

Contents list available at [Sinta](https://sinta)

ARMATUR

: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur>

Analisis kekuatan Alumunium 6061 dan AISI 1020 pada Rangka Sepeda Listrik Roda Tiga menggunakan *Software* ANSYS

Firza Adhi Pratama^{1*}, Aa Santosa², Nanang Burhan³, Lazuardy Azfa Rayyan⁴^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang, Jl. HS.Ronggo Waluyo, Puseurjaya, Telukjambe Timur, Karawang, Jawa Barat 41361, (0267) 641177

ARTICLE INFO

Keywords:

Aluminum Alloy 6061, AISI 1020 Steel, Finite Element Analysis (FEA), ANSYS, Three Wheel Electric Motorcycle.

ABSTRACT

This study aims to analyze the strength of Aluminum Alloy 6061 and AISI 1020 Steel materials used in the frame of a three-wheeled electric motorcycle, especially for elderly mobility. The three-wheeled electric motorcycle frame was designed using Solidworks software, then static structural analysis was carried out using ANSYS software with the Finite Element Analysis (FEA) method. The parameters analyzed include Von-Mises stress, displacement, and safety factor of each material. The simulation results show that Aluminum 6061 has a maximum stress of 45.807 MPa, a maximum displacement of 0.44568 mm, and a minimum safety factor of 4.52. While AISI 1020 Steel has a maximum stress of 46.957 MPa, a maximum displacement of 0.16485 mm, and a higher minimum safety factor than Aluminum 6061. Based on the analysis results, Aluminum 6061 is superior in terms of light weight and flexibility, while AISI 1020 Steel offers better structural strength with smaller deformation and higher safety margin. Material selection depends on the design priorities and application needs of the three-wheeled electric motorcycle frame.

Pendahuluan

Perkembangan teknologi transportasi semakin berkembang seiring dengan kemajuan teknologi dalam proses pembuatan serta seiring beragam target konsumennya [1] yang pada kasus ini

merupakan sepeda listrik roda tiga yang ditujukan untuk mobilitas lansia (manusia lanjut usia) yang mulai kesulitan jika harus menggunakan sepeda listrik roda dua. Rangka merupakan komponen dasar sepeda motor listrik yang menopang berbagai

*Corresponding author:

DOI: <https://10.24127/armatur.v6i2.8903>

Received 23 mei 2025; Received in revised form 10 Agustus 2025; Accepted 28 September 2025

Available online 30 September 2025

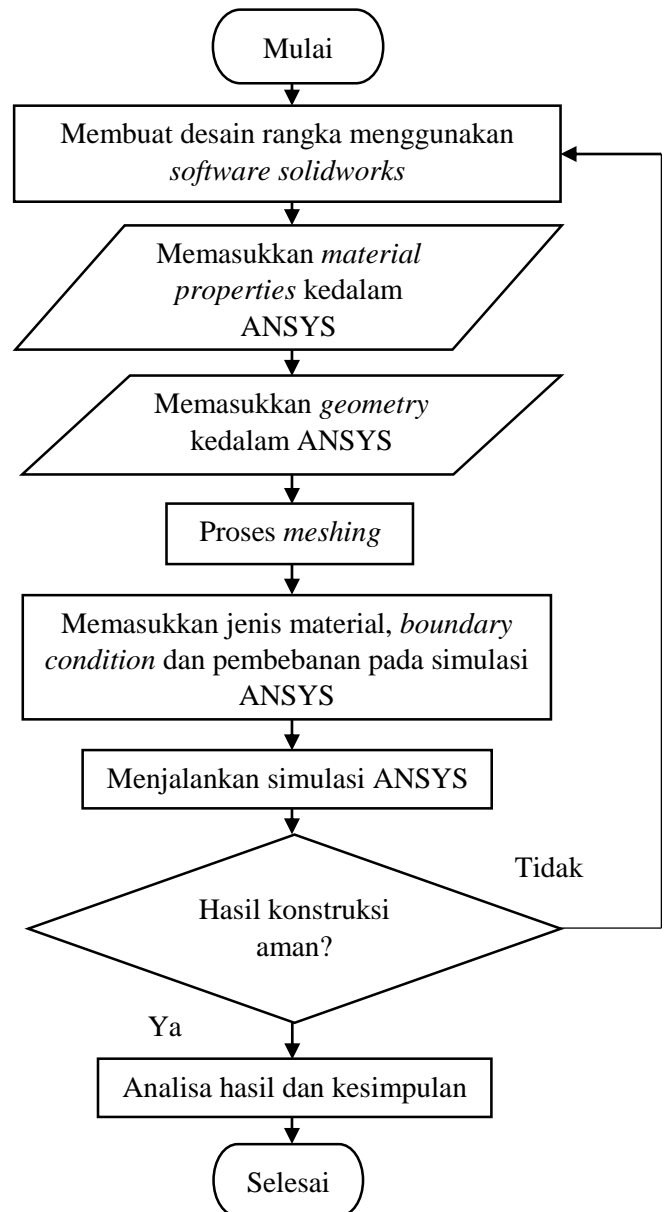
bagian penting seperti mesin, transmisi, suspensi, serta memberikan stabilitas dan kenyamanan berkendara. Sebagai penguat struktur, rangka harus dirancang ringan namun kokoh, disesuaikan dengan suspensi, posisi motor listrik, dan kapasitas sepeda. Kekuatan rangka dipengaruhi oleh berat beban, material, dan ketebalan rangka (terutama jika menggunakan pipa atau hollow) [2].

