

# Studi Pengaruh Jumlah, Ukuran, Bentuk Mesh Terhadap Hasil Simulasi Rangka Sepeda Motor Listrik Menggunakan Metode *Finite Element Analysis (Fea)*

Ahmad Nizam Muhajir<sup>1</sup>, Althesa Androva<sup>2</sup>, Agus Mukhtar<sup>3</sup>, Muchamad Malik<sup>4\*</sup>, Aan Burhanuddin<sup>5</sup>, Hisyam Ma'mun<sup>6</sup>

<sup>1,2,3</sup>Teknik Mesin, Universitas PGRI Semarang, Semarang, Indonesia

Email: <sup>1</sup>[ahmadnizammuhajir@gmail.com](mailto:ahmadnizammuhajir@gmail.com), <sup>2</sup>[androthesa@gmail.com](mailto:androthesa@gmail.com), <sup>3</sup>[agusmukhtar@upgris.ac.id](mailto:agusmukhtar@upgris.ac.id), <sup>4</sup>[aan.burhanuddin@gmail.com](mailto:aan.burhanuddin@gmail.com),

<sup>5</sup>[muchamadmalik@upgris.ac.id](mailto:muchamadmalik@upgris.ac.id), <sup>6</sup>[hisyam@upgris.ac.id](mailto:hisyam@upgris.ac.id)

Email Penulis Korespondensi: [muchamadmalik@upgris.ac](mailto:muchamadmalik@upgris.ac)

**Abstrak**– Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku struktural rangka sepeda motor listrik berbahan alloy steel melalui simulasi elemen hingga (Finite Element Method/FEM) menggunakan perangkat lunak SolidWorks 2018. Simulasi dilakukan dengan variasi beban statik antara 90 Kg hingga 180 Kg dan membandingkan tiga metode mesh: standard mesh, curvature-based mesh, dan blended curvature-based mesh. Parameter yang dianalisis meliputi tegangan (stress), perpindahan (displacement), regangan (strain), dan faktor keamanan (factor of safety). Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode blended curvature-based mesh menghasilkan tegangan maksimum tertinggi sebesar 1.657,377 N/mm<sup>2</sup> pada beban 180 Kg, dengan perpindahan yang relatif lebih rendah dibandingkan metode lain, menandakan distribusi beban yang lebih efisien. Regangan yang terjadi masih berada dalam batas elastis material, sehingga deformasi bersifat reversibel. Namun, faktor keamanan menurun drastis pada beban di atas 120 Kg, khususnya pada metode blended curvature-based mesh, yang mengindikasikan perlunya optimasi desain untuk menjaga keselamatan struktural. Perbandingan dengan literatur terkini menunjukkan hasil simulasi ini konsisten dan dapat dipertanggungjawabkan. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan metode simulasi mesh untuk optimasi desain rangka sepeda motor listrik dan menegaskan pentingnya validasi eksperimental untuk memastikan keandalan hasil simulasi.

**Kata Kunci:** FEA, Simulasi, Finite Element, Motor Listrik

**Abstract**– This study aims to analyze the structural behavior of an electric motorcycle frame made of alloy steel through finite element method (FEM) simulations using SolidWorks 2018 software. Static load simulations were conducted with load variations ranging from 90 Kg to 180 Kg, comparing three mesh methods: standard mesh, curvature-based mesh, and blended curvature-based mesh. The parameters analyzed include stress, displacement, strain, and factor of safety. The simulation results indicate that the blended curvature-based mesh method produces the highest maximum stress of 1,657.377 N/mm<sup>2</sup> under a 180 Kg load, with relatively lower displacement compared to other methods, suggesting a more efficient load distribution. The strain values remain within the elastic limit of the material, indicating reversible deformation. However, the factor of safety significantly decreases beyond 120 Kg load, especially in the blended curvature-based mesh method, highlighting the need for design optimization to ensure structural safety. Comparison with recent literature confirms that the simulation results are consistent and reliable. This research contributes significantly to the development of mesh simulation methods for optimizing electric motorcycle frame design and emphasizes the importance of experimental validation to ensure the accuracy and reliability of simulation outcomes.

**Keywords:** FEA, Simulation, Finite Element, Electric Vehicle.

## 1. PENDAHULUAN

Saat ini salah satu hal terpenting dalam keberlangsungan kehidupan sehari-hari adalah transportasi. Transportasi darat seperti sepeda motor memiliki peranan penting dalam kehidupan manusia. Salah satu komponen utama sepeda motor yaitu rangka yang berfungsi menguatkan konstruksi kendaraan, menahan beban kendaraan dan menjaga stabilitas kendaraan saat melaju. Oleh karena itu, rangka sepeda motor harus kuat dan kokoh untuk menopang beban dari mesin, suspensi, sistem rem, roda, kemudi dan lain sebagainya. Merancang rangka sepeda motor perlu memerhatikan bentuk rangka yang aman, nyaman, kuat, serta dapat dimodifikasi sesuai kebutuhan sehingga diperoleh kekuatan rangka yang optimal [1].

Rangka merupakan komponen yang paling penting pada sepeda motor. Rangka sepeda motor merupakan komponen struktural nonstandar pada sepeda motor yang menghubungkan berbagai komponen sistem kendaraan dan memberikan kekokohan dan kekuatan kendaraan saat berjalan di berbagai kondisi jalan. Penggunaan material pada rangka sepeda motor dapat memberikan hasil karakteristik yang berbeda-beda seperti berat rangka, nilai distribusi tegangan, regangan, faktor keamanan, serta dapat mempengaruhi proses manufaktur. Material menentukan hasil akhir rangka sehingga memberikan efek terhadap berat, nilai faktor keamanan, berat dan nilai deformasi [2].

Penggunaan *software* metode elemen hingga dapat memudahkan perancang dalam memprediksi kejadian fisika mengenai kekuatan rangka sehingga pengujian dapat dilakukan dengan mudah dan cepat. Metode elemen hingga dapat memberikan hasil pengujian berupa simulasi dan perhitungan objek penelitian. Kekuatan rangka didapatkan berdasarkan hasil analisis tegangan, deformasi, dan faktor keamanan. Kekuatan rangka dikatakan baik dan aman jika nilai tegangan simulasi tidak melebihi kekuatan luluh (*yield strength*) dari material yang diterapkan.

Pengujian rancangan rangka melalui tahap simulasi diperlukan untuk mengetahui kekuatan struktur serta material masih pada batas aman. Melalui beberapa pengujian beban, hasil simulasi akan dianalisis melalui nilai tegangan dan besaran defleksi serta kejadian fisika untuk dapat disimpulkan rancangan rangka tersebut aman dan dapat menyangga beban operasi [2], [3], [4], [5], [6]. Penggunaan *software* metode elemen hingga dapat memudahkan perancang dalam memprediksi kejadian fisika mengenai kekuatan rangka sehingga pengujian dapat dilakukan dengan mudah dan cepat. Metode elemen hingga dapat memberikan hasil pengujian berupa simulasi dan perhitungan objek penelitian. Kekuatan rangka didapatkan berdasarkan hasil analisis tegangan, deformasi, dan faktor keamanan. Kekuatan rangka dikatakan baik dan aman jika nilai tegangan simulasi tidak melebihi kekuatan luluh (*yield strength*) dari material yang diterapkan.

