

ANALISIS TEGANGAN STATIK STANDAR SAMPING SEPEDA MOTOR *MATIC* MENGGUNAKAN BAHAN *STEEL* ALLOY DENGAN SOFTWARE SOLIDWORK

Ratna Fajarwati Meditama¹, Dima Rizky Septiawan², Agus Dwi Putra^{3*)}, Bisyri Nur Wahid⁴

¹Universitas Islam Raden Rahmat Malang
email: ratna.fajarwati@uniramalang.ac.id

²Politeknik Negeri Malang
email: diama.rizky@polinema.ac.id

^{3*)}Politeknik Negeri Malang
email: agus.dwi@polinema.ac.id

⁴Universitas Islam Raden Rahmat Malang
email: nurwahid.bisyri@gmail.com

*) agus.dwi@polinema.ac.id

ABSTRACT

This study investigates the static stress analysis of a motorcycle side stand made of Steel Alloy using the finite element method and SolidWorks software. Motorcycles are a widely favored mode of transportation, particularly in rural areas where users often modify the side stand to support additional loads. The side stand is a crucial component that enables the motorcycle to remain stable while parked. However, this component frequently experiences damage due to loads exceeding its initial design capacity. This research aims to evaluate the structural strength and safety factor of the side stand under a 2240 N load. The analysis utilizes the finite element method with the assistance of SolidWorks software. The simulation results indicate that the maximum stress experienced is below the material strength limit of the Steel Alloy used. The safety factor obtained supports the use of this material for side stand applications, assuming it is used within the allowable load limits. This study is expected to contribute to the development of more load-resistant motorcycle side stand designs, particularly for rural environmental needs.

Keywords: *Stress analysis, side stand, motorcycle, Steel Alloy, finite element method, SolidWorks.*

ABSTRAK

Penelitian ini membahas analisis tegangan statik pada standar samping sepeda motor matic dengan bahan Steel Alloy, menggunakan metode elemen hingga dan perangkat lunak SolidWorks. Sepeda motor merupakan alat transportasi yang banyak diminati, khususnya di daerah pedesaan di mana pengguna sering kali memodifikasi standar samping untuk menopang beban tambahan. Standar samping adalah komponen penting yang memungkinkan sepeda motor berdiri stabil saat diparkir. Namun, komponen ini sering kali mengalami kerusakan akibat beban yang melebihi kapasitas desain awalnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan struktural dan faktor keamanan standar samping saat diberi beban 2240 N. Analisis pada penelitian menggunakan metode elemen hingga dengan bantuan software SolidWorks. Hasil simulasi menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi berada di bawah batas kekuatan material Steel Alloy yang digunakan. Faktor keamanan yang diperoleh mendukung penggunaan material ini dalam aplikasi standar samping, dengan asumsi pemakaian sesuai dengan batas beban

yang diizinkan. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi bagi pengembangan desain standar samping sepeda motor yang lebih tahan beban, terutama untuk kebutuhan di lingkungan pedesaan.

Kata Kunci: *Analisis tegangan, Standar samping, Sepeda motor, Steel Alloy, Metode elemen hingga, SolidWorks.*

PENDAHULUAN

Transportasi merupakan kebutuhan esensial yang dapat ditemukan di berbagai negara, termasuk Indonesia. Bentuk transportasi ini beragam, mulai dari transportasi udara, laut, hingga darat. Dari ketiganya, transportasi darat adalah yang paling sering digunakan oleh masyarakat untuk mengangkut penumpang maupun barang. Transportasi darat mencakup berbagai jenis kendaraan, seperti mobil, sepeda motor, kereta api, dan bus. Transportasi bertindak sebagai penghubung antara daerah produksi dan konsumen, memungkinkan produk dapat diakses di pasar yang lebih luas [1]. Di antara berbagai moda transportasi darat, sepeda motor adalah yang paling dominan karena banyak diminati dan menjadi kebutuhan utama masyarakat [2]. Sepeda motor terbagi menjadi dua jenis, yaitu yang menggunakan bahan bakar dan yang digerakkan secara manual dengan tenaga kaki. Sepeda motor berbahan bakar memiliki sistem yang lebih kompleks dibandingkan sepeda manual, karena terdiri dari berbagai komponen seperti mesin, rangka, lampu, dan aki. Sementara itu, sepeda manual lebih sederhana dalam konstruksinya karena tidak memiliki komponen mesin yang kompleks.

