

PENGEMBANGAN FRAME SEPEDA MOTOR HYBRID DISABILITAS MENGGUNAKAN METODE FEA

Aditya Wahyu Purnama

S1 Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: adityawahyu.22064@mhs.unesa.ac.id

Rachmad Syarifudin Hidayatullah

S1 Pendidikan Vokasional Teknologi Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: rachmadhidayatullah@unesa.ac.id

Abstrak

Pengembangan sepeda motor hybrid bagi penyandang disabilitas memerlukan desain rangka dengan kekuatan dan ketahanan yang memadai. Penelitian ini bertujuan mengembangkan frame sepeda motor hybrid disabilitas yang aman dan stabil, menggunakan pendekatan Finite Element Analysis. Metode yang digunakan meliputi permodelan tiga dimensi, analisis statik structural, dan analisis fatigue untuk memprediksi umur lelah akibat pembebanan berulang. Beban statik ditentukan berdasarkan berat pengendara dan komponen kendaraan, sedangkan analisis fatigue diasumsikan pada penggunaan harian 200 km dengan kecepatan rata-rata 40 km/jam dan frekuensi pembebanan 500 siklus/hari. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi twinsuspensi menghasilkan tegangan maksimum 90.87 MPa dan deformasi 0.38 mm dengan FOS 2.75, lebih rendah dibandingkan monosuspensi sebesar 138.4 MPa dengan deformasi 1.3 mm dengan FOS 1.80. Analisis fatigue menunjukkan umur lelah twinsuspensi sebesar 2,212,900 siklus dengan umur pakai selama 12 tahun lebih dari 44 hari, jauh lebih tinggi dibandingkan system monosuspensi sebesar 296,840 siklus. Hasil ini menunjukkan bahwa rekomendasi desain frame dengan konfigurasi twinsuspensi memiliki kinerja structural dan ketahanan jangka panjang yang lebih baik.

Kata Kunci: Analisis Elemen Hingga; Analisis Kelelahan; Frame Sepeda Motor; Kekuatan Struktur; Sistem Suspensi

Abstract

The development of hybrid motorcycles for people with disabilities requires a frame design with adequate strength and durability. This study aims to develop a safe and stable hybrid motorcycle frame for people with disabilities, using the Finite Element Analysis approach. The methods used include three-dimensional modeling, static structural analysis, and fatigue analysis to predict fatigue life due to repeated loading. Static loads are determined based on the weight of the rider and vehicle components, while fatigue analysis is assumed for daily use of 200 km at an average speed of 40 km/h and a loading frequency of 500 cycles/day. Simulation results show that the twin-suspension configuration produces a maximum stress of 90.87 MPa and deformation of 0.38 mm with a FOS of 2.75, lower than the monosuspension at 138.4 MPa with deformation of 1.3 mm and a FOS of 1.80. Fatigue analysis shows the fatigue life of the twin suspension to be 2,212,900 cycles with a service life of over 12 years and 44 days, significantly higher than the monosuspension system at 296,840 cycles. These results indicate that the recommended frame design with a twin-suspension configuration offers superior structural performance and long-term durability.

Keywords: Fatigue Analysis; Finite Element Analysis; Motorcycle Frame; Static Structural; Suspension System

PENDAHULUAN

Transportasi merupakan elemen fundamental dalam mendukung mobilitas, produktivitas, serta kemandirian individu dalam kehidupan sehari-hari. Bagi penyandang disabilitas, akses terhadap sarana transportasi yang aman dan mudah dioperasikan menjadi faktor penting dalam menunjang partisipasi sosial dan ekonomi. Kendaraan yang tidak dirancang secara inklusif dapat membatasi ruang gerak serta meningkatkan resiko kecelakaan (Arianto & Apsari, 2023). Oleh karena itu, pengembangan sistem transportasi yang adaptif dan ramah disabilitas tidak hanya menjadi isu sosial, tetapi juga tantangan rekayasa teknik yang memerlukan pendekatan desain berbasis keselamatan dan keandalan struktural.

Salah satu solusi yang banyak dikembangkan untuk meningkatkan stabilitas kendaraan bagi penyandang

disabilitas adalah modifikasi sepeda motor roda dua menjadi kendaraan roda tiga. Konfigurasi roda tiga menawarkan kestabilan lateral yang lebih baik dibandingkan roda dua, terutama saat kendaraan berhenti atau melaju pada kecepatan rendah (Staňko-Pajak dkk., 2026). Namun demikian, modifikasi tersebut menyebabkan perubahan distribusi beban dan karakteristik pembebanan pada rangka kendaraan. Penambahan struktur belakang serta integrasi sistem gardan diferensial berpotensi menimbulkan konsentrasi tegangan baru yang harus dianalisis secara menyeluruh sebelum kendaraan diimplementasikan secara nyata.

Di sisi lain, perkembangan teknologi otomotif saat ini juga diarahkan pada pengurangan emisi gas buang dan peningkatan efisiensi energi. Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil telah menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan, termasuk peningkatan emisi

karbon dan pencemaran udara (Saarikoski dkk., 2024). Kendaraan listrik menjadi solusi jangka panjang, namun keterbatasan infrastruktur pengisian daya di Indonesia masih menjadi kendala utama. Dalam konteks tersebut, sistem tenaga hibrida dipandang sebagai teknologi transisi yang mampu mengombinasikan mesin pembakaran dalam dengan motor listrik untuk meningkatkan efisiensi sekaligus mengurangi emisi (Veza dkk., 2023).

Implementasi sistem hibrida pada sepeda motor menyebabkan perubahan konfigurasi komponen, termasuk penambahan baterai dan sistem penggerak listrik yang berimplikasi pada peningkatan massa total kendaraan. Kondisi ini secara langsung mempengaruhi beban kerja yang diterima oleh rangka sebagai struktur utama penopang seluruh komponen kendaraan. Rangka berfungsi menahan beban statik berupa berat pengendara dan komponen kendaraan, serta beban dinamis akibat akselerasi, pengereman, dan kondisi jalan. Beban dominan yang bekerja pada rangka umumnya berupa beban lentur dan torsi, yang jika tidak dirancang dengan tepat dapat menyebabkan deformasi berlebih maupun kegagalan struktural (Muhammad dkk., 2025).

