

FLEXI-BED: KURSI RODA MULTIFUNGSI DENGAN TRANSFORMASI TEMPAT TIDUR UNTUK LANSIA YANG TINGGAL MANDIRI

Jonathan Wijaya¹, Dipa Marskal Abiyakso², Naufal Lutfi Azmy³, Sobron Lubis⁴

¹Jurusan Teknik Mesin, Universitas Tarumanagara Jakarta

Email: jonathan.515230009@stu.untar.ac.id

²Jurusan Teknik Mesin, Universitas Tarumanagara Jakarta

Email: dipa.515230031@stu.untar.ac.id

³Jurusan Teknik Mesin, Universitas Tarumanagara Jakarta

Email: naufal.515230046@stu.untar.ac.id

⁴Jurusan Teknik Mesin, Universitas Tarumanagara Jakarta

Email: sobronl@ft.untar.ac.id

Masuk : 15-05-2025, revisi: 01-06-2025, diterima untuk diterbitkan : 28-05-2025

ABSTRAK

Flexi-Bed merupakan kursi roda multifungsi yang dirancang untuk meningkatkan kenyamanan dan kemandirian lansia dalam menjalankan aktivitas sehari-hari. Sebagian besar kursi roda konvensional tidak dirancang untuk penggunaan jangka panjang atau untuk perubahan posisi tubuh seperti berbaring, sehingga menimbulkan ketidaknyamanan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem mekanis dan elektrik pada kursi roda yang dapat bertransformasi menjadi tempat tidur dengan pendekatan teknik berbasis analisis gaya, torsi, dan distribusi beban. Proses perancangan melibatkan perhitungan statika dan dinamika, pemilihan material menggunakan *Ashby Chart*, serta evaluasi risiko sistem melalui metode *Risk Priority Number* (RPN). Hasil menunjukkan bahwa *Flexi-Bed* mampu menopang beban hingga 80 kg dengan faktor keamanan tinggi. Sistem penggerak menggunakan motor listrik 1.349,33 W dengan efisiensi 80%, dipadukan dengan rasio *gearbox* 1,1:1 untuk medan datar dan 1,5:1 untuk tanjakan hingga 30°, menghasilkan kecepatan efektif 0,9 m/s. Material utama yang digunakan adalah aluminium 1100 karena ringan dan memiliki kekuatan yang memadai untuk kebutuhan struktural. Desain distribusi beban telah disesuaikan untuk posisi duduk, tidur, dan saat berdiri. Dengan pendekatan perancangan berbasis teknik yang sistematis, *Flexi-Bed* diharapkan dapat menjadi solusi inovatif untuk alat bantu mobilitas lansia yang ergonomis, aman, dan hemat energi.

Kata Kunci: kursi roda multifungsi, aluminium 1100, gaya distribusi, analisis mekanik, lansia mandiri.

ABSTRACT

Flexi-Bed is a multifunctional wheelchair designed to enhance comfort and independence for elderly users in their daily activities. Conventional wheelchairs are generally not optimized for long-term use or for dynamic postures such as reclining, which often leads to discomfort. This study aims to develop a mechanical and electrical system for a wheelchair that can transform into a bed, using a technical approach based on force analysis, torque calculations, and load distribution. The design process includes static and dynamic mechanical analysis, material selection using the *Ashby Chart*, and system risk evaluation using the *Risk Priority Number* (RPN) method. Results indicate that *Flexi-Bed* can support loads up to 80 kg with a high safety factor. The propulsion system utilizes a 1349.33 W electric motor with 80% efficiency, combined with a gearbox ratio of 1.1:1 for flat terrain and 1.5:1 for slopes up to 30°, yielding an effective speed of 0.9 m/s. Aluminum 1100 is selected as the main structural material due to its lightweight and sufficient strength. Load distribution has been optimized for sitting, lying, and standing postures. With a comprehensive engineering-based design approach, *Flexi-Bed* is expected to offer an innovative mobility aid solution for elderly users that is ergonomic, safe, and energy-efficient.

Keywords: multifunctional wheelchair, aluminum 1100, load distribution, mechanical analysis, elderly independence.

