

Analisis Pengaruh Dimensi dan Ketebalan Hollow ST 37 terhadap Kekuatan Rangka Sepeda Motor Listrik dengan Metode Elemen Hingga (FEM)

Mohammad Amal Nabil*, Akhmad Faizin

Politeknik Negeri Malang

Abstrak: Rangka merupakan komponen penting pada sepeda motor listrik yang berfungsi menopang beban dan menjaga kestabilan struktur. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi dimensi dan ketebalan besi hollow ST 37 terhadap tegangan Von Mises, deformasi, dan faktor keamanan pada rangka sepeda motor listrik tipe Trellis. Metode yang digunakan adalah simulasi berbasis *Finite Element Method* (FEM) menggunakan perangkat lunak Catia V5. Variasi meliputi tiga ukuran hollow (20×40 mm, 60×40 mm, dan 75×40 mm) dengan ketebalan 0,8 mm, 1 mm, 1,2 mm, dan 1,5 mm. Beban statik 2.394 N diaplikasikan untuk mensimulasikan kondisi nyata. Hasil analisis menunjukkan bahwa peningkatan dimensi dan ketebalan menurunkan tegangan Von Mises dan displacement, sekaligus meningkatkan faktor keamanan. Profil 20×40×0,8 mm menghasilkan tegangan dan displacement tertinggi (0,417 mm), sedangkan profil 75×40×1,5 mm menunjukkan hasil terbaik dengan displacement terendah (0,075 mm) dan faktor keamanan tertinggi (57,379). Seluruh variasi rangka memiliki faktor keamanan di atas 2, sehingga dinyatakan aman. Disimpulkan bahwa pemilihan dimensi dan ketebalan yang tepat berpengaruh signifikan terhadap performa struktural. Kombinasi optimal adalah profil 75×40 mm dengan ketebalan 1,2–1,5 mm karena mampu memberikan keseimbangan antara kekuatan, kekakuan, dan efisiensi material.

Kata Kunci: Rangka Sepeda Motor Listrik, Besi Hollow ST 37, FEM, Von Mises Stress, Displacement

DOI:

<https://doi.org/10.47134/jme.v2i3.4794>

*Correspondence: Mohammad Amal Nabil

Email: nabil87k@gmail.com

Received: 30-05-2025

Accepted: 30-06-2025

Published: 30-07-2025



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: The frame is an important component of an electric motorcycle that supports the load and maintains structural stability. This study aims to analyze the effect of variations in the dimensions and thickness of ST 37 hollow steel on Von Mises stress, deformation, and safety factors in the frame of a Trellis-type electric motorcycle. The method used is simulation based on the Finite Element Method (FEM) using Catia V5 software. The variations include three hollow sizes (20×40 mm, 60×40 mm, and 75×40 mm) with thicknesses of 0.8 mm, 1 mm, 1.2 mm, and 1.5 mm. A static load of 2,394 N was applied to simulate real-world conditions. The analysis results show that increasing the dimensions and thickness reduces Von Mises stress and displacement while increasing the safety factor. The 20×40×0.8 mm profile produces the highest stress and displacement (0.417 mm), while the 75×40×1.5 mm profile shows the best results with the lowest displacement (0.075 mm) and the highest safety factor (57.379). All frame variations have a safety factor above 2, thus deemed safe. It is concluded that the selection of appropriate dimensions and thickness significantly influences structural performance. The optimal combination is the 75×40 mm profile with a thickness of 1.2–1.5 mm, as it provides a balance between strength, stiffness, and material efficiency.

Keywords: Electric motorcycle frame, ST 37 hollow steel, FEM, von Mises stress, displacement

Pendahuluan

Inovasi alat transportasi saat ini semakin banyak, ditunjukkan dengan adanya beragam jenis alat transportasi yang menggunakan bahan bakar fosil maupun listrik. Alat transportasi dengan menggunakan energi listrik saat ini banyak diminati oleh masyarakat. Salah satu contohnya adalah sepeda motor listrik, penggunaannya dianggap solusi tepat untuk menurunkan konsumsi bahan bakar fosil. Kendaraan listrik juga dianggap lebih mudah dalam hal pengoperasian dan perawatan, serta lebih ekonomis dalam hal kebutuhan energinya (Perkasa et al, 2023).