Pembuatan sepeda motor listrik roda tiga diawali dengan tahap pra-produksi yang meliputi penentuan dimensi, perancangan desain, identifikasi titik tegangan, dan pemilihan material. Gambar teknis juga dibuat menggunakan perangkat lunak desain seperti *SolidWorks* dan ANSYS. Program-program ini penting untuk analisis tegangan guna mengevaluasi kekuatan rangka dalam menahan beban. [1], Analisis Tegangan, atau *Stress Analysis*, adalah salah satu fitur pengujian struktur di ANSYS yang mengadopsi prinsip Analisis Elemen Hingga (FEA). Metode ini bekerja dengan membagi objek struktur yang akan diuji menjadi sejumlah besar elemen-elemen kecil yang saling terhubung. Elemen-elemen ini kemudian diproses menggunakan perhitungan khusus oleh perangkat lunak, menghasilkan hasil analisis yang sangat akurat [1]. Terdapat berbagai macam material yang dapat digunakan dalam membuat rangka sepeda listrik roda tiga seperti aluminium, *steel* dan *carbon* [3].

Penelitian ini menganalisis desain rangka sepeda motor listrik roda tiga menggunakan SolidWorks dan ANSYS FEA. Tujuannya adalah membandingkan tegangan von Mises, perpindahan, dan faktor keamanan pada material Aluminium Alloy 6061 dan Baja AISI 1020 untuk menentukan material terkuat.

Metode Penelitian

Adapun dalam penelitian ini memiliki metode penelitian seperti yang terlihat pada diagram alir berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Studi literatur. Studi literatur dimulai dengan mencari beberapa informasi yang dibutuhkan, seperti dimensi dan geometri sepeda roda tiga tersebut, *material properties* dari Aluminium 6061 dan Baja AISI 1020, besar serta lokasi tiap pembebanan dan lain – lain. Adapun variabel bebas dan terikat pada penelitian ini antara lain.

- Variabel bebas: Material Aluminium Alloy 6061 dan Baja AISI 1020.
- Variabel terikat: *Von-mises stress*, *Displacement* dan *Safety factor*.

Berikut beberapa informasi terkait penelitian ini yang perlu dipahami terlebih dahulu.

Komponen – komponen pada sepeda motor listrik roda tiga beserta beratnya. Fungsi utama rangka pada sepeda motor listrik roda tiga adalah menopang seluruh berat komponen dan pengemudi. berat masing – masing komponen tersebut dapat dilihat pada tabel 1 berikut [7].

Tabel 1. Berat masing - masing komponen

Nama komponen	Berat	Jumla h	Berat total
Throttle	300 g	1	300 g
Handle rem	300 g	2	600 g
Handlebar	650 g	1	650 g
Controller	250 g	1	250 g
Battery	4300 g	1	4300 g
Gearset	1200 g	1	1200 g
Sadel/seat	500 g	1	500 g
Seatpost/seat bar	330 g	1	330 g
Motor BLDC	5000 g	1	5000 g
Compartment	4000 g	1	4000 g

Persamaan empiris dari berat anggota tubuh manusia. Selain berat komponen, Berikut merupakan tabel persamaan empiris dari tiap segmen anggota tubuh manusia [8]. Dimana W = 100 Kg.

Tabel 2. Persamaan empiris tiap segmen anggota tubuh manusia

Segment	Empirical equation
Head	0.0306W + 2.46
Head and neck	0.0534W + 2.33
Neck	0.0146W + 0.60
Head, neck and torso	0.5940W – 2.20
Neck and torso	0.5582W – 4.26
Total arm	0.0505W + 0.01
Upper arm	0.0274W – 0.01
Forearm and hand	0.0233W – 0.01
Forearm	0.0189W – 0.16
Hand	0.0055W + 0.07
Total leg	0.1582W + 0.05
Thigh	0.1159W – 1.02
Shank and foot	0.0452W + 0.82
Shank	0.0375W + 0.38
Foot	0.0069W + 0.47

Material Aluminium 6061 dan Baja AISI 1020. Berikut merupakan sifat – sifat material dari aluminium 6061 [4].

Tabel 3. *Material properties* dari aluminium 6061

<i>Physical Properties</i>	<i>Metric</i>
<i>Density</i>	<u>2.70 g/cc</u>
<i>Mechanical Properties</i>	<i>Metric</i>
<i>Tensile Strength, Ultimate</i>	<u>310 MPa</u>
<i>Tensile Strength, Yield</i>	<u>276 MPa</u>
<i>Modulus of Elasticity</i>	<u>68.9 GPa</u>
<i>Poissons Ratio</i>	0.33
<i>Shear Modulus</i>	<u>26.0 GPa</u>

Berikut juga merupakan sifat – sifat material dari Baja AISI 1020 [5].

