

## ANALISIS STRUKTUR ALAT *SUPPORT DEVICE* DARI KURSI RODA MANUAL MENJADI ELEKTRIK MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Haikal Fikri<sup>1</sup>, Tri Andi Setiawan<sup>1\*</sup>, Anda Iviana Juniani<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Pemesinan Kapal,  
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

\*Email: [triandis@ppns.ac.id](mailto:triandis@ppns.ac.id)

### Abstrak

Menurut data Susenas 2020, terdapat 8,8 juta penyandang disabilitas dengan masalah pada kaki, namun 70% atau sekitar 6,1 juta di antaranya belum memiliki kursi roda. Kondisi ini menyebabkan keterbatasan mobilitas karena pengguna masih membutuhkan bantuan orang lain untuk menggerakkannya, terlebih pada kursi roda manual yang sering menimbulkan kesulitan dan kelelahan sehingga menurunkan produktivitas pengguna kursi roda. Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian ini merancang alat *support device* kursi roda manual menjadi elektrik, khususnya bagi penyandang disabilitas paraplegia, agar mereka dapat berpindah tempat secara mandiri. Alat dirancang ringan, aman, nyaman, dan mudah digunakan tanpa bantuan orang lain. Dengan adanya permasalahan tersebut, penelitian ini menggunakan metode Ulrich dan Metode Elemen Hingga supaya bisa menyesuaikan dengan kebutuhan para pengguna kursi roda dengan disabilitas paraplegia. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan *software* Autodesk fusion 360, tegangan maksimum pada alat ini masih dalam batas aman dibandingkan dengan tegangan izin maksimumnya sebesar ( $80.375 \text{ MPa} < 103.5 \text{ MPa}$ ). *Safety factor* terendah lebih besar dari pada *safety factor* yang ditentukan ( $2.575 > 2.00$ ), sehingga desain ini aman untuk dioperasikan sesuai fungsi untuk pasien dengan berat maksimal 120 kg. Dimensi alat ini 480.5mm x 884.7mm x 593mm yang memiliki fitur *adjustable* pada bagian *handle* setir dan juga memiliki fitur lipatan pada bagian *fork*. Konsep 1 terpilih sebagai desain terbaik karena memiliki kriteria dimensi umum, dimensi lipat, dan ergonomi yang paling baik daripada konsep desain lainnya.

**Kata kunci:** analisis struktur, disabilitas, kursi roda, metode elemen hingga

### Abstract

According to the 2020 Susenas data, there are 8.8 million persons with disabilities experiencing lower limb impairments, yet 70% or approximately 6.1 million of them do not own a wheelchair. This condition limits mobility, as users still require assistance from others to operate the wheelchair, especially manual ones, which often cause difficulties and fatigue, thereby reducing the productivity of wheelchair users. To address this issue, this study designs a support device to convert a manual wheelchair into an electric one, specifically for individuals with paraplegia, enabling them to move independently. The device is designed to be lightweight, safe, comfortable, and easy to operate without external assistance. In response to this problem, the study applies the Ulrich method and the Finite Element Method to ensure compatibility with the needs of wheelchair users with paraplegia. Simulation results using Autodesk Fusion 360 software show that the maximum stress on the device is within safe limits ( $80.375 \text{ MPa} < 103.5 \text{ MPa}$ ). The lowest safety factor exceeds the required value ( $2.575 > 2.00$ ), indicating that the design is safe for operation with patients weighing up to 120 kg. The device measures 480.5 mm x 884.7 mm x 593 mm, features an adjustable handlebar and a folding fork mechanism. Concept 1 was selected as the best design due to its superior general dimensions, folding dimensions, and ergonomics compared to other design concepts.

**Keywords:** disability, finite element method, structural analysis, wheelchair

## PENDAHULUAN

Menurut data Survei Sosial Ekonomi Nasional tahun 2020, terdapat lebih dari 8 juta penyandang disabilitas di Indonesia yang mengalami gangguan pada kaki, namun sekitar 70% di antaranya belum memiliki kursi roda. Kursi roda yang tersedia di pasaran umumnya masih berupa kursi roda manual yang difokuskan untuk kebutuhan medis dan belum mampu memberikan kemandirian mobilitas. Pengguna kursi roda manual menghadapi tantangan berupa kebutuhan tenaga yang besar dan keterbatasan jarak tempuh, yang berdampak pada kelelahan dan penurunan produktivitas. Kondisi ini menunjukkan perlunya solusi yang dapat meningkatkan kemandirian penyandang disabilitas dalam melakukan aktivitas sehari-hari (Tempo.co, 2023).