Sepeda motor listrik adalah salah satu inovasi dari pengembangan kendaraan ramah lingkungan. Sepeda motor ini menggunakan daya listrik sebagai sumber utama untuk menggerakkan kendaraan, sehingga tidak menghasilkan emisi. Perbedaan antara sepeda motor berbahan bakar fosil dengan sepeda motor listrik tidak jauh berbeda secara struktur, perbedaan terletak pada bagian komponen sumber energi penggerak (*power train*) (Hastuti et al, 2022)

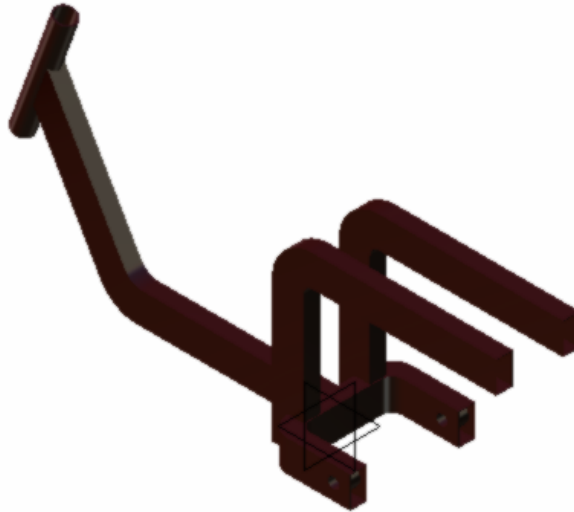
Salah satu komponen penting pada sebuah sepeda motor adalah rangka. Rangka berfungsi sebagai penguat struktur sepeda motor dan menopang melekatnya komponen internal. Sepeda motor memiliki rangka yang berbeda-beda, dan jenis rangka biasanya dapat dikenali dari bentuk dan tenaga mesin yang digunakan. Dari segi struktur, rangka harus sesuai dengan setiap komponen pendukung sepeda motor, seperti mesin, suspensi, dan sistem kelistrikan. Kekuatan rangka ditentukan oleh beberapa parameter seperti berat beban, bahan rangka, dan ketebalan rangka (Suwandi et al, 2018).

Salah satu cara efektif untuk melakukan analisis kekuatan rangka adalah dengan menggunakan metode *finite element methods* (FEM). Metode ini merupakan instrumen analisis yang efektif untuk memprediksi respon suatu struktur terhadap beban yang diberikan padanya, termasuk menghitung perpindahan titik simpulnya. Perhitungan kekuatan rangka merupakan hal yang sangat penting untuk memastikan rangka mampu menahan beban, baik penumpang atau komponen-komponen yang didukung oleh rangka (Pramono et al, 2020).

Pramono et al. (2020) melakukan penelitian yang berjudul "Perancangan Dan Simulasi Desain Rangka Sepeda Motor Listrik Tipe Trellis Menggunakan *Finite Element Methods* (FEM)". Pada penelitian tersebut mengadopsi tipe trellis dan menggunakan FEM dalam proses desain serta uji statik pada struktur rangka dengan beberapa variasi beban. Firjatullah (2023) berjudul "Analisis Desain Rangka *Scooter* Listrik Tipe *Monocoque* Terhadap Kekuatan Material Dengan Metode Elemen Hingga". Pada penelitian ini menggunakan rancangan skuter listrik tipe *monocoque*, dilanjutkan dengan analisis elemen hingga (FEA).

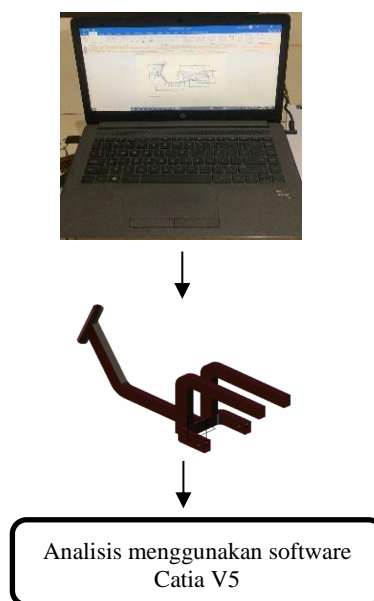
Metodologi

Penelitian ini menggunakan metode pengambilan data tabel dari analisis yang dilakukan menggunakan metode FEM, sehingga informasi yang diambil dapat dikumpulkan secara sistematis dan terstruktur. Penelitian ini akan mengetahui apakah variasi tebal material berpengaruh yang signifikan terhadap nilai *Element Quality*.



Gambar 1. Desain Rangka

Pada penelitian ini menggunakan variabel bebas yaitu dimensi 20 x 40 mm, 60 x 40 mm, 75 x 40 mm dan ketebalan 0,8 mm, 1 mm, 1,2 mm, 1,5 mm. Jenis material yang digunakan yaitu ST 37, pemberian beban 200kg (penumpang), 30kg (baterai). Desain rangka menggunakan tipe Trellis mengadopsi eSAF (Enhanced Smart Architecture Frame). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dimensi dan ketebalan terhadap nilai tegangan von mises, nilai displacement, dan nilai safety factor.