Kasus kegagalan rangka pada beberapa sepeda motor produksi massal, seperti insiden patahnya rangka tipe eSAF, menunjukkan bahwa optimasi desain berbasis pengurangan berat (*lightweight design*) tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan keandalan struktural (Ramadina dkk., 2025). Fenomena tersebut menegaskan pentingnya validasi kekuatan rangka melalui pendekatan analisis teknik yang komprehensif sebelum suatu desain diproduksi atau dimodifikasi lebih lanjut. Kegagalan struktural tidak hanya berdampak pada kerusakan mekanis, tetapi juga berpotensi mengancam keselamatan pengguna.

Oleh karena itu, berdasarkan dari permasalahan di atas penelitian ini menawarkan kebaruan berupa desain rangka kendaraan bermotor hibrida bagi penyandang disabilitas menggunakan penambahan gardan diferensial. Studi ini difokuskan pada penguatan rangka yang cocok untuk kendaraan hibrida yang terstandarisasi melalui pendekatan terpadu *Finite Element Analysis* (FEA) yang mencakup analisis statik dan prediksi umur lelah berbasis pembebanan siklik. Penelitian ini tidak hanya mengevaluasi kekuatan awal struktur melalui parameter tegangan, deformasi, dan faktor keamanan, tetapi juga memprediksi ketahanan jangka panjang berdasarkan estimasi umur lelah dalam skenario penggunaan operasional harian.

Dalam bidang rekayasa struktur otomotif, metode *Finite Element Analysis* (FEA) telah banyak digunakan untuk mengevaluasi distribusi tegangan, deformasi, serta faktor keamanan suatu desain rangka kendaraan. Beberapa penelitian terdahulu melaporkan bahwa FEA mampu mengidentifikasi area kritis pada rangka sepeda motor roda dua konvensional di bawah pembebanan statik tertentu (Agrawal dkk., 2026; Nani Mulyaningsih dkk., 2023; Tripathi & Ambikesh, 2021). Studi lain juga mengembangkan analisis kelelahan (*fatigue*) berbasis kurva S-N untuk memprediksi umur pakai struktur akibat pembebanan berulang (Murakami dkk., 2021; Nijssen & Van Delft, 2003). Pendekatan ini dinilai efektif untuk

meminimalkan resiko kegagalan sebelum dilakukan uji eksperimental.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih terbatas pada rangka sepeda motor roda dua standar dan belum secara spesifik membahas kendaraan roda tiga hasil modifikasi untuk penyandang disabilitas. Selain itu, banyak studi hanya berfokus pada analisis statik tanpa mengintegrasikan analisis *fatigue* sebagai parameter ketahanan jangka panjang. Padahal, dalam kondisi operasional nyata, rangka kendaraan mengalami pembebanan siklik secara terus-menerus yang berpotensi menyebabkan kegagalan akibat kelelahan material meskipun tegangan kerja berada di bawah batas luluh.

Di samping itu, kajian yang membandingkan pengaruh konfigurasi sistem suspensi terhadap respons struktural rangka sepeda motor hibrida masih sangat terbatas. Sistem *mono* suspensi dan *twin* suspensi memiliki karakteristik distribusi gaya yang berbeda terhadap rangka, khususnya pada bagian belakang kendaraan (Hegale dkk., 2020). Perbedaan ini berpotensi menghasilkan variasi signifikan pada nilai tegangan ekuivalen, deformasi total, faktor keamanan, serta estimasi umur lelah struktur. Namun hingga saat ini, belum banyak penelitian yang mengkaji secara komparatif kedua konfigurasi tersebut pada kendaraan hibrida roda tiga berbasis kebutuhan disabilitas.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat diidentifikasi adanya celah penelitian berupa kurangnya studi komprehensif yang mengintegrasikan analisis statik struktural dan analisis *fatigue* dalam mengevaluasi rangka sepeda motor hibrida roda tiga bagi penyandang disabilitas. Ketiadaan kajian tersebut menyebabkan belum tersedianya dasar ilmiah yang kuat dalam menentukan konfigurasi suspensi yang paling optimal dari sisi kekuatan dan ketahanan jangka panjang struktur. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan desain rangka kendaraan hibrida yang lebih aman, andal, dan berkelanjutan bagi penyandang disabilitas.

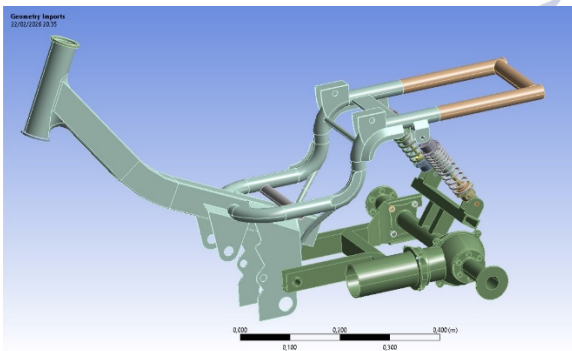
METODE

Penelitian ini menerapkan metode *research and development* (R&D) yang difokuskan pada proses pengembangan sekaligus evaluasi desain rangka sepeda motor hibrida bagi penyandang disabilitas dengan menggunakan pendekatan simulasi numerik. Metode R&D dipilih karena penelitian ini tidak hanya menganalisis objek yang sudah ada, melainkan menghasilkan pengembangan desain *frame* yang dievaluasi berdasarkan kekuatan struktur. Dalam proses evaluasi ini peneliti menggunakan simulasi numerik melalui metode *Finite Element Analysis* (FEA). Pendekatan penelitian dan pengembangan (R&D) dalam bidang rekayasa sering memanfaatkan simulasi numerik sebagai *virtual prototyping* untuk mempercepat desain, mengevaluasi performa, dan melakukan optimasi sebelum pembuatan prototipe fisik (Ralf Döring dkk., 2022). Simulasi numerik telah digunakan pada beberapa penelitian untuk menguji kekuatan struktur rangka kendaraan sebagai solusi yang lebih efisien dalam proses pengujian dibandingkan dengan pengujian eksperimental

