



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

ARMATUR

: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur

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



Optimasi Jarak dan Sudut Pemasangan Twinshock pada Kendaraan Roda Tiga Disabilitas untuk Meningkatkan Kinerja Struktur Menggunakan Metode FEA

Aditya Wahyu Purnama^{1*}, Rachmad Syarifudin Hidayatullah², Wahyu Dwi Kurniawan³, Soeryanto⁴

^{1, 3, 4} Prodi Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Negeri Surabaya, Jl. Ketintang, Ketintang, Surabaya, Jawa Timur.

² Prodi Pendidikan Vokasional Teknik Otomotif, Universitas Negeri Surabaya, Jl. Ketintang, Ketintang, Surabaya, Jawa Timur.

ARTICLE INFO

Keywords:

design structural
hybrid disability
rear suspension
shock displacement
static structural

ABSTRACT

Safe and independent mobility is essential for people with disabilities. Three-wheeled vehicles modified from conventional motorcycle frames provide an affordable mobility solution; however, modifications to the differential axle and rear twin-shock suspension may affect the frame's structural performance. This study investigates the effect of twin-shock mounting angle and position on the structural performance of a three-wheeled vehicle frame using Finite Element Analysis (FEA). Two frame configurations were evaluated under static loading conditions. The optimized configuration (Model V2), featuring a 30° twin-shock angle and a 30 mm rearward mounting position, reduced the maximum von Mises stress from 148.17 MPa to 121.02 MPa (18.32%) and total deformation from 0.855 mm to 0.387 mm (54.74%), while increasing the safety factor from 1.68 to 2.065 (22.42%) compared with the initial configuration (Model V1). These findings demonstrate that optimizing the twin-shock geometry improves load distribution, structural stiffness, and frame safety, providing a more reliable design for three-wheeled vehicles for people with disabilities.

*Corresponding author: adityawahyu.22064@mhs.unesa.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.24127/armatur.v7i2.11532>

Received 8 May 2026; Received in revised form 29 June 2026; Accepted 6 July 2026

Available online 1 September 2026

Pendahuluan

Mobilitas merupakan kebutuhan mendasar bagi penyandang disabilitas karena berkaitan erat dengan kemandirian, akses terhadap pendidikan, pekerjaan, layanan kesehatan, dan partisipasi sosial. Oleh karena itu, ketersediaan sarana transportasi yang aman, nyaman, dan sesuai dengan kebutuhan pengguna menjadi aspek penting dalam mendukung aktivitas sehari-hari. Salah satu alternatif yang banyak dikembangkan adalah kendaraan roda tiga disabilitas karena memiliki stabilitas yang lebih baik dibandingkan kendaraan roda dua, serta dapat dikembangkan dari platform sepeda motor konvensional yang relatif sederhana dan ekonomis [1].

Salah satu pendekatan dalam pengembangan kendaraan roda tiga adalah memodifikasi rangka sepeda motor konvensional dengan menambahkan sistem gardan diferensial pada poros belakang serta sistem suspensi belakang tipe *twin shock*. Pendekatan ini menawarkan kemudahan fabrikasi, ketersediaan komponen, dan biaya produksi yang lebih rendah [2]. Namun, modifikasi tersebut mengubah konfigurasi struktur rangka, khususnya pada jalur pembebanan, distribusi gaya, dan titik tumpu suspensi, sehingga berpotensi memengaruhi kinerja struktural kendaraan.

Perubahan konfigurasi tersebut menimbulkan tantangan dalam menentukan geometri pemasangan *twin shock*. Posisi *mounting* dan sudut pemasangan yang kurang tepat dapat menyebabkan distribusi beban menjadi tidak merata, meningkatkan konsentrasi tegangan pada area kritis, memperbesar deformasi, serta menurunkan faktor keamanan rangka [3]. Permasalahan utama dalam pengembangan kendaraan roda tiga hasil modifikasi adalah belum diketahuinya konfigurasi sudut dan posisi *mounting twin shock* yang mampu menghasilkan respons struktural yang optimal. Berdasarkan permasalahan tersebut, pertanyaan penelitian yang diajukan adalah : bagaimana pengaruh variasi sudut dan posisi *mounting twin shock* terhadap distribusi tegangan, deformasi, dan

faktor keamanan rangka kendaraan roda tiga disabilitas?.

Berbagai penelitian sebelumnya telah membahas analisis kekuatan rangka kendaraan roda tiga, evaluasi sistem suspensi, serta optimasi komponen kendaraan menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA) [1], [4]. Selain itu, beberapa penelitian juga mengkaji pengaruh geometri sistem suspensi belakang terhadap performa struktural maupun karakteristik dinamik kendaraan. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa metode FEA mampu memprediksi distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan secara efektif sebelum proses pembuatan prototipe sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam proses perancangan struktur kendaraan [5], [8], [9].

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada analisis kekuatan rangka secara global, evaluasi komponen suspensi secara terpisah, atau optimasi geometri suspensi pada kendaraan konvensional. Hingga saat ini masih sangat terbatas penelitian yang secara khusus menganalisis pengaruh kombinasi variasi sudut dan posisi *mounting twin shock* terhadap respons struktural rangka kendaraan roda tiga disabilitas hasil modifikasi dari sepeda motor konvensional yang dilengkapi sistem gardan diferensial. Padahal, kedua parameter tersebut secara langsung memengaruhi jalur distribusi beban pada area *housing* gardan,udukan suspensi, dan rangka belakang yang merupakan lokasi kritis terjadinya konsentrasi tegangan.

