

FINITE ELEMENT ANALYSIS KURSI RODA TRANSFER (TRANSFER WHEELCHAIR)

Achmad Hari Febrianto¹, Rifky Ismail², Nia Budi Puspitasari³

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

³Dosen Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: harifebrianto@gmail.com

Abstrak

Kursi roda merupakan alat bantu mobilitas yang dirancang untuk membantu pasien berpindah dari satu permukaan ke permukaan lain. Pengembangan desain kursi roda perlu mempertimbangkan aspek kekuatan struktur, kekakuan, serta tingkat keamanan agar mampu menahan beban pengguna secara aman dan nyaman. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh pembebanan terhadap respons struktural kursi roda transfer berupa von Mises stress, deformasi, dan safety factor. Pemodelan desain dilakukan menggunakan SolidWorks 2021, kemudian dianalisis metode Finite Element Analysis (FEA) pada ANSYS 2023 R1 dengan kondisi pembebanan statis sebesar 100 kg yang diberikan langsung pada rangka kursi roda menggunakan material AISI 304. Hasil simulasi menunjukkan nilai von Mises stress diperoleh pada desain 268,23 Mpa, deformasi terjadi sepanjang 10,315 mm, dan nilai safety factor sebesar 0,863. Dari hasil analisis von Mises stress, menunjukan material kursi roda tidak dapat menahan pembebanan yang terjadi dan mengalami kegagalan deformasi plastis. Sedangkan dari analisis safety factor menunjukkan desain tidak memenuhi kriteria safety factor desain untuk material ulet $N = 1,25$ hingga $2,0$. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa desain kursi roda dengan material AISI 304 tidak memenuhi persyaratan keamanan struktur untuk diaplikasikan pada kursi roda.

Kata kunci: deformasi; *finite element analysis*; kursi roda; *safety factor*; von mises stress

Abstract

A wheelchair is a mobility assistive device designed to help patients move from one surface to another. The development of a wheelchair design must consider structural strength, stiffness, and safety to ensure that it can safely and comfortably support the user's load. This study aims to analyze the effect of loading on the structural response of a transfer wheelchair in terms of von Mises stress, deformation, and safety factor. The design was modeled using SolidWorks 2021 and analyzed using the Finite Element Analysis (FEA) method in ANSYS 2023 R1 under a static loading condition of 100 kg applied directly to the wheelchair frame using AISI 304 material. The simulation results show that the von Mises stress obtained in the design was 268.23 MPa, the total deformation was 10.315 mm, and the safety factor was 0.863. Based on the von Mises stress analysis, the results indicate that the wheelchair material is unable to withstand the applied load and experiences plastic deformation failure. Furthermore, the safety factor analysis shows that the design does not meet the required safety factor criterion for ductile materials ($N = 1.25$ to 2.0). Based on these findings, it can be concluded that the wheelchair design using AISI 304 material does not satisfy the structural safety requirements for application in a wheelchair.

Keywords: deformation; *finite element analysis*; safety factor; von mises stress; wheelchair

1. Pendahuluan

Penyandang disabilitas merupakan individu yang mengalami keterbatasan fisik, intelektual, mental, dan/atau sensorik dalam jangka waktu minimal enam bulan sehingga mengalami hambatan dalam berpartisipasi secara penuh dalam kehidupan sosial [1]. Salah satu bentuk disabilitas fisik adalah gangguan fungsi gerak seperti amputasi, paraplegi, cerebral palsy, dan akibat stroke yang menyebabkan keterbatasan mobilitas. Kondisi tersebut menimbulkan kesulitan dalam melakukan aktivitas sehari-hari sehingga penggunaan alat bantu menjadi sangat penting untuk meningkatkan kemandirian, keamanan, serta kualitas hidup penyandang disabilitas. Data Survei Kesehatan Indonesia (SKI) tahun 2023 yang dilakukan oleh Kementerian Kesehatan dan Badan Pusat Statistik menunjukkan bahwa prevalensi disabilitas fisik pada kelompok balita sekitar 0,4%, anak usia 5–17 tahun sebesar 0,4%, dewasa usia 18–59 tahun sebesar 3,4%, serta lanjut usia dengan ketergantungan berat dan total sebesar 1,7%, dengan tren peningkatan seiring bertambahnya usia [2]. Temuan ini menunjukkan bahwa kelompok dewasa dan lansia merupakan kelompok yang paling membutuhkan perhatian dalam penyediaan layanan kesehatan dan alat bantu mobilitas.