Tabel 4. *Material properties* dari AISI 1020

<i>Physical Properties</i>	<i>Metric</i>
<i>Density</i>	<u>7.87 g/cc</u>
<i>Mechanical Properties</i>	<i>Metric</i>
<i>Tensile Strength, Ultimate</i>	<u>420 MPa</u>
<i>Tensile Strength, Yield</i>	<u>350 MPa</u>
<i>Modulus of Elasticity</i>	<u>186 GPa</u>
<i>Poissons Ratio</i>	0.29
<i>Shear Modulus</i>	<u>72.0 GPa</u>

Von-mises stress, displacement dan safety factor. Tegangan *von Mises* adalah nilai skalar yang digunakan untuk memprediksi kegagalan (luluh) material ulet dalam kondisi tegangan kompleks [9].

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (1)$$

dimana:

σ_v = tegangan von mises

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ = tegangan utama pada tiga arah sumbu.

Nilai tegangan *von Mises* mengubah kondisi tegangan multiaxial menjadi nilai tegangan tunggal yang dapat dibandingkan langsung dengan kekuatan luluh material dari uji tarik sederhana.

Perpindahan (*Displacement*) adalah perubahan posisi suatu titik atau bagian benda dari awal hingga akhir, merupakan vektor yang menunjukkan besar dan arah pergerakan. [10].

$$\delta = \frac{F.L}{A.E} \quad (2)$$

dimana:

δ = perpindahan (mm)

F = gaya yang bekerja pada batang (N)

A = luas permukaan penampang (mm²)

E = modulus elastisitas material (N/mm²)

Faktor keamanan adalah rasio antara kekuatan material (misalnya, kekuatan luluh atau tarik) dengan tegangan kerja maksimum yang diizinkan pada suatu komponen. Ini menunjukkan seberapa besar kapasitas material melebihi beban yang diharapkan, memberikan *margin* keamanan untuk mengantisipasi ketidakpastian dalam beban, sifat material, dan desain, sehingga mencegah kegagalan tak terduga. [10].

$$S_f = \frac{\sigma_{yield}}{\sigma_{actual}} \quad (3)$$

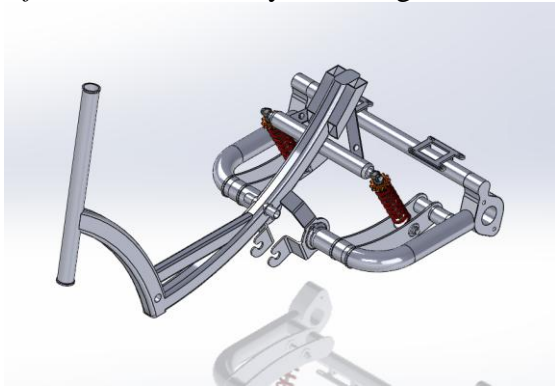
dimana:

S_f = faktor keamanan

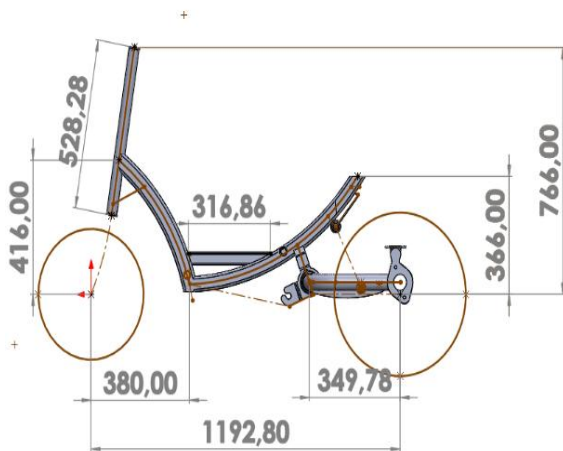
σ_{yield} = tegangan *yield* (MPa)

σ_{actual} = tegangan aktual yang terjadi (MPa)

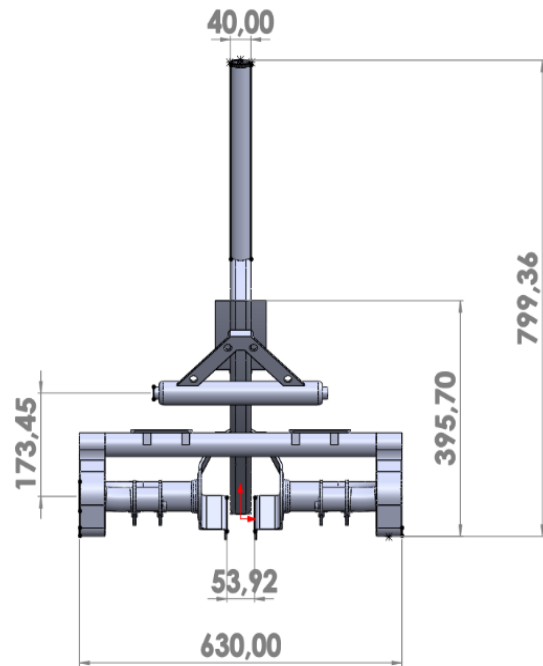
Desain Rangka Sepeda Motor Listrik Roda Tiga. Adapun desain dari rangka yang telah dibuat menggunakan *software Solidworks* yaitu sebagai berikut.