Berdasarkan celah penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi sudut dan posisi *mounting twin shock* terhadap distribusi tegangan *von Mises*, deformasi total, dan faktor keamanan rangka kendaraan roda tiga disabilitas menggunakan metode FEA. Kebaruan penelitian ini terletak pada optimasi kombinasi sudut pemasangan dan posisi *mounting twin shock* berbasis FEA untuk meningkatkan kinerja struktural rangka

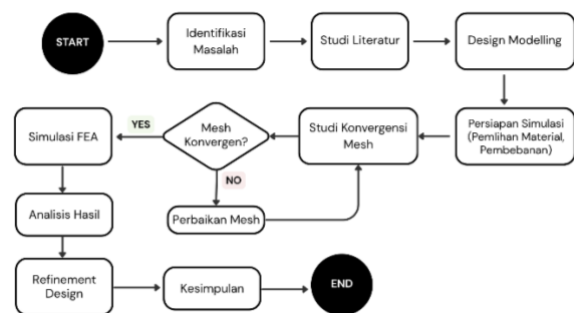
kendaraan roda tiga hasil modifikasi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam pengembangan desain kendaraan disabilitas yang lebih aman, efisien, dan layak diproduksi.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Design by Research* (DBR), yaitu pendekatan perancangan berbasis riset yang menempatkan desain sebagai proses utama dalam menghasilkan solusi teknis sekaligus pengetahuan desain. Pendekatan DBR dipilih karena penelitian ini berorientasi pada pengembangan desain rangka dan konfigurasi suspensi, bukan hanya pada pengukuran fenomena [8]. Objek penelitian berupa kendaraan roda tiga disabilitas hasil modifikasi dari rangka kendaraan konvensional roda dua dengan tambahan gardan diferensial dan suspensi belakang dengan tipe *twin shock*. Secara konseptual, pendekatan ini sejalan dengan prinsip *design based research* dan *research by design* yang menekankan pada proses secara sistematis antara analisis, desain, evaluasi, dan refleksi untuk menghasilkan solusi yang lebih tepat terhadap permasalahan nyata [9]. Selain itu, metode simulasi rekayasa berbasis *Finite Element Analysis* juga dipilih karena metode ini memungkinkan kemudahan dalam proses evaluasi respon struktur dan perbaikan desain yang dilakukan secara bertahap, sehingga potensi kegagalan struktur dapat diidentifikasi sejak tahap perancangan sebelum prototipe dibuat [6], [7].

Alur Penelitian. Alur penelitian pada studi ini diawali dengan tahap identifikasi masalah untuk merumuskan permasalahan utama yang berkaitan dengan pengaruh variasi jarak dan sudut pemasangan *twin shock* terhadap kekuatan struktur rangka kendaraan roda tiga disabilitas. Tahap selanjutnya adalah studi literatur yang bertujuan untuk memperoleh landasan teoritis serta hasil penelitian terdahulu sebagai dasar dalam penyusunan model penelitian. Selanjutnya dilakukan tahap *modelling design* dengan membangun

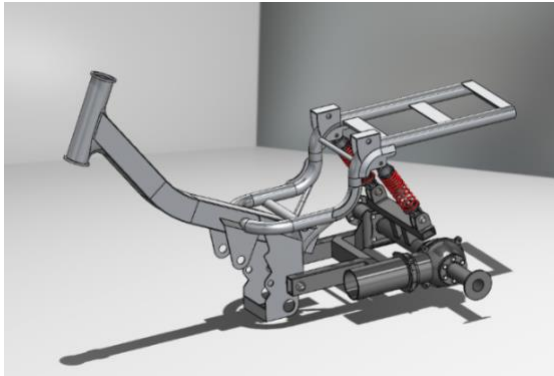
model rangka modifikasi dengan bantuan *software* SolidWorks 2022 yang dilanjutkan dengan pemilihan material dan proses simulasi. Sebelum tahap simulasi, *mesh convergence* dilakukan guna memvalidasi hasil simulasi model agar hasil simulasi konvergen dan stabil. Tahap simulasi dilakukan menggunakan bantuan *software* ANSYS Workbench 2022 R2. Setelah simulasi dinyatakan aman dan tidak mengalami kegagalan struktur selama pembebanan berlangsung, maka tahap selanjutnya adalah *refinement design*, yakni memilih konfigurasi terbaik sebagai rekomendasi desain akhir. Siklus ini mencerminkan prinsip DBR yang dimana desain tidak dianggap final sebelum dievaluasi dan diperbaiki berdasarkan bukti analitis [10].



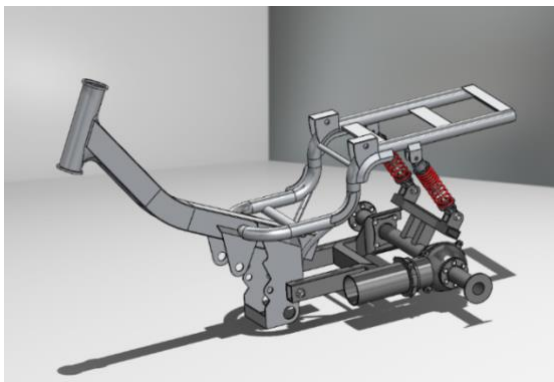
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Modelling. Model penelitian berupa rangka kendaraan roda tiga disabilitas yang dikembangkan dari rangka sepeda motor roda dua konvensional yang telah dimodifikasi dengan penambahan sistem gardan diferensial pada poros belakang dan sistem suspensi belakang tipe *twin shock*. Pada konfigurasi ini, *twin shock* dipasang pada rangka kendaraan dan dihubungkan dengan dudukan pada *housing* gardan (*axle housing*), sehingga beban dari roda belakang dapat diteruskan ke rangka kendaraan. Struktur rangka yang dianalisis menggunakan tipe *backbone chassis* dengan diameter pipa 25,4 mm dan ketebalan material 1,5 mm. Geometri rangka tersebut dipilih karena merepresentasikan konfigurasi aktual kendaraan hasil modifikasi yang digunakan sebagai objek penelitian. Penelitian ini menggunakan dua

variasi konfigurasi *twin shock* sebagai objek simulasi. Gambar 2 menyajikan model *twin shock* V1 sebagai konfigurasi awal dengan sudut pemasangan 20° dan posisi *mounting* standar, sedangkan Gambar 3 menunjukkan model *twin shock* V2 dengan sudut pemasangan 30° dan posisi *mounting* yang digeser ke belakang sejauh 30 mm sebagai konfigurasi hasil modifikasi.



