yang mencakup desain rangka, analisis kekuatan struktur, sistem transmisi listrik, serta pendekatan ergonomis. Penelitian oleh Reddy pada tahun 2022 bahkan menyoroti pentingnya integrasi antara platform tricycle dengan kursi roda agar pengguna tidak perlu berpindah alat, yang akan sangat bermanfaat di ruang-ruang terbatas seperti laboratorium [4].

Dengan demikian, proyek perancangan sepeda listrik roda tiga untuk kebutuhan laboratorium di Politeknik Negeri Bandung khususnya pada laboratorium di jurusan teknik mesin, juga mendukung agenda keberlanjutan. Selain itu, proyek ini memberikan peluang besar untuk mengembangkan aplikasi teknik praktis yang relevan dengan kurikulum Teknik Perancangan dan Konstruksi Mesin..

METODE

Metode perancangan sistematis yang dikembangkan oleh Pahl dan Beitz [5] merupakan pendekatan terstruktur dalam proses perancangan teknik. Metode ini terdiri dari empat tahap utama: perencanaan dan klarifikasi tugas, pengembangan konsep, perancangan bentuk, dan perancangan detail. Pendekatan ini bertujuan untuk menghasilkan desain yang memenuhi kebutuhan fungsional dan teknis secara sistematis. Metode penyelesaian masalah di Tugas Akhir menggunakan metode yang ditunjukkan pada diagram alir berikut.



Gambar 2. Alur Penelitian

Keterangan Flowchart.

Pada Sub Bab ini dijelaskan masing masing proses yang ada pada flowchart. Berikut penjelasan :

1. Perencanaan

Tahap perencanaan merupakan tahapan awal perancangan yang mencakup identifikasi kebutuhan, kajian produk eksisting, dan penyusunan daftar tuntutan. Tahap ini bertujuan untuk memahami masalah yang ada dan menentukan kriteria yang harus dipenuhi oleh produk yang akan dirancang. Luaran dari tahap ini adalah daftar tuntutan untuk Sepeda Listrik Roda 3 untuk Keperluan Laboratorium.

2. Perancangan Konsep

Setelah mendapat daftar tuntutan, tahapan ini menentukan fungsi utama dan fungsi bagian dari alat, mengembangkan alternatif solusi, serta membuat variasi konsep. Setelah itu, konsep-konsep yang sudah dibuat dinilai dan dievaluasi untuk memilih konsep terbaik yang akan dikembangkan.

3. Perancangan Detail

Tahap Embodiment Design, dilakukan perhitungan teknis, perencanaan detail, dan pemilihan komponen yang akan digunakan. Di tahap ini juga dibuat model 3D untuk memvisualisasikan desain akhir.

4. Pengujian

Tahap berikutnya adalah Pengujian, di mana produk diuji untuk memastikan semua fungsinya bekerja dengan baik dan sesuai dengan kriteria yang diinginkan. Hasil pengujian dan simulasi dievaluasi untuk memastikan

produk akhir memenuhi daftar tuntutan yang telah ditetapkan. Apabila hasil simulasi menunjukkan kesimpulan aman, maka langkah selanjutnya adalah dokumentasi.