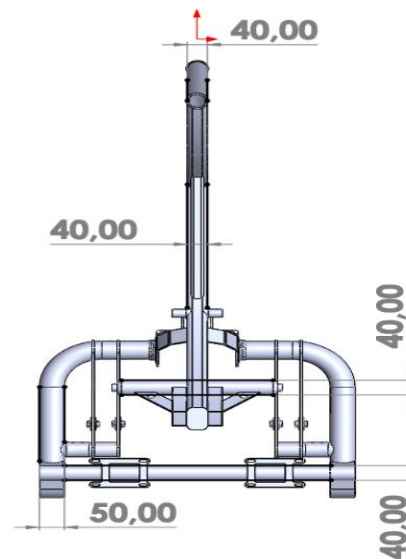
Gambar 2. Tampak isometrik sepeda motor listrik roda tiga



Gambar 3. Tampak kiri sepeda motor listrik roda tiga



Gambar 4. Tampak belakang sepeda motor listrik roda tiga



Gambar 5. Tampak atas sepeda motor listrik roda tiga

Meshing Pada Software ANSYS.

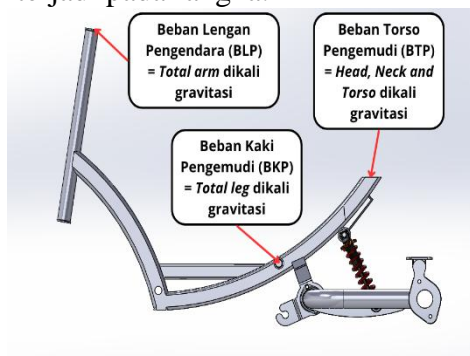
Meshing adalah proses memecah geometri menjadi elemen-elemen kecil (*mesh*) yang terhubung melalui titik (*node*). ukuran mesh sangat krusial karena memengaruhi akurasi hasil dan jumlah elemen yang diperlukan. [6]. Pada simulasi ini didapatkan *mesh* dengan *nodes* sebanyak 98.881 dan *elements* sebanyak 48.553.

Nodes	98881
Elements	48553

Gambar 6. Jumlah Nodes dan Elements pada Mesh

Letak Dan Besar Pembebanan Pada Rangka. Terdapat dua jenis pembebanan yang terjadi pada rangka sepeda motor listrik roda tiga yaitu beban komponen dan juga beban pengendaranya. Rincian dari masing – masing pembebanan serta lokasinya dapat dilihat sebagai berikut.

- **Beban pengendara.** Beban pengendara adalah jenis pembebanan yang berkaitan dengan berat dari anggota tubuh pengendara yang setiap *segment* tubuh memiliki persamaan empirisnya yang dapat dilihat pada Tabel 2. Berikut adalah letak dari tiap pembebanan yang terjadi pada rangka.



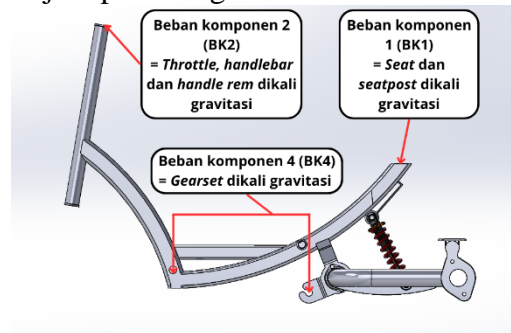
Gambar 7. Letak pembebanan dari beban pengendara

Dimana besar gaya dari tiap letak pembebanan adalah sebagai berikut.

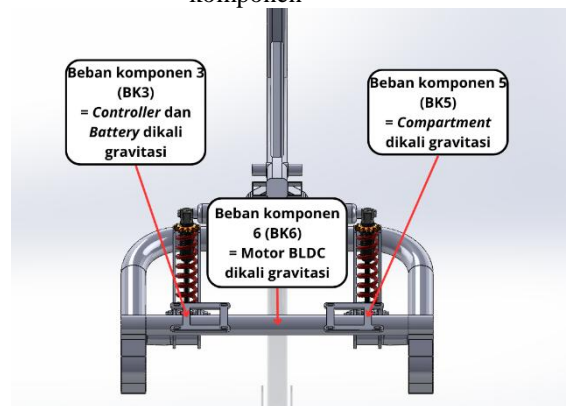
- $F_{BTP} = (\text{Head, Neck and Torso Empirical equation}) \times 9,81 \text{ m/s}^2$
 $F_{BTP} = (0,5940W - 2,20) \times 9,81 \text{ m/s}^2$
 $F_{BTP} = (0,5940(100\text{Kg}) - 2,20) \times 9,81 \text{ m/s}^2$
 $F_{BTP} = 561,132 \text{ N}$
- $F_{BLP} = (\text{Total arm Empirical equation}) \times 9,81 \text{ m/s}^2$
 $F_{BLP} = (0,0505W + 0,01) \times 9,81 \text{ m/s}^2$
 $F_{BLP} = (0,0505(100\text{Kg}) + 0,01) \times 9,81 \text{ m/s}^2$
 $F_{BLP} = 49,6386 \text{ N}$