Salah satu alternatif solusi yang potensial adalah konversi kursi roda manual menjadi kursi roda elektrik. Meskipun kursi roda elektrik sudah tersedia di pasaran, harganya yang relatif tinggi membuatnya sulit dijangkau oleh sebagian besar penyandang disabilitas di Indonesia. Oleh karena itu, pengembangan alat bantu konversi yang ekonomis dan fleksibel menjadi pilihan yang lebih realistis. Perancangan alat ini perlu mempertimbangkan aspek kenyamanan, fungsionalitas, efisiensi desain, dan kekuatan struktur, mengingat faktor keamanan pengguna sangat dipengaruhi oleh ketahanan alat pada berbagai kondisi permukaan (Supadma & Rahmawati, 2022).

Penelitian terdahulu memang telah menghasilkan prototipe penggerak listrik berbasis baterai yang dapat dilepas-pasang, namun fokusnya lebih pada mekanisme sambungan, adaptasi terhadap berbagai tipe kursi roda, dan peningkatan kemudahan penggunaan. Kajian terkait kekuatan struktur menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*), serta penyesuaian ergonomi berbasis analisis seperti *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA), belum dilakukan secara mendalam. Dengan demikian, diperlukan penelitian yang mengintegrasikan kedua aspek tersebut analisis struktural dan analisis ergonomi untuk menghasilkan *support device* yang kuat, aman dan nyaman (Guspara et al., 2022).

Dalam penelitian ini, metode Ulrich digunakan untuk mengidentifikasi kebutuhan pengguna dan mengembangkan desain yang ergonomis sekaligus fungsional. Ketahanan dan keamanan struktur dianalisis menggunakan metode elemen hingga untuk mengevaluasi distribusi tegangan dan deformasi akibat beban kerja. Hasil analisis menjadi dasar dalam memastikan bahwa alat memiliki kekuatan dan stabilitas yang memadai selama penggunaan (Ulrich & Eppinger, 2011).

Dengan pendekatan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang alat konversi kursi roda manual menjadi elektrik yang aman, nyaman, dan sesuai kebutuhan pengguna, serta melakukan pengujian kekuatan struktur menggunakan analisis metode elemen hingga (Kurniadi Rasyid et al., 2019). Dengan pendekatan ini, alat bantu yang dikembangkan diharapkan mampu memberikan mobilitas mandiri bagi penyandang disabilitas sekaligus menjadi solusi ekonomis yang aplikatif. Penelitian ini juga memberikan kontribusi dalam aspek teknis, khususnya pada pengujian dan evaluasi kekuatan struktur sebagai bagian penting dari inovasi alat bantu mobilitas.

## TINJAUAN PUSTAKA

### (A) Metode Elemen Hingga (FEM)

Metode elemen hingga (*finite element method*) adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan masalah teknik dan matematis yang berkaitan dengan fenomena fisika, seperti tegangan, regangan, kekuatan, dan analisis getaran. Metode ini memungkinkan perbandingan antara perhitungan yang dilakukan menggunakan perangkat lunak dan perhitungan manual. Keunggulan metode elemen hingga terletak pada kemampuannya untuk menghasilkan representasi fisik yang cukup mendekati struktur aktual melalui jaring elemen. Jaring yang dihasilkan bersifat abstrak dan sulit divisualisasikan. Namun, metode ini juga memiliki kekurangan, yaitu hasil yang diperoleh bersifat numerik dan tidak menghasilkan persamaan bentuk tertutup yang bisa digunakan untuk kasus serupa dengan parameter yang berbeda.

