

Analisa Pembebanan Statis Rangka *Scooter* Listrik Menggunakan *Software Autodesk Inventor*

Herlambang Rizky Kurnianto, I Made Gatot Karohika, I Made Widiyarta
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Scooter listrik menjadi populer sebagai pilihan transportasi di banyak kota. Penelitian ini fokus pada pengaruh material rangka terhadap tegangan dan deformasi pada scooter listrik. Penelitian menggunakan carbon steel dan galvanized steel, dengan pengujian menggunakan Autodesk Inventor 2022 Professional Student. Titik penyangga pada frame scooter listrik dan distribusi beban saat pengendara duduk dalam posisi normal. Titik penyangga terletak di bagian atas garpu depan dan di bagian penopang roda belakang. Penelitian bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan material rangka terhadap bentuk deformasi akibat pembebanan pengendara. Dalam simulasi pembebanan statis, penggunaan material low carbon steel pada rangka scooter listrik menghasilkan von mises stress sebesar 21,2 MPa, displacement sebesar 0,4207 mm, dan safety factor sebesar 15. Sementara itu, penggunaan material galvanized steel menghasilkan von Mises stress sebesar 21,12 MPa, displacement sebesar 0,4201 mm, dan safety factor sebesar 9,8. Perbedaan hasil ini menunjukkan bahwa rangka dengan low carbon steel memiliki keandalan yang lebih tinggi dan mampu menahan beban dengan lebih baik dibandingkan dengan galvanized steel. Dapat ditarik kesimpulan bahwa rangka dengan material low carbon steel memiliki von mises stress yang hampir sama dengan rangka galvanized steel, namun memiliki displacement yang sedikit lebih tinggi. Lebih penting lagi, rangka dengan material low carbon steel memiliki safety factors yang lebih tinggi dibandingkan dengan rangka galvanized steel.

Kata kunci: scooter, rangka, tegangan von mises, simulasi, autodesk inventor

Abstract

Electric scooters have become a popular choice for urban transportation in many cities. This research focuses on the influence of frame materials on stress and deformation in electric scooters. The study uses carbon steel and galvanized steel, with testing conducted using Autodesk Inventor 2022 Professional Student. The support points on the electric scooter frame and load distribution when the rider is in a normal sitting position are considered. The support points are located at the top of the front fork and at the rear wheel support. The research aims to analyze the impact of using different frame materials on the deformation behavior due to rider loading. In static loading simulations, the use of low carbon steel for the electric scooter frame resulted in a Von Mises stress of 21.2 MPa, a displacement of 0.4207 mm, and a safety factor of 15. Meanwhile, the use of galvanized steel produced a Von Mises stress of 21.12 MPa, a displacement of 0.4201 mm, and a safety factor of 9.8. The difference in these results indicates that the frame made of low carbon steel has higher reliability and can withstand loads better compared to galvanized steel. It can be concluded that the low carbon steel frame has nearly the same Von Mises stress as the galvanized steel frame but has slightly higher displacement. More importantly, the low carbon steel frame has higher safety factors compared to the galvanized steel frame.

Keywords: scooter, frame, von mises stress, simulation, autodesk inventor

1. Pendahuluan

Beberapa tahun belakangan *scooter* listrik telah menjadi pilihan populer untuk transportasi di berbagai kota di seluruh dunia. *Scooter* listrik biasanya lebih efisien dalam penggunaan energi dibandingkan dengan kendaraan konvensional, sehingga *scooter* listrik dapat menempuh jarak yang lebih jauh dengan pengisian daya yang lebih sedikit.

Perancangan sebuah kendaraan sangat dipengaruhi oleh desain struktur, pemilihan jenis bahan, geometrik dan rangka (*frame*), beban pengendara, komponen penggerak, dan posisi tubuh seorang pengendara yang memengaruhi sebuah

kenyamanan dan keamanannya pada saat kendaraan digunakan¹.