Kendaraan roda dua ini menjadi pilihan utama banyak orang karena efisiensi bahan bakarnya yang lebih tinggi dibandingkan dengan kendaraan roda empat [3][1]. Selain itu, sepeda motor terdiri dari beberapa komponen utama yang bekerja sama untuk memastikan kinerjanya berjalan dengan optimal. Komponen-komponen utama tersebut meliputi mesin, rangka, sistem penggerak, roda, suspensi, sistem pengereman, sistem kemudi, sistem bahan bakar, sistem kelistrikan, dan bagian lainnya [4]. Pada penelitian ini, perhatian utama akan diberikan pada komponen standar samping atau yang biasa dikenal sebagai “jagrak”. Di kalangan mekanik, komponen ini dikenal pula sebagai “kickstand” atau “stender” yang berfungsi sebagai penyangga ketika sepeda motor diparkir. Standar samping ini membantu sepeda motor berdiri dengan aman dan stabil saat tidak digunakan [5][6].

Secara umum, standar samping (jagrak) terletak di bagian tengah antara roda depan dan belakang pada rangka mesin. Bahan standar samping biasanya menggunakan *alloy steel* SSI dengan desain batang logam yang dilengkapi dengan pegas, memungkinkan standar samping tersebut mudah dioperasikan saat sepeda motor dalam kondisi diam [7]. Standar samping yang ideal harus mampu memberikan stabilitas dan kekuatan yang cukup untuk menopang berat sepeda motor, serta mencegah kerusakan pada kendaraan tersebut. Namun, jenis dan bahan standar samping dapat bervariasi, tergantung pada jenis dan penggunaan sepeda motor. Biasanya, standar samping hanya digunakan untuk menahan beban sepeda motor itu sendiri dalam kondisi diam. Di beberapa daerah pedesaan, di mana mayoritas masyarakat berprofesi sebagai petani, standar samping sering kali dimodifikasi untuk menahan beban tambahan yang cukup berat, bukan hanya berat kendaraan [8]. Kondisi ini menyebabkan standar samping sering patah atau retak akibat beban yang berlebihan. Berdasarkan permasalahan ini, penelitian ini berupaya untuk memodifikasi standar samping dengan bahan yang lebih kuat agar mampu menahan beban tambahan dan memiliki ketahanan yang lebih baik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kekuatan struktural standar samping sepeda motor dan melakukan pengujian beban statik menggunakan material *alloy steel* SSI dengan metode elemen hingga pada perangkat lunak SolidWorks 2020.

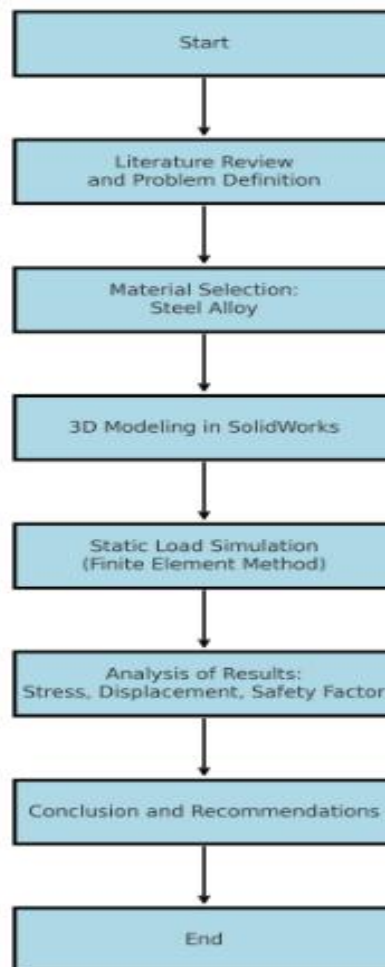
METODE

1. Elemen Hingga

Metode elemen hingga (*finite element method*) merupakan teknik numerik yang umum digunakan dalam analisis struktural serta studi fenomena fisik lainnya. Metode ini bertujuan untuk mempermudah analisis objek fisik yang kompleks dengan membaginya menjadi elemen-elemen kecil yang lebih sederhana, sehingga perilaku sistem dapat dipahami dan diprediksi secara lebih detail. Sebagaimana dijelaskan oleh Agus Dwi [9] metode elemen hingga digunakan untuk menyelesaikan masalah nilai batas yang dinyatakan dalam bentuk persamaan diferensial parsial beserta kondisi batasnya.

Pada pendekatan elemen hingga, objek fisik yang kompleks dipecah menjadi elemen-elemen sederhana, misalnya segitiga atau segi empat dalam analisis dua dimensi, dan tetrahedron atau hexahedron dalam tiga dimensi [7][1]. Setiap elemen dihubungkan dengan elemen-elemen tetangganya melalui simpul-simpul yang membentuk suatu jaringan atau grid. Pada setiap elemen, sifat-sifat fisik seperti kekuatan, deformasi, suhu, atau aliran fluida dapat didefinisikan [8][10].