Metode elemen hingga memungkinkan perbandingan antara perhitungan menggunakan perangkat lunak dan perhitungan manual. Dalam hal ini, yang digunakan adalah metode elemen hingga dua dimensi (2D), yaitu elemen segitiga dengan tiga *node*. Metode elemen hingga ini digunakan untuk analisis suatu kontinuitas berbentuk bidang. Masalah yang dapat diselesaikan dengan elemen segitiga ini meliputi matriks kekuatan elemen, *plain strain*, *plain stress*, serta vektor gaya yang bekerja pada elemen suatu produk. Secara rinci, analisis ini dilakukan dalam sistem koordinat lokal dan sistem koordinat global (Kurniadi Rasyid et al., 2019).

### (B) Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

Faktor keamanan (*safety factor*) merupakan ukuran yang digunakan untuk memastikan bahwa elemen mesin tetap aman meskipun dirancang dengan dimensi seminimal mungkin. Faktor ini mempertimbangkan berbagai variabel seperti variasi sifat material, ukuran material saat dilakukan pengujian kekuatan, jenis beban yang diterima, serta kondisi kerja yang memengaruhi kinerja elemen tersebut (Saskia, 2024). *Safety Factor* (SF) berdasarkan tegangan luluh adalah sebagai berikut:

- (1) Faktor Keamanan/*Safety Factor* berdasarkan jenis beban:
  - a. Beban Statis: 1,25-2
  - b. Beban Dinamis: 2-3
  - c. Beban Kejut: 3-5

### (C) Tegangan Izin

Tegangan izin adalah tegangan yang terjadi pada elemen mesin selama periode waktu yang tidak terbatas tanpa mengakibatkan patahan atau perubahan bentuk yang mengarah pada kerusakan. Menghitung dan memeriksa kembali ukuran elemen mesin sangat bergantung pada pemilihan tegangan izin. Oleh karena itu, sebelum konstruksi mengalami kegagalan, atau kegagalan, struktur yang dirancang harus diuji dengan tegangan yang dapat diterima, juga dikenal sebagai tegangan izin (Khurmi & Gupta, 2005).

### (D) Gaya Gravitasi

Gaya gravitasi adalah gaya tarik-menarik yang terjadi antara dua massa. Di permukaan bumi, gaya ini menyebabkan benda jatuh dengan percepatan tertentu

(Abdullah, 2016). Besarnya gaya gravitasi yang bekerja pada suatu benda dapat dihitung dengan rumus Persamaan 1.

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

Gaya gravitasi yang bekerja pada suatu benda di bidang miring dapat diuraikan menjadi dua komponen:

- (1) Komponen sejajar bidang miring: menarik benda ke bawah sepanjang bidang miring, dihitung dengan Persamaan 2.

$$F = m \times g \times \sin(\theta) \dots\dots\dots(2)$$

- (2) Komponen tegak lurus bidang miring: menekan benda ke permukaan bidang miring, dihitung dengan Persamaan 3.

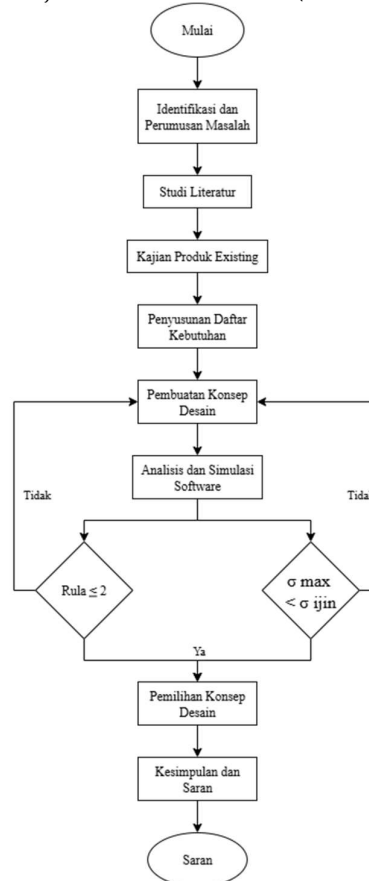
$$F = m \times g \times \cos(\theta) \dots\dots\dots(3)$$

Di mana:

$F$  : gaya  
 $m$  : massa benda  
 $g$  : percepatan gravitasi  
 $\theta$  : sudut kemiringan

## METODE

Tahapan yang dilakukan dalam perancangan konsep desain dapat dilihat pada diagram alir seperti yang ditunjukkan di bawah ini (Faiz et al., 2018).