Gambar 2. Model *Twin Shock* V1



Gambar 3. Model *Twin Shock* V2

Pemilihan kedua variasi didasarkan pada pertimbangan bahwa perubahan sudut dan posisi titik pemasangan *twin shock* akan mengubah jalur penyaluran beban dari gardan ke rangka, sehingga berpotensi mempengaruhi distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan struktur. Dasar ini diperkuat oleh penelitian Winarno dan Marlina, 2023 yang menyatakan bahwa pada sistem *twin shock*, bentuk dan lokasi tumpuan pada *swing arm* memengaruhi getaran yang timbul serta berdampak pada kenyamanan dan keselamatan, sehingga perubahan posisiudukan suspensi dapat mengubah respon struktur belakang kendaraan [11]. Dengan

demikian, dua variasi model pada penelitian ini dipilih sebagai representasi konfigurasi desain awal dan desain modifikasi yang masih realistis secara konstruktif, sehingga pengaruh perubahan geometri pemasangan *twin shock* terhadap respons struktural rangka dapat dianalisis secara komparatif.

Material. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah *Structural Steel* yang tersedia pada pustaka *Engineering Data* di ANSYS Workbench. Material ini merupakan material generik (*generic structural steel*) yang memiliki sifat mekanik dengan *yield strength* sebesar 250 MPa, *ultimate tensile strength* sebesar 460 MPa, dan modulus elastisitas sebesar 200 GPa. Nilai-nilai tersebut berada pada kisaran sifat mekanik baja struktural karbon rendah yang umum digunakan pada konstruksi rangka kendaraan, sehingga dinilai representatif untuk analisis struktur elastis. Hal ini sejalan dengan penelitian *Optimization of Three Wheeler Chassis by Linear Static Analysis* yang menggunakan material *cold rolled steel* IS513 dengan *yield strength* sebesar 250 MPa pada analisis tegangan statik *chassis* kendaraan roda tiga [12]. Selain itu, penelitian pada rangka sepeda motor di industri otomotif Indonesia menunjukkan bahwa prototipe *frame* berbahan pipa STAM 390 dengan *yield strength* sebesar 235 MPa juga memenuhi kriteria keamanan karena tegangan hasil simulasi masih berada di bawah batas luluh material [13]. Oleh karena itu, penggunaan material *Structural Steel* pada penelitian ini dinilai cukup representatif untuk menggambarkan perilaku elastis rangka kendaraan roda tiga disabilitas hasil modifikasi. Properti mekanik material yang digunakan dalam simulasi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data properti material

<i>Structural Steel</i>		
<i>Property</i>	<i>Value</i>	<i>Unit</i>
<i>Density</i>	7850	kg/m ³
<i>Yield Strength</i>	250	MPa
<i>Tensile Ultimate Strength</i>	460	MPa

<i>Young's Modulus</i>	200	GPa
<i>Yield Strain</i>	0.0025	mm/mm

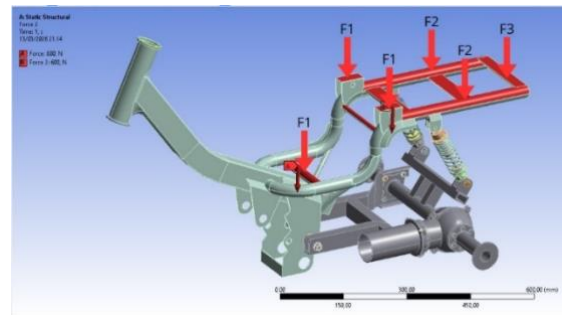
Pembebanan. Pembebanan pada penelitian ini dilakukan secara statik untuk merepresentasikan kondisi kerja utama rangka kendaraan roda tiga disabilitas saat menerima beban operasional. Pemilihan pembebanan statik didasarkan pada tujuan penelitian, yaitu untuk mengevaluasi pengaruh variasi sudut dan posisi pemasangan *twin shock* terhadap respons struktural rangka. Beban yang diberikan pada model terdiri atas beban pengemudi, beban penumpang, dan beban muatan. Beban pengemudi ditetapkan sebesar 60 kg, beban penumpang sebesar 60 kg, dan beban muatan maksimum pada beban keranjang belakang sebesar 50 kg. penetapan beban tersebut disesuaikan dengan fungsi kendaraan yang dirancang untuk membawa dua orang secara berboncengan serta dilengkapi keranjang muatan pada bagian belakang. Alokasi pembebanan ini dapat dilihat pada gambar 4.

Pada analisis *static structural* di ANSYS, pembebanan operasional umumnya direpresentasikan dalam bentuk gaya yang diterapkan pada titik atau area tertentu sesuai distribusi massa aktual komponen dan pengguna, sehingga massa pengemudi, penumpang dan muatan perlu terlebih dahulu dikonversi menjadi gaya agar sesuai dengan kondisi kerja struktur [13]. Besarnya gaya pembebanan dihitung dengan mengonversi massa menjadi gaya menggunakan persamaan :

$$F = m \times g \quad (1)$$

Dengan F adalah gaya beban (N), m adalah massa (kg), dan g adalah percepatan gravitasi adalah 9.81 m/s^2 . Berdasarkan persamaan tersebut, beban pengemudi sebesar 60 kg setara dengan 588.6 N, beban penumpang sebesar 60 kg setara dengan 588.6N, dan beban muatan sebesar 50 kg setara dengan 490.5 N. Dengan demikian, total pembebanan eksternal yang bekerja pada kendaraan adalah sebesar :

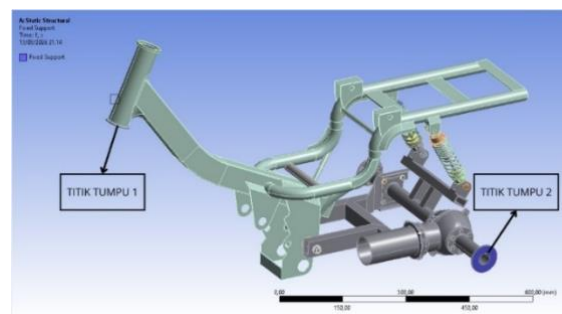
$$F_{\text{total}} = (60+60+50) \times 9.81=1.661.7 \quad (1)$$



Gambar 4. Alokasi Pembebanan

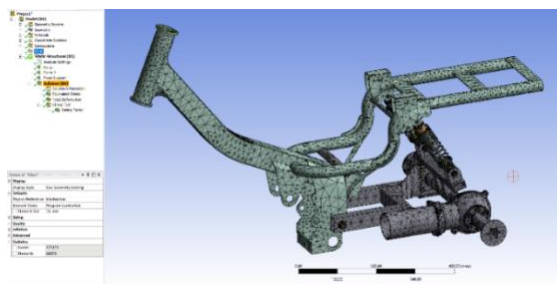
Melalui gambar 4. arah pembebanan diberikan secara vertikal ke bawah mengikuti arah gravitasi. Pembebanan pada setiap variasi model dibuat sama agar hasil simulasi dapat dibandingkan secara langsung, sehingga perbedaan tegangan, deformasi dan faktor keamanan yang diperoleh benar benar disebabkan oleh perubahan geometri pemasangan *twin shock* [14].