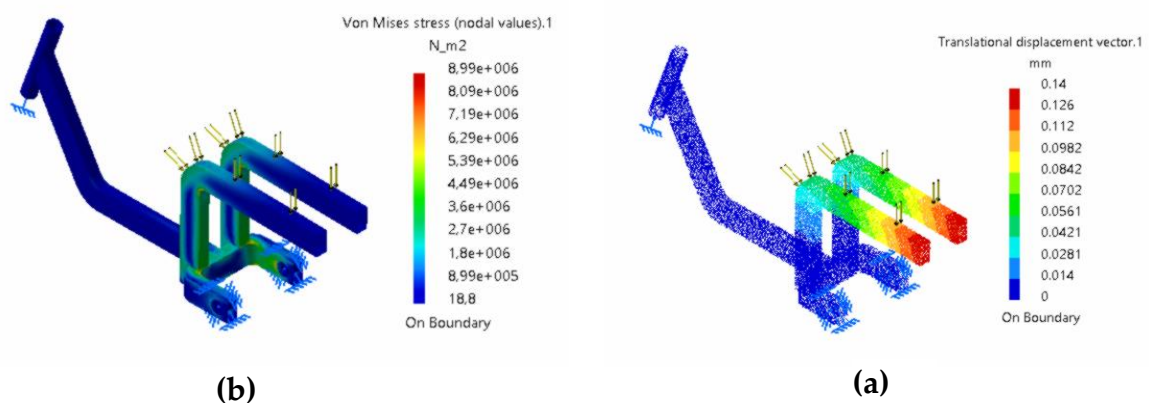


Gambar 2. Proses Pengambilan Data

Hasil dan Pembahasan

Proses simulasi pada desain rangka sepeda motor Listrik, menggunakan meshing 3 mm yang menghasilkan *element quality* menunjukkan nilai mendekati 100% artinya cukup baik dan akurat. Setelah didapatkan *meshing setting* beban dengan nilai 2.394 N pada sumbu Z. kemudian setting clamp pada bagian kedua lubang *AS Arm* pada rangka belakang dan pada rangka depan clamp ditempatkan pada bagian lubang *stang*. Setelah selesai setting kemudian di *compute* untuk melihat tegangan *von mises* dan *displacement*. Untuk melihat hasil *element quality* dan hasil dari tegangan *von mises* dapat dilihat pada *generate report*.

1. Hasil simulasi rangka 75 x 40 x 0,8 mm



Gambar 3. a. Simulasi tegangan von mises b. simulasi displacement)

Dari (Gambar 3.a) analisis didapatkan tegangan (*von mises stress*) dengan menggunakan material ST 37 dengan menggunakan tekanan 2.394 N/m² dan tegangan maximum ditunjukkan pada warna merah sebesar 8,99 x 10⁶ N/m². Tegangan yang terjadi berada dibawah tegangan luluh material ST 37 yaitu 2.35 x 10⁸ N/m², sehingga konstruksi rangka dikatakan aman. Dari (Gambar 3.b) analisis didapatkan *displacement* dengan menggunakan material ST 37 dengan menggunakan tekanan 2.394 N/m² dan *displacement maximum* ditunjukkan pada warna merah sebesar 0,14 mm. Deformasi yang terjadi masih dalam kategori kecil mengingat tegangan yang terjadi berada dibawah tegangan luluh material. Perhitungan nilai faktor keamanan desain rangka dapat dihitung melalui persamaan sebagai berikut.

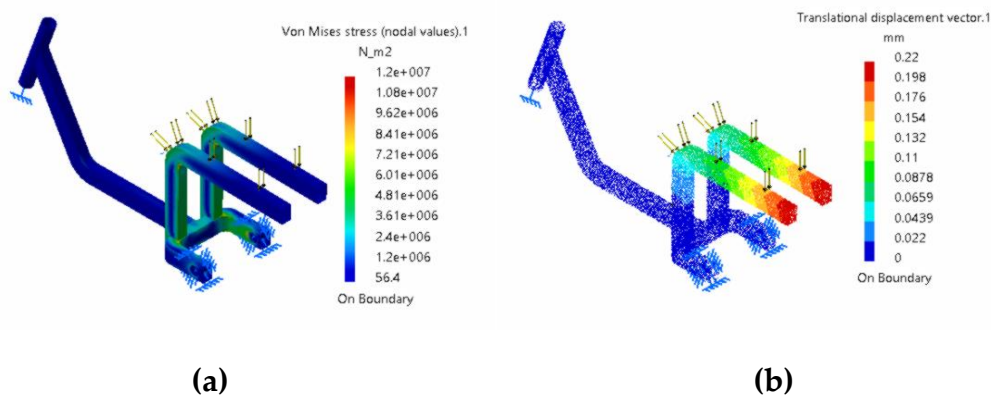
$$N = \frac{\sigma_{Yield}}{\sigma_{Von Mises Max}}$$