Geometri dan rangka *scooter* listrik menjadi salah satu komponen penting yang menunjang komponen-komponen lainnya yang terdapat pada *scooter* listrik. Karenanya kekuatan sebuah rangka *scooter* penting untuk diperhatikan. Kegagalan dalam rangka bisa membahayakan dan berdampak langsung terhadap pengendara dan komponen-komponen yang terpasang pada rangka.

Maka dari itu, dilakukan studi tentang pengaruh penggunaan material rangka terhadap distribusi

tegangan dan deformasi yang terjadi akibat pembebanan pengendara pada rangka *scooter* listrik. Studi yang dilakukan meliputi penghitungan beban yang terjadi oleh pengendara. Hasil perhitungan akan digunakan sebagai input gaya yang terjadi pada aplikasi *Autodesk Inventor* dengan masing-masing geometri menerima beban yang sama.

Batasan penelitian ditetapkan untuk membatasi lingkup dalam penelitian ini yang meliputi:

1. Jenis material yang diaplikasikan adalah *carbon steel* dan *galvanized steel*.
2. Pengujian menggunakan perangkat lunak *autodesk inventor*.

2. Dasar Teori

2.1. Low carbon steel

Low carbon steel (baja karbon rendah) memiliki kurang dari 0,25% kadar karbon. Material ini umumnya berbentuk pelat yang dibentuk melalui *cold roll* dan proses *annealing*. Kandungan karbon yang rendah dan fasa ferit dan perlit membentuk mikrostruktur yang membuat material ini memiliki kekerasan yang rendah namun memiliki keuletan dan ketangguhan yang baik.

Behavior	Isotropic
Young's Modulus	4,351E-03 psi
Poisson's Ratio	0,03
Shear Modulus	1,450E-03 psi
Density	0,004 pound per cubic inch

Gambar 1. Sifat Mekanik *Low carbon steel*

2.2. Galvanized steel

Galvanized steel merupakan baja yang dilapisi dengan menggunakan lapisan seng untuk menjegah baja tersebut dari korosi. *Galvanized steel* juga dapat memberikan perlindungan katodik, dimana lapisan seng bertindak sebagai “*sacrificial coating*” yang melindungi bajadi bawahnya.

Behavior	Isotropic
Young's Modulus	2,901E+07 psi
Poisson's Ratio	0,30
Shear Modulus	1,100E+07 psi
Density	0,284 pound per cubic inch

Gambar 2. Sifat Mekanik *Galvanized steel*

2.3. Konsep Tegangan dan Regangan

Dalam sebuah bidang yang terkena gaya, terdapat beberapa jenis tegangan yang memengaruhi bidang tersebut, yaitu tegangan normal dan tegangan geser. Tegangan normal merupakan tegangan yang bekerja tegak lurus terhadap permukaan benda dan disebabkan oleh gaya aksial dan momen lentur. Sementara itu, tegangan geser merupakan tegangan yang bekerja pada bidang yang sejajar dengan permukaan benda dan disebabkan oleh gaya geser, gaya puntir, dan torsi. Ketika benda kerja tersebut menerima gaya-gaya tersebut, tegangan dapat terbentuk di dalam material tersebut².

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana σ = Tegangan (N/m²)
 F = Gaya yang bekerja (N)
 A = Luas bidang (m²)

Regangan merupakan perubahan panjang suatu material yang disebabkan adanya gaya tarikan yang dialami oleh material.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana ε = Regangan
 ΔL = Pertambahan panjang (m)
 L = Panjang mula-mula (m)

Secara matematis hubungan tegangan dengan regangan dapat dilihat pada persamaan hukum *hooke* yang mana semakin besar nilai tegangan, maka semakin besar regangan yang terjadi.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana E = Modulus Elastisitas
 σ = Tegangan (N/m²)
 ε = Regangan