**Gambar 1.** Diagram Alir

Pada proses pemilihan konsep, untuk kriteria dari yang digunakan adalah dipilih berdasarkan: dimensi umum, dimensi lipat, berat, dan ergonomi. Berikut adalah matrik penilaian pemilihan konsep:

- (1) Berdasarkan Dimensi  
Yaitu dengan membandingkan pada tiap ukuran masing-masing konsep, yang dimaksud adalah panjang dan lebar total dari konsep. Selisih perbandingan dimensi sebelum dan sesudah dilipat digunakan untuk menentukan konsep lipatan paling baik.
- (2) Berdasarkan Berat  
Dari masing-masing konsep akan dianalisa rangkanya, pada masing-masing konsep akan diberi skor berdasarkan urutan beratnya, nilai 4 untuk konsep dengan berat terkecil dan nilai 1 untuk konsep berat terbesar.
- (3) Berdasarkan Radius Belok  
Dari seluruh konsep yang telah dirancang sebelumnya, langkah selanjutnya adalah menghitung radius belok pada masing-masing konsep. Hasil perhitungan tersebut kemudian dibandingkan untuk menentukan konsep yang memiliki radius belok paling kecil. Setiap konsep selanjutnya diberikan skor berdasarkan nilai radius belok yang dimilikinya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### (A) Kajian Produk *Existing*

MOKURA (Mobilitas Kursi Roda) adalah alat bantu mobilitas inovatif berbasis listrik yang dirancang untuk mengubah kursi roda manual menjadi kendaraan bermotor secara instan dan fleksibel. Alat ini menggunakan sistem *detachable drive unit*, yang memungkinkan pengguna memasang dan melepaskan perangkat dengan mudah tanpa memodifikasi kursi roda yang dimiliki. Produk ini memiliki desain modular dan dapat digunakan oleh pengguna kursi roda dengan kemampuan tubuh bagian atas yang masih berfungsi baik. MOKURA terdiri dari beberapa komponen utama, termasuk motor listrik BLDC  $\pm 250\text{--}350\text{W}$ , baterai lithium 24V, stang kendali, dan rangka pengait yang *adjustable* untuk jenis kursi roda standar. Keunggulan utama dari MOKURA adalah sistem adapter yang fleksibel dan dapat disesuaikan, menjadikannya satu-satunya alat bantu mobilitas listrik lokal yang mampu beradaptasi dengan jenis kursi roda standar. Dirancang dengan material baja ringan dan diproduksi secara kolaboratif antara peneliti, teknisi bengkel, dan pengguna langsung, MOKURA menekankan aspek ergonomi, daya tahan, dan efisiensi biaya. Produk ini juga dilengkapi fitur keselamatan seperti sistem pengungkit roda depan, kecepatan maksimum  $\pm 10\text{ km/jam}$ , serta sistem rem elektrik yang dikendalikan melalui *throttle*. Dengan berat total  $\pm 10\text{--}17\text{ kg}$ , MOKURA menjadi solusi tepat guna yang dirancang khusus untuk pengguna aktif di lingkungan jalanan Indonesia yang tidak selalu ramah kursi roda (Guspara et al., 2022).

### (B) Penyusunan Daftar Kebutuhan

Penyusunan daftar kebutuhan merupakan tahapan awal dalam metode Ulrich dengan melakukan pengumpulan data untuk kepentingan pembuatan produk, agar produk yang dihasilkan dapat memiliki spesifikasi produk yang sesuai. Pengumpulan data pada tahap ini diperoleh melalui dari hasil *survey* kepada pengguna kursi roda.

Dengan dibuatnya penyusunan daftar kebutuhan ini diharapkan dapat mengoptimalkan produk yang akan dibuat.