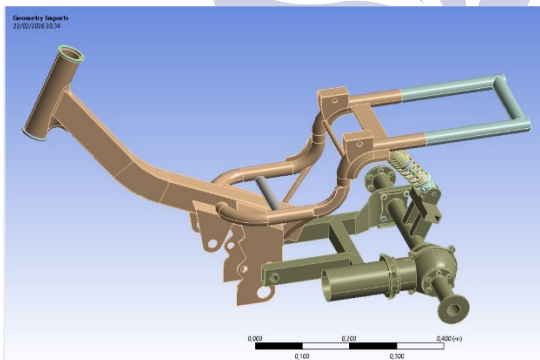
secara fisik yang mahal dan memakan waktu (Pramono dkk., 2020).

Modelling

Proses *modelling* menggunakan bantuan perangkat lunak Solidworks kemudian untuk proses analisis menggunakan *software* Ansys Workbench 2022 R1. *Software* ini dipilih dalam penelitian ini karena keduanya merupakan perangkat lunak CAD/CAE terintegrasi yang umum digunakan di industri dan akademik untuk perancangan dan analisis struktur (Anabel Reyes Ramirez dkk., 2025). Proses *modelling* menggunakan 2 konfigurasi tipe suspensi yaitu tipe *twin shock* yang dipasang pada bagian samping kanan kiri dan tipe *mono shock* yang diletakkan dibagian tengah kendaraan.



Gambar 1. Model 3D Twin suspensi



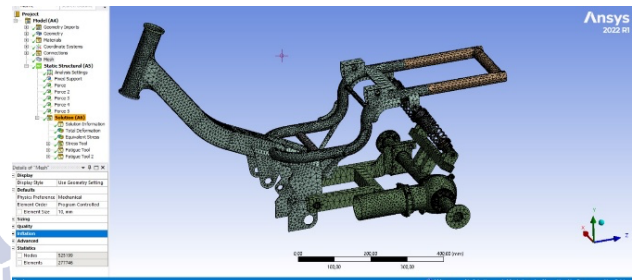
Gambar 2. Model 3D Mono suspensi

Rangka yang digunakan pada penelitian ini menggunakan rangka jenis *backbone chassis* kendaraan Honda Supra 125 yang telah dimodifikasi bagian panjang penampang belakang, kemudian penambahan *bracket* suspensi untuk jenis *mono* suspensi dan *twin* suspensi dengan peletakan yang sama. Tebal material yang digunakan adalah 1.5 mm dengan diameter 25.4 mm.

Meshing

Pada tahapan ini, model tiga dimensi rangka sepeda motor yang telah dirancang didiskretisasi menjadi sejumlah elemen berukuran kecil (*mesh*) yang saling terhubung melalui titik-titik simpul (*nodes*). Semakin kecil ukuran *meshing* yang digunakan, maka hasil analisis akan semakin akurat karena distribusi tegangan dan deformasi dapat ditangkap lebih detail. Dalam penelitian ini, ukuran *meshing* menggunakan ukuran 10 mm dengan jenis

meshing yang digunakan adalah jenis *tetrahedral*. *Tetrahedral* dipilih karena keakuratannya dalam proses *meshing* dan dapat mengisi volume dengan bentuk apapun. Selain itu, penggunaan *mesh tetrahedral* dalam simulasi FEA pada uji struktural banyak diterapkan untuk struktur dengan geometri kompleks (Duczek dkk., 2016; Kang dkk., 2025).



Gambar 3. Meshing Twin suspensi

Tabel 1. Tabel *meshing* ukuran 10 mm

Parameter	Dimensi
Jenis	Tetahedral
Tebal Material	1,5 mm
Ukuran Mesh	10 mm
Jumlah Mesh	525,199
Jumlah Nodes	27,746

Data Properti Material

Pada penelitian ini, material yang digunakan adalah *Structural Steel* yang telah tersedia pada basis data material di dalam perangkat lunak ANSYS *Workbench* 2022 R1. Material ini dipilih karena material ini umum digunakan di industri otomotif dan nilai dari *yield strength* materialnya mendekati aslinya (Zainul Huda, 2021).

Tabel 2. Data Properti Material

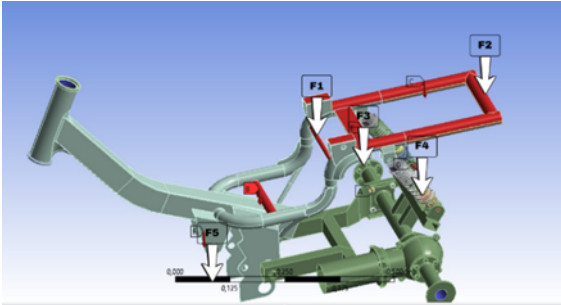
Property	Value	Unit
Density	7850	kg/m ³
Yield Strength	250	MPa
Tensile Ultimate Strength	460	MPa
Young'S Modulus	200	GPa
Possion's Ratio	0.30	-
Yield Strain	0.00125	mm/mm

Pembebanan Normal

Dalam penentuan parameter beban kerja pada simulasi ini, perlu dilakukan konversi massa menjadi gaya. Proses konversi ini dilakukan karena analisis statik struktural pada perangkat lunak ANSYS menggunakan gaya sebagai parameter input utama. Konversi massa menjadi gaya dilakukan untuk memastikan konsistensi satuan dan akurasi hasil tegangan serta deformasi struktur. Seperti yang telah disampaikan dalam sebuah teori bahwa berat

benda bukanlah massa, melainkan gaya gravitasi yang bekerja pada massa tersebut (Maurizio Spurio, 2023).