Kursi roda menjadi salah satu solusi untuk memenuhi kebutuhan aktivitas individu serta meningkatkan kemandirian pasien, terutama di lingkungan rumah [3]. Salah satu jenis kursi roda yang dikembangkan untuk menunjang proses pemindahan pasien adalah kursi roda transfer (*transfer wheelchair*), yang dirancang untuk memudahkan perpindahan pasien dari tempat tidur ke toilet tanpa harus berdiri, sehingga mengurangi risiko cedera bagi pasien maupun

perawat. Penelitian ini bertujuan mengembangkan desain kursi roda transfer dan melakukan analisis kekuatan struktur menggunakan metode Finite Element Analysis (FEA) dengan pembebanan statis melalui perangkat lunak ANSYS Workbench 2023 R1 untuk menentukan nilai von Mises stress, deformasi, dan safety factor yang terjadi pada struktur rangka.

Beberapa penelitian pernah dilakukan untuk membuat kursi roda yang memudahkan pengangkutan pasien. Material yang dipilih adalah stainless steel. Simulasi yang dilakukan menghasilkan nilai von Mises stress terbesar pada rangka kursi roda sebesar 63,79 MPa. Dari hasil pengujian, diketahui bahwa rangka kursi roda yang didesain mampu menahan load factor hingga 1200 N, dengan tegangan yang dihasilkan oleh beban tersebut lebih kecil dari nilai yield strength material stainless steel. Penelitian ini juga menetapkan kriteria desain yang diharapkan, yaitu memudahkan proses *lifting*, mampu menahan berat rata-rata orang Indonesia, serta praktis dalam penyimpanan. Hasilnya adalah kursi roda yang dirancang dapat dibuka di bagian tengahnya atau dirakit pasang untuk memudahkan penggunaan oleh pasien stroke. [4]

Dalam merancang kursi roda digunakan data antropometri untuk menyesuaikan dimensi ukuran desain dengan ukuran penumpang. Antropometri merupakan studi mempelajari ukuran fisik tubuh manusia, yang nantinya data antropometri dimanfaatkan dalam proses perancangan sebagai dasar perancangan produk atau sistem kerja. Pengukuran antropometri secara umum dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu: pengukuran dimensi statis dan pengukuran dimensi dinamis [5]

Von Mises *stress* merupakan paramater yang digunakan untuk memberi penilaian lebih akurat terhadap kondisi tegangan dalam perancangan dengan material ulet yang mengalami beban statis. Von Mises stress sendiri merupakan penerapan dari Distortion Energy Theory (DET) untuk memprediksi kegagalan dari sebuah material ulet [6].

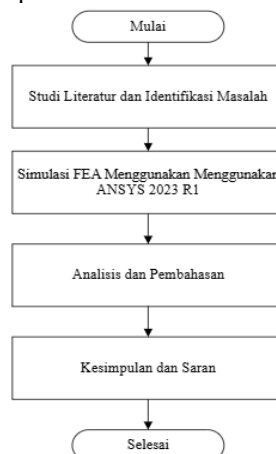
$$\sigma_e = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (1)$$

Deformasi merupakan perubahan bentuk dan ukuran dari suatu benda yang dikenai oleh gaya. Deformasi pada benda dapat mempengaruhi perubahan ukuran panjang dari ruas panjang dan perubahan sudut di antara ruas-ruas tersebut. Perubahan bentuk diakibatkan oleh pembebanan tarik aksial atau pembebanan tekan aksial. [7]

Safety factor adalah perbandingan antara tegangan maksimum dengan tegangan *yield point* (tegangan titik luluh) material. Nilai spesifik dari safety factor umumnya ditentukan oleh standar atau kode. Namun, jika tidak ada standar atau kode terkait, perancang harus menggunakan pertimbangan teknik berdasarkan jenis aplikasi, kondisi lingkungan, karakter beban, analisis tegangan, sifat material. Untuk material ulet dengan pembebanan statis, *safety factor* yang direkomendasikan adalah N=1,25 hingga 2,0 [8].