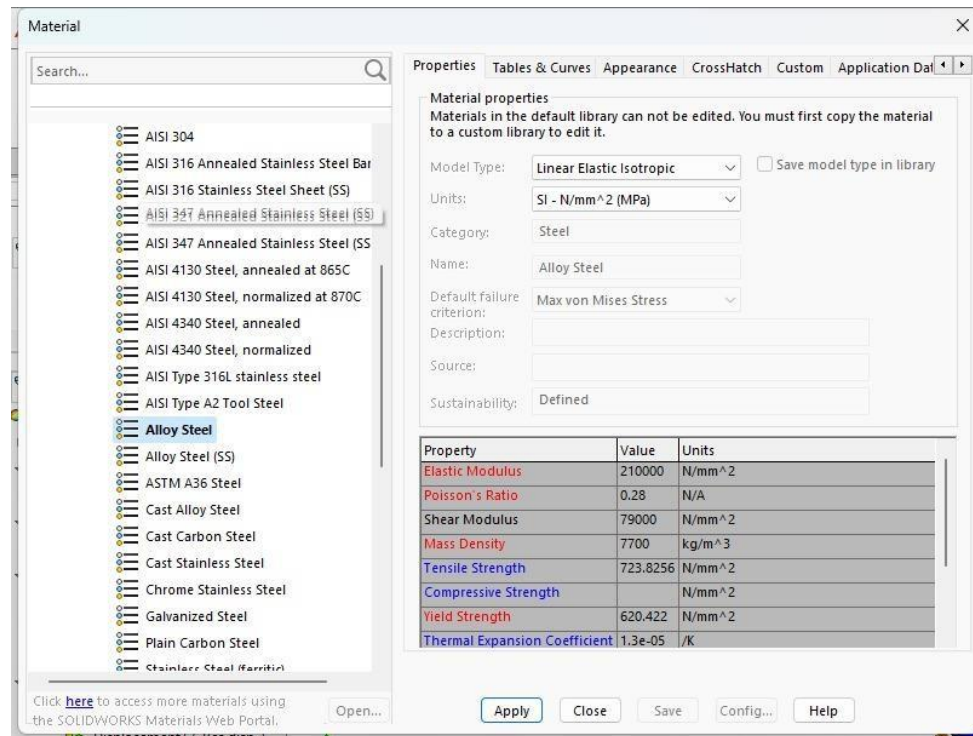
Metode ini menggantikan model matematika yang mendeskripsikan fenomena fisik dengan bentuk diskret, memungkinkan penyelesaian numerik untuk setiap elemen dan simpul dalam jaringan. Setelah model elemen hingga dibangun, persamaan matematika yang menggambarkan perilaku fisik pada setiap elemen diselesaikan, sehingga menghasilkan estimasi nilai-nilai properti fisik di berbagai titik dalam sistem. Dalam penelitian ini, perangkat lunak SolidWorks 2020 digunakan untuk melakukan analisis tegangan, perpindahan, dan faktor keamanan (*safety factor*) dengan pendekatan elemen hingga. Untuk lebih jelasnya bagaimana alur penelitian berjalan dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram proses penelitian

2. Material Properties

Penelitian ini menggunakan material *alloy steel* sebagai bahan utama standar samping karena material ini memiliki kekuatan dan kekerasan tinggi, sehingga memberikan stabilitas yang optimal dan ketahanan terhadap korosi. *Alloy steel* dipilih karena karakteristik mekanis dan termalnya yang baik, yang memungkinkan material ini menahan beban dinamis dan perubahan suhu yang dapat terjadi selama penggunaan sepeda motor. Pemilihan *alloy steel* sebagai bahan standar samping disesuaikan dengan kebutuhan desain, kondisi lingkungan, serta berbagai faktor teknis lainnya.



Gambar 2. Material Steel alloy

3. Desain 3D Standar Samping Sepeda Motor



Gambar 3. Desain Standar Samping 3D

Gambar di atas menunjukkan bahwa pemodelan standar samping dibuat menggunakan aplikasi desain SolidWorks 2020 dengan bahan *alloy steel*, memiliki ketebalan 2 cm, diameter 2 cm, dan panjang 24,1 cm, serta dirancang untuk menahan beban sebesar 224 kg.

4. Tegangan Statik

a. Von misses Stress

Tegangan Von Mises adalah parameter yang digunakan untuk menilai kegagalan material dengan menganalisis hasil dari tiga tegangan utama, yang dikenal sebagai *Principal Stress*. Material diprediksi akan mengalami kegagalan jika nilai tegangan Von Mises melebihi tegangan luluh material tersebut ($\sigma_v > \sigma_y$).