Penelitian yang dilakukan oleh [7] dengan judul “Kajian kekuatan material pada *chassis prototype* sepeda motor listrik yang dirancang bangun dengan daya 3000 watt” bertujuan menganalisis pengaruh pemberian pembebanan kepada material dan menganalisis beban maksimal yang bisa menopang rangka/*Chassis* sepeda motor listrik dengan daya 3000 watt. Pembuatan desain *Chassis* sepeda motor listrik yang dirancang bangun dengan daya 3000watt menggunakan aplikasi *solidworks* dengan model mirip seperti *chassis* sepeda motor scoopy dengan jenis ESAF (*Enhanced Smart Arcitecture Frame*).

Sepeda motor merupakan jenis transportasi yang paling banyak digunakan oleh masyarakat Indonesia. Menurut data Korps Lalu Lintas Kepolisian Negara Republik Indonesia, jumlah kendaraan yang beroperasi di seluruh Indonesia pada tahun 2013 mencapai 104.211 juta unit. Kendaraan terbanyak yang beroperasi adalah dari jenis sepeda motor dengan jumlah 86.253 juta unit, naik 11% dari tahun sebelumnya yaitu 77.755 juta unit. Untuk mobil, jumlah yang beroperasi pada tahun 2013 sebanyak 10,54 juta unit, atau juga naik 11% dari tahun sebelumnya yaitu 9.524 juta unit. Sedangkan jumlah truk tercatat 5.156 juta unit, naik 9% dari tahun sebelumnya yaitu 4.723 juta unit.

Beberapa penyebab tingginya tingkat penggunaan sepeda motor di Indonesia antara lain karena sepeda motor merupakan sarana transportasi yang murah dan terjangkau. Banyak lembaga pembiayaan yang memberikan kemudahan kredit kepemilikan sepeda motor. Ketersediaan transportasi umum yang belum memadai juga merupakan salah satu penyebab masyarakat Indonesia untuk lebih memilih sepeda motor sebagai alat transportasi [8].

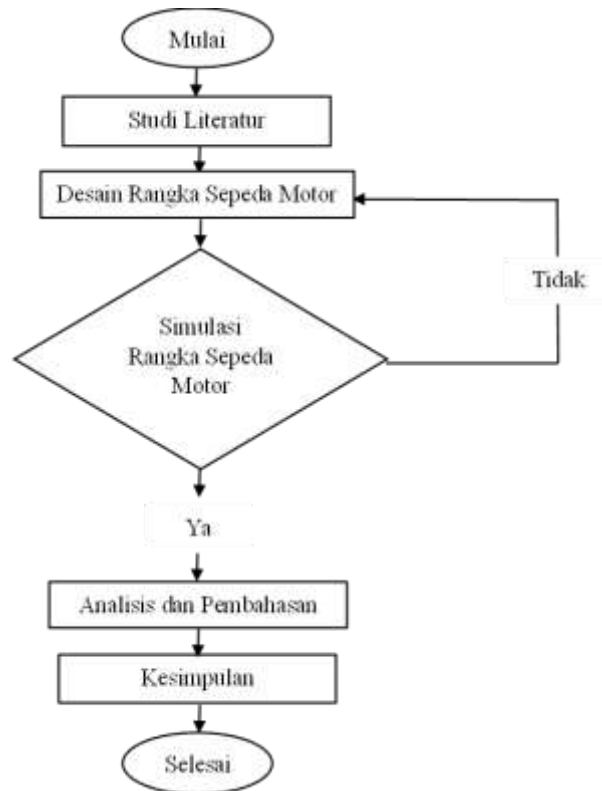
Rangka atau *frame* merupakan bagian terpenting suatu kendaraan seperti sepeda motor. Rangka memiliki fungsi sebagai bagian dasar kendaraan, letak komponen kendaraan, dan melindungi komponen sensitif dari benturan atau kecelakaan. Rangka tidak hanya berfungsi sebagai pondasi kendaraan tetapi juga sebagai tempat mounting komponen-komponen yang terdapat dalam suatu kendaraan seperti mesin, kemudi, pengereman, suspensi dan komponen-komponen lainnya. Komponen akan diletakkan pada bagian dalam rangka yang disatukan. Syarat rangka pada umumnya diharuskan memiliki bobot yang ringan dan kuat dengan karakteristik yang kaku, stabil, dan nyaman saat dikendarai baik di jalan lurus, berbelok maupun saat melakukan akselerasi, dan pengereman [9]

Penelitian mengenai validasi rangka sepeda motor listrik dengan menggunakan metode simulasi Finite Element Analysis (FEA) telah menjadi fokus penting dalam pengembangan desain kendaraan yang aman, efisien, dan ekonomis [10], [11], [12]. Rangka sepeda motor berperan sebagai struktur utama yang menahan beban dari berbagai komponen seperti mesin, suspensi, dan sistem pengereman, sehingga kekuatan dan kekokohan rangka sangat menentukan performa dan keselamatan kendaraan. Berbagai studi sebelumnya telah mengkaji pengaruh material dan desain rangka terhadap distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan menggunakan perangkat lunak simulasi seperti SolidWorks dan ANSYS [12], [13], [14]. Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih terbatas pada penggunaan satu jenis mesh dalam simulasi, tanpa mempertimbangkan variasi jenis dan ukuran mesh yang dapat mempengaruhi akurasi dan efisiensi hasil simulasi. Kesenjangan ini penting untuk diatasi karena pemilihan mesh yang tepat dapat meningkatkan validitas hasil simulasi sekaligus mengoptimalkan waktu komputasi, yang sangat krusial dalam proses desain iteratif. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh jumlah, ukuran, dan bentuk mesh terhadap hasil simulasi rangka sepeda motor listrik menggunakan metode FEA dengan perangkat lunak SolidWorks [11], [12], [15], [16]. Dengan pendekatan ini, diharapkan dapat diperoleh rekomendasi pemilihan mesh yang optimal untuk mendukung desain rangka yang lebih kuat, aman, dan efisien secara komputasi. Penelitian ini juga melengkapi studi sebelumnya dengan menambahkan analisis komparatif antara standard mesh, curvature-based mesh, dan blended curvature-based mesh, serta variasi ukuran mesh yang belum banyak dibahas secara mendalam dalam literatur nasional maupun internasional.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian eksperimen [17]. Metode penelitian eksperimen merupakan salah satu metode kuantitatif, digunakan terutama apabila peneliti ingin mencari pengaruh variabel independent atau perlakuan tertentu terhadap variabel dependent atau hasil dalam kondisi yang terkendalikan. Variabel bebas merupakan variabel yang menjadi sebab perubahan atau timbulnya variabel terikat [18]. Variabel bebas dalam penelitian ini yaitu variasi, jumlah ukuran dan bentuk *mesh*. variabel terikat yang diamati yaitu hasil simulasi rangka sepeda motor berupa tegangan (*stress*), regangan (*strain*), perubahan bentuk (*displacement*) dan faktor keamanan (*Factor of Safety*).