Informasi:

S : Syarat

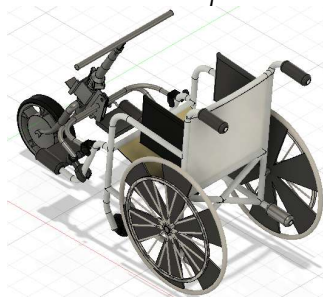
H : Harapan

**Tabel 1.** Daftar Kebutuhan

| Aspek                         | S/H | Uraian Kebutuhan                                             | Tim Penanggung jawab        |
|-------------------------------|-----|--------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Fleksibilitas                 | S   | - Kemudahan penggunaan.                                      | Tim Manufaktur              |
|                               | S   | - Bisa menyesuaikan tinggi badan yang berbeda.               | Tim Desain & Tim Manufaktur |
| Berat                         | S   | - Alat ringan namun tetap kokoh dan kuat.                    | Tim Desain & Tim Manufaktur |
|                               | H   | - Alat tidak membebani pengguna saat didorong secara manual. | Tim Manufaktur              |
| Kompabilitas dan Portabilitas | S   | - Alat bisa digunakan pada kursi roda standar 22 inci.       | Tim Desain & Tim Manufaktur |
|                               | S   | - Alat tersedia ruang/dudukan untuk baterai.                 |                             |
| Perawatan                     | H   | - <i>Frame</i> tidak mudah berkarat atau rusak.              | Tim Manufaktur              |
|                               | H   | - Tidak menambah perawatan kursi roda.                       |                             |
| Dimensi                       | S   | - Ukuran dan dimensi alat tidak mengganggu manuver.          | Tim Desain & Tim Manufaktur |
| Keamanan                      | S   | - Sistem penguncian harus kuat dan aman.                     | Tim Desain & Tim Manufaktur |
| Harga                         | H   | - Harga alat yang terjangkau.                                | Tim Manufaktur              |

### (C) Pembuatan Konsep Desain

Untuk konsep desain 1 memiliki dimensi utama 480.5mm x 884.7mm x 593mm. Pada bagian rumah komstir dipasangkan plat dengan tebal 3.5mm yang bertujuan untuk dudukan baterai dan dudukan dari *bracket*. *Bracket* dipasangkan besi ukuran ¾ inci dan berbentuk U untuk dudukan dari *clamp*.



**Gambar 2.** Konsep Desain 1

**RULA Analysis (Manikin1)**

Side: ☐ Left ☒ Right

**Parameters**

Posture  
☐ Static ☒ Intermittent ☐ Repeated

Repeat Frequency  
☒ < 4 Times/min. ☐ > 4 Times/min.

☒ Arm supported/Person leaning  
☐ Arms are working across midline  
☐ Check balance

Load: 0kg

**Score**

Final Score: 2 ■ Acceptable

**Details**

|                      |   |   |
|----------------------|---|---|
| Upper Arm:           | 1 | ■ |
| Forearm:             | 1 | ■ |
| Wrist:               | 1 | ■ |
| Wrist Twist:         | 2 | ■ |
| Posture A:           | 2 | ■ |
| Muscle:              | 0 | ■ |
| Force/Load:          | 0 | ■ |
| Wrist and Arm:       | 2 | ■ |
| Neck:                | 1 | ■ |
| Trunk:               | 1 | ■ |
| Leg:                 | 1 | ■ |
| Posture B:           | 1 | ■ |
| Neck, Trunk and Leg: | 1 | ■ |

Hasil akhir analisis RULA penggunaan alat *supporting device* menggunakan *software* CATIA dengan skor 2 dan masuk dalam kategori dapat diterima dan tidak memiliki risiko cedera.