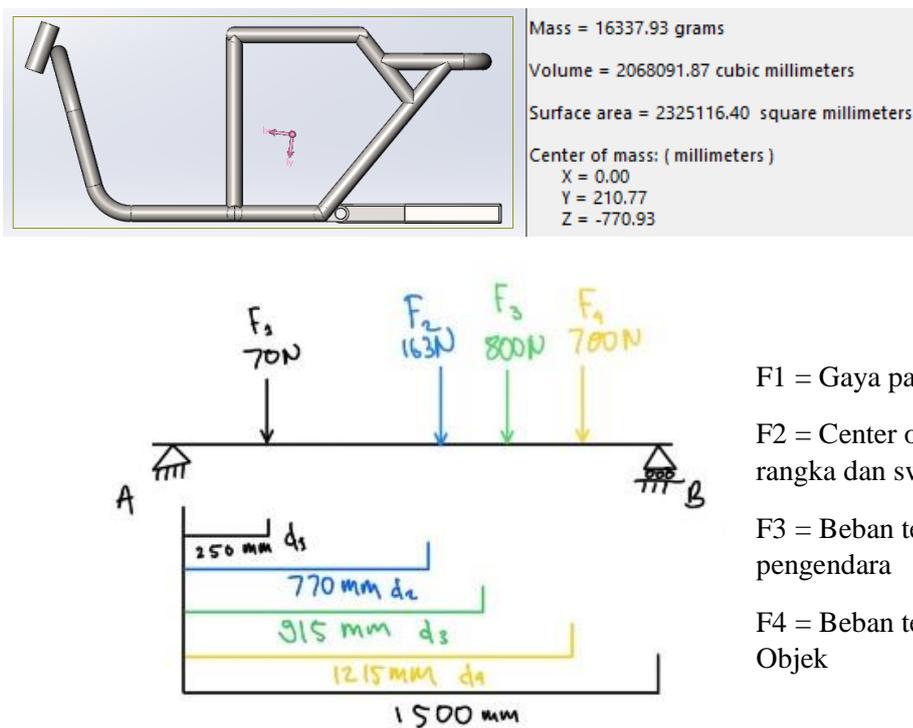
5. Dokumentasi Akhir

Proses ini diakhiri dengan Dokumentasi Akhir, yang meliputi penyusunan dokumentasi lengkap dari seluruh proses, serta penyusunan laporan akhir.

HASIL EKSPERIMEN

Perhitungan Rangka Sepeda Roda Tiga

Berikut adalah data mengenai berat dan titik berat dari rangka dan swingarm, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis free body diagram dengan tumpuan pada as roda. Dalam analisis ini, gaya-gaya dan momen yang bekerja pada rangka akan dihitung berdasarkan distribusi beban dan jarak-jarak dari titik tumpuan, sehingga memungkinkan pemahaman lebih baik tentang stabilitas dan kekuatan struktur.



Gambar 3. Free Body Diagram

Untuk menghitung gaya reaksi pada kedua tumpuan, berikut adalah proses perhitungan *free body diagram*:

1. Persamaan Kesetimbangan

- Jumlah gaya pada arah vertikal ($\sum F_y = 0$):

$$R_a + R_b + F_1 - F_2 - F_3 - F_4 = 0$$

- Jumlah momen terhadap tumpuan kiri ($\sum M_a = 0$):

$$\sum M_a = 0 = F_1 \times d_1 + F_2 \times d_2 + F_3 \times d_3 + F_4 \times d_4 - R_b \times D_{AB}$$

2. Menghitung Reaksi:

- Momen di titik a:

$$\Sigma M_a = (70N \times 0.25m) + (163N \times 0.77m) + (800N \times 0.915m) + (700N \times 1.215m) - R_B \times 1.5m$$

$$\Sigma M_a = (17.5Nm) + (125.51Nm) + (732Nm) + (850.5Nm) - R_B \times 1.5m$$

$$\Sigma M_a = 1725.51Nm - 1.5 R_B$$

- Penyelesaian untuk R_B :

$$R_B = \frac{1725.51Nm}{1.5 m}$$

$$R_B = 1150.34N$$

- Penyelesaian untuk R_a :

$$R_a + R_b = F_1 - F_2 - F_3 - F_4$$

$$R_a + 1.150.34 = 70 + 163 + 800 + 700$$

$$R_a + 1150.34 = 1733$$

$$R_a = 1733 - 1150.34$$

$$R_a = 582.66 N$$

Perhitungan Shear Force Diagram (SFD)

- Dari A hingga F_1 (0 hingga 250 mm): Satu-satunya gaya adalah reaksi di A.

$$V = R_a = 582.66 N$$

- Pada F_1 (250 m): Gaya geser akan turun sebesar $F_1 = 70N$

$$V = 582.66 - 70 = 512.66N$$

- Dari F_1 hingga F_2 (250 hingga 770 mm): Gaya geser tetap konstan sampai titik F_2

$$V = 512.66N$$

- Pada F_2 (250 m): Gaya geser akan turun sebesar $F_2 = 163N$

$$V = 512.66 - 163 = 349.66N$$

- Dari F_2 hingga F_3 (770mm hingga 915 mm): Gaya geser tetap konstan sampai titik F_3

$$V = 349.66N$$

- Pada F_3 (915 mm): Gaya geser akan turun sebesar $F_3 = 800N$

$$V = 349.66 - 800 = -450.34N$$

- Dari F_3 hingga F_4 (915 mm hingga 1215 mm): Gaya geser tetap konstan sampai titik F_3