Titik Tumpu. Pada penelitian ini, kondisi batas (*boundary condition*) ditetapkan dalam bentuk *fixed support* pada dua lokasi utama rangka. Titik tumpu pertama terletak pada bagian depan rangka, yaitu pada area dudukan kemudi dan roda depan, yang merepresentasikan sebagai penahan beban pada sistem kemudi dan roda depan. Titik tumpu kedua diletakkan pada bagian belakang, tepatnya pada bagian sisi samping gardan sebagai dudukan ban belakang, yang merepresentasikan reaksi tumpuan dari sistem roda belakang terhadap rangka kendaraan. Penetapan kedua titik ini bertujuan agar model simulasi mampu menggambarkan kondisi penahan beban utama pada kendaraan secara lebih mendekati kondisi aktual.

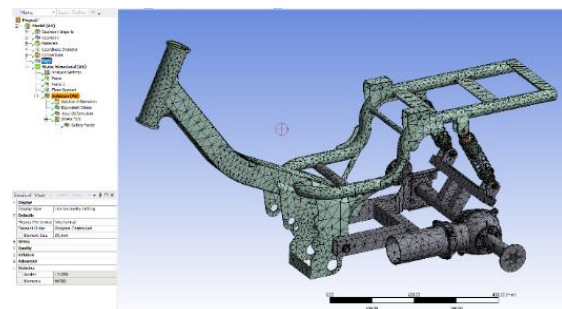


Gambar 5. Titik Tumpu (*Fix Support*)

Studi Konvergensi Mesh. Tahap *mesh convergence* dilakukan untuk memastikan bahwa hasil simulasi *Finite Element Analysis* tidak dipengaruhi secara signifikan oleh ukuran elemen yang digunakan. Dalam analisis numerik, ukuran mesh yang terlalu kasar menyebabkan respons tegangan dan deformasi tidak tertangkap dengan baik. Hal ini didukung dengan sebuah penelitian yang menegaskan bahwa *mesh convergence* penting untuk menjamin reliabilitas hasil desain, terutama ketika validasi eksperimental belum tersedia [15]. Pada studi otomotif pun, uji konvergensi *mesh* umum dilakukan untuk menentukan ukuran elemen yang mampu memberikan hasil yang akurat tanpa beban komputasi yang berlebihan [16].



Gambar 6. Mesh Model Twin Model V1



Gambar 7. Mesh Model twin Model V2

Pada penelitian ini, proses *meshing* dilakukan menggunakan elemen *tetrahedral* karena geometri rangka kendaraan roda tiga disabilitas memiliki bentuk yang cukup kompleks. Tiga variasi ukuran *mesh* yang digunakan yaitu 30 mm, 20 mm, dan 10 mm, pada dua model yang dianalisis yaitu V1 dan V2. Pemilihan variasi ukuran *mesh* ini didasarkan pada proses *mesh* kasar yang dimulai ukuran 30 mm dengan komputasi yang lebih cepat hingga mesh yang paling

halus. Selain itu, ukuran ini dipilih karena ukuran yang paling kecil pada model terutama pada lengkungan sudut sebesar 30 mm, sehingga pemilihan ini diharapkan mendapatkan hasil *mesh* yang lebih akurat. Evaluasi konvergensi *mesh* dilakukan berdasarkan perubahan nilai tegangan maksimum, karena parameter ini paling sensitif terhadap perubahan kerapatan *mesh* pada area kritis struktur [15].

Tabel 2. Mesh Convergence Model V1

Ukuran Mesh (mm)	Nodes	Elemen	Von-Mises (MPa)	Persentase
30	135,423	66,876	115.56	-
20	151,704	75,075	132.04	14.26%
10	241,252	120,389	148.17	12.22%

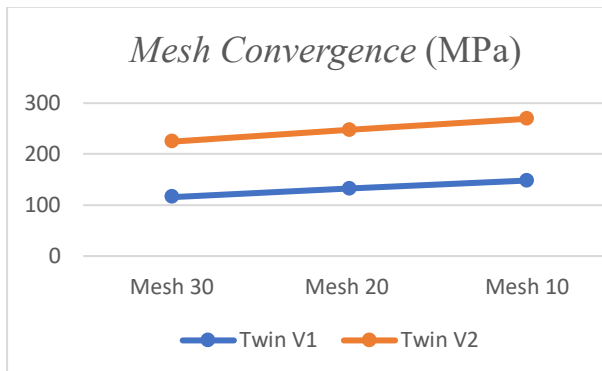
Berdasarkan tabel 2, hasil uji *mesh convergence* pada model V1 menunjukkan bahwa nilai tegangan *von Mises* maksimum meningkat seiring dengan semakin kecilnya ukuran *mesh*. Pada ukuran *mesh* 30 mm, tegangan maksimum adalah 115.56 MPa, kemudian meningkat menjadi 132.04 MPa pada *mesh* 20 mm dengan persentase perubahan adalah 14.26%, dan kembali meningkat menjadi 148.17 MPa pada *mesh* 10 mm dengan persentase perubahan 12.22%. Pola seperti ini juga sejalan dengan studi-studi FEA yang menyatakan bahwa hasil pada *mesh* kasar cenderung belum sepenuhnya menangkap gradien tegangan pada area kritis [17].