2. Bahan dan Metode Penelitian

Penelitian dilakukan pemodelan dan *finite element analysis* dilakukan mengikuti serangkaian proses seperti tercantum pada Gambar 1. tentang diagram alir penelitian.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

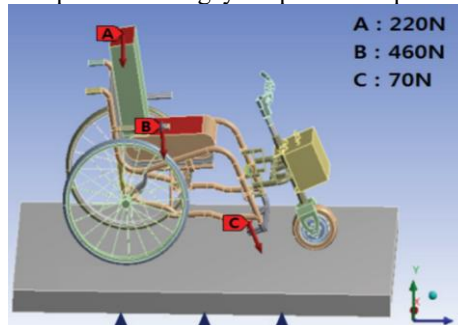
Dimensi ukuran saat pemodelan merujuk pada data antropometri yang telah didapatkan. Komponen kursi roda nantinya disesuaikan ukurannya menurut data antropometri yang telah dirujuk. Adapun perbandingan dimensi ukuran data antropometri dengan ukuran desain kursi roda dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan dimensi ukuran antropometri dengan desain kursi roda

Komponen Kursi Roda	Nilai Antropometri (cm)	Nilai Kursi Roda (cm)
Lebar Dudukan	43	47,5

Kedalaman Dudukan	45	46
Tinggi Sandaran	47	62
Jarak <i>Seat-Footrest</i>	38	39
Jarak Antar <i>Armrest</i>	44	46
Lebar Sandaran Punggung	45	47,5

Pembebanan pada kursi roda mengikuti penelitian [9] membagikan pembebanan gaya pada kursi roda pada kondisi statis berdasarkan pengujian ISO 7176 menggunakan *dummy*, pembebanan yang dilakukan oleh penumpang menjadi tiga bagian, yaitu: bagian tubuh dudukan, sandaran, dan kaki; pengaplikasian untuk *constraint fixed support* pada sambungan roda dengan kursi roda. Untuk pembebanan gaya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pembebanan gaya (Seo et al., 2015)

Material yang dipilih untuk simulasi rangka kursi roda adalah AISI 304. Material ini dipilih karena memiliki sifat kekuatan yang baik, tahan akan korosi, dan mudah dibentuk. Untuk *mechanical properties* AISI 304 menurut referensi [10] dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. *Mechanical Properties* AISI 304 (Dong et al., 2020)

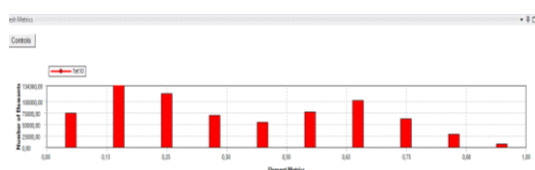
Properties	AISI 304
<i>Yield strength</i> (σ_y), MPa	230
<i>Ultimate stress</i> (σ_u), MPa	602
<i>Elasticity Modulus</i> (E), GPa	195
<i>Poisson's ratio</i> (ν)	0.3
<i>Density</i> (ρ), g/cm ³	7,9

Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak ANSYS 2023 R1 dengan cara meng-*import* geometri desain model dari Solidworks. Simulasi *static structural* dilakukan pada bagian rangka dari kursi roda untuk mengetahui total deformasi, von Mises *stress*, dan *safety factor* yang terjadi pada kursi roda dalam kondisi statis.

Meshing merupakan prosedur membagi geometri kompleks menjadi elemen-elemen sederhana. Metode *meshing* yang digunakan dalam simulasi ini adalah *tetrahedrons*. *Meshing* menjadi salah satu tahapan penting karena mempengaruhi hasil simulasi yang akan dilakukan. Semakin baik proses *meshing*, maka akan semakin akurat hasil yang didapatkan. Paramater hasil proses *meshing* dapat dilihat pada Tabel 3. dan matriks elemen dari proses *meshing* dapat dilihat pada Gambar 3.

Tabel 3. Paramater proses *meshing*

Parameter mesh	
<i>Method</i>	<i>Tetrahedron</i>
<i>Element size</i>	4,47 mm
<i>Average skewness</i>	0,41262
Jumlah <i>nodes</i>	1162537
Jumlah elemen	667618



Gambar 3. Matriks elemen *meshing*

Setelah dilakukan proses *meshing*, dilanjutkan proses simulasi statik *structural analysis* mencari von Mises *stress*, deformasi, dan *safety factor* yang nantinya menentukan pemakaian desain yang telah dimodelkan.