b. Displacement

Displacement merujuk pada perubahan posisi atau deformasi suatu material yang terjadi sebagai respons terhadap beban yang diterimanya. Ketika suatu material menerima gaya atau tekanan eksternal, struktur material tersebut dapat mengalami pergeseran dari posisi awalnya, yang dikenal sebagai *displacement*. Besar kecilnya *displacement* bergantung pada berbagai faktor, termasuk sifat material, jenis dan intensitas beban yang diterima, serta kondisi lingkungan di sekitar material tersebut. *Displacement* merupakan parameter penting dalam analisis struktural karena membantu para insinyur memahami seberapa jauh suatu material atau komponen akan bergeser atau berubah bentuk ketika diberikan beban tertentu. Memahami *displacement* memungkinkan para perancang untuk memperkirakan batas keamanan material dan memastikan bahwa desain struktural akan tetap stabil dan dapat diandalkan selama masa pakainya, meskipun berada di bawah pengaruh beban dinamis atau kondisi kerja yang berat.

c. Safety Factor

Faktor keamanan awalnya didefinisikan sebagai angka yang berfungsi untuk membagi kekuatan maksimum material guna menentukan "tegangan operasional" atau "tegangan desain." Dalam praktik rekayasa modern, faktor keamanan harus memperhitungkan hampir semua aspek yang berpotensi meningkatkan risiko kegagalan desain. Faktor keamanan dihitung dari perbandingan antara tegangan luluh aktual material dengan tegangan maksimum yang dialami. Nilai faktor keamanan sangat bergantung pada berbagai parameter dan pengalaman teknis. Beberapa faktor utama yang perlu diperhatikan dalam menentukan nilai ini mencakup jenis material, tipe dan mekanisme aplikasi beban, kondisi tegangan, penempatan titik berat beban, serta berbagai aspek lain yang relevan.

Tabel 1. Tabel Kriteria *Safety Factor*

No	Faktor keamanan	Parameter dan tingkat ketidak pastian
1	1,25 – 1,5	Data material yang sangat akurat dan andal, jenis pembebanan yang pasti, metoda perhitungan tegangan yang akurat
2	1,5 – 2	Data Material yang cukup baik, kondisi lingkungan yang stabil, dan beban serta tegangan yang terjadi dapat dihitung dengan baik.
3	2 – 2,5	Average material, komponen dioperasikan pada lingkungan normal, beban dan tegangan dapat dihitung dengan material
4	2,5 – 3	Untuk material yang datanya kurang baik, atau material getas dengan pembebanan, dan lingkungan rata-rata
5	3 – 4	Untuk material yang belum teruji, dengan pembebanan, dan lingkungan rata-rata. Angka ini juga disarankan untuk material yang teruji dengan baik, tetapi kondisi lingkungan dan pembebanan tidak dapat ditentukan dengan pasti

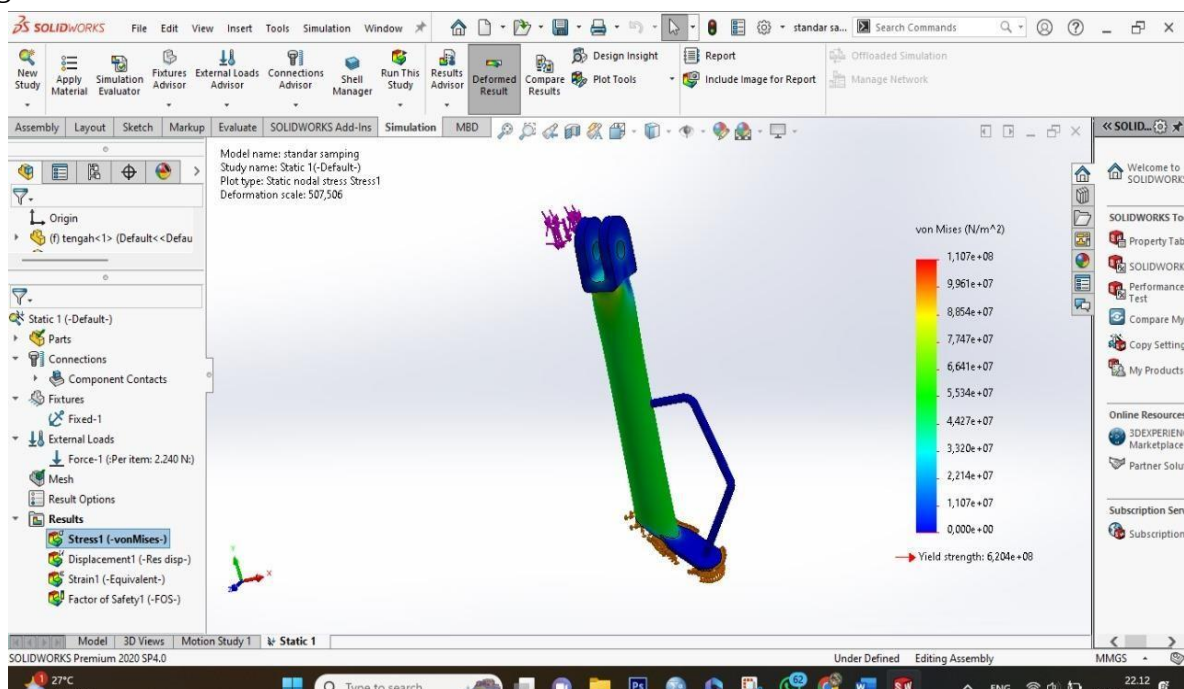
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini menyajikan analisis simulasi pada standar samping menggunakan perangkat lunak SolidWorks, yang mencakup perhitungan tegangan Von Mises, perpindahan (*displacement*), dan faktor keamanan pada standar samping sepeda motor. Hasil yang diperoleh dari analisis tegangan statis adalah sebagai berikut.