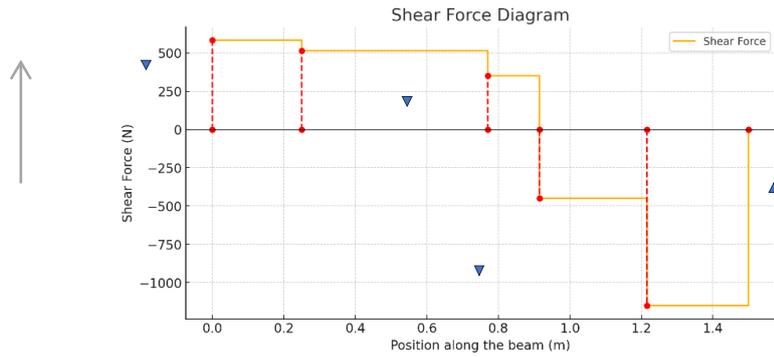
$$V = -450.34N$$

- Pada F_4 (915 mm): Gaya geser akan turun sebesar $F_4 = 700N$

$$V = -450.34 - 700 = -1150.34N$$

- Dari F_4 hingga B (1215 mm hingga 1500 mm): Gaya geser tetap konstan sampai titik F_3

$$V = -1150.34N$$



Gambar 4. Grafik Manual SFD

Perhitungan Diagram Momen

- Momen di F_1 ($d_1 = 250$ mm):

$$M_{F1} = R_a \cdot d_1$$

$$582.66 \times 250\text{mm} = 145.665\text{Nmm}$$

- Momen di F_2 (770 mm):

$$M_{F2} = R_a \cdot d_2 - F_1 \cdot (d_2 - d_1)$$

$$M_{F2} = 582.66 \cdot 770 - 70 \cdot (770 - 250)$$

$$M_{F2} = 449,448.2 - 36,200 = 412,248.2\text{Nmm}$$

- Momen di F_3 (915 mm):

$$M_{F3} = R_a \cdot d_3 - F_1 \cdot (d_3 - d_1) - F_2 \cdot (d_3 - d_2)$$

$$M_{F3} = 582.66 \cdot 915 - 70 \cdot (915 - 250) - 163 \cdot (915 - 770)$$

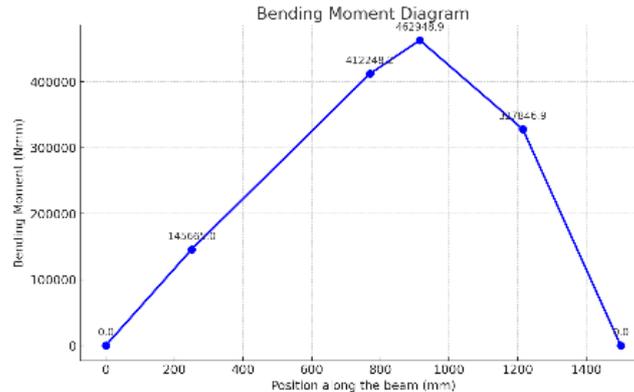
$$M_{F3} = 533,633.9 - 46,550 - 23,600 = 462,948.9\text{Nmm}$$

- Momen di F_4 (1215 mm):

$$M_{F4} = R_a \cdot d_4 - F_1 \cdot (d_4 - d_1) - F_2 \cdot (d_4 - d_2) - F_3 \cdot (d_4 - d_3)$$

$$M_{F4} = 582.66 \cdot 1215 - 70 \cdot (1215 - 250) - 163 \cdot (1215 - 770) - 800 \cdot (1215 - 915)$$

$$M_{F4} = 708,030.9 - 67,550 - 72,855 - 240,780 = 327,846.9 \text{ Nmm}$$



Gambar 5. Grafik Manual BMD

Perhitungan Diameter Minimal Pipa Rangka

Yield strength (σ_y) untuk baja struktural ASTM A36 diketahui $\sigma_y=250$ Mpa [6], [7],

1. Menghitung Allowable stress

$$\sigma_{allow} = \frac{\sigma_y}{SF} = \frac{250}{5} = 50 \text{ Mpa} = 50 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

2. Rumus tegangan pada pipa

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$A = \frac{\pi}{4} (d_{outer}^2 - d_{inner}^2)$$