1. PENDAHULUAN

Latar belakang

Penuaan sering kali disertai dengan penurunan fungsi otot, koordinasi, dan keseimbangan tubuh yang berdampak signifikan terhadap kemampuan mobilitas lansia. Kondisi ini menyebabkan

kebutuhan yang meningkat akan alat bantu gerak, khususnya kursi roda. Namun, mayoritas kursi roda konvensional hanya dirancang untuk fungsi perpindahan yang terbatas, tanpa memperhatikan kenyamanan dan fleksibilitas posisi tubuh, terutama saat digunakan dalam jangka waktu lama (Mardiana et al., 2020; Zhang et al., 2024). Studi layanan kursi roda adaptif oleh Supadma dan Rahmawati (2022) mengungkapkan bahwa sekitar 70% lansia membutuhkan fitur multifungsi untuk mendukung aktivitas sehari-hari mereka secara optimal.

Lansia yang tidak mampu melakukan aktivitas dasar tanpa pendamping penuh, memerlukan perangkat bantu yang tidak hanya fungsional, tetapi juga adaptif dan ergonomis. Oleh karena itu, diperlukan alat bantu yang dapat menyesuaikan diri dengan perubahan kebutuhan posisi tubuh, baik saat duduk, beristirahat, maupun berpindah secara mandiri. Dalam konteks ini, konsep mobilitas perkotaan yang diuraikan oleh Guspara dan Saputra (2021) mendorong pengembangan kursi roda yang kompak dan multifungsi untuk memenuhi kebutuhan mobilitas yang dinamis dan praktis di lingkungan perkotaan.

Sebagai solusi atas kebutuhan tersebut, penelitian ini mengusulkan desain *Flexi-Bed*, sebuah kursi roda multifungsi yang dapat diubah menjadi tempat tidur dan dilengkapi dengan sistem kontrol penggerak serta platform pengangkat-penurun tubuh untuk membantu lansia saat berpindah dari posisi duduk ke berdiri maupun sebaliknya. Inovasi ini ditujukan untuk meningkatkan kemandirian pengguna lansia dalam beraktivitas sehari-hari. Pengembangan desain *Flexi-Bed* mempertimbangkan distribusi beban tubuh pengguna, efisiensi sistem transmisi, serta pemilihan material berdasarkan *Ashby Chart*. Selain itu, evaluasi risiko dilakukan menggunakan pendekatan *Risk Priority Number* (RPN). *Flexi-Bed* dirancang untuk menahan beban hingga 80 kg, mampu menahan pada kemiringan hingga 30°, dan tetap hemat energi melalui konfigurasi motor listrik dan gearbox yang optimal.

Beberapa penelitian terdahulu, seperti yang dilakukan oleh Moula et al. (2023), telah berupaya mengintegrasikan fungsi kursi roda dan tempat tidur. Namun, pendekatan dalam penelitian tersebut belum mencakup analisis teknik yang lengkap. Penelitian lain yang mengembangkan integrasi fungsi tempat tidur pada alat bantu mobilitas, seperti yang dilakukan oleh Andhare dan Onkar (2015), belum secara spesifik menitikberatkan pada aspek ergonomi lansia. Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan memberikan kontribusi yang lebih dalam pengembangan kursi roda multifungsi yang tidak hanya memenuhi persyaratan kekuatan mekanik dan keamanan struktural, tetapi juga mengakomodasi kebutuhan ergonomis lansia mandiri.