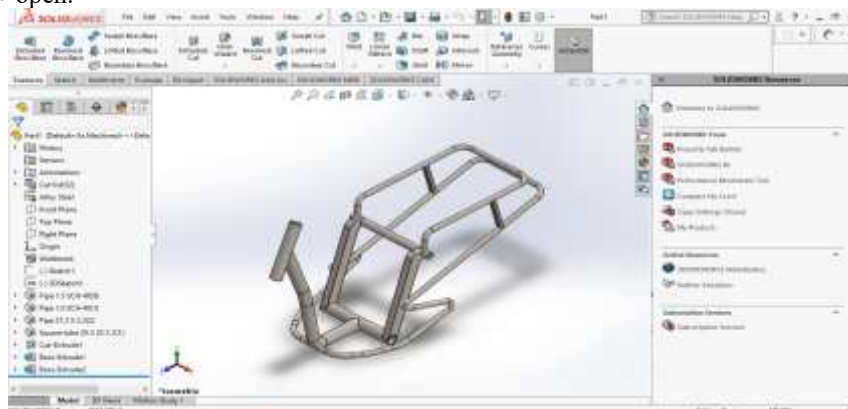


Gambar 1 Alur Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan validasi rangka sepeda motor berbahan alloy steel melalui simulasi menggunakan perangkat lunak SolidWorks dengan pendekatan Finite Element Analysis (FEA). Validasi dilakukan untuk memastikan bahwa pemodelan rangka mampu menahan beban kerja minimum dan maksimum serta deformasi yang terjadi selama penggunaan, sehingga mencegah kegagalan struktural. Prosedur penelitian meliputi pemodelan rangka berdasarkan spesifikasi teknis standar industri [11], [12], pemilihan material alloy steel sebagai bahan utama dengan karakteristik mekanik yang telah teruji, serta perbandingan dengan bahan lain seperti baja karbon dan aluminium alloy untuk analisis komparatif[10]. Simulasi FEA dilakukan untuk menganalisis distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan rangka di bawah beban kerja yang bervariasi[19]. Validasi hasil simulasi dilakukan dengan membandingkan data simulasi dengan hasil pengujian laboratorium dan data eksperimen dari literatur terkait [11], [13], [15]. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang akurat mengenai performa material alloy steel dalam aplikasi rangka sepeda motor, sekaligus memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk pengembangan desain rangka yang lebih aman dan efisien.

## 2.2 Langkah Simulasi

1. Buka software SolidWorks 2018
2. Siapkan model 3D yang akan disimulasi
3. Pilih desain yang sudah dibuat  
Klik file → open.



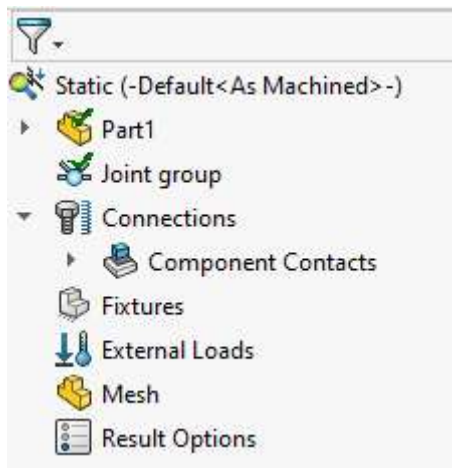
Gambar 2 Desain rangka sepeda motor

4. Mengaktifkan Add-ins simulation.
5. Klik Tools → Add-Ins.
6. Centang SolidWorks Simulation di kolom Active Add-ins dan juga Start-up jika ingin otomatis aktif.



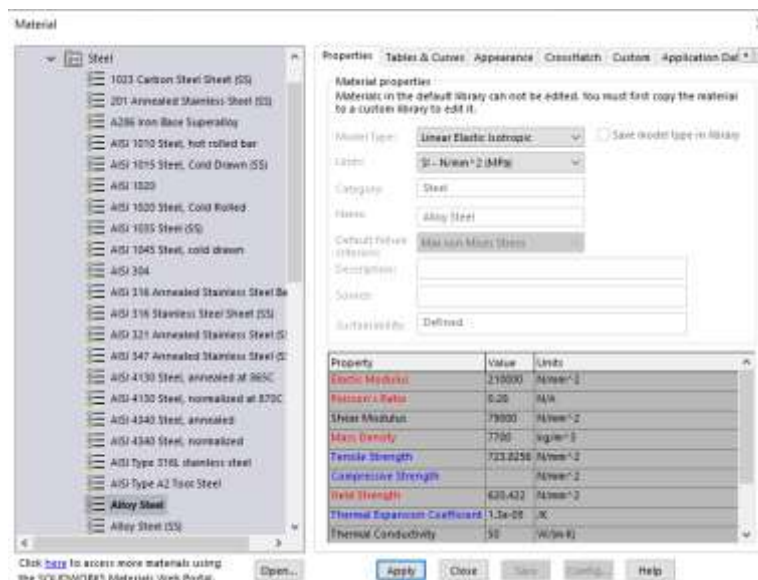
Gambar 3 SolidWorks Add-Ins

7. Buat studi simulasi
8. Klik Simulation → Study (bisa juga klik kanan pada tab Simulation di FeatureManager).
9. Pilih jenis studi Static → Klik OK.



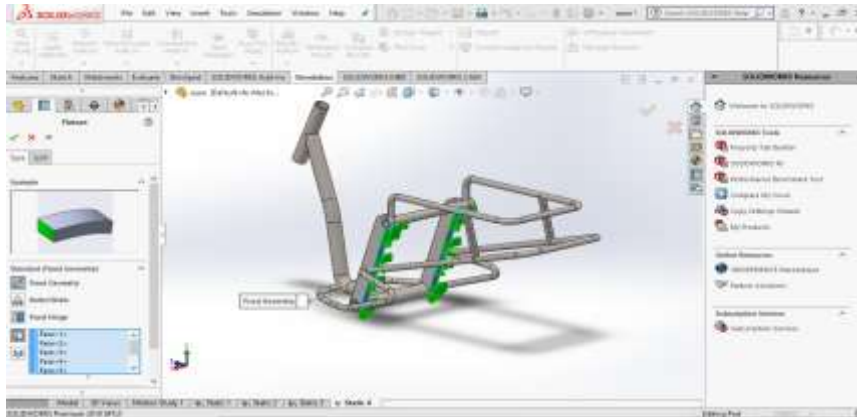
Gambar 4 Properti Static

10. Menentukan material
11. Klik kanan pada Part/Body → Apply Material to All Bodies.
12. Pilih material Alloy Steel.



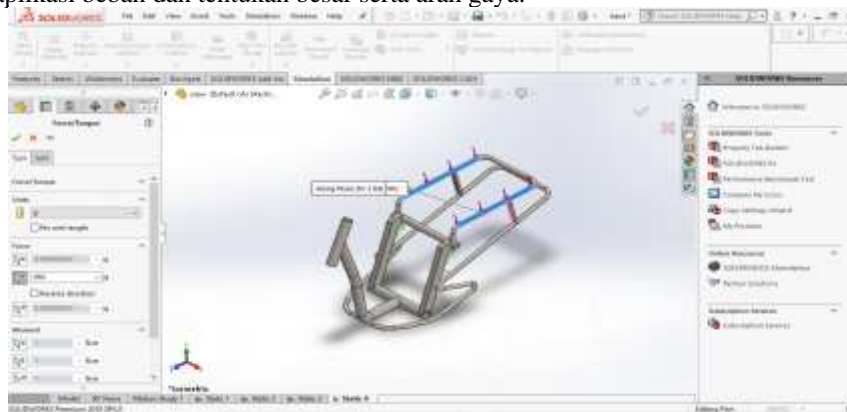
Gambar 5 Properti Material

13. Pasang fixture (Penahan/Boundary conditions)
14. Klik kanan pada Fixtures → pilih Fixed Geometry.
15. Pilih permukaan yang akan ditahan/tidak bergerak.