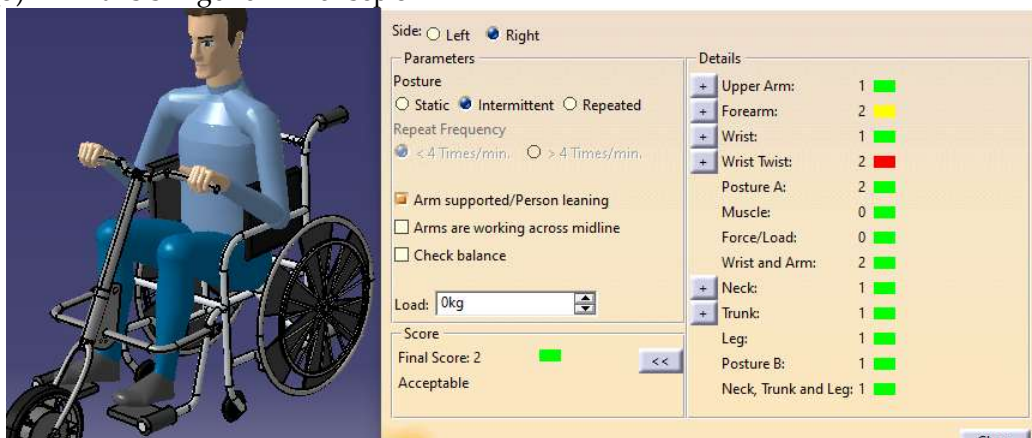
## (2) Analisis Ergonomi Konsep 2



Gambar 6. Analisis Ergonomi Konsep 2

Hasil akhir analisis RULA penggunaan alat *supporting device* menggunakan *software* CATIA dengan skor 2 ada risiko yang bisa ditimbulkan seperti dari *forearm* dan *wrist*.

## (3) Analisis Ergonomi Konsep 3



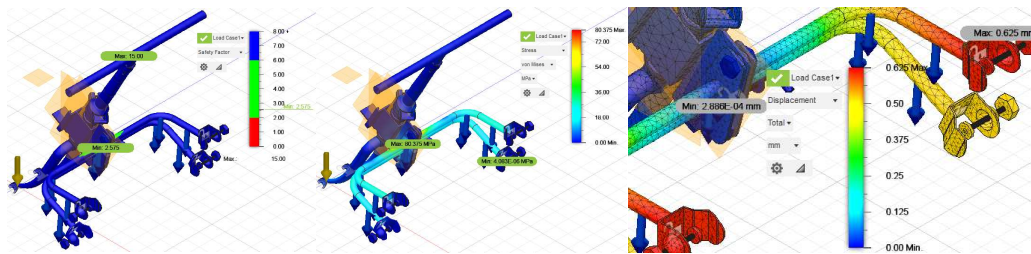
Gambar 7. Analisis Ergonomi Konsep 3

Hasil akhir analisis RULA penggunaan alat *supporting device* menggunakan *software* CATIA dengan skor 2 dan masuk dalam kategori dapat diterima. Tetapi ada yang rawan pada bagian *forearm* dan *wrist twist*.

## (E) Analisis Kekuatan

## (1) Analisis Kekuatan Konsep 1

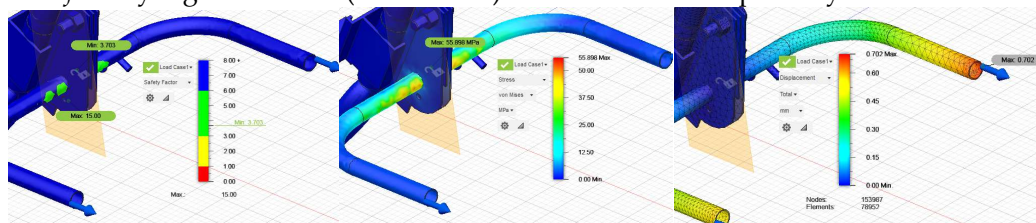
Dari hasil analisis di bawah ini, dapat diketahui nilai minimum *safety factor* adalah 2.575, nilai maksimum *von misses stress* adalah 80.375 MPa, dan nilai *maximum displacement* 0.625 mm. Apabila dibandingkan dengan perhitungan tegangan maksimum, maka hasil tersebut dikatakan aman ( $80.375 \text{ MPa} < 103.5 \text{ MPa}$ ) sedangkan untuk nilai *safety factor* terendah hasil simulasi lebih besar dari *safety factor* yang ditentukan ( $2.575 > 2.00$ ) maka desain ini dapat dinyatakan aman.