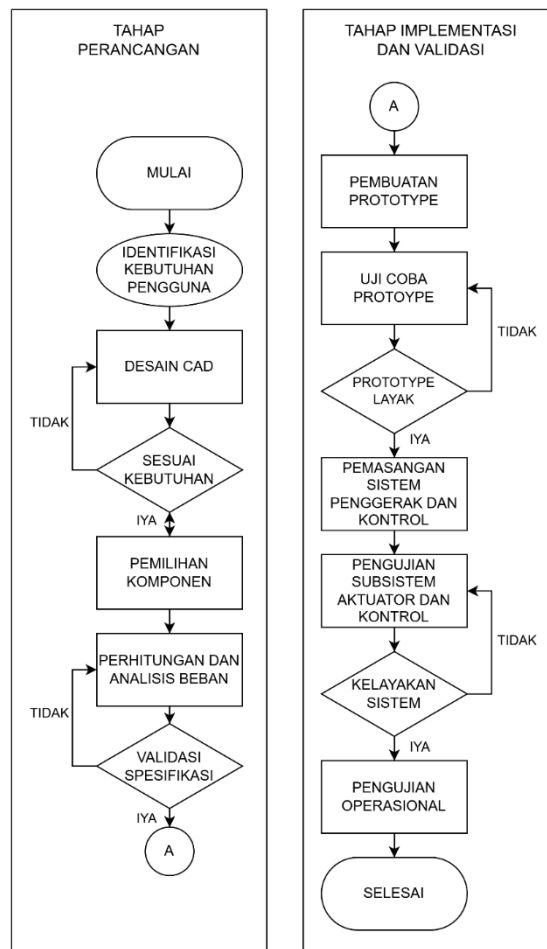
Rumusan masalah

Penelitian ini bertujuan untuk menjawab tiga pertanyaan utama: (1) Bagaimana merancang dan membangun kursi roda multifungsi yang dapat bertransformasi menjadi tempat tidur untuk mendukung kemandirian lansia dalam aktivitas sehari-hari; (2) Bagaimana menentukan spesifikasi teknis optimal, termasuk pemilihan motor, material, dan struktur, agar memenuhi kriteria kekuatan, keamanan, dan efisiensi energi; serta (3) Fitur fungsional apa saja yang diperlukan pada desain kursi roda-transformasi tempat tidur ini untuk memastikan aspek ergonomi dan kenyamanan bagi pengguna lansia. Ketiga rumusan masalah ini menjadi landasan dalam pengembangan *Flexi-Bed* sebagai solusi inovatif yang menggabungkan mobilitas dan kenyamanan berbaring secara terintegrasi.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan rekayasa sistematis untuk merancang dan mengevaluasi *Flexi-Bed*, alat bantu mobilitas multifungsi yang dapat berubah dari kursi menjadi tempat tidur.

Proses perancangan dilakukan dalam dua tahapan utama: tahap perancangan dan tahap implementasi dan validasi, yang dijabarkan melalui diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Penelitian

Tahap perancangan dimulai dari identifikasi kebutuhan pengguna lanjut usia melalui wawancara langsung serta studi literatur antropometri. Selanjutnya dilakukan desain awal menggunakan perangkat lunak CAD dan validasi desain berdasarkan kesesuaian terhadap kebutuhan. Jika tidak memenuhi spesifikasi, desain diperbaiki secara iteratif. Proses dilanjutkan dengan pemilihan komponen mekanis dan aktuator berdasarkan kriteria kekuatan, efisiensi, dan ketersediaan, diikuti oleh analisis beban dan simulasi faktor keamanan menggunakan pendekatan statika dan metode FEA.

Pada tahap implementasi dan validasi, dilakukan pembuatan prototipe fisik berdasarkan hasil desain akhir. Uji coba dilakukan untuk menilai kemampuan transformasi kursi-tempat tidur dan stabilitas struktural. Setelah prototipe dinyatakan layak, sistem penggerak, dan kontrol diintegrasikan. Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kecepatan respon, kendali, dan keamanan operasional. Tahap akhir berupa pengujian operasional secara menyeluruh untuk menilai kelayakan *Flexi-Bed* dalam skenario penggunaan nyata oleh lansia.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis statika dan dinamika

Untuk memastikan kestabilan dan keamanan *Flexi-Bed* dalam berbagai kondisi operasional, dilakukan analisis statika dan dinamika. Analisis ini mencakup perhitungan gaya normal, gaya gesek, dan gaya dorong yang bekerja pada sistem saat pengguna dalam posisi duduk dan saat kursi roda bergerak di medan datar maupun menanjak. Hasil dari analisis ini menjadi dasar dalam menentukan kebutuhan daya motor listrik, rasio *gearbox*, serta torsi minimal yang harus ditransmisikan oleh sistem penggerak.