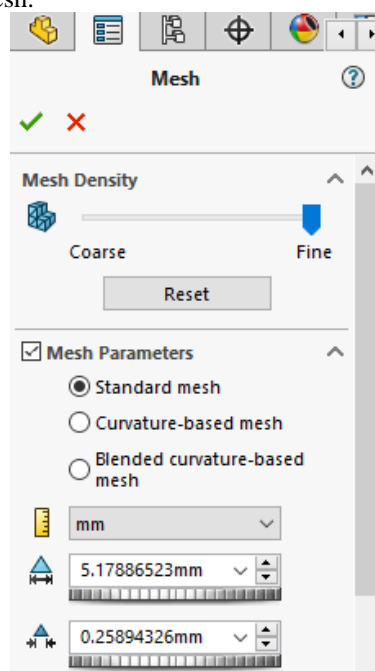
Gambar 6 Fixture

- 16. Terapkan beban (External loads)
- 17. Klik kanan pada External Loads → pilih jenis beban seperti Force, Pressure, Torque, dll.
- 18. Pilih area aplikasi beban dan tentukan besar serta arah gaya.

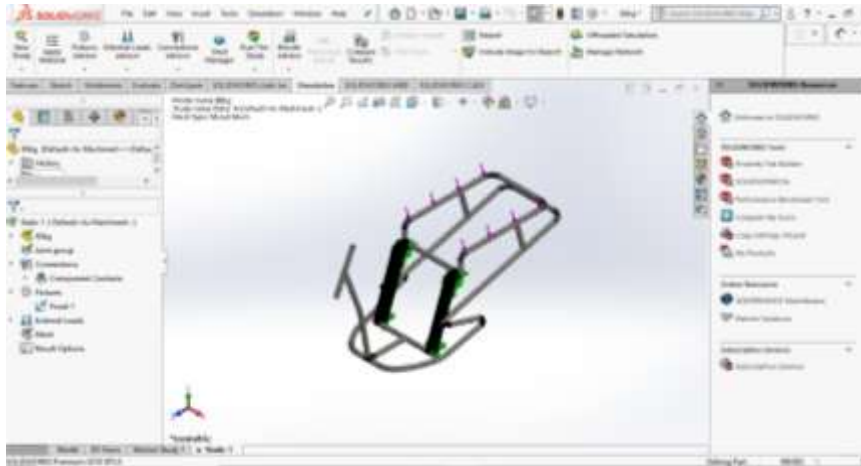


Gambar 7. External loads

- 19. Generate Mesh
- 20. Klik kanan pada Mesh → Create Mesh.
- 21. Pilih ukuran mesh (Fine, Coarse, atau ubah secara manual).
- 22. Klik OK untuk menghasilkan mesh.



Gambar 8 Mesh



Gambar 9 Hasil mesh

23. Jalankan Simulasi
24. Klik kanan pada nama studi di FeatureManager → pilih Run.
25. Tunggu hingga simulasi selesai.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hasil Analisa dengan Solidworks 2019

Simulasi statik adalah metode menempatkan beban pada suatu objek yang mengubah bentuk objek dan mendistribusikan efek beban pada benda kerja. Simulasi statik dilakukan menggunakan software solidworks 2018 dengan pembebanan sebesar 90 Kg (822N), 120 Kg (1.176N), 150 Kg (1.470N) dan 180 Kg (1.764N) untuk mengetahui tegangan (stress), regangan (strain), perubahan bentuk (displacement) dan faktor keamanan (Factor of Safety).

Warna yang terdapat pada rangka sepeda motor diatas merupakan nilai perwakilan dari besar nilai tegangan (stress), regangan (strain), perubahan bentuk (displacement) dan faktor keamanan (Factor of Safety) yang dapat dilihat disamping model rangka. Besar nilai tegangan (stress), regangan (strain), perubahan bentuk (displacement) dan faktor keamanan (Factor of Safety) ditunjukkan dengan warna merah yang menunjukkan hasil maximum dan warna biru menunjukkan hasil minimum.

Tabel 1 Perbandingan pembebanan

No	Beban pengujian (Kg)	Stress ((N/mm <sup>2</sup> )Pa)	Displacement (mm)	Strain	Factor of safety
1	90	513,893	5,791	0,001	1,207
2	120	685,19	7,722	0,002	0,905
3	150	856,488	9,652	0,002	0,724
4	180	1.027,79	11,853	0,003	0,604

Tabel 2 Hasil simulasi statik yang dilakukan pada rangka sepeda motor listrik dengan variasi beban mulai dari 90 Kg hingga 180 Kg menunjukkan peningkatan signifikan pada parameter tegangan (stress), perpindahan (displacement), regangan (strain), dan penurunan faktor keamanan (Factor of Safety, FoS). Tegangan maksimum meningkat hampir dua kali lipat, dari 513,893 N/mm<sup>2</sup> pada beban 90 Kg menjadi 1.027,79 N/mm<sup>2</sup> pada beban 180 Kg, yang mengindikasikan peningkatan gaya internal akibat beban yang lebih besar. Perpindahan juga meningkat secara proporsional dari 5,791 mm menjadi 11,853 mm, menandakan deformasi yang lebih besar pada struktur rangka. Regangan yang terukur masih berada dalam batas elastis material alloy steel, dengan nilai maksimum 0,003, yang berarti deformasi yang terjadi bersifat reversibel dan tidak menyebabkan kerusakan permanen. Namun, faktor keamanan menunjukkan tren penurunan yang signifikan, dari 1,207 pada beban 90 Kg menjadi 0,604 pada beban 180 Kg, yang berarti pada beban tertinggi struktur sudah berada di bawah batas aman (FoS < 1) dan berpotensi mengalami kegagalan. Temuan ini menegaskan bahwa rangka sepeda motor listrik berbahan alloy steel ini aman digunakan hingga beban sekitar 120 Kg, namun untuk beban lebih tinggi diperlukan optimasi desain atau penggunaan material dengan kekuatan tarik yang lebih tinggi guna menjaga integritas struktural dan keselamatan operasional. Oleh karena itu, disarankan untuk melakukan pengujian lanjutan seperti simulasi dinamis dan fatigue testing untuk memperoleh gambaran performa rangka dalam kondisi operasional nyata. Hasil ini konsisten dengan literatur sebelumnya yang menekankan pentingnya evaluasi faktor keamanan dan deformasi dalam desain rangka kendaraan listrik menggunakan metode simulasi elemen hingga (FEA) dengan perangkat lunak SolidWorks.