3. Asumsi ketebalan pipa

Menyederhanakan perhitungan dengan mengasumsikan perbandingan diameter dalam dan luar. Asumsi umum untuk pipa berongga adalah diameter dalam sekitar 80% dari diameter luar:

$$d_{inner} = 0.8 d_{outer}$$

4. Rumus area menjadi

$$A = \frac{\pi}{4} (d_{outer}^2 - (0.8 d_{outer})^2)$$

$$A = \frac{\pi}{4} (d_{outer}^2 - 0.64 d_{outer}^2)$$

$$A = \frac{\pi}{4} (0.36 d_{outer}^2)$$

$$A = 0.09 \pi d_{outer}^2$$

5. Memasukan ke persamaan tegangan

$$\sigma_{allow} = \frac{F}{A}$$

$$50 \times 10^6 = \frac{1150.34}{0.09 \pi d_{outer}^2}$$

$$d_{outer}^2 = \frac{1150.34N}{50 \times 10^6 \times 0.09\pi}$$

$$d_{outer}^2 = \frac{1150.34N}{35.342 \times 10^6}$$

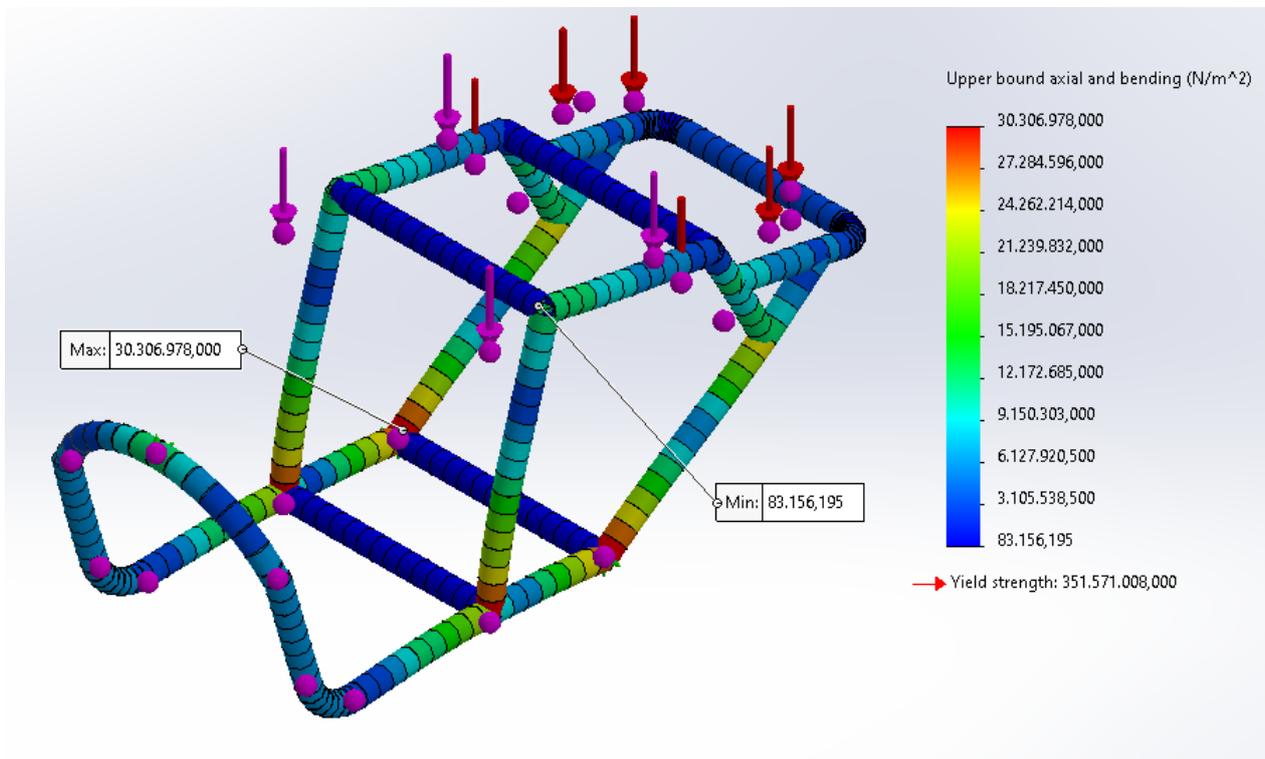
$$d_{outer}^2 = 3.25 \times 10^{-5} m^2$$

$$d_{outer} = \sqrt{1.627 \times 10^{-5}} = 0.0057m = 5.7mm.$$

Diameter luar yang aman dari pipa, berdasarkan faktor pembebanan dan keamanan yang diberikan, adalah sekitar 5,7 mm.