Gaya Normal

- Jika perkiraan berat kursi roda = 20 kg
- Jika maksimum berat lansia = 80 kg

$$Fn = (m \text{ kursi} + m \text{ lansia}) \times g$$

$$Fn = (20 \text{ kg} + 80 \text{ kg}) \times 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$Fn = 100 \text{ kg} \times 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$Fn = 100 \text{ N} \times 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$Fn = 980 \text{ N}$$

Perkiraan Jari-jari Roda

- Jika Diameter roda belakang = (0.6 m)

$$\text{Radius roda} = \frac{0.6 \text{ m}}{2} = 0.3 \text{ m}$$

Jika Diameter roda depan = (0.15 m)

$$\text{Jari-jari roda} = \frac{0.15 \text{ m}}{2} = 0.075 \text{ m}$$

Perkiraan Kecepatan Kursi Roda dalam Bentuk m/s

- Jika kecepatan kursi roda yang di rencanakan = 3.6 km/jam

$$V = 3.6 \frac{km}{jam} \times \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}}$$

Maka, $V = 1 \text{ m/s}$

Dengan Parameter yang Diketahui:

- Beban kursi roda = 20 kg
- Beban pengguna = 80 kg
- Gaya Normal / Berat dorong = 100 kg \approx 980 N
- Kecepatan linear = 3.6 km/jam = $\frac{3.6}{3.6} = 1 \text{ m/s}$
- Sudut kemiringan jalan maksimum = 30°
- Radius roda belakang = 0.3 m
- Radius roda depan = 0.075 m

1. Menghitung Gaya Gesek

Menghitung gaya gesek kursi roda pada bidang datar

$$Fgs = \mu s \times Fn$$

$$Fgk = \mu k \times Fn$$

$$Fgs = 0.59 \times 980 \text{ N}$$

$$Fgk = 1.41 \times 980 \text{ N}$$

$$Fgs = 578.2 \text{ N}$$

$$Fgk = 1381.8 \text{ N}$$

Menghitung gaya gesek kursi roda pada bidang miring 30°

$$Fgs = (578.2 \text{ N} \times \cos(30^\circ) + (980 \times \sin(30^\circ)))$$

$$F_{gs} = 500.7 \text{ N} + 490 \text{ N}$$

$$F_{gs} = 990.7 \text{ N}$$

$$F_{gk} = (1381.8 \text{ N} \times \cos[(30^\circ)]) + (980 \times \sin(30^\circ))$$

$$F_{gk} = 1196.67 \text{ N} + 490 \text{ N}$$

$$F_{gk} = \mathbf{1686.67 \text{ N}}$$

2. Perhitungan Gaya dorong

Gaya yang dipakai adalah gaya gesek kinetis, karena jika sistem sedang bergerak, gaya gesek kinetis adalah gaya yang melawan gerakan saat kursi roda berjalan. Oleh karena itu di ambil gaya gesek kinetis yang paling tinggi yaitu sebesar **1686.67 N**

$$F_d = F_{gtot}$$

3. Menghitung Daya Motor Listrik untuk Mengatasi Gaya Dorong

$$P = F_d \times V$$

Di mana:

P = Daya (Watt)

F_d = Gaya dorong (N)

V = Kecepatan kursi roda (m/s)

$$P = 1686.67 \times 1$$

$$P = 1686.67 \text{ Watt}$$

Daya Motor listrik dengan efisiensi 80%

$$P_{\text{efisiensi}} = 1686.67 \times 0.8 = \mathbf{1349.33 \text{ Watt}}$$

4. Mencari Kecepatan Sudut Motor Listrik

$$\omega_{\text{motor}} = \frac{V}{r}$$

Di mana:

ω_{motor} = Kecepatan sudut motor (rad/s)

V = Kecepatan kursi roda (m/s)

r = Radius roda kursi roda (m)

$$\omega_{\text{motor}} = (1 \text{ m/s}) / (0.3 \text{ m})$$

$$\omega_{\text{motor}} = 3.33 \text{ rad/s}$$

5. Perkiraan Torsi Pada Motor Listrik

$$T_{\text{motor}} = (P_{\text{motor}}) / (\omega_{\text{motor}})$$

Di mana:

T_{motor} = Torsi yang dihasilkan oleh motor (Nm)

P_{motor} = Daya motor (W)

ω_{motor} = Kecepatan sudut motor (rad/s)

$$T_{\text{motor}} = 1349.33 / 3.33$$

$$T_{\text{motor}} = 408.8 \text{ Nm}$$

Menghitung torsi pada Roda 0.3 m untuk Bidang Datar

$$\tau_{\text{roda}} = F_{gtot} \times r$$

Di mana:

τ_{roda} = torsi roda

F_{gtot} = gaya gesek bidang datar

r = radius roda belakang

$$\tau_{\text{roda}} = 1381.8 \text{ N} \times 0.3$$

$$\tau_{\text{roda}} = 414.54 \text{ Nm}$$

Menghitung torsi pada Roda 0.3 m untuk Bidang Miring 30°

$$\tau_{\text{roda}} = F_{gtot} \times r$$

Di mana:

τ_{roda} = torsi roda

$$\begin{aligned} F_{gtot} &= \text{ gaya gesek bidang miring} \\ r &= \text{ radius roda belakang} \\ \tau_{roda} &= 1686.67 \text{ N} \times 0.3 \\ \tau_{roda} &= 506 \text{ Nm} \end{aligned}$$

6. Perhitungan Rasio *Gearbox*

Menghitung rasio *Gearbox* untuk Bidang Datar

$$\begin{aligned} G &= (\tau_{roda})/(\tau_{motor}) \\ G &= 414.54/408.8 \\ G &= 1.01 \end{aligned}$$

Menghitung rasio *Gearbox* untuk Bidang Miring 30°

$$\begin{aligned} G &= (\tau_{roda})/(T_{motor}) \\ G &= 506/408.8 \\ G &= 1.23 \end{aligned}$$

Jadi, rasio *gear* untuk kursi roda berbidang datar sebesar 1,01:1 bisa menjadi 1,1:1 dan rasio *gear* untuk kursi roda berbidang miring 30° sebesar 1,23:1 bisa menjadi 1,5:1.

Perkiraan Kecepatan Kursi Roda terhadap Efisiensi *Gearbox* jika efisiensi *gearbox* adalah sebesar $\eta = 90\%$

$$\begin{aligned} V_{effective} &= V_{desired} \times \eta \\ V_{effective} &= 1 \text{ m/s} \times 0.9 = \mathbf{0.9 \text{ m/s}} \end{aligned}$$

7. Perhitungan Voltase Aki Baterai yang Sesuai

Pada pasar, terdapat 2 ukuran aki baterai yang cukup kompak yaitu 12V dan 24V. Berikut perhitungan kedua aki baterai untuk menentukan mana yang lebih baik untuk digunakan:

$$P = V \times I$$

Di mana:

$$\begin{aligned} P &= \text{ Daya pada kursi roda} \\ V &= \text{ Voltase pada baterai} \\ I &= \text{ Ampere} \end{aligned}$$

Menghitung Voltase Aki Baterai untuk 12V

$$I = P/V = 1349.33/12 \approx 112.4 \text{ A}$$

Menghitung Voltase Aki Baterai untuk Untuk 24V

$$I = P/V = 1349.33/24 \approx 56.2 \text{ A}$$

8. Perhitungan *Ampere Hour*, dengan perkiraan penggunaan selama 2 jam

Menghitung *Ampere Hour* pada baterai untuk 12V

$$\text{Kapasitas (Ah)} = I \times t = 112.4 \text{ A} \times 2 \text{ jam} = 224.8 \text{ Ah}$$

Menghitung *Ampere Hour* pada baterai untuk 24V

$$\text{Kapasitas (Ah)} = I \times t = 56.2 \text{ A} \times 2 \text{ jam} = 112.4 \text{ Ah}$$

Dengan sistem tegangan lebih tinggi, misalnya 24V, mengurangi kapasitas Ah yang diperlukan, sehingga memungkinkan penggunaan lebih lama dengan ukuran baterai lebih kecil dibandingkan dengan sistem tegangan rendah 12V. Untuk aplikasi yang memerlukan jangka waktu lama, opsi *voltase* yang lebih tinggi dapat lebih efisien dalam mengelola daya dan ukuran baterai

Distribusi gaya pada tiap komponen

Analisis distribusi gaya pada masing-masing platform utama dilakukan untuk memahami bagaimana beban tubuh lansia terbagi saat menggunakan *Flexi-Bed* dalam posisi duduk, tidur, dan berdiri. Pemahaman pembagian gaya ini sangat penting dalam perancangan struktur yang ergonomis serta memastikan setiap komponen menerima beban sesuai dengan fungsinya.

Distribusi beban pada platform tempat duduk mengadopsi prinsip yang serupa dengan desain tempat tidur pasien, namun dilakukan modifikasi pada sudut kemiringan agar sesuai dengan kebutuhan lansia (Andhare & Onkar, 2015). Data distribusi gaya tersebut menjadi dasar dalam melakukan simulasi tegangan dan penentuan faktor keselamatan pada bagian-bagian struktural seperti alas duduk, alas punggung, penopang betis, dan kaki.