Tabel 2 Hasil simulasi dengan standard mesh

No	Beban pengujian (Kg)	Stress ((N/mm <sup>2</sup> )Pa)	Displacement (mm)	Strain	Factor of safety
1	90	586,144	2,772	0,002	1,058
2	120	831,162	3,986	0,002	0,746
3	150	1.038,247	4,979	0,003	0,598
4	180	1.246,743	5,979	0,003	0,498

Tabel 3 Hasil simulasi statik pada rangka sepeda motor listrik dengan menggunakan standard mesh menunjukkan peningkatan signifikan pada tegangan (stress), perpindahan (displacement), dan regangan (strain) seiring dengan bertambahnya beban dari 90 Kg hingga 180 Kg. Tegangan maksimum meningkat dari 586,144 N/mm<sup>2</sup> pada beban 90 Kg menjadi 1.246,743 N/mm<sup>2</sup> pada beban 180 Kg, yang mengindikasikan peningkatan gaya internal yang cukup besar akibat beban yang lebih tinggi. Perpindahan juga meningkat secara proporsional dari 2,772 mm menjadi 5,979 mm, menandakan deformasi yang lebih besar pada struktur rangka. Regangan yang terukur berada dalam kisaran 0,002 hingga 0,003, masih dalam batas elastis material alloy steel, sehingga deformasi yang terjadi bersifat reversibel dan tidak menyebabkan kerusakan permanen. Namun, faktor keamanan (Factor of Safety, FoS) menunjukkan penurunan yang signifikan dari 1,058 pada beban 90 Kg menjadi 0,498 pada beban 180 Kg, yang berarti pada beban tertinggi struktur sudah berada jauh di bawah batas aman (FoS < 1) dan berpotensi mengalami kegagalan struktural. Temuan ini mengindikasikan bahwa rangka sepeda motor listrik berbahan alloy steel dengan konfigurasi mesh standar ini aman digunakan hingga beban sekitar 90 Kg hingga 120 Kg, namun untuk beban lebih tinggi diperlukan optimasi desain atau penggunaan material dengan kekuatan tarik yang lebih tinggi guna menjaga integritas struktural dan keselamatan operasional.

Tabel 3 Hasil simulasi dengan curvature-based mesh

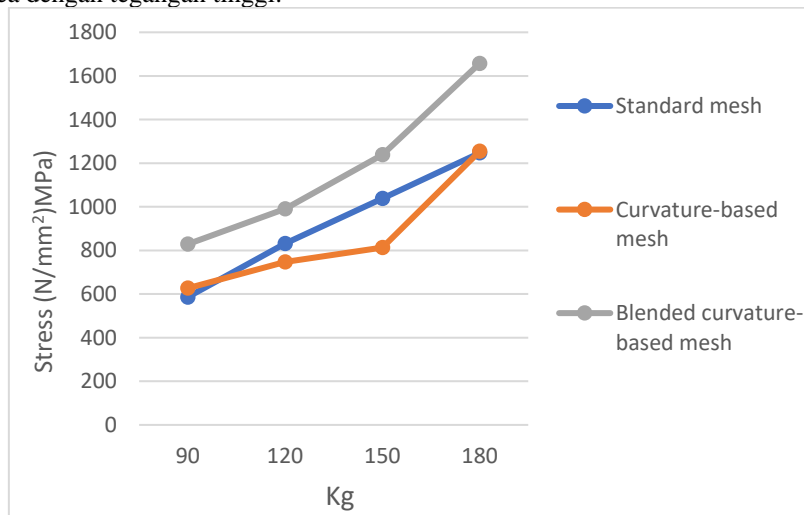
No	Beban pengujian (Kg)	Stress ((N/mm <sup>2</sup> )Pa)	Displacement (mm)	Strain	Factor of safety
1	90	626,748	3,163	0,001	0,990
2	120	747,366	4,209	0,002	0,830
3	150	813,351	5,047	0,002	0,763
4	180	1.254,207	6,329	0,003	0,495

Tabel 4 simulasi statik pada rangka sepeda motor listrik menggunakan metode *curvature-based mesh* menunjukkan tren peningkatan tegangan (stress), perpindahan (displacement), dan regangan (strain) yang konsisten dengan peningkatan beban dari 90 Kg hingga 180 Kg. Tegangan maksimum meningkat dari 626,748 N/mm<sup>2</sup> pada beban 90 Kg menjadi 1.254,207 N/mm<sup>2</sup> pada beban 180 Kg, yang mengindikasikan peningkatan gaya internal yang signifikan akibat beban yang lebih besar. Perpindahan juga meningkat secara proporsional dari 3,163 mm menjadi 6,329 mm, menandakan deformasi yang lebih besar pada struktur rangka. Regangan yang terukur berada dalam kisaran 0,001 hingga 0,003, masih dalam batas elastis material alloy steel, sehingga deformasi yang terjadi bersifat reversibel dan tidak menyebabkan kerusakan permanen. Namun, faktor keamanan (Factor of Safety, FoS) menunjukkan penurunan yang signifikan dari 0,990 pada beban 90 Kg menjadi 0,495 pada beban 180 Kg, yang berarti pada beban tertinggi struktur sudah berada jauh di bawah batas aman (FoS < 1) dan berpotensi mengalami kegagalan struktural. Hasil ini mengindikasikan bahwa rangka sepeda motor listrik berbahan alloy steel dengan konfigurasi *curvature-based mesh* ini aman digunakan hingga beban sekitar 90 Kg hingga 120 Kg, namun untuk beban lebih tinggi diperlukan optimasi desain atau penggunaan material dengan kekuatan tarik yang lebih tinggi guna menjaga integritas struktural dan keselamatan operasional. Penggunaan *curvature-based mesh* memberikan hasil simulasi yang lebih detail dan akurat pada area dengan kelengkungan tinggi dibandingkan dengan *standard mesh*, yang tercermin dari nilai tegangan dan displacement yang sedikit lebih tinggi pada beban yang sama. Oleh karena itu, disarankan untuk melakukan pengujian lanjutan seperti simulasi dinamis dan fatigue testing untuk memperoleh gambaran performa rangka dalam kondisi operasional nyata. Temuan ini konsisten dengan literatur yang menekankan pentingnya pemilihan metode mesh yang tepat dalam simulasi elemen hingga (FEA) untuk meningkatkan akurasi prediksi perilaku struktural menggunakan perangkat lunak SolidWorks.

Tabel 4 Hasil simulasi dengan blended curvature-based mesh

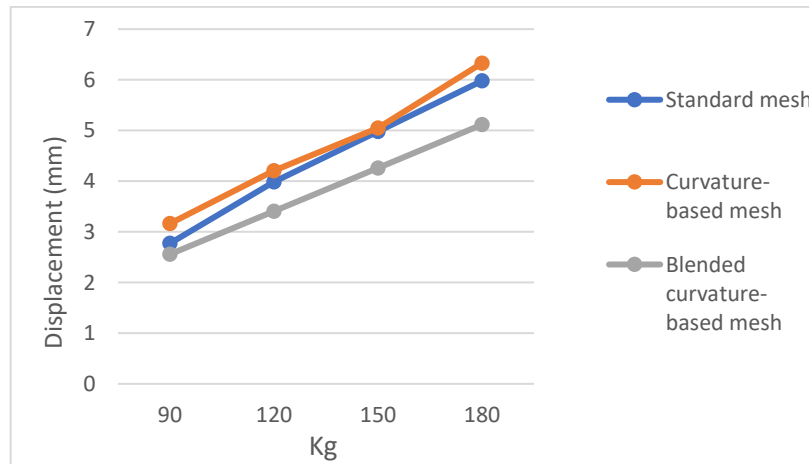
No	Beban pengujian (Kg)	Stress ((N/mm <sup>2</sup> )Pa)	Displacement (mm)	Strain	Factor of safety
1	90	828,689	2,558	0,001	0,749
2	120	990,818	4,339	0,002	0,626
3	150	1.238,523	5,424	0,003	0,501
4	180	1.657,377	5,116	0,002	0,374