1. *Von misses Stress*

Gambar 3 menunjukkan hasil analisis menggunakan metode elemen hingga, di mana titik-titik dengan beban maksimum teridentifikasi melalui uji tegangan Von Mises. Hasil analisis menunjukkan bahwa tegangan maksimum yang terjadi pada standar samping adalah $1,107 \times 10^8$ N/m², sementara tegangan minimum tercatat sebesar $1,107 \times 10^7$ N/m². Berdasarkan nilai tegangan Von Mises yang diperoleh, material *alloy steel* yang digunakan dalam standar samping ini dapat dikatakan aman, karena tegangan yang dihasilkan masih berada di bawah batas kekuatan luluh material sebesar $6,204 \times 10^8$ N/m².

Ini menunjukkan bahwa bahan *alloy steel* memiliki ketahanan yang cukup untuk menahan beban maksimum yang mungkin dialami oleh standar samping dalam penggunaan normal. Ketahanan yang tinggi ini memastikan bahwa standar samping tidak akan mengalami deformasi permanen atau kegagalan struktural selama penggunaan, sehingga memberikan stabilitas dan keamanan tambahan pada sepeda motor. Selain itu, penggunaan metode elemen hingga memungkinkan pemahaman yang mendalam tentang distribusi tegangan di seluruh komponen, yang penting dalam merancang komponen yang tahan lama dan sesuai standar keselamatan. Analisis ini memperkuat keyakinan bahwa *alloy steel* adalah pilihan material yang tepat, mengingat kemampuannya dalam mempertahankan kekuatan struktural meskipun diberikan beban signifikan.



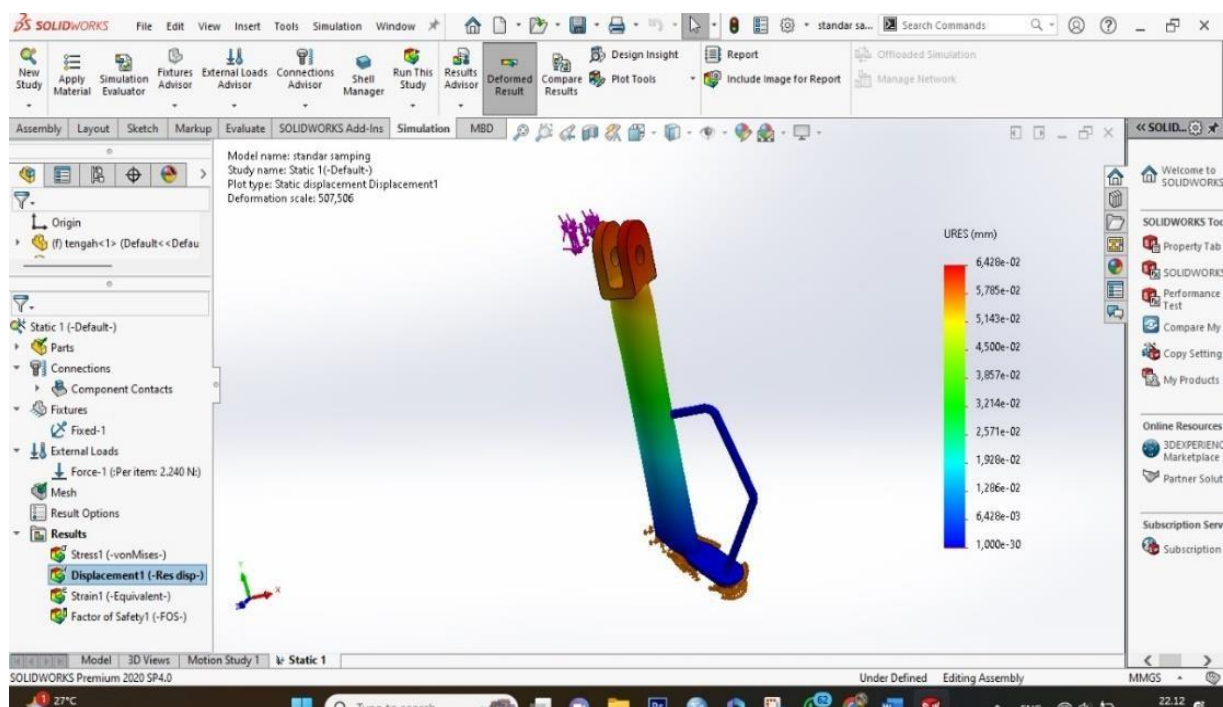
Gambar 4. Simulasi Stress (*Von misses*)