2.4. Von mises stress

Von mises stress adalah sebuah parameter dalam mekanika kekuatan untuk mengukur tegangan yang terjadi dalam sebuah benda padat ketika berada di bawah beban. Tegangan *von mises* menggabungkan kontribusi tegangan normal dengan tegangan geser yang terjadi dalam benda dan menghitung tegangan ekuivalen yang menyebabkan kegagalan bahan. Dalam bidang ilmu material dan teknik, parameter kegagalan luluh *von mises* juga dapat dirumuskan dalam tegangan *von mises* atau tegangan ekuivalen. Dalam kasus ini, suatu material atau bahan dianggap luluh pada saat tegangan *von mises* mencapai nilai kritis yang dikenal dengan kekuatan luluh (*yield strength*)³.

$$\sigma_{vonmises} = \sqrt{(\sigma^{12} + \sigma^{22} + \sigma^{32} - \sigma^1\sigma^2 - \sigma^2\sigma^3 - \sigma^3\sigma^1)} \dots \dots \dots (4)$$

2.5. Deformasi

Deformasi merupakan suatu perubahan bentuk atau ukuran akibat dari gaya luar yang diberikan kepada suatu material⁴. Dalam analisa deformasi, perubahan ukuran atau bentuk suatu benda sering diukur dengan menggunakan persamaan *strain* yang merupakan perbandingan perubahan dimensi benda dengan dimensi aslinya. *Strain* sering dinyatakan sebagai rasio perubahan panjang (*linear strain*) atau perubahan sudut (*shear strain*) terhadap panjang atau sudut awalnya. Secara matematis, rumus perhitungan *linear strain* sama dengan persamaan 2.1, sedangkan secara matematis, persamaan untuk *shear strain* dapat dituliskan sebagai:

$$\gamma = \Delta\theta \dots \dots \dots (5)$$

Dimana γ = *Shear strain*
 $\Delta\theta$ = Perubahan sudut

2.5. Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

Dalam pembuatan suatu product, rangka, maupun suatu benda terdapat hal utama yang perlu diperhatikan yaitu kekuatan. Pada dasarnya, kekuatan adalah kapasitas suatu objek dalam memikul ataupun menopang beban⁵. Faktor keamanan dapat dihitung dengan persamaan:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_e} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana S_y = *Yield strength*
 σ_e = *Von mises stress*

Pada penelitian ini ada beberapa variabel yang akan dikontrol yaitu :

1. Pengujian ini memvariasikan penggunaan material dengan *galvanized steel* dan *carbon steel*.
2. Beban yang terjadi pada *frame* sebesar 637,65 N.

3. Metode Penelitian

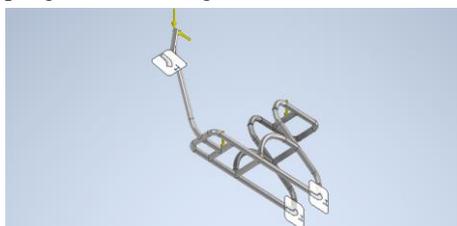
3.1. Alat

Alat yang digunakan untuk melakukan penelitian ini merupakan perangkat lunak *Ansys Workbench* yang berbasis metode elemen hingga dalam analisisnya.

3.2. Perancangan Penelitian

3.2.1 Titik penyangga

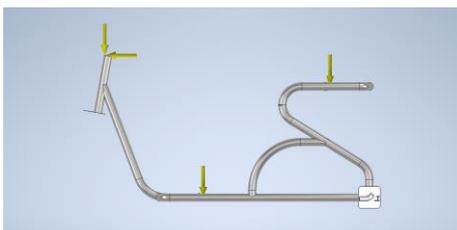
Di bagian depan, titik penyangga terletak pada bagian atas garpu depan di bagian stang kemudi atau batang penyangga terhubung. Sementara di bagian belakang, titik penyangga terletak pada bagian yang menopang roda belakang.



Gambar 3. Letak Titik Penyangga pada *Frame*

3.2.2 Distribusi beban

Dalam penelitian dilakukan pembebanan untuk pengendara yang duduk dalam posisi normal. Hal ini disebabkan oleh sifat *scooter* listrik yang cenderung santai dengan kecepatan rendah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa bagaimana variasi material pada rangka memengaruhi bentuk deformasi yang terjadi sebagai hasil dari pembebanan yang diberikan.