Adapun ukuran komponen kursi roda :

- Platform Alas Duduk : 50 x 50 cm
- Platform Alas Kaki : 25 x 50 cm
- Platform Alas Betis : 50 x 50 cm
- Platform Pengangkat (atas dan bawah) : 30 x 20 cm
- Platform Alas Punggung : 50 x 50 cm

1. Perhitungan gaya normal dengan berat lansia 80 kg

$$W = f \times 9.81 = 784.8 \text{ N}$$

2. Perhitungan Distribusi Gaya yang Diterima Komponen Dengan Posisi Kursi Roda:

- Platform Alas duduk
Perkiraan: Beban total yang akan diterima ketika lansia duduk sekitar 50% dari beban total

$$F \text{ seat platform} = 0.5 \times W = 0.5 \times 784.8 = \mathbf{392.4 \text{ N}}$$

- Platform Alas Kaki
Perkiraan: Beban total yang akan diterima ketika lansia duduk sekitar 10% dari beban total

$$F \text{ foot platform} = 0.1 \times W = \mathbf{78.48 \text{ N}}$$

- Platform Betis
Perkiraan: Beban total yang akan diterima ketika lansia duduk sebesar 10% dari beban total

$$F \text{ calf platform} = 0.1 \times W = 0.1 \times 784.8 = \mathbf{78.48}$$

- Menghitung Gaya Vertikal

Perkiraan: Kemiringan platform -70° (kebawah)

$$F \text{ calf platform, vertikal} = 78.48 \times \cos(-70^\circ) = \mathbf{26.84 \text{ N}}$$

- Menghitung Gaya Horizontal

Perkiraan: Kemiringan platform -70° (kebawah)

$$F \text{ calf platform, vertikal} = 78.48 \times \sin(-70^\circ) = \mathbf{-73.74 \text{ N}}$$

- Platform Pengangkat
Perkiraan: Beban total yang akan diterima ketika lansia duduk sekitar 10% dari beban total

$$F \text{ lifting platform} = 0.1 \times W = 0.1 \times 784.8 = \mathbf{78.48 \text{ N}}$$

- Platform Alas Punggung

Perkiraan: Beban total yang akan diterima ketika lansia duduk sebesar 20% dari beban total

$$F \text{ back platform} = 0.2 \times W = 0.2 \times 784.8 = \mathbf{156.96 \text{ N}}$$

- Menghitung Gaya Vertikal

Perkiraan: Kemiringan platform 110°

$$F \text{ back platform, vertikal} = 156.96 \times \cos(110^\circ) = \mathbf{-53.68 \text{ N}} \text{ (arah ke bawah)}$$

- Menghitung Gaya Horizontal

Perkiraan: Kemiringan platform 110°

$$F \text{ back platform, horizontal} = 156.96 \times \sin(110^\circ) = \mathbf{147.49 \text{ N}}$$