Tabel 3. Mesh Convergence Model V2

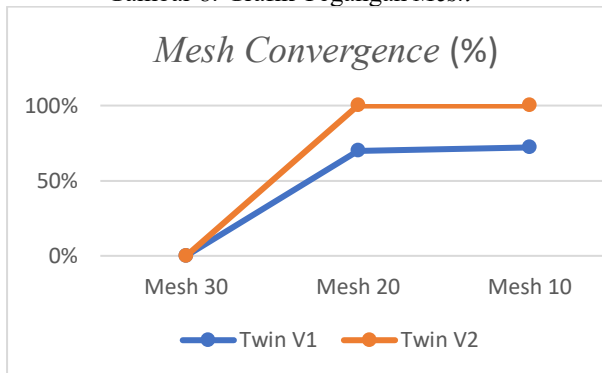
Ukuran Mesh (mm)	Nodes	Elemen	Von-Mises (MPa)	Persentase
30	134,289	66,180	108.85	-
20	150,778	74,483	115.56	6.16%
10	238,289	118,544	121.02	4.72%

Pada model V2, sebagaimana ditunjukkan pada tabel 3, kecenderungan yang sama juga terjadi. Tegangan maksimum pada ukuran *mesh* 30 mm sebesar 108.85 MPa, kemudian meningkat menjadi 115.56 MPa pada *mesh* 20 mm dengan persentase perubahan 6.16% dan meningkat lagi menjadi 121.02 MPa pada *mesh* 10 mm dengan persentase perubahan 4.72%. dibandingkan model V1, perubahan

hasil pada model V2 relatif lebih kecil, yang menunjukkan bahwa respons tegangan pada model ini lebih stabil terhadap perubahan ukuran *mesh*.



Gambar 8. Grafik Tegangan Mesh



Gambar 9. Grafik Persentase Mesh

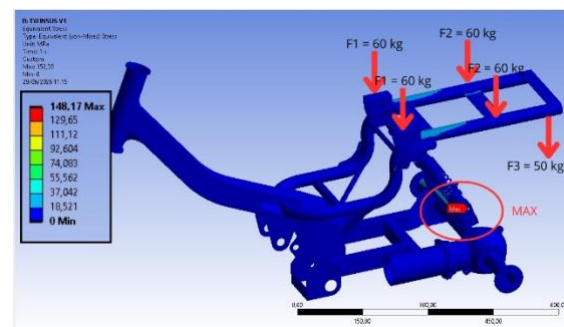
Berdasarkan hasil studi *mesh convergence*, ukuran mesh 10 mm dipilih sebagai mesh utama pada simulasi karena telah menghasilkan respons tegangan yang konvergen dengan tingkat akurasi yang memadai. Meskipun menghasilkan jumlah *nodes* dan elemen yang lebih besar dibandingkan ukuran *mesh* lainnya, ukuran *mesh* ini masih memberikan efisiensi waktu komputasi yang baik sehingga mampu menghasilkan solusi yang andal tanpa meningkatkan biaya komputasi secara signifikan. Oleh karena itu, *mesh* 10 mm dinilai sebagai ukuran yang paling sesuai untuk menganalisis distribusi tegangan pada rangka kendaraan roda tiga disabilitas hasil modifikasi.

Hasil dan Pembahasan

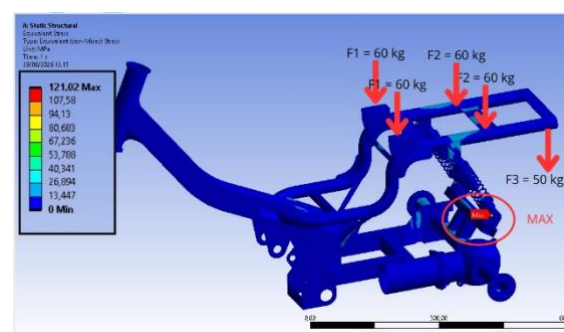
Hasil dan pembahasan pada penelitian ini difokuskan pada evaluasi respons struktural rangka kendaraan roda

tiga disabilitas hasil modifikasi terhadap dua variasi geometri pemasangan *twin shock*, yaitu model V1 dan model V2. Analisis dilakukan dengan meninjau tiga parameter utama, yaitu tegangan *von Mises*, deformasi total, dan faktor keamanan, untuk mengevaluasi pengaruh perubahan geometri pemasangan *twin shock* terhadap respons struktural rangka. Pembahasan disusun secara komparatif agar perbedaan performa antara kedua model dapat diidentifikasi secara kuantitatif dan dijadikan dasar dalam menentukan konfigurasi desain yang paling aman dan optimal.

Von Mises Stress. Analisis tegangan *von Mises* dilakukan untuk mengevaluasi distribusi tegangan pada rangka kendaraan roda tiga disabilitas akibat pembebanan statik. Parameter ini digunakan untuk mengidentifikasi lokasi terjadinya konsentrasi tegangan sekaligus mengevaluasi apakah tegangan yang terjadi masih berada di bawah batas luluh (*yield strength*) material. Gambar 10 menyajikan distribusi tegangan *von Mises* pada model *Twin Shock* V1, sedangkan Gambar 11 menunjukkan distribusi tegangan *von Mises* pada model *Twin Shock* V2.



Gambar 10. Tegangan Von Mises Twin V1



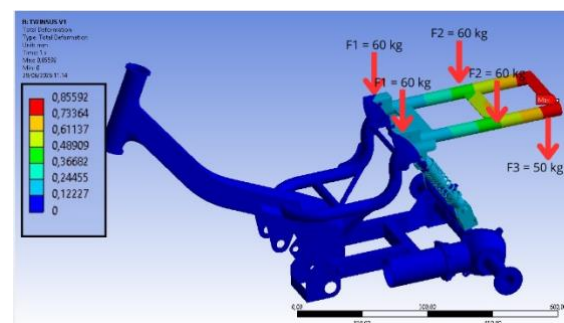
Gambar 11. Tegangan Von Mises Twin V2

Hasil menunjukkan bahwa nilai tegangan *von Mises* maksimum pada model V1 sebesar 148.17 MPa, sedangkan pada model V2 sebesar 121.02 MPa. Dengan demikian, terjadi penurunan tegangan maksimum sebesar 27.15 MPa atau sekitar 18.32% pada model V2 dibandingkan model V1. Jika dibandingkan terhadap *yield strength* material *structural steel* sebesar 250 MPa, maka peningkatan tegangan pada model V1 mencapai 59.27%, sedangkan pada model V2 sebesar 48.41%. Hasil ini menunjukkan bahwa kedua model masih berada di bawah batas luluh material, namun model V2 memiliki margin keamanan yang lebih baik karena bekerja pada tingkat tegangan yang lebih rendah. Nilai tegangan maksimum pada kedua model sama-sama terlokalisasi pada bagian dudukan bawah *twin shock* yang terhubung dengan gardan dan dudukan roda belakang, sehingga area tersebut dapat diidentifikasi sebagai titik kritis struktur akibat transfer beban dari suspensi belakang ke rangka.