Pembebanan terdiri dari beban pengendara dan pengemudi dengan asumsi beban tiap penumpang adalah 60 kg, beban baterai listrik adalah 25 kg, beban gardan *differential* 32.6 kg, beban mesin *gasoline* 35 Kg. Maka, total beban yang harus ditampung *frame* adalah sebesar 212.6 Kg atau sebesar 2,084N. Dengan alokasi pembebanan seperti pada gambar berikut.



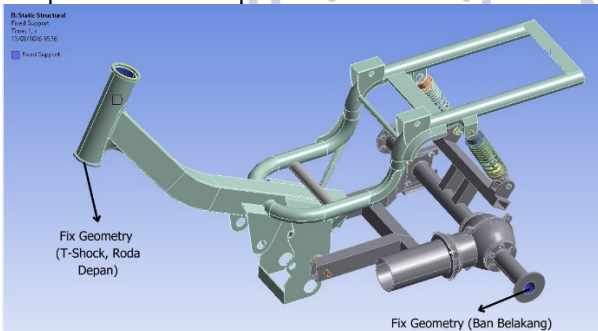
Gambar 4. Alokasi Pembebanan

Tabel 3. Besar Pembebanan

Property	Value	Unit
F1 (Pengemudi)	60	588,3
F2 (Penumpang)	60	588,3
F3 (Baterai Listrik)	25	245,1
F4 (Gardan)	32,6	320
F5 (Engine Gasoline)	35	343,2
Total Beban	212,6	2.084,9

Titik Tumpu

Pada simulasi *static structural*, kondisi tumpuan diterapkan pada bagian *fixed geometry* seperti ditunjukkan pada gambar 4. Area tersebut merupakan permukaan referensi pemasangan *chassis* ke komponen penahan utama (roda depan dan roda belakang yang dianggap sebagai penahan sasis). Tumpuan dimodelkan sebagai *fixed support*, sehingga seluruh derajat kebebasan pada area tersebut dibatasi agar rangka tidak mengalami perpindahan maupun rotasi selama pembebanan.



Gambar 5. Kondisi *Boundary Condition*

Pembebanan *Fatigue*

Pembebanan *fatigue* pada penelitian ini dimodelkan sebagai pembebanan berulang searah (*pulsating*), yang

merepresentasikan beban operasional *chassis* saat kendaraan menerima beban vertikal dari berat kendaraan dan ketidakberaturan jalan. Pada pembebanan *pulsating*, nilai beban berubah secara periodik dari nol hingga nilai maksimum, tanpa mengalami pembalikan arah.

Rasio tegangan didefinisikan sebagai :

$$R = \frac{F_{min}}{F_{max}} = 0 \Rightarrow F_{min} = 0 \tag{1}$$

Sehingga pola pembebanan dalam satu siklus, beban hanya bekerja dari 0 sampai maksimum secara berulang. Pembebanan terdiri dari berat total yang telah dihitung pada sub bab pembebanan normal yakni sebesar 2,084N. Karena pada *pulsating load* terdapat tegangan rata-rata yang tidak nol, digunakan koreksi tegangan dengan teori *Goodman* untuk meningkatkan akurasi prediksi umur lelah.

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max}}{2}, \quad \sigma_m = \frac{\sigma_{max}}{2} \tag{1}$$

Persamaan diatas sebagai konsep *stress life* untuk *pulsating* (R=0), kemudian koreksi *Goodman* dinyatakan sebagai :

$$\sigma_{a,eq} = \frac{\sigma_a}{1 - \frac{\sigma_m}{\sigma_{uts}}} \tag{2}$$

Dengan σ_{uts} adalah ultimate strength material. Nilai $\sigma_{a,eq}$ kemudian dipetakan ke kurva S-N material untuk memperoleh umur lelah N (cycles). Namun pada penelitian ini, koreksi ini diterapkan dengan memilih *mean stress theory* : *Goodman* pada *Fatigue Tool*. Hasil analisis *fatigue* pada ANSYS memberikan output *Fatigue Life* dalam satuan jumlah siklus (N). Agar hasil tersebut dapat diinterpretasikan dalam umur pemakaian aktual, dilakukan konversi berdasarkan jumlah siklus operasional harian melalui persamaan berikut :

$$Umur = \frac{N_{min}}{cycles/day} \tag{3}$$

Siklus pembebanan ini diasumsikan dari kondisi operasional kendaraan sehari-hari selama operasional di lingkungan kampus, seperti melewati polisi tidur, ketidakberaturan jalan, akselerasi, dan pengereman. Oleh karena itu, jumlah pembebanan diasumsikan sebesar 500 siklus per hari dengan durasi pemakaian maksimum 5 jam perhari. Asumsi ini digunakan untuk mengonversi hasil *fatigue life* dalam satuan *cycles* menjadi estimasi umur pakai aktual.

Tabel 4. Alokasi Siklus Pembebanan

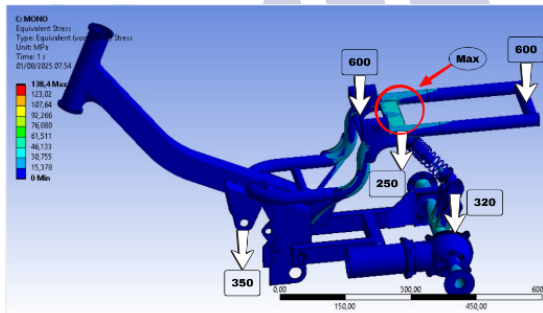
Aktivitas Operasional	Estimasi Siklus/hari
Melewati polisi tidur/jalan bergelombang	150 siklus
Getaran permukaan jalan tidak rata	120 siklus
Akselerasi dan pengereman berulang	100 siklus

Aktivitas Operasional	Estimasi Siklus/hari
Manuver berbelok dan perubahan arah kendaraan	80 siklus
Stop & Go Kendaraan	50 siklus
Total Siklus Pembebanan	500 siklus/hari