$$N = \frac{235000000}{8990000}$$

$$= 26,140$$

Telah didapatkan faktor keamanan pada desain rangka sepeda listrik adalah 26,140. Faktor keamanan didapatkan >2 sehingga berada pada batas aman untuk digunakan. Nilai 26,140 tergolong sangat tinggi sehingga diperlukan efisiensi material dengan mengganti jenis material yang tegangan luluh lebih rendah. Material dengan kekuatan yang tinggi membuat biaya produksi juga tinggi.

2. Hasil simulasi rangka 60 x 40 x 0,8 mm



Gambar 4. a. Simulasi Tegangan Von Mises b. Simulasi Displacement

Dari (Gambar 4.a) analisis didapatkan tegangan (*von mises stress*) dengan menggunakan material ST 37 dengan menggunakan tekanan 2.394 N/m² dan tegangan maximum ditunjukkan pada warna merah sebesar 1,20 x 10⁶ N/m². Tegangan yang terjadi berada dibawah tegangan luluh material ST 37 yaitu 2.35 x 10⁸ N/m², sehingga konstruksi rangka dikatakan aman. Dari (Gambar 4,b) analisis didapatkan *displacement* dengan engineman material ST 37 dengan menggunakan tekanan 2.394 N/m² dan *displacement maximum* ditunjukkan pada warna merah sebesar 0,22 mm. Deformasi yang terjadi masih dalam kategori kecil mengingat tegangan yang terjadi berada dibawah tegangan luluh material. Perhitungan nilai faktor keamanan desain rangka dapat dihitung melalui persamaan sebagai berikut.

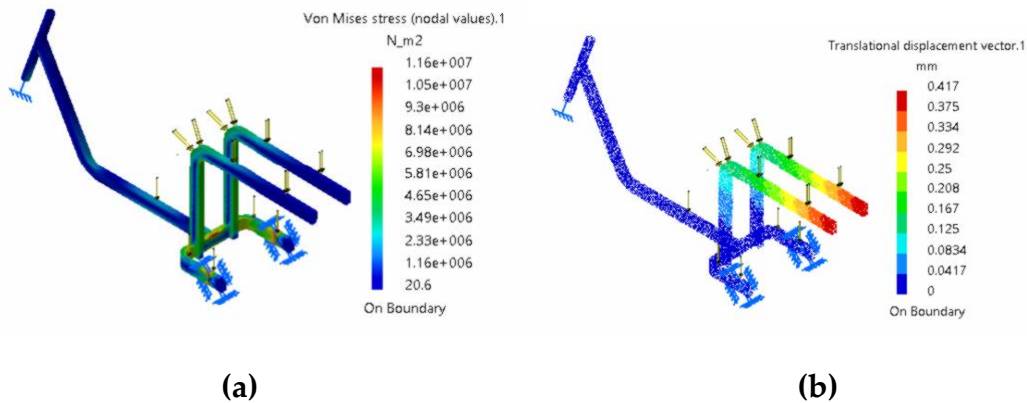
$$N = \frac{\sigma_{Yield}}{\sigma_{Von Mises Max}}$$

$$N = \frac{235000000}{12000000}$$

$$= 19,58333333$$

Telah didapatkan faktor keamanan pada desain rangka sepeda listrik adalah 19,583. Faktor keamanan didapatkan >2 sehingga berada pada batas aman untuk digunakan. Nilai 19,583 tergolong sangat tinggi sehingga diperlukan efisiensi material dengan mengganti jenis material yang tegangan luluh lebih rendah. Material dengan kekuatan yang tinggi membuat biaya produksi juga tinggi.