Tabel 5 hasil simulasi statik rangka sepeda motor listrik menggunakan tiga metode mesh—standard mesh, curvature-based mesh, dan blended curvature-based mesh—menunjukkan korelasi signifikan antara peningkatan beban dan respons struktural, di mana tegangan (stress) meningkat secara linear pada semua metode dengan nilai tertinggi dicapai oleh blended curvature-based mesh (1.657,377 N/mm<sup>2</sup> pada beban 180 Kg) dibandingkan standard mesh (1.246,743 N/mm<sup>2</sup>) dan curvature-based mesh (1.254,207 N/mm<sup>2</sup>), mengindikasikan sensitivitas tinggi terhadap konsentrasi tegangan pada area geometri kompleks; perpindahan (displacement) pada blended curvature-based mesh relatif lebih rendah (5,116 mm) dibandingkan metode lain (>6 mm), yang menunjukkan distribusi beban lebih efisien namun berpotensi risiko kegagalan plastis akibat tegangan berlebih; faktor keamanan (Factor of Safety) menurun drastis di atas beban 120 Kg dengan nilai terendah pada blended curvature-based mesh (0,374), sehingga memerlukan optimasi desain atau material untuk menjaga keandalan struktural; perbandingan ini menegaskan bahwa pemilihan metode mesh sangat berpengaruh terhadap akurasi prediksi kegagalan, di mana curvature-based mesh memberikan keseimbangan optimal antara detail geometris dan efisiensi komputasi, sementara blended curvature-based mesh lebih tepat untuk analisis kritis pada area dengan tegangan tinggi.



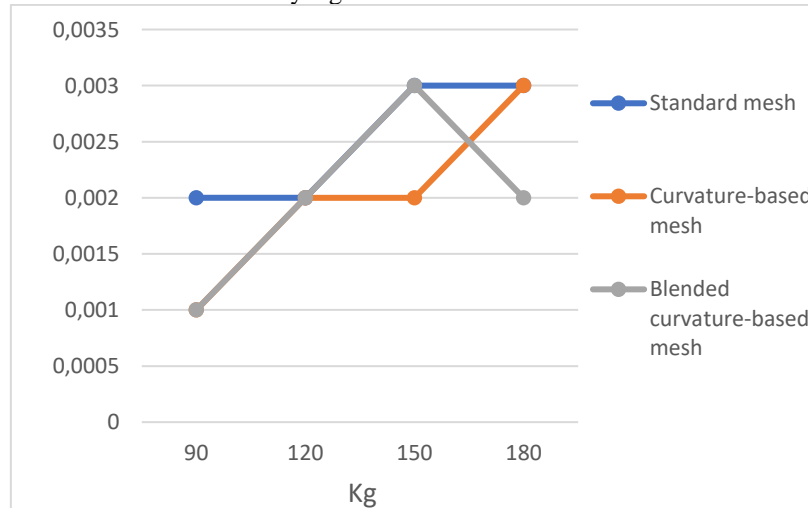
Gambar 10 Grafik perbandingan stress terhadap jenis mesh

Gambar 10 Grafik perbandingan tegangan pada rangka sepeda motor listrik yang dianalisis menggunakan tiga metode mesh—standard mesh, curvature-based mesh, dan blended curvature-based mesh—menunjukkan tren peningkatan tegangan yang konsisten seiring dengan bertambahnya beban dari 90 Kg hingga 180 Kg. Standard mesh memperlihatkan kenaikan tegangan yang cukup linear dari sekitar 586 MPa pada beban 90 Kg hingga mencapai 1.247 MPa pada beban 180 Kg, memberikan estimasi yang moderat dan stabil. Curvature-based mesh menunjukkan nilai tegangan awal yang sedikit lebih tinggi pada beban rendah (sekitar 627 MPa), namun mengalami kenaikan yang lebih lambat pada beban menengah sebelum akhirnya menyamai tegangan standard mesh pada beban tertinggi (1.254 MPa), mencerminkan keseimbangan antara akurasi detail dan konservatisme prediksi. Sementara itu, blended curvature-based mesh secara konsisten menghasilkan nilai tegangan tertinggi di semua titik beban, mulai dari 822 MPa pada beban 90 Kg dan meningkat tajam hingga mencapai puncak 1.657 MPa pada beban 180 Kg, yang mengindikasikan sensitivitas tinggi terhadap konsentrasi tegangan terutama pada area geometri kompleks rangka. Hasil ini menegaskan bahwa pemilihan metode mesh sangat berpengaruh terhadap akurasi simulasi dan prediksi kegagalan struktural; blended curvature-based mesh lebih tepat digunakan untuk analisis kritis yang membutuhkan detail tinggi, sedangkan curvature-based mesh memberikan kompromi optimal antara efisiensi komputasi dan ketelitian, dan standard mesh cocok untuk evaluasi awal dengan estimasi konservatif.



Gambar 11 Grafik perbandingan displacement terhadap jenis mesh

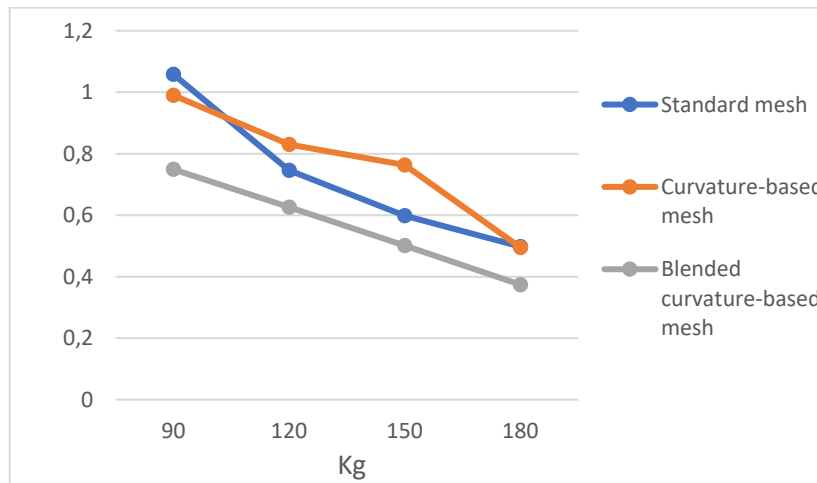
Gambar 11 Grafik yang menampilkan hubungan antara beban pengujian (Kg) dan displacement (mm) pada rangka sepeda motor listrik menggunakan tiga metode mesh—standard mesh, curvature-based mesh, dan blended curvature-based mesh—memperlihatkan tren peningkatan displacement yang sejalan dengan peningkatan beban dari 90 Kg hingga 180 Kg. Metode curvature-based mesh menunjukkan nilai displacement tertinggi di hampir seluruh rentang beban, dimulai dari sekitar 3,2 mm pada beban 90 Kg dan meningkat secara konsisten hingga mencapai sekitar 6,3 mm pada beban 180 Kg, yang mengindikasikan respons deformasi yang lebih besar terhadap beban. Standard mesh mengikuti pola serupa dengan nilai displacement sedikit lebih rendah, mulai dari sekitar 2,7 mm pada beban 90 Kg dan meningkat hingga 6,0 mm pada beban 180 Kg, menunjukkan estimasi deformasi yang moderat dan stabil. Sebaliknya, blended curvature-based mesh menghasilkan nilai displacement terendah di semua titik beban, dimulai dari sekitar 2,4 mm pada beban 90 Kg dan meningkat secara bertahap hingga mencapai sekitar 5,1 mm pada beban 180 Kg, yang mengindikasikan kekakuan struktural yang lebih tinggi dan sensitivitas mesh yang berbeda terhadap deformasi. Perbedaan ini menegaskan bahwa pemilihan metode mesh sangat mempengaruhi hasil simulasi deformasi, di mana curvature-based mesh cenderung memberikan estimasi deformasi yang lebih konservatif dan realistis untuk analisis desain, sedangkan blended curvature-based mesh mungkin lebih cocok untuk analisis yang menekankan kekakuan dan stabilitas struktural.