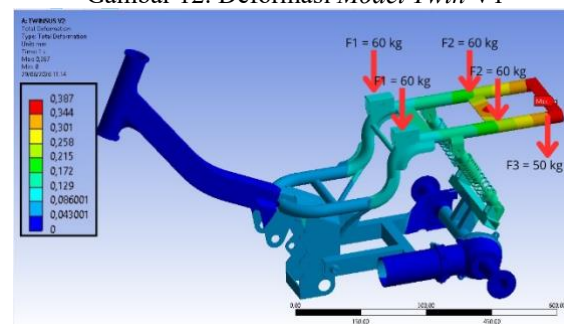
Secara analitik, penurunan tegangan pada model V2 menunjukkan bahwa perubahan geometri pemasangan *twin shock*, yaitu peningkatan sudut 20° menjadi 30° dan pergeseran *mounting* ke belakang sejauh 30 mm, memperbaiki jalur distribusi beban pada bagian belakang rangka. Pada model V1, jalur beban cenderung lebih terkonsentrasi pada dudukan bawah suspensi, sehingga menghasilkan momen lokal dan konsentrasi tegangan yang lebih tinggi. Sebaliknya, pada model V2, perubahan posisi dan sudut *twin shock* menyebabkan gaya reaksi dari gardan dan suspensi lebih terdistribusi ke elemen rangka belakang, sehingga konsentrasi tegangan pada area kritis berkurang. Temuan ini sejalan dengan penelitian Sariman, dkk. yang menyatakan bahwa swing arm dan tumpuan *shock absorber* pada sistem *twin shock* merupakan bagian kritis yang harus dianalisis pada pembebanan statik [18].

Deformasi. Analisis deformasi dilakukan untuk mengevaluasi besarnya perpindahan (displacement) yang terjadi

pada rangka kendaraan akibat pembebanan statik. Parameter deformasi digunakan untuk menilai tingkat kekakuan struktur (structural stiffness), di mana deformasi yang lebih kecil menunjukkan bahwa rangka memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mempertahankan bentuknya saat menerima beban. Gambar 12 menyajikan distribusi deformasi total pada model *Twin Shock* V1, sedangkan Gambar 13 menunjukkan distribusi deformasi total pada model *Twin Shock* V2. Perbedaan distribusi warna pada kedua gambar memperlihatkan pengaruh variasi sudut dan posisi pemasangan *twin shock* terhadap tingkat deformasi rangka.



Gambar 12. Deformasi Model Twin V1



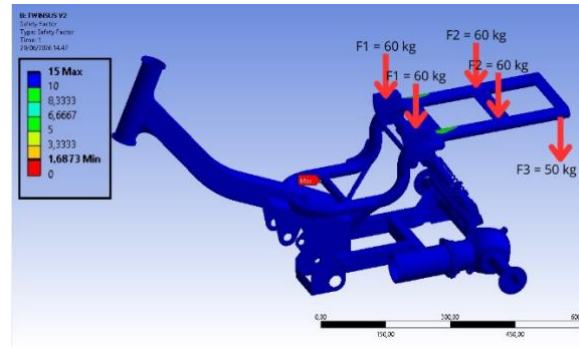
Gambar 13. Deformasi Model Twin V2

Berdasarkan hasil simulasi, nilai deformasi total maksimum pada model V1 adalah 0,855 mm, sedangkan pada model V2 sebesar 0,387 mm. Dengan demikian, terjadi penurunan deformasi pada model V2 sebesar 0,468 mm atau sekitar 54,74% dibandingkan model V1. Pada kedua model, lokasi deformasi maksimum terjadi pada bagian ujung belakang rangka penyangga, yaitu area yang paling jauh dari titik tumpu depan maupun belakang. Kondisi ini menunjukkan bahwa bagian penyangga muatan belakang berperan sebagai daerah overhang yang mengalami momen lentur

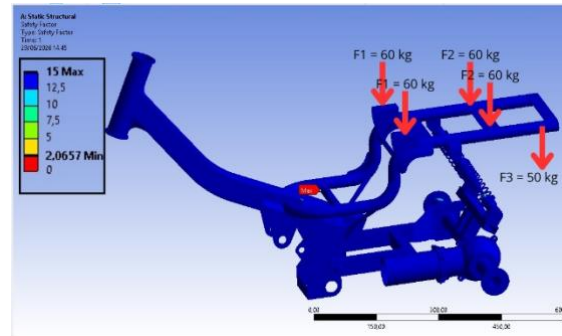
terbesar akibat kombinasi pembebanan, yaitu beban pengemudi, penumpang, serta muatan pada bagian belakang. Hasil ini mengindikasikan bahwa modifikasi pada model V2 mampu meningkatkan kekakuan struktur sehingga respons deformasi akibat pembebanan dapat diminimalkan.

Secara analitik, perbedaan deformasi ini menunjukkan bahwa model V2 memiliki kekakuan global yang lebih baik dibandingkan model V1. Pergeseran posisi mounting *twin shock* ke belakang dan perubahan sudut suspensi memperbaiki arah penyaluran beban dari rangka atas menuju sistem suspensi belakang, sehingga lendutan pada bagian penyangga muatan dapat ditekan secara signifikan. Pada model V1, beban vertikal dari penumpang dan muatan cenderung menghasilkan momen lentur yang lebih besar pada rangka belakang, sehingga deformasi yang terjadi lebih tinggi. Sebaliknya, pada model V2 distribusi gaya menjadi lebih efisien, sehingga rangka belakang bekerja dengan kekakuan yang lebih baik. Temuan ini didukung oleh studi analisis rangka *scooter* yang menyatakan bahwa parameter tegangan dan deformasi merupakan indikator utama untuk mengidentifikasi area kritis dan menilai kekakuan struktur hasil simulasi FEA [19].