3. Hasil simulasi rangka 20 x 40 x 0,8 mm



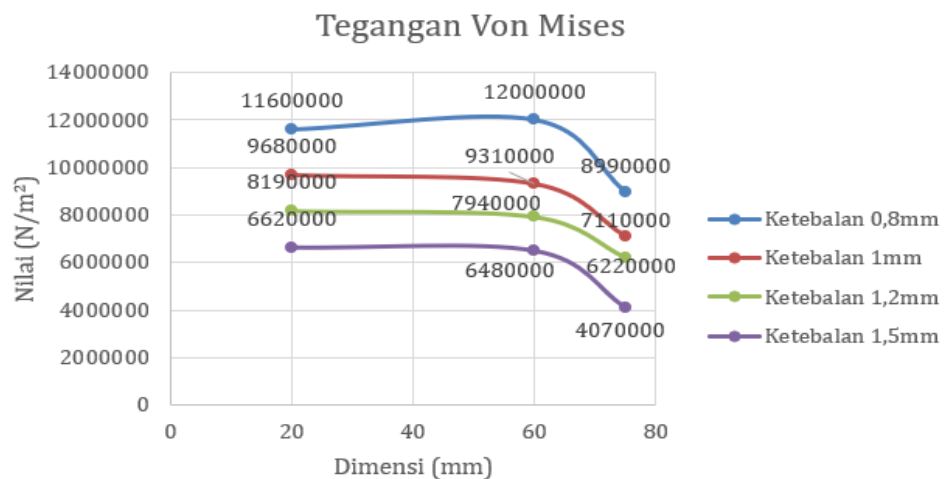
Gambar 5. a. Simulasi Tegangan Von Mises b. Simulasi Displacement

Dari (Gambar 5.a.) analisis didapatkan tegangan (*von mises stress*) dengan menggunakan material ST 37 dengan menggunakan tekanan 2.394 N/m² dan tegangan maximum ditunjukkan pada warna merah sebesar 1,16 x 10⁷ N/m². Tegangan yang terjadi berada dibawah tegangan luluh material ST 37 yaitu 2.35 x 10⁸ N/m², sehingga konstruksi rangka dikatakan aman. Dari (Gambar 5.b.) analisis didapatkan *displacement* dengan menggunakan material ST 37 dengan menggunakan tekanan 2.394 N/m² dan *displacement* maximum ditunjukkan pada warna merah sebesar 0,417 mm. Deformasi yang terjadi masih dalam kategori kecil mengingat tegangan yang terjadi berada dibawah tegangan luluh material. Perhitungan nilai faktor keamanan desain rangka dapat dihitung melalui persamaan sebagai berikut.

Pengolahan Data

1. Pengolahan data Tegangan Von Mises

Data ini didapat dengan Dimensi 20x40 mm, 60x40 mm dan 75x40 mm, dan ketebalan 0,8 mm, 1 mm, 1,2 mm dan 1,5 mm

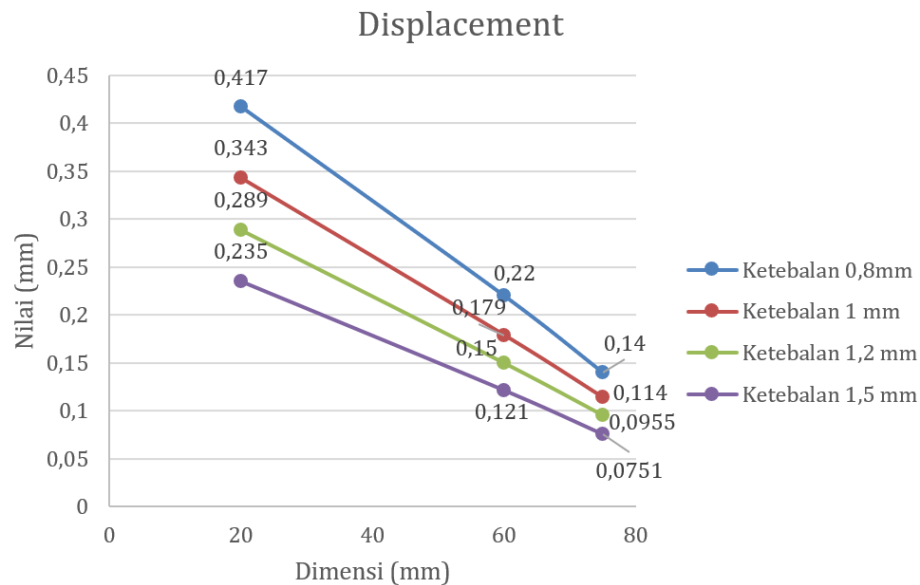


Gambar 6. Grafik Tegangan Von Mises

Dengan demikian, akan dihasilkan grafik seperti di atas. Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa nilai tertinggi pada ketebalan 0,8 mm dan dimensi 60x40 mm dan mendapatkan hasil tegangan von mises 12.000.000 N/m². Dan nilai terendah pada ketebalan 1,5 mm pada dimensi 75x40 mm dengan hasil 4.070.000 N/m².