- $F_{BKP} = (\text{Total leg Empirical equation}) \times 9,81 \text{ m/s}^2$
 $F_{BKP} = (0,1582W + 0,05) \times 9,81 \text{ m/s}^2$
 $F_{BKP} = (0,1582(100\text{Kg}) + 0,05) \times 9,81 \text{ m/s}^2$
 $F_{BKP} = 155,6847 \text{ N}$

- **Beban komponen.** Beban komponen merupakan jenis pembebanan yang berkaitan dengan berat dari komponen - komponen yang terdapat pada sepeda motor listrik roda tiga yang ditopang olehnya dan dapat dilihat pada Tabel 1. Berikut adalah gambar pembagian letak dari tiap pembebanan yang terjadi pada rangka



Gambar 8. Letak pembebanan dari beban komponen



Gambar 9. Letak pembebanan dari beban komponen

Dimana besar gaya dari tiap letak pembebanan adalah sebagai berikut.

- $F_{BK1} = (\text{Seat dan Seatpost}) \times 9,81 \text{ m/s}^2$
 $F_{BK1} = (0,5\text{Kg} + 0,33\text{Kg}) \times 9,81 \text{ m/s}^2$
 $F_{BK1} = 8,1423 \text{ N}$
- $F_{BK2} = (\text{Throttle, Handlebar dan Handle rem}) \times 9,81 \text{ m/s}^2$

$$F_{BK2} = (0,3\text{Kg} + 0,65\text{Kg} + 0,6\text{Kg}) \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_{BK2} = 15,2055 \text{ N}$$

- $F_{BK3} = (\text{Controller dan Battery}) \times 9,81 \text{ m/s}^2$

$$F_{BK3} = (0,25\text{Kg} + 4,3\text{Kg}) \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_{BK3} = 44,6355 \text{ N}$$

- $F_{BK4} = \text{Gearset} \times 9,81 \text{ m/s}^2$

$$F_{BK4} = 1,2\text{Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_{BK4} = 11,772 \text{ N}$$

- $F_{BK5} = \text{Compartment} \times 9,81 \text{ m/s}^2$

$$F_{BK5} = 4\text{Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

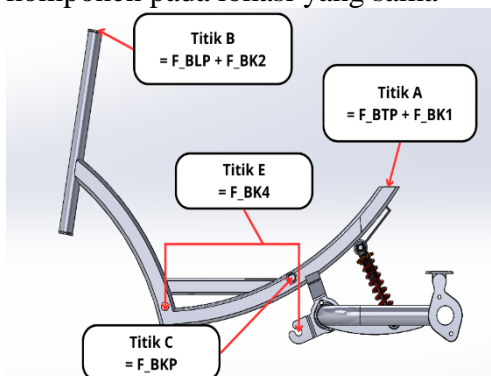
$$F_{BK5} = 39,24 \text{ N}$$

- $F_{BK6} = \text{Motor BLDC} \times 9,81 \text{ m/s}^2$

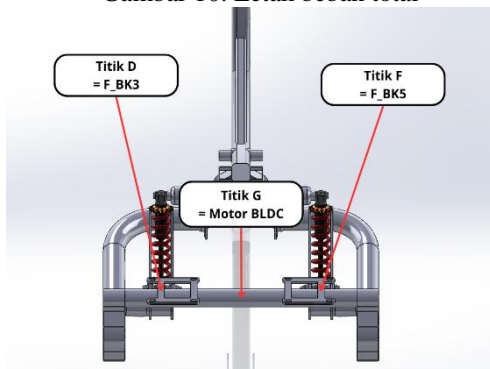
$$F_{BK6} = 5\text{Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$F_{BK6} = 49,05 \text{ N}$$

- **Beban total (beban pengendara ditambah dengan beban komponen).** Beban total merupakan jumlah dari beban pengendara ditambahkan dengan beban komponen pada lokasi yang sama



Gambar 10. Letak beban total



Gambar 11. Letak beban total

Dimana besar gaya dari tiap letak pembebanan adalah sebagai berikut.