Finite Element Analysis Rangka Sepeda

Rangka disimulasikan menggunakan Software CAD/CAE untuk mengetahui beberapa parameter penting, yaitu nilai faktor keamanan (safety factor), titik konsentrasi tegangan (stress points), dan kekuatan rangka saat diberikan beban. Simulasi ini dilakukan dengan menempatkan rangka dalam kondisi yang mendekati situasi aktual ketika rangka diberi beban maksimal, sehingga hasil yang diperoleh dapat merepresentasikan kondisi operasional yang sebenarnya.



Gambar 6. Analisis Konsentrasi Tegangan pada rangka

Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa titik konsentrasi tegangan terkecil sebesar 83,16 Mpa, sedangkan tegangan terbesar yang terjadi pada rangka sepeda listrik sebesar 30,3 MPa. Nilai tegangan yang dihasilkan dari analisis simulasi ini cukup kecil dibandingkan dengan yield strength material yang digunakan, yaitu ASTM A36, yang memiliki batas tegangan maksimum sebesar 250 MPa. Dari hasil simulasi tersebut maka dapat disimpulkan bahwa rangka sepeda listrik ini aman untuk digunakan untuk mengangkut beban sebesar 150kg.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian tentang rangka sepeda listrik roda 3 ini dapat ditarik kesimpulan:

1. Penelitian ini, rangka utama sepeda listrik didesain dengan dimensi yang spesifik untuk memenuhi kebutuhan fungsional dan struktural. Rangka utama sepeda listrik memiliki dimensi panjang sebesar 1170 mm, lebar sebesar 460 mm, dan tinggi sebesar 515 mm. Dimensi ini menunjukkan spesifikasi teknis dari rangka utama yang digunakan dalam penelitian sepeda listrik tersebut
2. struktur rangka utama yang terbuat dari baja (*steel*) dan menggunakan profil pipa hollow mampu menahan tegangan maksimum sebesar 30,3 MPa, dengan nilai *yield strength* sebesar 250 MPa. Ini menunjukkan bahwa struktur tersebut memiliki faktor keamanan (*safety factor*) yang cukup besar, yaitu sebesar 8,2, sehingga dapat disimpulkan bahwa rangka tersebut aman untuk mengangkut beban sebesar 150kg.

REFERENSI

1. D. S. Kumar, "Fabrication of Electric Tricycle," *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC RESEARCH IN ENGINEERING AND MANAGEMENT*, vol. 08, no. 03, pp. 1–5, Mar. 2024, doi: 10.55041/IJSREM29872.
2. S. Singh, "Eco-friendly Modified Tricycle for the Disabled Person," *International Journal of Mechanical Engineering*, vol. 6, no. 0001, Dec. 2021, doi: 10.56452/2021SP-8-041.
3. J. Kováč, P. Malega, and J. Svetlík, "Smart Electric Three-Wheeled Unit for the Manufacturing Industry," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 11, p. 4933, Jun. 2024, doi: 10.3390/app14114933.
4. M. S. H. Reddy, S. A. V. Kuppa, A. Sanjana, J. Sridevi, and V. U. Rani, "Design and Development of Front fork for Electric Tricycle," in *2022 IEEE 2nd International Conference on Sustainable Energy and Future Electric Transportation (SeFeT)*, IEEE, Aug. 2022, pp. 1–6. doi: 10.1109/SeFeT55524.2022.9909276.
5. G. Pahl and W. Beitz. 2007. *Engineering Design: A Systematic Approach*; Springer
6. Dikwan, Muhammad, dkk, " Pengaruh Normalizing Terhadap Kekuatan Tarik, Impak, dan Mikrografi Pada Sambungan Las Baja A36 Akibat Pengelasan Shielded-Metal Arc Welding (SMAW) dengan Variasi 2 waktu Pemanasan" *Jurnal teknik Perkapalan*, Vol. 7, No. 4 Oktober 2019.
7. Restu, Fedia. dkk, " Analisa Kekuatan Material ASTM A36 Pada Konstruksi Ragum Terhadap Variasi Gaya Cekam Dengan Menggunakan Software SolidWorks 2013". *Jurnal Integrasi*, Vol. 9, No. 2, October 2017, 113-118