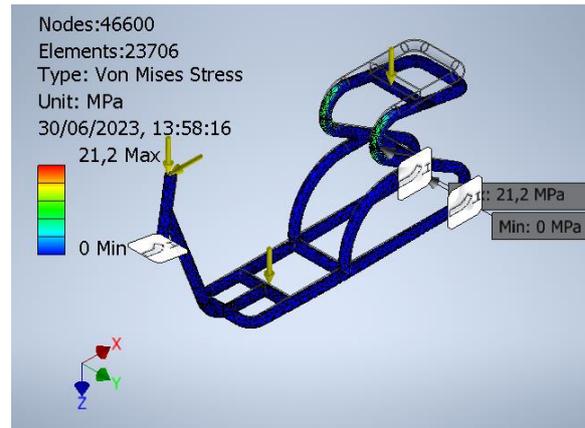
Gambar 4. Distribusi Beban yang Terjadi oleh Pengendara

Tabel 1. Distribusi beban yang terjadi

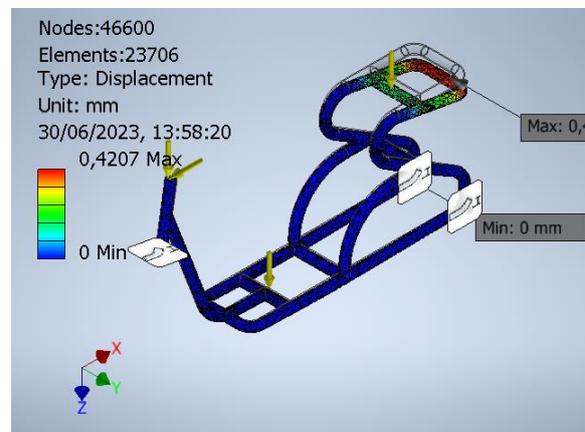
Tangan		Badan	Kaki
F_{1x}	F_{1y}	F_{2y}	F_{3y}
11,321%	3,923%	58,536%	13,117%
72,1883565	25,0150095	373,254804	83,6405505

4. Hasil dan Pembahasan

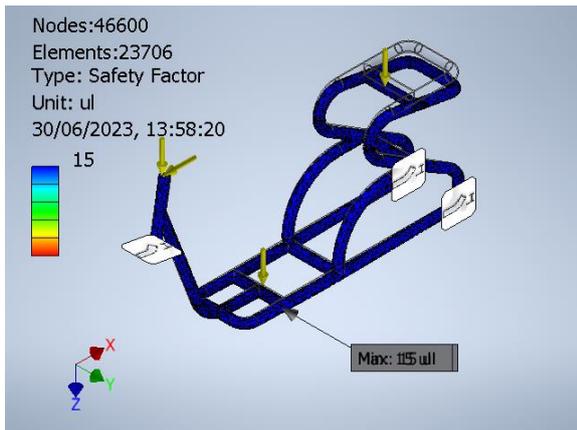
Dari hasil simulasi yang dilakukan, diperoleh distribusi tegangan ekuivalen (*von mises stress*) yang terjadi, *deformation shape* yang diwakili dengan *displacement* untuk masing-masing rangka dengan material yang berbeda.