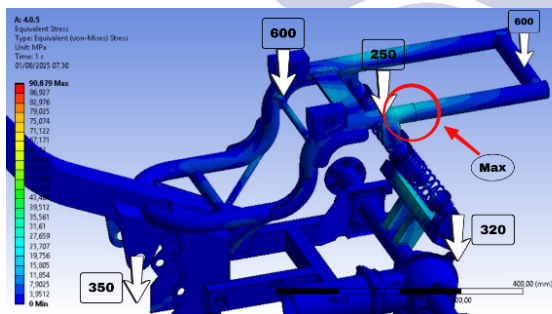
HASIL DAN PEMBAHASAN

Equivalent Stress

Dalam pengujian ini kami mengevaluasi kekuatan struktural dengan menguji stress maksimum yang terjadi pada 2 jenis suspensi rangka. Pengujian menggunakan pembebanan normal yang telah ditentukan sebelumnya, yakni sebesar 2,084N. Uji *equivalent stress* dilakukan guna mengetahui titik *stress* paling tinggi dalam menahan beban normal serta nilai ini digunakan sebagai parameter utama untuk menilai keamanan rangka motor (Agrawal dkk., 2026).



Gambar 6. *Equivalent Stress* tipe Mono suspensi



Gambar 7. *Equivalent Stress* tipe Twin suspensi

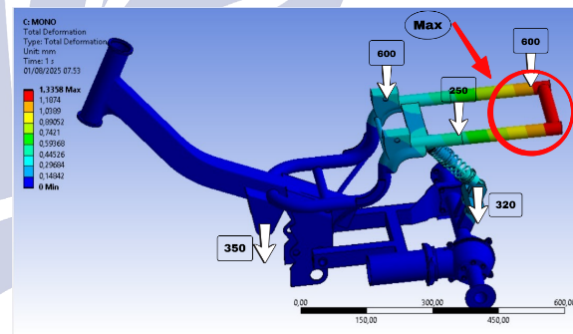
Berdasarkan dari pengujian tersebut didapatkan hasil bahwa *stress* maksimum pada *mono* suspensi sebesar 138.4 Mpa yang terletak pada bagian penampang penyangga suspensi, sedangkan dengan konfigurasi *twinsuspensi stress* yang dihasilkan jauh lebih rendah menjadi sebesar 90.87 Mpa pada area dudukan *bracket* suspensi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi *mono shock* menghasilkan tegangan maksimum yang lebih tinggi dibandingkan konfigurasi *twin shock*. Hal ini disebabkan oleh konsentrasi beban pada satu titik penyangga sehingga meningkatkan tegangan lokal pada area dudukan suspensi. Kondisi ini sejalan dengan konsep konsentrasi tegangan, dimana struktur dengan jalur pembebanan tunggal

cenderung mengalami peningkatan tegangan lokal pada area sambungan atau perubahan penampang (Sunil Kumar dkk., 2017).

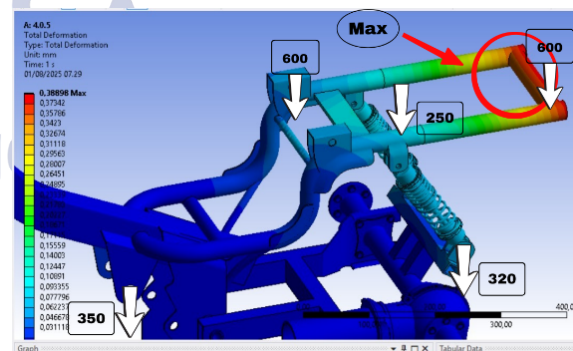
Sebaliknya, konfigurasi *twin shock* memungkinkan distribusi beban melalui dua jalur penyangga, yang secara signifikan menurunkan tegangan maksimum dan menghasilkan respons struktural yang lebih aman. Hal ini sesuai dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa distribusi beban yang lebih merata pada struktur otomotif dapat menurunkan tegangan maksimum dan meningkatkan keamanan struktural (Wang dkk., 2021). Dengan demikian, konfigurasi *twin shock* memberikan respons struktural yang lebih aman dibandingkan *mono shock*, karena menghasilkan tegangan yang lebih rendah serta mengurangi konsentrasi tegangan pada area dudukan suspensi.

Deformation

Simulasi kedua dilakukan dengan menguji deformasi yang diakibatkan oleh pembebanan dinamis yang telah diberikan. Untuk menghindari terjadinya deformasi plastis, respons struktur harus berada pada daerah elastis material. Nilai deformasi total digunakan sebagai indikator kekakuan, sedangkan kriteria elastis/plastis ditentukan oleh tegangan/regangan terhadap batas luluh material (Smallman & Ngan, 2014).



Gambar 8. Deformasi tipe Mono suspensi



Gambar 9. Deformasi tipe Twin suspensi

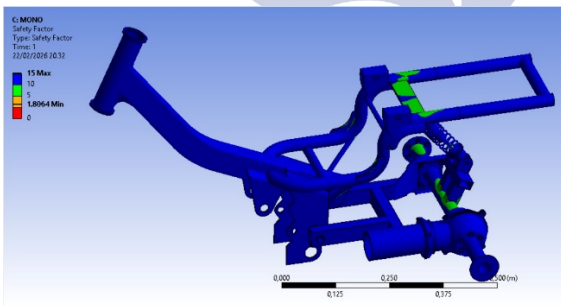
Kontur deformasi yang dihasilkan dari simulasi menunjukkan bahwa pola deformasi pada kedua konfigurasi suspensi memiliki karakteristik yang berbeda. Pada konfigurasi *mono* suspensi, deformasi maksimum terkonsentrasi dibagian ujung penampang dudukan dengan nilai sebesar 1.3 mm. Distribusi deformasi memperlihatkan bahwa perubahan bentuk struktur cenderung meningkat

seiring dengan menjauhnya lokasi dari titik tumpuan utama. Kondisi ini menunjukkan perilaku lentur (*bending*) yang dominan pada bagian belakang yang disebabkan karena adanya pembebanan yang terpusat pada bagian tengah, sehingga penyanggaan beban tidak dapat terdistribusi dengan baik.