2. *Displacement*

Gambar 4 menunjukkan hasil analisis yang menggunakan konsep *Resultant Displacement*. Dari analisis ini, didapati bahwa perpindahan maksimum yang dialami oleh standar samping mencapai nilai $6,428 \times 10^{-2}$ mm, ditunjukkan oleh panah berwarna merah yang menandakan area dengan perpindahan tertinggi. Perpindahan ini terjadi akibat beban yang diterapkan pada titik tertentu dari struktur, yang menyebabkan deformasi signifikan di area tersebut. Sementara itu,

perpindahan minimum tercatat pada 1×10^{-30} mm, menunjukkan adanya bagian material yang hampir tidak mengalami perubahan posisi.

Perbedaan signifikan antara perpindahan maksimum dan minimum mengindikasikan bahwa distribusi beban tidak merata di seluruh struktur. Titik dengan perpindahan terbesar biasanya berada pada bagian yang paling rentan terhadap tekanan, sementara area dengan perpindahan yang sangat kecil berada pada bagian yang lebih stabil dan kuat. Analisis *Resultant Displacement* ini sangat penting dalam perancangan komponen mekanik, karena memungkinkan perancang untuk mengidentifikasi titik-titik kritis yang memerlukan perhatian lebih dalam hal kekuatan material dan distribusi beban. Dengan memahami area-area yang mengalami perpindahan besar, dapat dilakukan penyesuaian desain atau peningkatan kualitas material pada titik tersebut untuk mengurangi risiko kegagalan struktural. Selain itu, hasil ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat deformasi pada beberapa titik, keseluruhan struktur tetap stabil dan tidak mengalami perpindahan yang berlebihan, yang menunjukkan keamanan dan efisiensi desain dalam menahan beban yang diberikan.