2. Pengolahan data Displacement

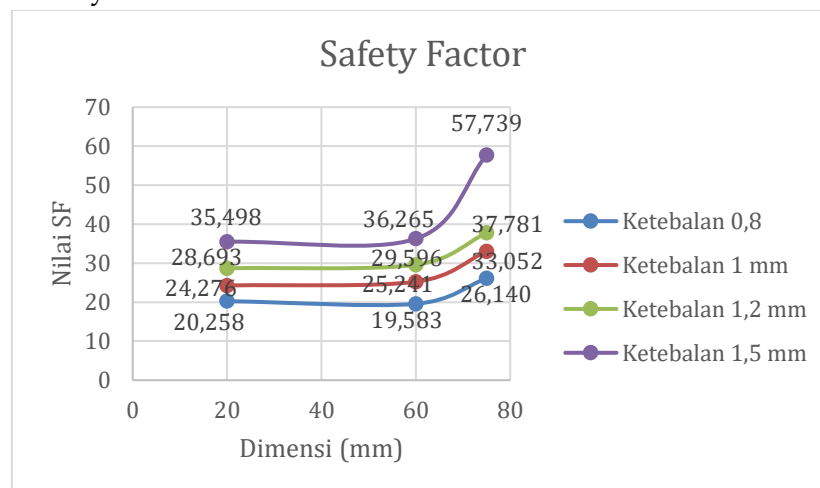
Data ini didapat dengan Dimensi 20x40 mm, 60x40 mm dan 75x40 mm, dan ketebalan 0,8 mm, 1 mm, 1,2 mm dan 1,5 mm.



Gambar 7. Grafik Displacement

Dengan demikian, akan dihasilkan grafik seperti di atas. Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa nilai tertinggi pada ketebalan 0,8 mm dan dimensi 20x40 mm dan mendapatkan hasil displacement 0,417 mm. Dan nilai terendah pada ketebalan 1,5 mm pada dimensi 75x40 mm dengan hasil 0,0751 mm.

3. Pengolahan Data Safety Factor



Gambar 8. Grafik Safety Factor

Grafik menunjukkan bahwa ketebalan material merupakan faktor utama yang memengaruhi peningkatan nilai *Safety Factor*. Pada ketebalan 0,8 mm dimensi 75 mm garis warna biru menunjukkan nilai *safety factor* tertinggi sebesar 26,140 dan terendah pada dimensi 60 mm sebesar 19,583. Pada ketebalan 1 mm dimensi 75 mm garis berwarna orange menunjukkan nilai tertinggi sebesar 33,052 dan terendah pada dimensi 20 mm sebesar 24,276. Pada ketebalan 1,2 mm dimensi 75 mm garis berwarna abu abu menunjukkan nilai tertinggi sebesar 37,781 dan terendah pada dimensi 20 mm sebesar 28,693. Pada ketebalan 1,5 mm dimensi 75 mm garis berwarna kuning menunjukkan nilai tertinggi sebesar 57,379 dan terendah pada dimensi 20 mm sebesar 35,498. Semakin tebal material, semakin tinggi nilai faktor keamanannya, yang berarti struktur lebih mampu menahan beban tanpa mengalami kegagalan. Selain itu, dimensi juga memberikan pengaruh terhadap peningkatan *safety factor*, terutama pada material dengan ketebalan lebih tinggi. Hal ini menjadi pertimbangan penting dalam proses perancangan struktur: kombinasi ketebalan optimal dan dimensi struktural yang sesuai akan meningkatkan keamanan dan ketahanan struktur secara signifikan.

Berdasarkan hasil yang diperoleh, perubahan ukuran dimensi pada profil rectangular hollow terbukti memengaruhi nilai tegangan Von Mises pada rangka sepeda motor listrik. Hal ini dapat dilihat dari grafik hasil simulasi (Gambar 6.), di mana dimensi yang lebih besar menyebabkan beban tersebar lebih merata, sehingga menurunkan konsentrasi tegangan pada titik-titik kritis. Sebaliknya, profil dengan dimensi kecil menyebabkan distribusi beban sempit yang meningkatkan tegangan lokal. Fenomena ini juga menunjukkan bahwa peningkatan dimensi tanpa disertai peningkatan ketebalan akan membuat struktur menjadi lebih ramping (*slender*), menyebabkan penurunan kekakuan dan peningkatan deformasi, yang akhirnya berdampak pada naiknya tegangan Von Mises. Namun, jika dimensi cukup besar seperti pada ukuran 75 mm, kekakuan struktur meningkat sehingga mampu menurunkan tegangan secara signifikan. Sejalan dengan hal tersebut, nilai **displacement** (Gambar 7.) menurun secara konsisten seiring bertambahnya dimensi. Hal ini disebabkan oleh peningkatan kekakuan struktural dan kemampuan distribusi beban yang lebih merata pada penampang besar, yang mengurangi deformasi. Kemudian, grafik **Safety Factor** (Gambar 8.) memperlihatkan bahwa semakin besar dimensi penampang, nilai faktor keamanannya semakin tinggi. Hal ini terjadi karena penurunan tegangan Von Mises menyebabkan peningkatan nilai faktor keamanan secara matematis dan mekanis, menjadikan struktur lebih jauh dari batas kegagalan. Sementara itu, **ketebalan** profil juga memengaruhi nilai tegangan Von Mises. Ketebalan yang lebih besar membuat luas penampang efektif meningkat, sehingga tegangan per satuan luas menurun. Struktur dengan dinding lebih tebal cenderung lebih tahan terhadap lenturan dan mampu menyebarkan konsentrasi tegangan secara lebih merata. Ketebalan yang kecil justru meningkatkan risiko terjadinya konsentrasi tegangan yang tinggi dan menyebabkan tegangan Von Mises meningkat, terutama pada area kritis. Nilai displacement juga menurun seiring bertambahnya ketebalan karena dinding yang lebih tebal meningkatkan kekakuan dan membuat struktur lebih tahan terhadap deformasi. Kondisi ini menghasilkan deformasi yang lebih kecil meskipun beban tetap sama. Akhirnya, grafik Safety Factor juga