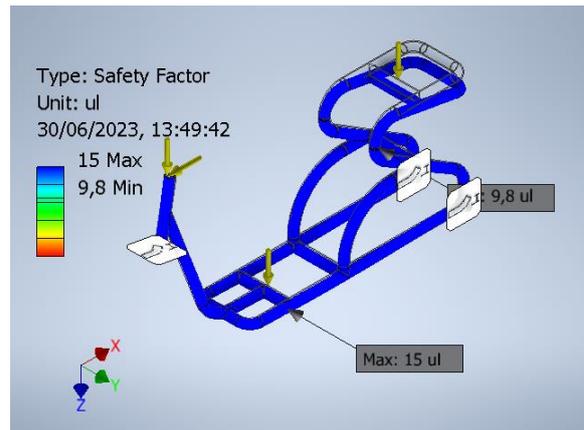
Gambar 5. Kontur *von mises stress* untuk rangka *low carbon steel*



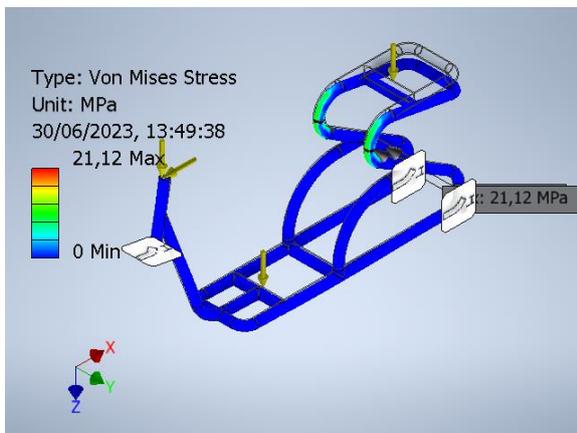
Gambar 6. Kontur *displacement* untuk rangka *low carbon steel*



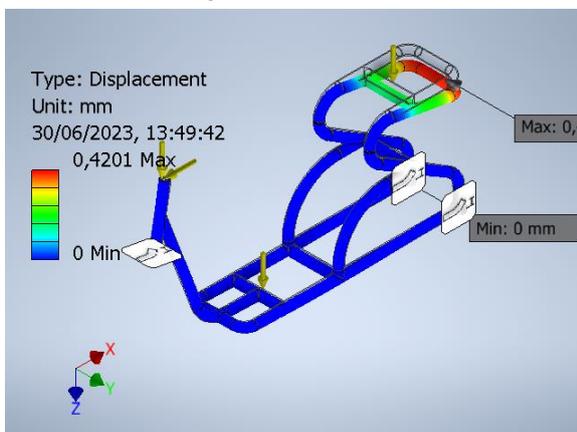
Gambar 7. Safety factor pada rangka low carbon steel



Gambar 10. Safety factor pada rangka galvanized steel



Gambar 8. Kontur von mises stress untuk rangka galvanized steel



Gambar 9. Kontur displacement untuk rangka galvanized steel

Dalam simulasi pembebanan statis pada rangka menggunakan material *low carbon steel*, hasil yang diperoleh adalah *von mises stress* sebesar 21,2 MPa, *displacement* (perpindahan) sebesar 0,4207 mm, dan *safety factor* (faktor keamanan) sebesar 15. *Von mises stress* merupakan ukuran tegangan ekuivalen yang menggabungkan kontribusi tegangan dari tiga arah yang berbeda, yaitu tegangan normal dan tegangan geser. *Displacement* merupakan perpindahan atau deformasi yang terjadi pada rangka akibat pembebanan. *Safety factor* adalah perbandingan antara batas tegangan material dengan tegangan yang terjadi, yang mengindikasikan sejauh mana rangka mampu menahan beban sebelum terjadi kegagalan struktural.

Di sisi lain, dalam simulasi pembebanan statis pada rangka menggunakan material *galvanized steel*, ditemukan *von mises stress* sebesar 21,12 MPa, *displacement* sebesar 0,4201 mm, dan *safety factor* sebesar 9,8. *Galvanized steel* adalah baja yang telah dilapisi menggunakan lapisan seng untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi.