Faktor Keamanan. Analisis faktor keamanan dilakukan untuk mengevaluasi tingkat keamanan struktur rangka terhadap pembebanan statik berdasarkan perbandingan antara *yield strength* material dan tegangan kerja maksimum. Nilai FOS yang lebih tinggi menunjukkan margin keamanan struktur yang lebih baik. Gambar 14 menyajikan distribusi faktor keamanan pada model *Twin Shock* V1, sedangkan Gambar 15 menunjukkan distribusi faktor keamanan pada model *Twin Shock* V2 sebagai dasar untuk membandingkan tingkat keamanan kedua konfigurasi.



Gambar 14. Faktor Keamanan Model Twin V1



Gambar 15. Faktor Keamanan Model Twin V2

Nilai faktor keamanan minimum hasil simulasi pada model V1 adalah 1.687, sedangkan pada model V2 sebesar 2.065. Dengan demikian, terjadi peningkatan faktor keamanan sekitar 22.42% pada model V2 dibandingkan model V1. Kedua model masih dapat dikategorikan aman karena nilai faktor keamanan berada di atas satu, namun model V2 memiliki cadangan kekuatan yang lebih tinggi terhadap beban statik yang diberikan. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi geometri pada model V2 lebih efektif dalam menurunkan tegangan kerja dan meningkatkan kemampuan struktur dalam menahan pembebanan.

Secara analitik, peningkatan faktor keamanan pada model V2 berkorelasi langsung dengan penurunan tegangan maksimum yang terjadi pada area dudukan bawah *twin shock*. Karena faktor keamanan sangat dipengaruhi oleh perbandingan antara kekuatan material dan tegangan kerja aktual, maka desain dengan tegangan kerja yang lebih rendah akan menghasilkan cadangan kekuatan yang lebih besar. Pada penelitian ini, hal tersebut menandakan bahwa modifikasi geometri *twin shock* pada model V2 memberikan pengaruh positif terhadap perilaku mekanik rangka belakang,

terutama pada area yang menerima transfer beban dari gardan dan suspensi. Hasil ini sejalan dengan studi pada *suspension bracket* kendaraan yang menggunakan parameter *factor of safety*, deformasi, dan tegangan ekuivalen sebagai dasar evaluasi desain, dan menunjukkan bahwa desain dengan faktor keamanan lebih tinggi memiliki tingkat keandalan struktur yang lebih baik [20].

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis struktur menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA), variasi geometri pemasangan *twin shock* terbukti memengaruhi respons struktural rangka kendaraan roda tiga disabilitas berbasis rangka konvensional modifikasi. Hasil *mesh convergence* menunjukkan bahwa ukuran *mesh* 10 mm dengan elemen *tetrahedral* dipilih sebagai *mesh* utama karena telah menghasilkan nilai tegangan yang konvergen dengan tingkat akurasi yang memadai. Selain itu, ukuran *mesh* tersebut memberikan keseimbangan yang baik antara ketelitian hasil simulasi dan efisiensi waktu komputasi, sehingga mampu menghasilkan solusi yang andal tanpa meningkatkan biaya komputasi secara signifikan..

Pada model V1, diperoleh nilai tegangan *von Mises* maksimum sebesar 148.17 MPa, deformasi total maksimum sebesar 0.855 mm, dan faktor keamanan minimum sebesar 1.687. Tegangan maksimum terlokalisasi pada dudukan bawah *twin shock* yang terhubung dengan gardan, sedangkan deformasi maksimum terjadi pada ujung belakang rangka penyangga. Hasil ini menunjukkan bahwa konfigurasi *twin shock* dengan sudut 20° dan posisi *mounting* awal masih mampu menahan pembebanan statik, tetapi area dudukan suspensi belakang menjadi titik kritis yang paling menentukan keamanan struktur.

Pada model V2, diperoleh nilai tegangan *von Mises* maksimum sebesar 121.02 MPa, deformasi maksimum 0.387 mm, dan faktor keamanan 2.065.

Dibandingkan dengan model V1, model V2 mampu menurunkan tegangan sebesar 18.32%, menurunkan deformasi sebesar 54.74%, dan meningkatkan faktor keamanan sebesar 22.42%. Hasil ini menunjukkan bahwa perubahan sudut *twin shock* menjadi 30° dan pergeseran *mounting* ke belakang sejauh 30 mm menghasilkan distribusi beban yang lebih baik, menurunkan konsentrasi tegangan pada area kritis serta meningkatkan kekakuan dan keamanan struktur rangka.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa model V2 merupakan konfigurasi yang lebih optimal dibandingkan model V1 untuk diterapkan pada kendaraan roda tiga disabilitas hasil modifikasi. Konfigurasi ini memberikan respons struktural yang lebih aman, lebih kaku, dan lebih efektif dalam menyalurkan beban kerja pada rangka kendaraan. Penelitian ini menunjukkan bahwa perubahan geometri pemasangan *twin shock* tidak hanya memengaruhi sistem suspensi, tetapi juga berpengaruh langsung terhadap tegangan, deformasi, dan faktor keamanan struktur secara keseluruhan.

Berdasarkan hasil tersebut, direkomendasikan agar konfigurasi *twin shock* pada kendaraan roda tiga disabilitas hasil modifikasi menggunakan sudut pemasangan 30° dengan pergeseran *mounting* ke belakang sejauh 30 mm dari posisi awal. Untuk penelitian selanjutnya, analisis dapat dikembangkan dengan mempertimbangkan pembebanan dinamik, pengaruh getaran, kondisi jalan, serta validasi eksperimental agar hasil simulasi numerik dapat dibandingkan dengan kondisi aktual.