- Titik A = F_{BTP} ditambah F_{BK1}

$$\text{Titik A} = 561,132\text{N} + 8,1423\text{N}$$

$$\text{Titik A} = 569,2743 \text{ N}$$

- Titik B = F_{BLP} ditambah F_{BK2}

$$\text{Titik B} = 49,6386\text{N} + 15,2055\text{N}$$

$$\text{Titik B} = 64,8441 \text{ N}$$

- Titik C = F_{BKP}

$$\text{Titik C} = 155,6847 \text{ N}$$

- Titik D = F_{BK3}

$$\text{Titik D} = 44,6355 \text{ N}$$

- Titik E = F_{BK4}

$$\text{Titik E} = 11,772 \text{ N}$$

- Titik F = F_{BK5}

$$\text{Titik F} = 39,24 \text{ N}$$

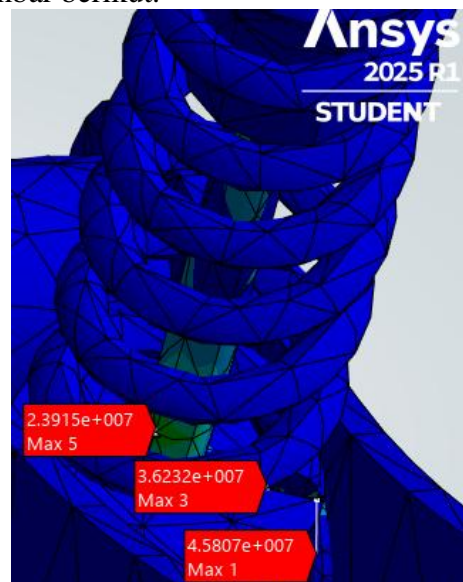
- Titik G = F_{BK6}

$$\text{Titik G} = 49,05 \text{ N}$$

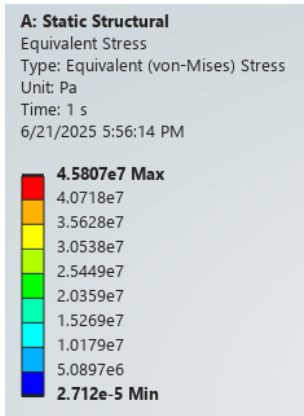
Ini merupakan besar dan titik pembebanan yang akan dimasukkan ke dalam simulasi ANSYS nantinya, baik pada material Aluminium 6061 maupun AISI 1020.

Hasil dan Pembahasan

Von-mises stress. Hasil *von-mises stress* dari simulasi dapat dilihat pada gambar berikut.

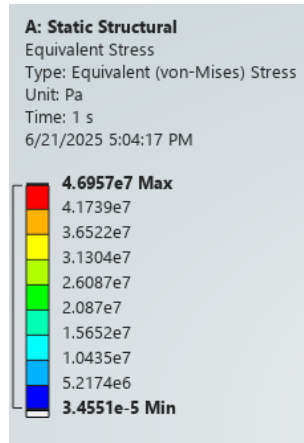


Gambar 12. hasil *von-mises stress* aluminium 6061



Gambar 13. nilai *von-mises stress* aluminium 6061

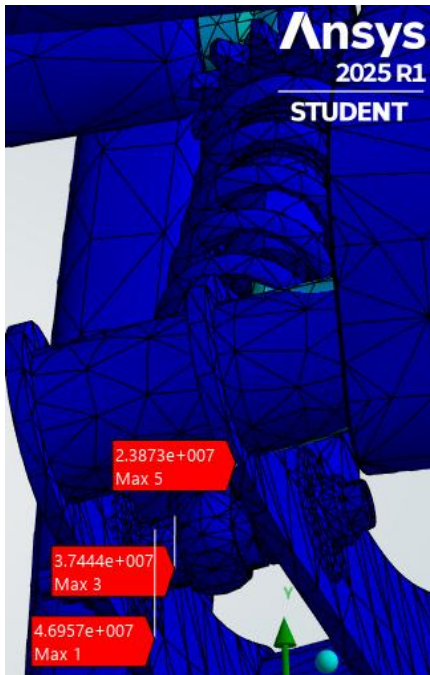
Gambar 17 merupakan *von-mises stress* yang terjadi pada rangka dengan material Aluminium 6061 dengan nilai maksimum sebesar 45,807 MPa pada daerah sekitar *spring shock absorber* bagian bawah dan nilai minimumnya sebesar 2,712 x 10-11 MPa pada daerah sekitar *bracket shock absorber* bagian atas.



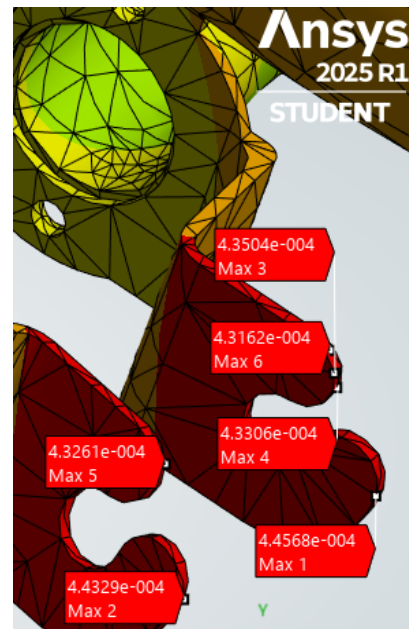
Gambar 15 nilai *von-mises stress* AISI 1020

Gambar 19 merupakan *von-mises stress* yang terjadi pada rangka dengan material Baja AISI 1020 dengan nilai maksimum sebesar 46,957 MPa pada daerah sekitar *spring shock absorber* bagian bawah dan nilai minimumnya sebesar 3,4551 x 10-11 MPa pada daerah sekitar *bracket shock absorber* bagian atas.