Gambar 5. Simulasi *Resultant Displacement*

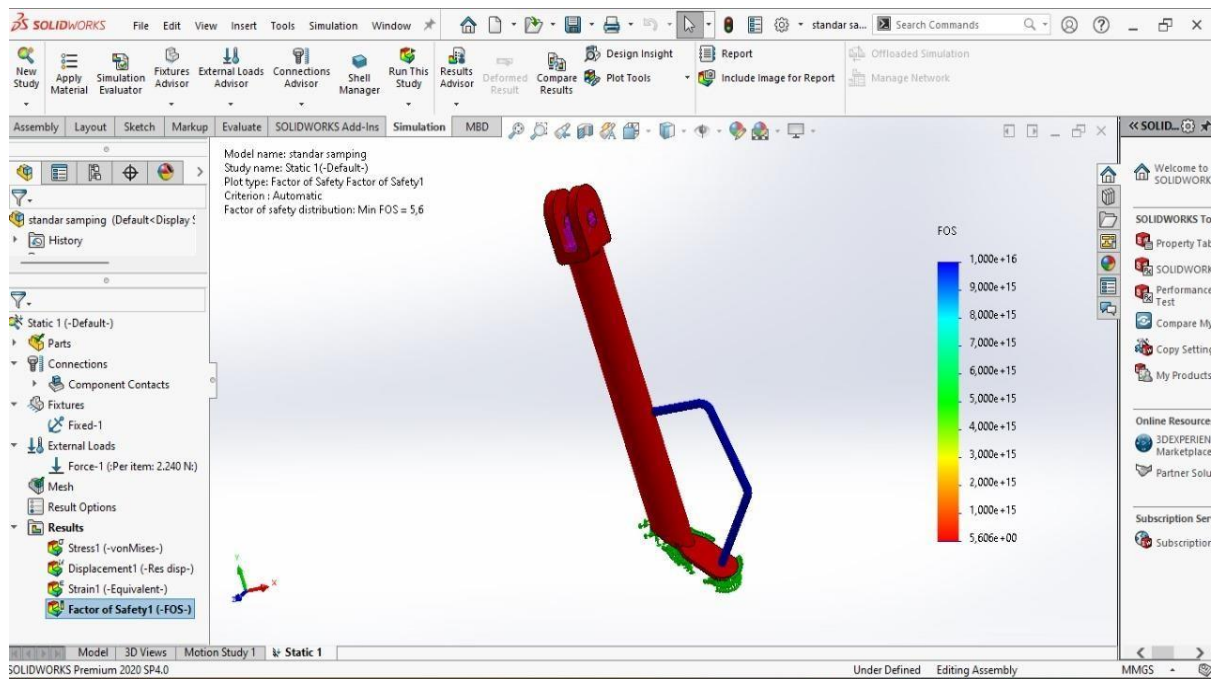
3. *Factor of Safety*

Berdasarkan analisis dari Gambar 5, hasil evaluasi pada standar samping sepeda motor menunjukkan nilai Faktor Keamanan atau *Factor of Safety* (FOS) dengan nilai minimum sebesar $1,000 \times 10^{16}$ dan nilai maksimum mencapai 5,606. Faktor Keamanan merupakan indikator penting dalam menilai seberapa aman suatu desain komponen dalam menahan beban tertentu. Semakin tinggi nilai FOS, semakin aman suatu komponen ketika digunakan. Sebaliknya, jika nilai FOS terlalu rendah, maka komponen tersebut berada dalam risiko kegagalan karena tidak mampu menahan beban yang dialaminya.

Menurut Anis dan Sulardjaka (2016), perhitungan faktor keamanan dalam analisis struktural dilakukan menggunakan persamaan: $Sf = \sigma_y / \sigma_e$ di mana Sf merupakan faktor keamanan, σ_y adalah tegangan luluh material, dan σ_e adalah tegangan maksimum yang terjadi pada material. Dalam studi ini, perangkat lunak SolidWorks Premium 2020 sp4.0 digunakan untuk melakukan simulasi tegangan Von Mises, regangan, dan faktor keamanan pada standar samping dengan beban sebesar 2240 N yang dibuat dari bahan *alloy steel*. Tegangan luluh untuk *alloy steel* yang

digunakan tercatat sebesar $6,204 \times 10^8 \text{ N/m}^2$, sementara tegangan maksimum atau tegangan Von Mises yang terjadi dalam simulasi adalah $1,107 \times 10^8 \text{ N/m}^2$.

Berdasarkan perhitungan, nilai FOS yang diperoleh adalah 5,606, menunjukkan bahwa standar sampling memiliki margin keamanan yang tinggi terhadap beban yang diberikan. Ini berarti bahwa standar sampling mampu menahan beban jauh di atas tegangan maksimum yang dialaminya tanpa mengalami kegagalan atau deformasi permanen. Hasil ini mengindikasikan bahwa pemilihan material *alloy steel* dalam desain standar sampling adalah keputusan yang tepat, mengingat bahwa material ini tidak hanya kuat tetapi juga cukup tahan lama untuk menangani kondisi beban statis dalam penggunaan sehari-hari. Tingginya nilai FOS ini juga mencerminkan bahwa desain komponen ini memiliki ketahanan yang baik terhadap kelebihan beban atau perubahan kondisi operasi, sehingga memastikan keamanan dan stabilitas saat sepeda motor dalam kondisi diam atau terparkir.



Gambar 6. Simulasi *Factor of Safety*

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis yang dilakukan menggunakan SolidWorks pada poros sepeda motor roda dua berbahan *alloy steel*, diperoleh sejumlah kesimpulan penting. Pertama, analisis tegangan menunjukkan bahwa ketika poros menerima beban sebesar 2240 N, nilai tegangan maksimum tercatat mencapai $1,107 \times 10^8 \text{ N/m}^2$, sementara tegangan minimum berada pada angka yang sama, yaitu $1,107 \times 10^8 \text{ N/m}^2$. Hal ini mengindikasikan bahwa material *alloy steel* mampu menahan tegangan maksimum yang diterapkan tanpa melebihi batas kekuatannya, sehingga menjamin keandalan material tersebut di bawah kondisi beban yang tinggi.

Selanjutnya, analisis perpindahan (*displacement*) menunjukkan bahwa perpindahan maksimum pada poros akibat beban yang diberikan mencapai $6,428 \times 10^{-2} \text{ mm}$, dengan perpindahan minimum mendekati nol, yaitu $1,000 \times 10^{-30} \text{ mm}$. Nilai perpindahan yang sangat kecil ini menunjukkan bahwa poros tetap stabil dan tidak mengalami deformasi signifikan, yang berarti material dapat kembali ke posisi semula setelah beban dilepaskan. Hal ini penting untuk menjaga performa dan daya tahan komponen sepeda motor, mengingat perpindahan berlebih dapat mempengaruhi fungsi mekanis dan menyebabkan keausan dini.