Ucapan terimakasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada dosen pengampu yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan masukan selama proses penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada pengelola dan rekan laboratorium yang telah memfasilitasi selama pelaksanaan penelitian, baik dalam penyediaan sarana,

prasarana, maupun dukungan teknis, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

Referensi

- [1] H. Pratama, F. Hilmy, R. Mahendra Sulistiyo, and X. Salahudin, "Design Analysis of a Disabled Tricycle Electric Bike Frame Using Finite Element Analysis (Fea)," *Journal of Mechanical Engineering*, vol. 14, no. 01, pp. 1–10, 2025, doi: 10.22441/jtmv14i1.31483.
- [2] M. Dhamar Mustaqim, D. Teguh Santoso, U. Singaperbangsa Karawang, and P. Korespondensi, "Design and Structural Evaluation of an Electric Motorcycle Frame Using FEA," *Journal of Mechanical and Electrical Technology*, vol. 04, no. 03, 2025.
- [3] N. Pervan, M. Trobradovic, A. J. Muminovic, H. Lulic, S. Metovic, and V. Hadziabdic, "Effects of Geometry Design Parameters on the Fatigue Failure of a Drive Axle Housing using Finite Element Analysis," *Engineering, Technology and Applied Science Research*, vol. 14, no. 1, pp. 12567–12573, Feb. 2024, doi: 10.48084/etasr.6467.
- [4] H. M. Dai, B. H. Chen, C. M. Hsu, C. L. Lin, and C. F. Yang, "Analyses of Full-load, Modal, and Fatigue Life of Electric Motorcycle Frame Using Finite Element Software ANSYS," *Sensors and Materials*, vol. 35, no. 8, pp. 2817–2829, 2023, doi: 10.18494/SAM4461.
- [5] S. Corbera Caraballo and R. Alvarez Fernandez, "A performance-based design framework for enhancing decision-making at the conceptual phase of a motorcycle rear suspension development," *Optimization and Engineering*, vol. 21, no. 4, pp. 1283–1317, 2020, doi: 10.1007/s11081-019-09475-w.
- [6] I. Widiyanto, S. Sutimin, F. B. Laksono, and A. R. Prabowo, "Structural assessment of monocoque frame construction using finite element analysis: A study case on a designed vehicle chassis referring to ford GT40," in *Procedia Structural Integrity*, Elsevier B.V., 2021, pp. 27–34. doi: 10.1016/j.prostr.2021.10.005.
- [7] T. Islam, M. W. Uddin, and R. Uddin, "Finite element analysis of motorcycle suspension system stability using different materials," *Journal of Engineering Research (Kuwait)*, 2024, doi: 10.1016/j.jer.2024.01.020.
- [8] R. Roggema, "Research by Design: Proposition for a Methodological Approach," *Urban Science*, vol. 1, no. 1, p. 2, Sep. 2016, doi: 10.3390/urbansci1010002.
- [9] L. Tinoca, J. Piedade, S. Santos, A. Pedro, and S. Gomes, "Design-Based Research in the Educational Field: A Systematic Literature Review," Jun. 01, 2022, MDPI. doi: 10.3390/educsci12060410.
- [10] Lucienne TM Blessing and Amaresh Chakrabarti, "DRM: A Design Reseach Methodology," in *DRM, a Design Research Methodology*, 1st ed., L. T. M. Blessing and A. Chakrabarti, Eds., London: Springer London, 2009, pp. 13–42. doi: 10.1007/978-1-84882-587-1_2.
- [11] I. Winarno and E. Marliana, "Analisis Karakteristik Struktur Material Swing Arm Terhadap Respon Getaran Acak Pada Sepeda Motor Honda Supra X 125r Menggunakan Metode Elemen Hingga," *Elemen : Jurnal Teknik Mesin*, vol. 10, no. 1, pp. 47–56, Jun. 2023, doi: 10.34128/je.v10i1.227.
- [12] R. V Patil, P. R. Lande, Y. P. Reddy, and A. V Sahasrabudhe, "Optimization of Three Wheeler Chassis by Linear Static Analysis," *Mater. Today Proc.*, vol. 4, no. 8, pp. 8806–8815, 2017, doi:

- <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.07.231>.
- [13] D. Setyanto, A. Dwinanda Soewono, A. Wibowo, and R. T. Liong, "Design of a Motorcycle Frame at an Automotive Company in Indonesia," 2020. [Online]. Available: <http://www.irphouse.com>
- [14] I. A. Majid, F. B. Laksono, H. Suryanto, and A. R. Prabowo, "Structural assessment of ladder frame chassis using FE analysis: A designed construction referring to ford AC cobra," in *Procedia Structural Integrity*, Elsevier B.V., 2021, pp. 35–42. doi: 10.1016/j.prostr.2021.10.006.
- [15] N. Nur Ain Azrin Abdullah *et al.*, "Mesh Convergence Study of Three-Dimensional Femoral Bone and Stem Models: A Finite Element Method," 2025.
- [16] Y. Sanjaya, A. R. Prabowo, F. Imaduddin, and N. A. B. Nordin, "Design and analysis of mesh size subjected to wheel rim convergence using finite element method," in *Procedia Structural Integrity*, Elsevier B.V., 2021, pp. 51–58. doi: 10.1016/j.prostr.2021.10.008.
- [17] S. K. Chatha, M. S. Ali, M. N. Butt, and M. Usman, "Investigating Mesh Sensitivity in Linear and Non-Linear Buckling Analysis of Composite Cylindrical Shells," in *Materials Proceedings*, MDPI AG, Aug. 2025, p. 8. doi: 10.3390/materials2025023008.
- [18] F. Sariman, Cipto, K. A. Rahangmetan, and S. Asmal, "Analysis of static characteristics of a motorcycle swing arm of a twin-shock suspension type using the finite element method," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Institute of Physics Publishing, Nov. 2019. doi: 10.1088/1755-1315/343/1/012165.
- [19] E. Natarajan, "Structural and modal Analysis of Scooter Frame for Design Improvement," 2019. [Online]. Available: www.sciencedirect.comwww.materialstoday.com/proceedings
- [20] R. Zaidani and M. Mas'ud, "Stress Analysis Of Suspension Brackets On A 12-Meter Electric Bus Using The Finite Element Method," *Jurnal Media Mesin*, vol. 24, no. 2, pp. 1–11, Feb. 2024, doi: <https://doi.org/10.23917/mesin.v24i2.22368>.