menunjukkan bahwa penambahan ketebalan menghasilkan peningkatan nilai safety factor karena tegangan Von Mises menurun. Hal ini menunjukkan pentingnya ketebalan dalam menentukan keamanan struktur. Namun, ketebalan yang terlalu besar juga harus dihindari karena dapat menambah bobot dan biaya pembuatan, sehingga perlu keseimbangan antara kekuatan, kekakuan, efisiensi, dan biaya operasional.

Simpulan

Kesimpulan dari penelitian adalah bahwa ukuran dimensi yang lebih besar cenderung menghasilkan tegangan von Mises yang lebih rendah dan displacement yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan luas penampang meningkatkan kekakuan struktur rangka sehingga mampu mendistribusikan beban lebih baik, Peningkatan ketebalan material secara signifikan menurunkan tegangan von Mises dan displacement, serta meningkatkan nilai safety factor. Hal ini membuktikan bahwa ketebalan sangat berpengaruh terhadap kemampuan rangka dalam menahan beban statis. Kombinasi dimensi dan ketebalan tertentu memberikan performa struktur yang optimal. Rangka dengan dimensi 75x40 mm dan ketebalan 1,2 mm menghasilkan tegangan von Mises, deformasi, dan safety factor yang paling seimbang. Seluruh desain yang diuji memiliki nilai safety factor > 2 , sehingga semua variasi rangka dikategorikan aman, meskipun efisiensi material masih dapat ditingkatkan. Saran untuk penelitian mendatang lebih optimasikan material yang dipilih, penambahan beban yang dinamis, Perlu dilakukannya analisis terhadap sambungan dan fabrikasi, Dan perlunya dilakukan eksperimen fisik.

Daftar Pustaka

- Anwar, M. R., Wicaksono, H., & Rachman, F. (2021). Structural analysis of electric motorcycle frame using finite element method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1096(1), 012011. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1096/1/012011>
- Buku, A., Salu, S., Pangadongan, M., & Bia, J. B. (2022, December). Analysis of Tensile Tests and Microstructures of ST. 37 Steel Undergoing Carburizing Process Using Coal Powder. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2394, No. 1, p. 012039). IOP Publishing.
- Eka Perkasa, R., Syah Amrullah, U., Pranoto, B., & Gunawan, C. (2023). Analisis Pengaruh Penambahan Stiffener terhadap Nilai Tegangan dan Defleksi pada Rangka Sepeda Motor Listrik dengan Metode Elemen Hingga. *V-MAC (Virtual of Mechanical Engineering Article)*, 8(1), 6–12. <https://doi.org/10.36526/v-mac.v8i1.2729>
- Febritasari, R. (2023). Analisis Desain Rangka Scooter Listrik Tipe Monocoque Terhadap Kekuatan Material Dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Mesin Material Manufaktur Dan Energi (Jmmme)*.
- Febritasari, R., Santoso, M. R. A., Sibut, S., Sutrisno, T. A., Pohan, G. A., Rahmadianto, F. & Setyawan, E. Y. (2023). Analisis Distribusi Tegangan dan Deformasi Pada Rangka Motor Trail dengan Metode Elemen Hingga. *Prosiding SENIATI*, 7(1), 142–148.
- Geofani, & Ambarita. (2020). Modifikasi Sepeda Listrik 250 Watt Menjadi 350 Watt. *Teknik Mesin*, 1–28.