Terakhir, analisis faktor keamanan atau *Factor of Safety* (FOS) menunjukkan variasi yang signifikan, dengan nilai FOS maksimum mencapai $1,703 \times 10^4$ dan nilai minimum sebesar 4,369

$\times 10^{-1}$. Tingginya nilai FOS pada beberapa area menunjukkan bahwa bagian tersebut memiliki margin keamanan yang sangat besar, sementara nilai minimum yang lebih rendah menunjukkan bagian yang lebih rentan terhadap beban. Namun, secara keseluruhan, nilai FOS pada poros menunjukkan bahwa material *alloy steel* memiliki ketahanan yang memadai untuk mengatasi beban 2240 N yang diberikan. Hal ini memberikan jaminan bahwa poros tersebut dapat diandalkan dalam penggunaan sehari-hari pada sepeda motor roda dua, dan mampu menahan kondisi operasi yang beragam tanpa risiko kegagalan struktural.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian ini. Terima kasih khusus disampaikan kepada pihak Laboratorium Teknik Mesin yang telah menyediakan fasilitas dan peralatan, termasuk perangkat lunak SolidWorks, sehingga simulasi dan analisis dapat terlaksana dengan baik. Penghargaan yang mendalam juga diberikan kepada para dosen pembimbing dan rekan-rekan di Fakultas Teknik yang telah memberikan dukungan, masukan, dan diskusi konstruktif selama proses penelitian ini berlangsung.

Selain itu, penulis berterima kasih kepada keluarga dan teman-teman atas dukungan moral yang tiada henti. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik mesin, khususnya dalam desain komponen sepeda motor, serta menjadi referensi yang berguna bagi penelitian-penelitian selanjutnya.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] A. D. Putra, Y. F. Pradani, and A. Saepuddin, *MEKANIKA TEKNIK 1 (STATIKA STRUKTUR)*, vol. 1, 2022.
- [2] R. Danielis, L. Rotaris, M. Giansoldati, and M. Scorrano, "Drivers' preferences for electric cars in Italy. Evidence from a country with limited but growing electric car uptake," *Transp. Res. Part A Policy Pract.*, vol. 137, no. October 2019, pp. 79–94, 2020, doi: 10.1016/j.tra.2020.04.004.
- [3] A. D. Putra, M. Rohman, and A. Wahab, "Analisis Desain Excavator Bucket Menggunakan Metode Elemen Hingga dengan Material Baja," vol. 16, pp. 4–7, 2020.
- [4] A. D. Putra, Y. F. Pradani, and M. O. Al Momani, "Analisis material polimer ramah lingkungan berbahan rumput laut e-cottonii sebagai kandidat pengganti kemasan plastik," *Taman Vokasi*, vol. 10, no. 2, pp. 137–148, 2022, doi: 10.30738/jtvok.v10i2.13274.
- [5] A. D. Putra and M. Rohman, "Analisis perancangan service special tools shock absorber dengan generator ac menggunakan finite element methods," *J. Taman Vokasi*, vol. 9, no. 1, pp. 1–14, 2021, [Online]. Available: <https://jurnal.ustjogja.ac.id/index.php/tamanvokasi/article/view/10231>
- [6] A. D. Putra, D. I. Tsamroh, Y. F. Pradania, R. F. Meditama, and A. Muffliha, "Effect of Cathode Distance, Anode and Electroplating Time on Steel Alloy Corrosion Rate," *Transmisi*, vol. 19, no. 1, pp. 49–55, 2023, doi: 10.26905/jtmt.v19i1.9650.
- [7] A. D. Putra, M. Rohman, and M. Sulaiman, "Simulasi Pengaruh Waktu dan Gerak Terhadap Desain Implan Sendi Pinggul," *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*, vol. 09, no. 01, pp. 23–31, 2021, doi: <http://dx.doi.org/10.23887/jptm.v9i1.28885>.
- [8] A. D. Putra, B. C. Tjiptady, D. I. Tsamroh, Y. F. Pradani, and D. Hani, "Analisis Shaft Piston Rod Shock Absorber dengan Material Baja Karbon Menggunakan Finite Element Method," vol. 15, no. 2, pp. 11–18, 2024.
- [9] A. D. Putra, Andoko, R. Wulandari, and G. A. Kurniawan, "Simulation of hip joint implants using finite element method with time and load variations," *Key Eng. Mater.*, vol. 851 KEM, pp. 111–121, 2020, doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.851.111.
- [10] A. D. Putra and Y. F. Pradani, "Simulasi Batang Penghubung Piston Dengan Variasi

- Material Al Alloy dan Ti Alloy Menggunakan Metode Elemen Hingga,” *J. Teknol. Terap. G-Tech*, vol. 4, no. 1, pp. 279–285, 2020, doi: 10.33379/gtech.v4i1.545.
- [11] W. D. Callister and J. Wiley, *Materials Science and Engineering*. 2006.
- [12] X. Zhao *et al.*, “Microstructure and mechanical properties of 304 stainless steel produced by interpass milling hybrid direct energy deposition-arc,” *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 27, no. October, pp. 3744–3756, 2023, doi: 10.1016/j.jmrt.2023.10.137.