3. Hasil dan Pembahasan

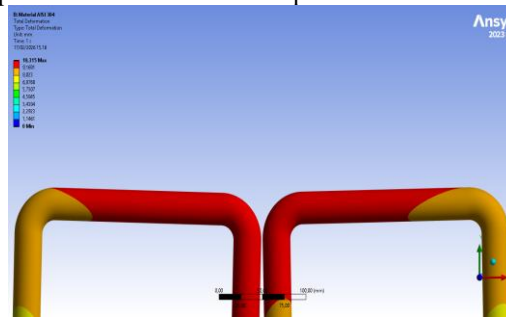
Hasil simulasi statik yang dilakukan dengan menggunakan pembebanan dan *constrain* yang telah diatur menggunakan bantuan *software finite element analysis* (FEA) ANSYS 2023 R1. Berikut merupakan hasil simulasi rangka kursi roda menggunakan material AISI 304, dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Simulasi *Wheelchair*

Von Mises Stress (MPa)	Deformasi (mm)	Safety Factor
266,42	10,315	0,863

Dari hasil von Mises stress didapatkan nilai sebesar 266,42 MPa. Dibandingkan dengan yield strength yang dapat ditahan oleh material AISI sebesar 240 MPa, maka material AISI 304 dinyatakan tidak dapat menahan beban yang terjadi dan mengalami kegagalan deformasi plastis.

Selanjutnya dari simulasi deformasi, didapatkan deformasi total dari kursi roda sebesar 10,315. Deformasi sepanjang tersebut dipengaruhi oleh modulus elastisitas yang dimiliki dari material AISI 304 dan geometri desain kursi roda yang sudah dimodelkan. Deformasi maksimum dari kursi roda sendiri terjadi pada pucuk sandaran kursi roda. Deformasi maksimum yang terjadi pada kursi roda bisa dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Deformasi total pada kursi roda

Dari hasil *safety factor*, dapat ditentukan keamanan dari desain yang telah dimodelkan. Hasil *safety factor* desain kursi roda menggunakan material AISI 304 didapatkan sebesar 0,863. Hal ini menunjukkan bahwa desain tidak mampu menahan pembebanan yang terjadi saat pengoprasian dan mengalami kegagalan. Merujuk pada nilai *safety factor* untuk material ulet N=1,25 hingga 2,0, desain yang telah dimodelkan tidak masuk kriteria aman dan akan mengalami kegagalan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa desain kursi roda menggunakan material AISI 304 saat dikenai pembebanan mengalami kegagalan deformasi plastis yang mengakibatkan desain tidak aman. Dibuktikan dengan hasil *safety factor* sebesar 0,863, dimana di bawah nilai *safety factor* yang direkomendasikan untuk material ulet serta nilai von Mises stress yang melebihi nilai *yield strength* material AISI 304. Sedangkan deformasi total pada desain sepanjang 10,315. Berdasarkan hasil tersebut, desain dari kursi roda menggunakan material AISI 304 tidak dapat dipakai karena tidak memenuhi syarat keamanan desain.

5. Daftar Pustaka

- [1] Undang-undang (UU) Nomor 8 Tahun 2016 tentang Penyandang Disabilitas. 2016.
- [2] Kemenkes BKKP. 2023. "Survei Kesehatan Indonesia (SKI) 2023 Dalam Angka. Kementerian Kesehatan Badan Kebijakan Pembangunan Kesehatan".
- [3] Syakura, A., & Sw, A. 2020. "Self-care Management to Prevent Exacerbation for Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD): A Systematic Review", 3(3), 391–401. <https://doi.org/10.35654/ijnhs.v3i3.22.8>.
- [4] Lamada, Muh.Abd.Rauf. (2020). "Perancangan Prototipe Kursi Roda untuk Pasien Stroke". Skripsi. Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- [5] Purnomo, Hari. 2013. "Antropometri dan Aplikasinya". Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [6] Mott, R. L., E. M. Vavrek, dan J. Wang. 2018. "Machine Elements in Mechanical Design 6th ed". United States: Pearson.
- [7] Hibbeler, R.C. (2016). "Mechanics of Materials. 10th ed". Pearson.
- [8] Budynas, R.G. and Nisbett, J.K. (2015) "Shigley's mechanical engineering design 10th ed". New York: McGraw-Hill.
- [9] Seo, H. W., Kim, D. D., Ko, C. W., Lee, J. H., Bae, T. S. (2015). Structural Stability Analysis of Connectors for an Electric Handbike. Journal of the Korean Society for Precision Engineering, 32 (5), 491-496.
- [10] Dong Y, Li J, Ren Y, Fan S, Zhao S. 2020. "Laser-assisted cyclic chipless splitting for hard-to-cut thick wall tubes and fatigue fracture mechanism analysis", International Journal of Mechanical Sciences, 168. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2019.105308>.