**Gambar 8.** *Safety Factor, Von Misses Stress, dan Displacement Konsep 1*

(2) Analisis Kekuatan Konsep 2

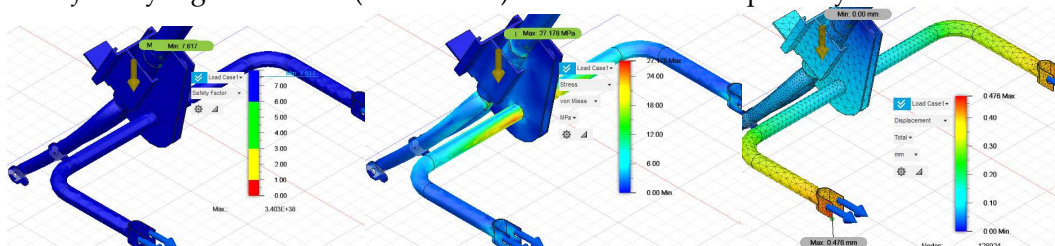
Dari hasil analisis tersebut, dapat diketahui nilai minimum *safety factor* adalah 3.703, nilai maksimum *von misses stress* adalah 55.898 MPa, dan nilai *maximum displacement* 0.792 mm. Apabila dibandingkan dengan perhitungan tegangan maksimum, maka hasil tersebut dikatakan aman ( $55.898 \text{ MPa} < 103.5 \text{ MPa}$ ) sedangkan untuk nilai *safety factor* terendah hasil simulasi lebih besar dari *safety factor* yang ditentukan ( $3.703 > 2.00$ ) maka desain ini dapat dinyatakan aman.



**Gambar 9.** *Safety Factor, Von Misses Stress, dan Displacement Konsep 2*

(3) Analisis Kekuatan Konsep 3

Dari hasil analisis tersebut, dapat diketahui nilai minimum *safety factor* adalah 7.617, nilai maksimum *von misses stress* adalah 27.178 MPa, dan nilai *maximum displacement* 0.476 mm. Apabila dibandingkan dengan perhitungan tegangan maksimum, maka hasil tersebut dikatakan aman ( $27.178 \text{ MPa} < 103.5 \text{ MPa}$ ) sedangkan untuk nilai *safety factor* terendah hasil simulasi lebih besar dari *safety factor* yang ditentukan ( $7.617 > 2.00$ ) maka desain ini dapat dinyatakan aman.



**Gambar 10.** *Safety Factor, Von Misses Stress, dan Displacement Konsep 3*

**(F) Pemilihan Konsep**

Pada proses pemilihan konsep, kriteria dari yang digunakan adalah berdasarkan: dimensi umum, dimensi tekuk, berat, dan ergonomi. Berikut adalah tabel matrik penilaian pemilihan konsep:

**Tabel 2.** Matrik Pemilihan Konsep

| Kriteria Seleksi | Bobot | Konsep Produk 1 |            | Konsep Produk 2 |            | Konsep Produk 3 |            |
|------------------|-------|-----------------|------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
|                  |       | Rate            | Skor Bobot | Rate            | Skor Bobot | Rate            | Skor Bobot |

|               |      |   |        |   |        |   |        |
|---------------|------|---|--------|---|--------|---|--------|
| Dimensi Umum  | 30%  | 4 | 1,2    | 2 | 0,6    | 3 | 0,9    |
| Dimensi Lipat | 20%  | 4 | 0,8    | 2 | 0,4    | 2 | 0,4    |
| Berat         | 20%  | 2 | 0,4    | 3 | 0,6    | 4 | 0,8    |
| Ergonomi      | 30%  | 4 | 1,2    | 3 | 0,9    | 3 | 0,9    |
| Bobot Total   | 100% |   |        |   |        |   |        |
| Nilai Absolut |      |   | 3,6    |   | 2,5    |   | 3      |
| Nilai Relatif |      |   | 39,56% |   | 27,47% |   | 32,96% |