- Hastuti, S., Ramadhani, W., & Mulyaningsih, N. (2022). Analisis Kekuatan Pada Rangka Sepeda Motor Listrik. *Politeknik Manufaktur Ceper*, 5(2), 1–11.
- Hermawan, Y., Suyitno, & Triwibowo, S. (2020). Strength analysis of motorcycle frame using finite element method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1444(1), 012005. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1444/1/012005>
- Irawan, A. H., Majanasastra, R. B. S., & Rahmanto, R. H. (2016). Analisis kekuatan velg cast wheel sepeda motor dengan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 4(2), 57–66.
- Kusuma, R. A., Suprpto, W., & Laksmono, E. R. (2022). Optimization of electric scooter frame design using finite element method. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 11(8), 560–567. <https://doi.org/10.18178/ijmerr.11.8.560-567>
- Laka, O., Nazaruddin, N., & Syafri, S. (2018). Perancangan dan Analisis Statik Sistem Rangka Mobil Hemat Energi “Asykar Hybrid Universitas Riau. *Jom FTEKNIK*, 5(2), 1–6.
- Munawar, A., & Septiawan, W. (2023). Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 6(1), 137–143. <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>
- Mulyaningsih, N., Ramadhani, W., & Hastuti, S. (2023). Analisis Variasi Desain Rangka Sepeda Motor Listrik Terhadap Kekuatan Rangka dengan Ansys Workbench. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 6(1), 137–143.
- Niemann, G. (1987). *Elemen Mesin Desain dan Kalkulasi dari sambungan bantalan dan poros*.
- Nurhadi, H., Firmansyah, A., & Ramadhan, D. (2021). Analysis of electric vehicle frame strength with variations in hollow steel thickness using FEM. *Journal of Applied Engineering and Technological Science*, 2(1), 23–32. <https://doi.org/10.37385/jaets.v2i1.203>
- Pramono, G. E., Hidayat, A., & Waluyo, R. (2020). Perancangan dan Simulasi Desain Rangka Sepeda Motor Listrik Tipe Trellis Menggunakan Finite Element Analysis. *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, 5(2), 319. <https://doi.org/10.31544/jtera.v5.i2.2020.319-326>
- Purnomo, H., Ardiansyah, R., & Nugroho, D. (2019). Static structural analysis of motorcycle chassis with finite element method. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(3), 1876–1880. <https://doi.org/10.35940/ijrte.C4233.098319>
- Rahman, T., & Prasetyo, D. (2023). Effect of material thickness on structural safety factor of electric motorcycle frame using FEM. *Journal of Mechanical Engineering and Mechatronics*, 8(2), 45–53. <https://doi.org/10.54367/jmem.2023.v8i2.45>
- Salindeho, R. D., Soukotta, J., & Poeng, R. (2013). Pemodelan pengujian tarik untuk menganalisis sifat mekanik material. *Jurnal Poros Teknik Mesin Unsrat*, 2(2).
- Santosa, A., Fadhillah, R., & Utomo, Y. (2018). Design and analysis of lightweight motorcycle frame using FEM approach. *Applied Mechanics and Materials*, 874, 112–118. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.874.112>

- Setiawan, R., Sugiyanto, D., & Daryus, A. (2023). Analisis simulasi kekuatan dan pembuatan rangka kendaraan sepeda motor listrik. *Jurnal Konversi Energi Dan Manufaktur*, 8(1), 58–66.
- Suwardi, A. & Cahyo, A. D. (2018). Manufaktur Konstruksi Rangka Sepeda Motor Listrik Kapasitas 3 kW. *Semrestek*, 679–685. <http://dosen.univpancasila.ac.id/dosenfile/4311211001154486131515December2018.pdf>
- Syahrial, D., & Putra, Y. (2020). Stress analysis on electric motorcycle frame using ANSYS workbench. *Journal of Physics: Conference Series*, 1655(1), 012030. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1655/1/012030>
- Wahyudi, S., & Hartono, B. (2022). Structural optimization of trellis frame for electric motorcycle using FEM simulation. *Jurnal Teknik Mesin*, 18(2), 87–95. <https://doi.org/10.15294/jtm.v18i2.37526>
- Wandono, F. A. (2017). Permodelan Metode Elemen Hingga untuk Menentukan Tegangan Von Mises pada As Roda Lsu-05. *Seminar Nasional Iptek Penerbangan Dan Antariksa XXI*, 222–231.
- Wijaya, H. (2023). Analisis Laju Korosi terhadap Baja ST 37 dengan Variasi Cat Primer Akibat Pengkorosian Menggunakan Asam Klorida (HCl). *Jurnal Teknik Mesin*, 20(4), 277–286.
- Zhang, Q., Li, Y., & Wang, X. (2019). Finite element analysis of motorcycle frame considering material selection and load distribution. *International Journal of Automotive Technology*, 20(4), 715–723. <https://doi.org/10.1007/s12239-019-0067-3>