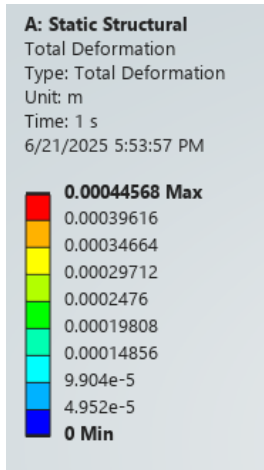
Displacement. Hasil *displacement* dari simulasi dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 14. hasil *von-mises stress* AISI 1020

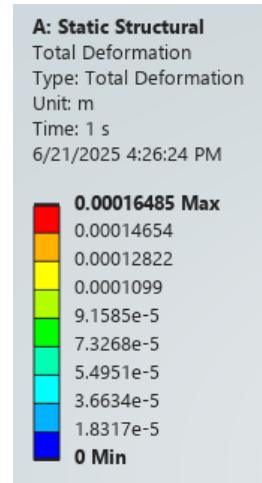


Gambar 16. hasil *displacement* aluminium 6061



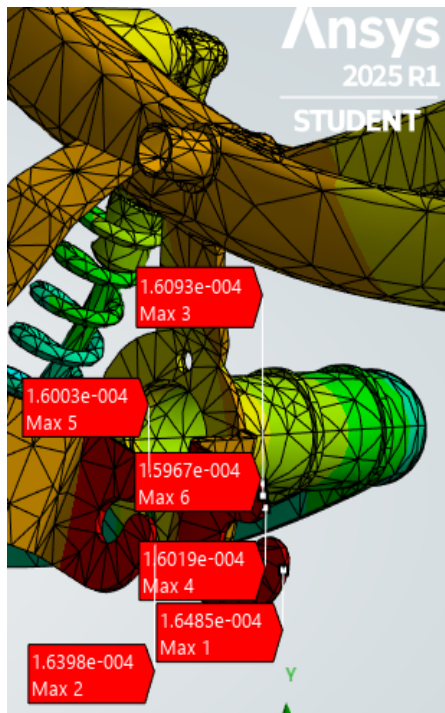
Gambar 17. nilai *displacement* aluminium 6061

Gambar 21 merupakan *displacement* yang terjadi pada rangka dengan material Aluminium 6061 dengan nilai maksimum sebesar 0,44568 mm pada daerah sekitar dudukan *gearset* dan nilai minimumnya sebesar 0 mm pada daerah sekitar dudukan *as* roda belakang.

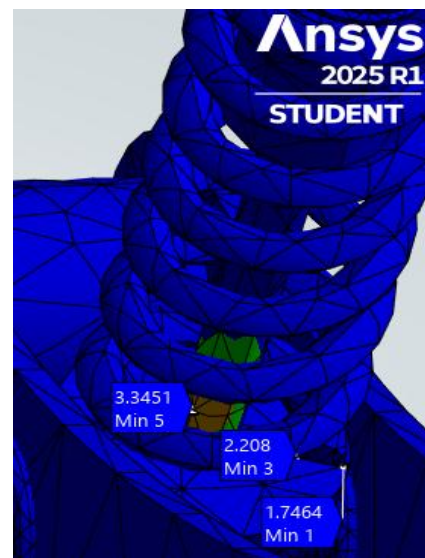


Gambar 19. nilai *displacement* AISI 1020

Gambar 23 merupakan *displacement* yang terjadi pada rangka dengan material Baja AISI 1020 dengan nilai maksimum sebesar 0,16485 mm pada daerah sekitar dudukan *gearset* dan nilai minimumnya sebesar 0 mm pada daerah sekitar dudukan *as* roda belakang.



Gambar 18. hasil *displacement* AISI 1020

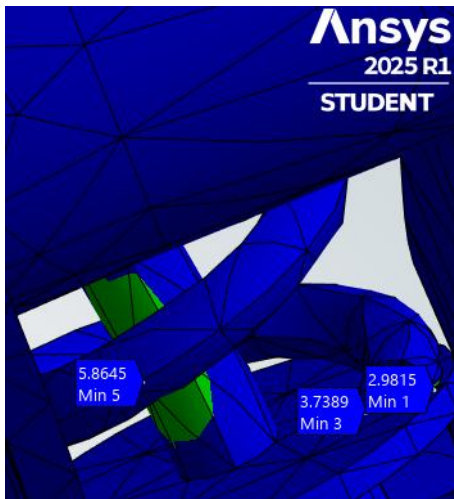


Gambar 20. hasil *safety factor* aluminium 6061

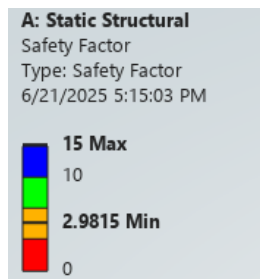


Gambar 21. nilai *safety factor* aluminium 6061

Gambar 25 merupakan *safety factor* yang terjadi pada rangka dengan material Aluminium 6061 dengan nilai maksimum sebesar 15 dan nilai minimumnya sebesar 1,7464 pada area *spring shock absorber* dan 4,52 pada area dibawah *as* roda kiri belakang.