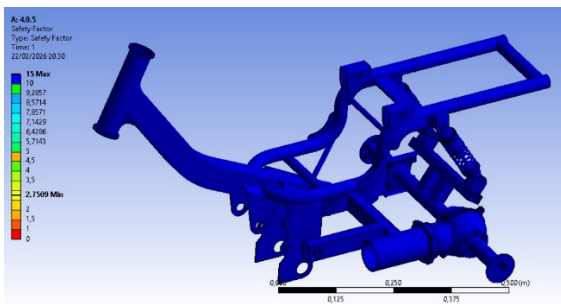
Sedangkan pada konfigurasi *twin* suspensi terjadi perubahan yang cukup signifikan. Deformasi yang terjadi pada *twin* suspensi turun menjadi 0.38 mm. Kondisi ini disebabkan jalur aliran beban (*load path*) menjadi lebih luas, sehingga momen lentur yang bekerja pada satu titik tertentu menjadi lebih kecil. Akibatnya, deformasi lokal pada areaudukan suspensi tidak terpusat secara ekstrem, melainkan menyebar pada bagian rangka yang lebih luas. Hal ini didukung dengan sebuah studi optimasi *elastic spring supports* yang menunjukkan bahwa penambahan penopang dapat mengurangi momen lentur maksimum dan secara substansial menurunkan defleksi tanpa menambah material (Aydin dkk., 2020).

Factor of Safety

Faktor keamanan digunakan untuk menilai tingkat keamanan struktur *frame* terhadap kemungkinan terjadinya kegagalan struktur akibat pembebanan statik. Dalam buku pedoman simulasi statik struktural berbasis FEA, keamanan dinyatakan valid jika nilai dari faktor keamanan berada diatas angka satu, karena hal tersebut menunjukkan bahwa tegangan kerja masih berada di bawah batas kekuatan material (Richard Gordon Budynas & J. Keith Nisbett, 2020).



Gambar 10. Faktor Keamanan tipe *Mono* suspensi



Gambar 11. Faktor Keamanan tipe *Twin* suspensi

Pada konfigurasi *mono* suspensi, kontur FOS menunjukkan bahwa nilai FOS minimum sebesar 1.80 yang terletak pada area dudukan terkait jalur suspensi belakang. Secara mekanika, hal ini konsisten karena pada *mono* suspensi jalur beban cenderung terpusat pada satu titik tumpu, sehingga meningkatkan konsentrasi tegangan

pada area sambungan. Meskipun demikian, nilai FOS 1.80 masih menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi belum melampaui batas luluh material.

Pada konfigurasi *twin shock*, nilai FOS minimum meningkat menjadi 2.75 pada area kritis yang serupa. Peningkatan ini menunjukkan bahwa distribusi beban melalui dua titik tumpu menghasilkan penyebaran tegangan yang lebih merata dan menurunkan konsentrasi tegangan lokal. Hasil penelitian ini selaras dengan penelitian terdahulu, dimana rancangan yang mendistribusikan beban lebih baik menghasilkan deformasi lebih rendah dan FOS lebih tinggi (Nani Mulyaningsih dkk., 2023).

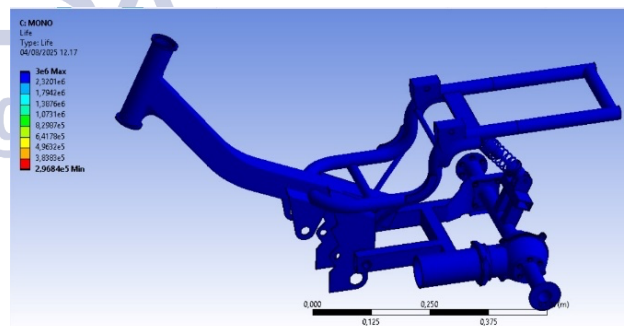
Jika dibandingkan, peningkatan FOS dari 1.80-2.75 menunjukkan adanya peningkatan margin keamanan sekitar :

$$\frac{2.75 - 1.80}{1.80} \times 100\% = 52.8\%$$

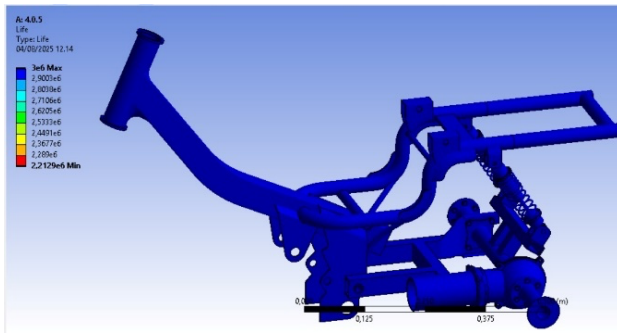
Hal ini menegaskan bahwa sistem *twin shock* memberikan respons struktural yang lebih stabil terhadap pembebanan statik. Selain itu, nilai ini didukung dengan teori yang menyebutkan bahwa dalam perancangan struktur yang menerima beban dinamis, nilai FOS yang direkomendasikan berada pada kisaran 1.5-3 (Wibawa, 2020). Berdasarkan rentang tersebut, kedua konfigurasi masih berada dalam batas yang dapat diterima, namun konfigurasi *twin shock* menunjukkan tingkat keamanan yang lebih baik dan unggul karena memiliki margin yang lebih besar terhadap beban operasional.

Fatigue Analysis

Analisis kelelahan (*fatigue analysis*) digunakan untuk menilai kemampuan struktur rangka dalam menahan beban berulang yang bekerja secara kontinu dalam jangka waktu yang panjang. Analisis ini penting dilakukan karena selain dapat mengetahui umur lelah material, simulasi ini dapat menunjukkan bahwa rangka *fatigue failure* dapat terjadi pada tegangan jauh di bawah *yield strength* akibat pembebanan berulang (Suresh, 1998).