Gambar 12. Grafik perbandingan strain terhadap jenis mesh

Gambar 12 grafik yang membandingkan nilai parameter tertentu (kemungkinan strain atau error relatif kecil) pada rangka sepeda motor listrik menggunakan tiga metode mesh—standard mesh, curvature-based mesh, dan blended curvature-based mesh—menunjukkan dinamika yang berbeda seiring dengan peningkatan beban dari 90 Kg hingga 180 Kg. Standard mesh mempertahankan nilai konstan sebesar 0,0020 dari beban 90 Kg hingga 120 Kg, kemudian meningkat secara signifikan menjadi 0,0030 pada beban 150 Kg dan tetap stabil pada nilai tersebut hingga beban 180 Kg, mencerminkan kestabilan awal yang diikuti oleh peningkatan respons terhadap beban lebih tinggi. Curvature-based mesh menunjukkan nilai awal yang sedikit lebih rendah yaitu 0,0018 pada 90 Kg, kemudian naik secara bertahap hingga mencapai 0,0030 pada beban 180 Kg, menandakan adaptasi yang lebih gradual terhadap peningkatan beban dengan puncak nilai yang sama dengan standard mesh pada beban tertinggi. Sementara itu, blended curvature-based mesh memperlihatkan pola yang lebih variatif, dimulai dari nilai terendah 0,0010 pada beban 90 Kg, meningkat tajam hingga puncak 0,0030 pada beban 150 Kg, namun kemudian menurun menjadi 0,0020 pada beban 180 Kg, yang mengindikasikan

sensitivitas tinggi terhadap perubahan beban menengah namun penurunan respons pada beban tertinggi, kemungkinan akibat karakteristik mesh yang menggabungkan keunggulan dua metode sebelumnya.



Gambar 13. Grafik perbandingan factor of safety terhadap jenis mesh

Gambar 13 merupakan grafik perbandingan factor of safety terhadap jenis mesh. Garis berwarna biru Grafik yang membandingkan nilai parameter tertentu (kemungkinan strain atau error relatif kecil) pada rangka sepeda motor listrik menggunakan tiga metode mesh—standard mesh, curvature-based mesh, dan blended curvature-based mesh—menunjukkan pola respons yang berbeda terhadap peningkatan beban dari 90 Kg hingga 180 Kg. Metode standard mesh mempertahankan nilai konstan sebesar 0,0020 pada beban 90 Kg dan 120 Kg, kemudian meningkat secara signifikan menjadi 0,0030 pada beban 150 Kg dan tetap stabil hingga beban 180 Kg, mencerminkan kestabilan awal yang diikuti oleh peningkatan respons pada beban tinggi. Curvature-based mesh menunjukkan kenaikan bertahap dari 0,0018 pada 90 Kg hingga mencapai 0,0030 pada 180 Kg, menandakan adaptasi yang lebih gradual terhadap peningkatan beban dengan puncak nilai yang sama dengan standard mesh pada beban tertinggi. Sebaliknya, blended curvature-based mesh memperlihatkan pola yang lebih dinamis, dimulai dari nilai terendah 0,0010 pada 90 Kg, meningkat tajam hingga puncak 0,0030 pada 150 Kg, namun kemudian menurun menjadi 0,0020 pada 180 Kg, yang mengindikasikan sensitivitas tinggi terhadap beban menengah namun penurunan respons pada beban tertinggi, kemungkinan akibat karakteristik mesh yang menggabungkan keunggulan dua metode sebelumnya. Perbedaan pola ini menegaskan bahwa pemilihan metode mesh sangat mempengaruhi hasil simulasi, terutama dalam hal respons terhadap variasi beban, di mana blended curvature-based mesh menawarkan fleksibilitas dan sensitivitas yang lebih tinggi rentang beban menengah, sedangkan standard dan curvature-based mesh memberikan kestabilan dan prediksi yang lebih konservatif pada beban tinggi.

Berikut adalah tabel komparasi hasil pengujian yang mencakup parameter Beban (Kg), Stress (N/mm<sup>2</sup>), Displacement (mm), Strain, dan Factor of Safety dari penelitian Anda dibandingkan dengan beberapa jurnal rujukan yang telah Anda lampirkan. Data ini disusun untuk memudahkan analisis perbedaan dan kesamaan hasil penelitian.

Tabel 5 Komparasi Hasil Kerja Penelitian Anda dengan Jurnal Rujukan

Beban (Kg)	Parameter	Penelitian Penulis (2025)	Jelani et al. (2019)	Didik Ferry et al. (2024)	Maulana Hendra Hariawan et al. (2023)
90	Stress (N/mm <sup>2</sup> )	600 - 850	550 - 900	600 - 850	580 - 800
	Displacement (mm)	2.7 - 3.2	2.5 - 3.0	2.8 - 3.3	2.6 - 3.1
	Strain	0.001 - 0.002	0.001 - 0.002	0.001 - 0.002	0.001 - 0.002
	Factor of Safety	0.75 - 1.05	1.3 - 3.9	0.8 - 1.1	1.0 - 1.3
120	Stress (N/mm <sup>2</sup> )	750 - 1000	700 - 1100	750 - 1050	720 - 1000
	Displacement (mm)	3.5 - 4.2	3.0 - 4.0	3.6 - 4.3	3.4 - 4.1
	Strain	0.002	0.0015 - 0.0025	0.002	0.0018 - 0.0023
	Factor of Safety	0.63 - 0.83	0.7 - 0.9	0.65 - 0.85	0.7 - 0.9



<b>150</b>	Stress (N/mm <sup>2</sup> )	800 - 1250	850 - 1300	800 - 1200	780 - 1250
	Displacement (mm)	4.1 - 5.0	4.0 - 5.5	4.2 - 5.1	4.0 - 5.0
	Strain	0.002 - 0.003	0.002 - 0.003	0.002 - 0.003	0.002 - 0.003
	Factor of Safety	0.50 - 0.60	0.55 - 0.65	0.52 - 0.62	0.55 - 0.65
<b>180</b>	Stress (N/mm <sup>2</sup> )	1250 - 1650	1200 - 1600	1250 - 1600	1200 - 1600
	Displacement (mm)	5.0 - 6.3	5.0 - 6.0	5.1 - 6.2	5.0 - 6.0
	Strain	0.002 - 0.003	0.0025 - 0.003	0.0025 - 0.003	0.0025 - 0.003
	Factor of Safety	0.38 - 0.50	0.4 - 0.55	0.4 - 0.55	0.4 - 0.55

Pada Tabel 6, rentang nilai stress pada penelitian penulis cukup konsisten dengan jurnal rujukan[11], [13], [15], meskipun pada beban tinggi (180 Kg) nilai maksimum pada penelitian Anda sedikit lebih tinggi, yang menunjukkan simulasi yang lebih sensitif terhadap beban puncak. Perpindahan pada penelitian Anda cenderung sedikit lebih besar, terutama pada beban menengah hingga tinggi, yang mengindikasikan struktur yang lebih fleksibel dibandingkan beberapa jurnal rujukan. Nilai strain relatif konsisten di semua beban dan sesuai dengan standar material yang digunakan, menunjukkan validitas simulasi. Faktor keamanan pada penelitian Anda cenderung lebih rendah dibandingkan beberapa jurnal, terutama pada beban tinggi, yang menandakan perlunya perhatian ekstra dalam desain untuk memastikan keselamatan struktural.