Gambar 22. hasil *safety factor* AISI 1020



Gambar 23. nilai *safety factor* AISI 1020

Gambar 27 merupakan *safety factor* yang terjadi pada rangka dengan material Baja AISI 1020 dengan nilai maksimum sebesar 15 dan nilai minimumnya sebesar 2,9815 pada area *spring shock absorber* dan 8,56 pada area dibawah *as* roda kiri

belakang. Seluruh hasil simulasi dapat dilihat pada tabel 5 berikut.

Tabel 5. ringkasan hasil simulasi

	Aluminium 6061		Baja AISI 1020	
	Nilai minim um	Nilai maksim um	Nilai minim um	Nilai maksim um
<i>Von-mises stress</i> (MPa)	2,712 x 10 ⁻¹¹	45,807	3,4551 x 10 ⁻¹¹	46,957
<i>Displacement</i> (mm)	0	0,44568	0	0,16485
<i>Safety factor</i>	4,52	15	8,56	15

Pada tabel diatas diketahui bahwa meskipun Baja AISI 1020 menunjukkan tegangan von Mises maksimum yang lebih tinggi daripada Aluminium 6061 akibat perbedaan sifat material (kekuatan luluh, modulus elastisitas, dan rasio Poisson), Baja AISI 1020 tetap lebih aman. Hal ini karena Baja AISI 1020 memiliki kekuatan luluh dan modulus elastisitas yang lebih tinggi, menghasilkan perpindahan maksimum yang lebih kecil, serta faktor keamanan yang lebih unggul pada rangka utama dibandingkan Aluminium 6061.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa dari segi tegangan von-mises, Aluminium 6061 memiliki nilai tegangan maksimum 45,807 MPa, sedikit lebih rendah dibandingkan Baja AISI 1020 yang mencapai 46,957 MPa. Meskipun terdapat perbedaan, kedua material ini mampu menahan beban tanpa melampaui batas kekuatan luluh masing-masing. Selanjutnya, dalam hal *displacement*, Aluminium 6061 menunjukkan nilai 0,44568 mm, lebih besar dibandingkan Baja AISI 1020 yaitu 0,16485 mm. Hal ini menandakan bahwa Aluminium 6061 lebih fleksibel namun mengalami deformasi yang lebih besar. Terakhir, untuk faktor keamanan, Aluminium 6061 memiliki faktor keamanan minimum 4,52, sementara Baja AISI 1020 memiliki faktor keamanan

yang lebih tinggi, memberikan *margin* keamanan yang lebih besar.

Secara keseluruhan, Aluminium 6061 lebih ringan dan fleksibel, menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi yang memprioritaskan pengurangan berat rangka. Di sisi lain, Baja AISI 1020 unggul dalam kekuatan dan stabilitas, dengan deformasi yang lebih kecil dan faktor keamanan yang lebih tinggi. Oleh karena itu, pemilihan material sangat bergantung pada prioritas desain, apakah lebih mengutamakan bobot ringan atau kekuatan struktural yang lebih tinggi.

Referensi

- [1] Ningtyas, A.H.P. dkk., 2021, Analisis desain *frame* sepeda listrik roda tiga sebagai alat bantu transportasi bagi penyandang disabilitas menggunakan *software* Autodesk Inventor, *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, Universitas Muhammadiyah Gresik, Gresik.
- [2] Hariawan, M.H. dkk., 2024, Perancangan dan Analisis Desain Rangka Sepeda Listrik *Type Trellis frame*, *National Multidisciplinary Sciences*, UMJember *Proceeding Series* (2024), Universitas Muhammadiyah Jember, Jember.
- [3] Ningtyas, A.H.P. dkk., 2022, Pemilihan Material Yang Aman Untuk Frame Sepeda Listrik, *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, Universitas Muhammadiyah Gresik, Gresik.
- [4] Informasi dari <https://www.aerospacemetals.com/wp-content/uploads/2023/06/Aluminum-6061-T6-6061-T651.pdf> (diakses pada 09-Maret-2025)
- [5] Informasi dari <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=10b74ebc27344380ab16b1b69f1cffbb&ckck=1> (diakses pada 09-Maret-2025)
- [6] Fajrin, M.G. dkk., 2022, Analisis Elemen Hingga Bagian Penekuk pada Mesin Pembuat Begel Baja Tulangan 8 mm, *Jurnal Suara teknik*, Politeknik Negeri Bandung, Bandung.
- [7] Mardika, A.B. dkk., 2022, Analisa Pengaruh Kekuatan Material pada Rangka Sepeda Listrik dengan Profil *Rectangular Tube* terhadap Material Aluminium 6061 dan Baja Aisi 1020 menggunakan *Software* Ansys Workbench, *Jurnal Mesin Material Manufaktur Dan Energi (JMMME)*, Institut Teknologi Nasional Malang, Malang.
- [8] Kroemer, K.H.E, et al., 2020, *Engineering Physiology – Bases of human factors engineering/ergonomic*, Ed.5, Springer Nature Switzerland AG, Switzerland.
- [9] Szabó, B, et al., 2021, *Finite Element Analysis – Method, Verification and Validation*, Ed.2, John Wiley & Sons, Inc., 111 River Street, Hoboken.
- [10] Beer, F.P, et al., 2015, *Mechanics of Materials*, Ed.7, McGraw-Hill Education, New York