Gambar 12. *Fatigue Analysis* tipe *Mono* suspense



Gambar 13. Fatigue Analysis tipe Twin suspensi

Berdasarkan hasil simulasi fatigue pada konfigurasi *mono* suspensi, terlihat bahwa umur lelah minimum berada pada nilai 296,840 siklus. Sedangkan hasil simulasi pada konfigurasi *twin* suspensi berada di angka minimum adalah 2,212,900 siklus. Dari kedua konfigurasi tersebut terdapat perbedaan yang cukup signifikan yang disebabkan oleh karakteristik *mono* suspensi yang mentransmisikan beban siklik melalui satu titik tumpuan utama, sehingga amplitudo tegangan siklik pada area tersebut menjadi lebih besar. Berbeda dengan *twin* suspensi yang mampu mendistribusikan beban menjadi lebih merata sehingga konsentrasi tegangan siklik berkurang dan kerusakan material menjadi lebih rendah dan umur lelah struktur meningkat (Wang dkk., 2021).

Melalui hasil simulasi *fatigue*, dapat dilakukan perhitungan untuk mengetahui umur lelah dari ketahanan suatu rangka melalui persamaan :

$$L_{hari} = \frac{N_f}{N_{hari}} \quad [4]$$

$$L_{tahun} = \frac{L_{hari}}{365} \quad [5]$$

Dimana,

N_f = siklus FEA

L_{hari} = masa pakai (hari)

N_{hari} = siklus/hari

L_{tahun} = masa pakai (tahun)

Dari persamaan 4 dan 5 didapatkan bahwa monosuspensi dapat bertahan 593.68 hari atau 1.62 tahun saat digunakan pembebanan normal dengan total waktu pemakaian adalah 5 jam perhari. Sedangkan untuk twinsuspensi didapatkan umur 4,425.8 hari atau setara dengan 12.12 tahun dengan pembebanan yang sama.

Simpulan

Penelitian ini menjawab pertanyaan mengenai konfigurasi suspensi terhadap kekuatan dan ketahanan struktur *frame* sepeda motor hybrid bagi penyandang disabilitas. Berdasarkan hasil analisis numerik menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA), dapat disimpulkan bahwa konfigurasi *twin* suspensi memberikan kinerja struktural yang lebih baik dibandingkan konfigurasi *mono* suspensi. Distribusi beban yang lebih merata pada *twin* suspensi menghasilkan tegangan dan deformasi yang lebih rendah serta meningkatkan faktor keamanan dan umur lelah struktur, sehingga lebih sesuai untuk penggunaan jangka panjang pada sepeda motor hybrid bagi penyandang disabilitas.

Berdasarkan hasil tersebut, penelitian ini menyarankan agar perancang dan pengembang kendaraan roda tiga yang ditujukan bagi penyandang disabilitas mempertimbangkan penggunaan konfigurasi *twin* suspensi dalam tahap perancangan *frame* untuk meningkatkan keselamatan dan keandalan struktur. Selain itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk melengkapi evaluasi teknis dengan penyebaran kuesioner kepada pengguna, khususnya penyandang disabilitas, guna mengetahui persepsi terhadap desain *frame* yang telah dikembangkan, termasuk aspek kenyamanan, stabilitas, dan aman. Pendekatan ini diharapkan dapat mengintegrasikan hasil analisis teknis dengan kebutuhan dan pengalaman pengguna secara langsung, sehingga desain kendaraan yang dihasilkan tidak hanya aman secara struktural tetapi juga sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan rasa hormat dan terimakasih kepada bapak dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, maupun saran dalam proses penelitian ini hingga penyusunan jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal, B. N., Singhal, R., Bishwakarma, B., & Shukla, A. K. (2026). Modal and Static Structural Analysis of Motorbike Chassis Using ANSYS Workbench. Dalam R. K. Tyagi, V. Kaushik, & S. S. Gautam (Ed.), *Advances in Engineering Design* (hlm. 205–216). Springer Nature Singapore.
- Anabel Reyes Ramirez, Roberto Pérez-Rodríguez, Rafael Lorenzo Martin, & Miriam Hazel Rodriguez Lopéz. (2025). The Integration of CAD/CAM/CAE Tools into the Engineering Curriculum. *Springer Proceedings in Materials*, 85(978-3-031-99987-1), 47–54.
- Arianto, D., & Apsari, N. C. (2023). Gambaran Aksesibilitas, Inklusivitas, dan Hambatan Penyandang Disabilitas Dalam Memanfaatkan Transportasi Publik: Studi Literatur di Berbagai Negara. *Focus : Jurnal Pekerjaan Sosial*, 5(2), 156. <https://doi.org/10.24198/focus.v5i2.42633>
- Aydin, E., Dutkiewicz, M., Öztürk, B., & Sonmez, M. (2020). Optimization of elastic spring supports for cantilever beams. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 62, 55–81. <https://doi.org/10.1007/s00158-019-02469-3/Published>
- Duczek, S., Duvigneau, F., & Gabbert, U. (2016). The finite cell method for tetrahedral meshes. *Finite Elements in Analysis and Design*, 121, 18–32. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.finel.2016.07.004>
- Hegale, A., Puneet, N. P., Kumar, H., & Gangadharan, K. V. (2020). The effect of inclination angle of shock absorber on ride comfort and road holding of two-wheeled vehicle. *AIP Conference Proceedings*, 2247. <https://doi.org/10.1063/5.0003891>
- Kang, K., Wen, W., Wang, P., Duan, S., & Liang, J. (2025). A novel 10-node tetrahedral quasi-smooth