Dari hasil pemilihan konsep yang dilakukan, seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 1, dimana nilai absolut atau nilai relatif dari konsep 1 adalah paling besar, yaitu 3,6 (39,56% dari total nilai bobot). Oleh karena itu, konsep 1 seperti pada Gambar 2 dipilih sebagai konsep terbaik dari ketiga konsep yang telah dibuat.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan simulasi pengujian, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- (1) Analisis ergonomi menunjukkan seluruh konsep memiliki skor RULA yang dapat diterima (skor 2), meskipun ada risiko kecil pada konsep 2 dan 3.
- (2) Hasil analisis kekuatan struktur menunjukkan semua konsep memenuhi syarat tegangan izin dan faktor keamanan:
  - Konsep 1: *safety factor* 2.575, tegangan maksimum 80.375 MPa.
  - Konsep 2: *safety factor* 3.703, tegangan maksimum 55.898 MPa.
  - Konsep 3: *safety factor* 7.617, tegangan maksimum 27.178 MPa.
- (3) Konsep 1 dipilih sebagai desain terbaik karena memperoleh nilai tertinggi berdasarkan kriteria dimensi, berat, dan ergonomi (nilai relatif: 39,56%).

Untuk tahap pengembangan selanjutnya, disarankan agar dilakukan pembuatan dan pengujian prototipe secara langsung guna memverifikasi performa struktural dan kenyamanan pengguna di kondisi nyata. Selain itu, integrasi sistem elektrik yang lebih canggih seperti kontrol kecepatan adaptif, sistem pengereman yang responsif, dan indikator baterai akan meningkatkan keamanan dan kemudahan penggunaan. Penggunaan material alternatif seperti aluminium alloy atau bahan komposit juga dapat dipertimbangkan untuk mengurangi berat total tanpa mengurangi kekuatan struktur. Uji coba tambahan pada berbagai jenis medan jalan dan dalam durasi penggunaan yang panjang juga perlu dilakukan untuk memastikan ketahanan dan keandalan alat dalam kondisi lapangan sesungguhnya.

## REFERENSI

- Abdullah, M. (2016). Buku Fisika Dasar 1.
- Faiz, M., Rahman, F., Juniani, A. I., & Setiawan, T. A. (2018). Perancangan Jok Ergonomis Dalam Fabrikasi Mobil Minimalis Roda Tiga.
- Gandepalli, M. K., Surya Ajay, M. V., Shankar, Dr. N. V. S., Acharya, Dr. A., Sravani, A., & Kumar, P. C. (2023). Fabrication of Affordable Electric Wheelchair by Retrofitting. 338-342. Doi:10.46254/in02.20220141

- Guspara, W. A., Kuncoro, L., Satwikasanti, W. T., Cardiyanta, F., & Bagastira, Y. T. (2022). Implementasi Teknologi Kendaraan Listrik Berbasis Baterai Untuk Membantu Mobilitas Pengguna Kursi Roda.
- Iremonger, M. J. (1990). Buku Dasar Analisis Tegangan.
- Khurmi, R. S., & Gupta, J. K. (2005). A Textbook Of Machine Design. Engg. Services.
- Kurniadi Rasyid, M., Raya Puspipetek, J., Tangerang Selatan, K., Banten, P., & Kunci, K. (2019). Aplikasi Metode Elemen Hingga dan Pugh's Concept Selection pada Perancangan Kursi Roda Finite Element and Pugh's Concept Selection Application in the Design of Wheeled Chair.
- Mulyadi, S. (2011). Analisa Tegangan-Regangan Produk Tongkat Lansia Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal ROTOR*. 4.
- Saskia, A. P. (2024). Rancang Bangun Alat Bantu Terapi Schroth Exercise Untuk Pasien Skoliosis.
- Supadma, D. E., & Rahmawati, R. F. (2022). Layanan Kursi Roda Adaptif Pada Penyandang Difabel. *GEMAKES Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. 2(1), 62-68. Doi:10.36082/gemakes.v2i1.553
- Tempo.co. (2023). 6 Juta Penyandang Disabilitas Tak Punya Kursi Roda. Diakses pada 17 Januari 2025, dari <https://www.tempo.co/politik/6-juta-penyandang-disabilitas-tak-punya-kursi-roda-230513>
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2011). Product Design and Development Fifth Edition.
- Yudiantyo, W., Wawolumaja, R., & Soly, S. (2023). Perancangan Fasilitas Penunjang untuk Pemindahan Pasien dari/ke Kursi Roda ke/dari Tempat Tidur Melalui Pendekatan Ergonomi. *Journal of Integrated System*. 6(2), 210-225. Doi:10.28932/jis.v6i2.7554