Perbedaan hasil simulasi antara penggunaan *low carbon steel* dan *galvanized steel* menunjukkan variasi dalam respons rangka terhadap pembebanan. Meskipun *von mises stress* dan *displacement* memiliki nilai yang hampir sama, tetapi terdapat perbedaan signifikan pada *safety factor* karena jika ditinjau dari persamaan 2.6 yang memengaruhi besaran *safety factor* adalah besaran maksimum *von mises stress* yang terjadi dengan besar *yield strength* pada masing-masing material. Hal ini bisa dilihat pada tabel dan perhitungan berikut:

Tabel 2. Besar yield strength dan von mises stress pada masing-masing material

Material	Yield Strength (MPa)	Von Mises Stress (MPa)
Galvanized Steel	207 MPa	21,1187 MPa
Low Carbon Steel	350 MPa	21,2 MPa

1. Perhitungan faktor keamanan *galvanized steel*

$$\begin{aligned} \text{Faktor} &= \frac{207 \text{ MPa}}{21,1187 \text{ MPa}} \\ \text{Keamanan} &= 9,8017 \end{aligned}$$

2. Perhitungan faktor keamanan *low carbon steel*

$$\begin{aligned} \text{Faktor} &= \frac{350 \text{ MPa}}{21,2038 \text{ MPa}} \\ \text{Keamanan} &= 16,5064 \end{aligned}$$

Terlihat walaupun terdapat perbedaan *von misses stress* yang sangat kecil, tetapi dipengaruhi oleh besar *yield strength* dengan perbedaan yang signifikan, sehingga memengaruhi perbedaan pada besar *safety factor* yang didapat pada hasil simulasi. *Safety factor* yang lebih tinggi pada penggunaan *low carbon steel* menunjukkan bahwa rangka dengan material tersebut memiliki keandalan yang lebih tinggi dan lebih mampu menahan beban sebelum terjadi kegagalan dibandingkan dengan *galvanized steel*.

5. Kesimpulan dan Saran

Dapat ditarik kesimpulan bahwa rangka dengan material *low carbon steel* yang memiliki *von mises stress* yang hampir sama dengan rangka *galvanized steel*, namun memiliki *displacement* yang sedikit lebih tinggi. Lebih penting lagi, rangka dengan material *low carbon steel* memiliki *safety factors* yang lebih tinggi dibandingkan dengan rangka *galvanized steel*.

Sehubungan dengan hasil penelitian yang dilakukan pada penelitian ini bahwa penggunaan material *low carbon steel* sangat baik digunakan mengingat *safety factor* sangat tinggi. Akan tetapi, pemilihan material juga harus dipertimbangkan berdasarkan faktor lainnya seperti biaya. Maka dari itu untuk selanjutnya penulis menyampaikan saran sebagai berikut:

1. Penelitian tentang tegangan yang terjadi bila memvariasikan tebal struktur rangka yang digunakan.
2. Penelitian tentang tegangan yang terjadi bila memvariasikan beban pada pengendara *scooter* listrik hingga *safety factor* berada di angka ≥ 4
3. Penelitian tentang tegangan yang terjadi untuk modifikasi tipe rangka, penampang batang, lengkungan, dan sebagainya.

Daftar Pustaka

1. Imran AI, Samhuddin S, Salimin S, Hasanuddin L., 2018, *Perancangan, Analisa Dan Simulasi Rangka Sepeda Listrik Untuk Masyarakat Perkotaan*. *Din J Ilm Tek Mesin*;9(2):0-6.doi:10.33772/djitm.v9i2.4188
2. Popov E., ed., 1984, *Mekanika Teknik*. PT. Erlangga Jakarta.

3. Mulyanto T, Sapto AD., 2017, *Analisis Tegangan Von Mises Poros Mesin Pemotong Umbi-Umbian Dengan Software Solidworks*. *J PRESISI*;18(2):24-29. <https://ejournal.istn.ac.id/presisi/article/view/122>

4. Albana MH, Sukmana B., 2019, *Analisa Pengaruh Berat Pengemudi terhadap Deformasi pada Rangka Utama Sepeda Penyapu Sampah*. *J Integr*;9(1):67. doi:10.30871/ji.v9i1.266

5. Isworo H., 2018, *Mekanika Kekuatan Material I (Hmkk319)*. *Buku Ajar*. Published online :19-22.