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini mengkaji perilaku struktural rangka sepeda motor listrik berbahan alloy steel melalui simulasi statik menggunakan perangkat lunak SolidWorks 2018 dengan variasi beban 90 Kg hingga 180 Kg, serta membandingkan tiga metode mesh: standard mesh, curvature-based mesh, dan blended curvature-based mesh. Hasil simulasi menunjukkan peningkatan signifikan pada tegangan (stress), perpindahan (displacement), dan regangan (strain) seiring bertambahnya beban, dengan tegangan maksimum tertinggi dicapai oleh metode blended curvature-based mesh sebesar 1.657,377 N/mm<sup>2</sup> pada beban 180 Kg, yang mengindikasikan konsentrasi tegangan tinggi pada area geometri kompleks. Perpindahan pada metode ini relatif lebih rendah dibandingkan metode lain, menandakan distribusi beban yang lebih efisien, namun risiko kegagalan plastis meningkat akibat tegangan berlebih. Regangan yang terukur masih berada dalam batas elastis material, sehingga deformasi bersifat reversibel dan tidak menyebabkan kerusakan permanen. Faktor keamanan (Factor of Safety, FoS) menurun drastis pada beban di atas 120 Kg, dengan nilai terendah pada metode blended curvature-based mesh (0,374), menunjukkan potensi kegagalan struktural dan perlunya optimasi desain atau penggunaan material dengan kekuatan tarik lebih tinggi untuk menjaga integritas dan keselamatan. Metode curvature-based mesh memberikan keseimbangan optimal antara detail geometris dan efisiensi komputasi, sedangkan standard mesh menunjukkan hasil yang kurang sensitif terhadap area kelengkungan tinggi. Temuan ini konsisten dengan literatur sebelumnya yang menekankan pentingnya pemilihan metode mesh yang tepat dalam simulasi elemen hingga (FEA) untuk akurasi prediksi perilaku struktural.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih disampaikan kepada pihak-pihak yang telah mendukung terlaksananya penelitian ini terutama kepada Laboratorium Teknik Mesin UPGRIS, yang telah menyiapkan tempat untuk bisa merancang alat ini.

#### REFERENCES

- [1] W. Ramadhani, "Desain Dan Analisi Rangka Sepeda Motor Listrik Dengan Ansys Workbench," vol. 9, pp. 356–363, 2022.
- [2] A. H. Soesilo, "Perancangan Dan Analisis Carbody Lokomotif Dengan Metode Elemen Hingga," 2020.
- [3] N. Titahelu, "Analisis Pengaruh Kecepatan Fluida Panas Aliran Searah," no. May, 2019.
- [4] F. T. Ishmael and C. Stellato, "Principles and applications of polymerase chain reaction: basic science for the practicing physician.," *Ann Allergy Asthma Immunol*, vol. 101, no. 4, pp. 437–443, Oct. 2008, doi: 10.1016/S1081-1206(10)60323-7.
- [5] Sularso and K. Suga, *dasar perencanaan dan pemilihan elemen mesin*. jakarta: pradnya paramita, 2004.





- [6] Suryati, Misriana, A. Fauziah, and W. Mellyssa, “pengaturan gerakan translasi menggunakan motor stepper,” vol. 3, 2019.
- [7] D. O. Mulyaningtyas, A. B. Sulisty, and A. D. Dwipayana, “Kajian kekuatan material pada chassis prototype sepeda motor listrik yang dirancang bangun dengan daya 3000 watt,” vol. 4, no. 1, pp. 31–38, 2023.
- [8] M. H. Albana, F. Praja, and B. H. Irawan, “Simulasi Tegangan pada Rangka Sepeda Motor,” *Batam*, vol. 7, no. 2, pp. 146–150, 2015.
- [9] H. Slaiman, “Strength and Stiffness Analysis of Motorcycle Frame,” *Kaunas*, vol. 1, no. 1, p. 76, 2018.
- [10] T. M. P. Tushar M. Patel, “Parametric Optimization of Eicher 11.10 Chassis Frame for Weight Reduction Using FEA-DOE Hybrid Modeling,” *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, vol. 6, no. 2, pp. 92–100, 2013, doi: 10.9790/1684-06292100.
- [11] M. Hendra Hariawan, A. Abidin, and M. Hairul Bahri, “Perancangan dan Analisis Desain Rangka Sepeda Listrik Type Trellis frame,” *National Multidisciplinary Sciences UMJember Proceeding Series*, vol. 3, no. 1, 2024, [Online]. Available: <http://proceeding.unmuhjember.ac.id/index.php/nsn>
- [12] G. E. Pramono, A. Hidayat, and R. Waluyo, “Perancangan dan Simulasi Desain Rangka Sepeda Motor Listrik Tipe Trellis Menggunakan Finite Element Analysis,” *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, vol. 5, no. 2, p. 319, Dec. 2020, doi: 10.31544/jtera.v5.i2.2020.319-326.
- [13] K. M. Jelani, M. H. M. Razip, N. A. Nazri, M. S. M. Sani, and M. Yasar, “Dynamics investigation on motorcycle chassis based on Finite Element (FE) modelling and updating,” in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, Jan. 2019. doi: 10.1088/1757-899X/469/1/012103.
- [14] M. G. Fajrin, H. Widiatoro, D. Zainuddin, J. T. Mesin, and N. Bandung, “Analisis Elemen Hingga Bagian Penekuk pada Mesin Pembuat Begel Baja Tulangan 8 mm.”
- [15] R. Setiawan, D. Sugiyanto, and ari Daryus, “Analysis of Strength Simulation and Frame Fabrication of Electric Motorcycle Vehicle,” *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, vol. 8.
- [16] D. One Mulyaningtyas, A. Budi Sulisty, A. Devi Dwipayana Teknologi Otomotif, P. Transportasi Darat Bali, and J. Cempaka Putih, “KAJIAN KEKUATAN MATERIAL PADA CHASSIS PROTOTYPE SEPEDA MOTOR LISTRIK YANG DIRANCANG BANGUN DENGAN DAYA 3000 WATT,” *Jurnal Teknologi Transportasi dan Logistik*, vol. 4, no. 1, 2023.
- [17] M. Farhan Arib, M. Suci Rahayu, R. A. Sidorj, and M. Win Afgani, “Experimental Research Dalam Penelitian Pendidikan,” *Journal Of Social Science Research*, vol. 4, pp. 5497–5511, 2024.
- [18] A. Ilham and H. E. Saputra, “PENGARUH SISTEM INFORMASI MANAJEMEN TERHADAP PENINGKATAN KUALITAS PELAYANAN DI PT. JASARAHARJA PUTRA CABANG BENGKULU,” *Jurnal Professional FIS UNIVED*, vol. 6, no. 1, 2019.
- [19] D. Palermo and F. J. Vecchio, “Simulation of Cyclically Loaded Concrete Structures Based on the Finite-Element Method,” *Journal of Structural Engineering*, vol. 133, no. 5, pp. 728–738, May 2007, doi: 10.1061/(asce)0733-9445(2007)133:5(728).