- manifold method and its application in statics analysis of complex geometric structures. *Computational Mechanics*.
<https://doi.org/10.1007/s00466-025-02686-2>
- Maurizio Spurio. (2023). *The Fundamentals of Newtonian Mechanics* (Maurizio Spurio, Ed.; 1 ed.). Springer Cham.
- Muhammad, *, Darmawan, R., Munadi, M., & Haryanto, I. (2025). ANALISIS STATIK STRUKTUR MOBIL LISTRIK KAMPUS SEBAGAI IMPLEMENTASI TRANSPORTASI RAMAH LINGKUNGAN. Dalam *Jurnal Teknik Mesin S-1* (Vol. 13, Nomor 4).
<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm>
- Murakami, Y., Takagi, T., Wada, K., & Matsunaga, H. (2021). Essential structure of S-N curve: Prediction of fatigue life and fatigue limit of defective materials and nature of scatter. *International Journal of Fatigue*, 146.
<https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2020.106138>
- Nani Mulyaningsih, Wahyucandra Ramashani, & Sri Hastuti. (2023). Analisis Variasi Desain Rangka Sepeda Motor Listrik Terhadap Kekuatan Rangka dengan Ansys Workbench. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 6(1).
<https://doi.org/10.30596/rmme.v6i1.12680>
- Nijssen, R. P. L., & Van Delft, D. R. V. (2003). Alternative fatigue formulations for variable amplitude loading of fibre composites for wind turbine rotor blades. Dalam *European Structural Integrity Society* (Vol. 32, Nomor C, hlm. 563–574). Elsevier Ltd.
[https://doi.org/10.1016/S1566-1369\(03\)80125-5](https://doi.org/10.1016/S1566-1369(03)80125-5)
- Pramono, G. E., Hidayat, A., & Waluyo, R. (2020). Perancangan dan Simulasi Desain Rangka Sepeda Motor Listrik Tipe Trellis Menggunakan Finite Element Analysis. *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, 5(2), 319.
<https://doi.org/10.31544/jtera.v5.i2.2020.319-326>
- Ralf Döring, R. Dudek, S. Rzepka, L. Scheiter, E. Noack, & B. Seiler. (2022). Design Optimization by Virtual Prototyping Using Numerical Simulation to Ensure Thermomechanical Reliability in the Assembly and Interconnection of Electronic Assemblies. *Journal of Electronic Packaging*, 145(1).
- Ramadina, D., Aisyah, M., Ekonomi, F., & Bisnis, D. (2025). E-JURNAL EKONOMI DAN BISNIS UNIVERSITAS UDAYANA PENGARUH KUALITAS RANGKA eSAF TERHADAP CITRA MEREK SERTA DAMPAKNYA PADA MINAT BELI ULANG MOTOR Matic HONDA. *E-JURNAL EKONOMI DAN BISNIS UNIVERSITAS UDAYANA*, 14, 1337–1350.
<https://ojs.unud.ac.id/index.php/EEB/index>
- Richard Gordon Budynas, & J. Keith Nisbett. (2020). *Shigley's Mechanical Engineering Design* (11 ed., Vol. 1). McGraw Hill LLC.
- Saarikoski, S., Järvinen, A., Markkula, L., Aurela, M., Kuittinen, N., Hoivala, J., Barreira, L. M. F., Aakko-Saksa, P., Lepistö, T., Marjanen, P., Timonen, H., Hakkarainen, H., Jalava, P., & Rönkkö, T. (2024). Towards zero pollution vehicles by advanced fuels and exhaust aftertreatment technologies. *Environmental Pollution*, 347.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123665>
- Smallman, R. E., & Ngan, A. H. W. (2014). Chapter 9 - Plastic Deformation and Dislocation Behaviour. Dalam R. E. Smallman & A. H. W. Ngan (Ed.), *Modern Physical Metallurgy (Eighth Edition)* (hlm. 357–414). Butterworth-Heinemann.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-08-098204-5.00009-2>
- Stańko-Pająk, K., Seńko, J., Nowak, R., Rymuszka, M., Danielewicz, D., & Jóźwik, K. (2026). Numerical Stability and Handling Studies of Three-Wheeled Vehicles Using ADAMS/Car. *Applied Sciences (Switzerland)*, 16(1).
<https://doi.org/10.3390/app16010098>
- Sunil Kumar, S., Londe, N. V., Kumar Naik, P., & Saviraj, A. S. (2017). Effect of Geometric Discontinuity on Stress Concentration Factor of Al6061T6 Alloy under Bending Load. *Materials Today: Proceedings*, 4(10), 11039–11043.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.08.064>
- Suresh, S. (1998). *Fatigue of Materials* (2 ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/DOI:10.1017/CBO9780511806575>
- Tripathi, S., & Ambikesh, R. K. (2021). Finite Element Analysis and Optimization of Motorcycle Frame for Weight Reduction. *International Research Journal of Engineering and Technology*. www.irjet.net
- Veza, I., Asy'ari, M. Z., Idris, M., Epin, V., Rizwanul Fattah, I. M., & Spraggon, M. (2023). Electric vehicle (EV) and driving towards sustainability: Comparison between EV, HEV, PHEV, and ICE vehicles to achieve net zero emissions by 2050 from EV. *Alexandria Engineering Journal*, 82, 459–467.
<https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.10.020>
- Wang, Z., Wang, Q., Wu, N., Guo, B., & Wu, F. (2021). Structural Improvement of Vehicle Component Based on the Load Path and Load Distribution Analysis. *International Journal of Automotive Technology*, 22(3), 787–798.
<https://doi.org/10.1007/s12239-021-0072-9>
- Wibawa, L. A. N. (2020). Simulasi umur fatik rangka main landing gear menggunakan metode elemen hingga. Simulasi umur fatik rangka main landing gear menggunakan metode elemen hingga. *Ansys Dinamika Teknik Mesin*, 10(2).
<https://doi.org/10.29303/dtm.v10i2.337>
- Zainul Huda. (2021). *Mechanical Behavior of Materials* (Zainul Huda, Ed.; 1 ed.). Springer Cham.