3. Perhitungan Distribusi Gaya yang Diterima Komponen Dengan Posisi Tidur:

- *Platform* Alas Duduk dan *Platform* Pengangkat
Perkiraan: Beban yang diterima kedua *platform* ketika lansia tidur akan digabung menjadi sebesar 40% dari beban total
 $F_{\text{seat and lifting platform}} = 0.4 \times W = 0.4 \times 784.8 = 313.92 \text{ N}$
 - *Platform* Betis
Perkiraan: Beban yang diterima ketika lansia tidur sebesar 15% dari beban total
 $F_{\text{calf platform}} = 0.15 \times W = 0.15 \times 784.8 = 117.72 \text{ N}$
 - *Platform* Alas Punggung
Perkiraan: Beban yang diterima ketika lansia tidur sebesar 45% dari beban total
 $F_{\text{back platform}} = 0.45 \times W = 0.45 \times 784.8 = 353.16 \text{ N}$
 - *Platform* Alas Kaki
Perkiraan: Beban yang diterima ketika lansia tidur sebesar 10% dari beban total
 $F_{\text{foot platform}} = 0.1 \times W = 0.1 \times 784.8 = 78.48 \text{ N}$
4. Perhitungan Distribusi Gaya yang Diterima Komponen Saat Lansia Berdiri
- *Platform* Alas Kaki
Perkiraan: Beban yang diterima ketika lansia berdiri sebesar 100% dari beban total
 $F_{\text{foot platform}} = 1 \times W = 1 \times 784.8 = 784.8 \text{ N}$
5. Perhitungan Distribusi Gaya yang Diterima Komponen Saat Lansia Ingin Duduk dan Berdiri
- *Platform* Pengangkat
Perkiraan: Beban total yang akan diterima ketika lansia ingin duduk dan berdiri sekitar 80% dari beban total
 $F_{\text{lifting platform}} = 0.8 \times W = 0.8 \times 784.8 = 627.84 \text{ N}$
 - Menghitung Gaya Vertikal
Perkiraan: Kemiringan *platform maximum* 20°
 $F_{\text{lifting platform, vertikal}} = 627.84 \times \cos(20^\circ) = 589.97 \text{ N}$
 - Gaya Horizontal
Perkiraan: Kemiringan *maximum* 20°
 $F_{\text{lifting platform, horizontal}} = 627.84 \times \sin(20^\circ) = 214.73 \text{ N}$
 - *Platform* Alas Kaki
Perkiraan: Beban yang diterima ketika lansia ingin duduk dan berdiri sebesar 20% dari beban total
 $F_{\text{foot platform}} = 0.2 \times W = 0.2 \times 784.8 = 156.96 \text{ N}$

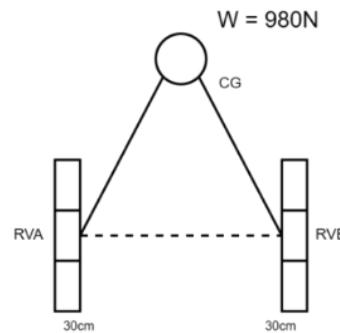
Gaya reaksi pada roda

Dalam sistem mobilitas seperti kursi roda, roda berperan sebagai penyangga utama beban. Oleh karena itu, perlu dihitung gaya reaksi vertikal pada roda depan dan belakang. Perhitungan ini menggunakan prinsip keseimbangan gaya untuk mengetahui distribusi beban antar roda, yang penting untuk menjaga kestabilan saat pengguna duduk di atas kursi roda dan saat perangkat bergerak.

1. Asumsi dan Parameter

Sistem roda *Flexi-Bed* dirancang dengan konfigurasi berikut:

- Beban total (W): 980 N (100 kg inklusi pengguna + kursi)
- Jarak sumbu roda (L): 60 cm
- Titik berat (CG): Dianggap terletak di tengah (30 cm dari tiap roda) saat pengguna duduk tegak (Gambar 2.)



Gambar 2. Distribusi Beban Simetris

2. Perhitungan Gaya Reaksi

Berdasarkan prinsip keseimbangan statis ($\Sigma M = 0$, $\Sigma F = 0$):

Momen terhadap roda depan (RVA):

$$\begin{aligned}\Sigma MVA = 0 &\Rightarrow W \times d = RVB \times L \\ 980 \text{ N} \times 30 \text{ cm} &= RVB \times 60 \text{ cm} \Rightarrow RVB = 490 \text{ N}\end{aligned}$$

Keseimbangan gaya vertikal:

$$RVA + RVB = W \Rightarrow RVA = 980 \text{ N} - 490 \text{ N} = 490 \text{ N}$$

Perhitungan tegangan

Setelah memperoleh distribusi gaya pada masing-masing platform, dilakukan perhitungan tegangan untuk mengetahui seberapa besar tekanan yang diterima oleh setiap permukaan akibat beban pengguna. Tegangan dihitung berdasarkan luas permukaan tumpuan dan gaya vertikal yang diterima. Informasi ini penting untuk memastikan bahwa material yang digunakan tidak mengalami deformasi atau kerusakan saat digunakan dalam kondisi normal maupun posisi transformasi. Nilai tegangan ini akan menjadi dasar dalam menghitung faktor keamanan struktur. Rumus Tegangan pada Material

$$\sigma = F/A$$

1. Berikut perhitungan tegangan saat lansia duduk berdasarkan data yang kita dapat:

- Platform Alas Duduk (50 x 50 cm)
Gaya: 392.1 N
Luas: $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} = 2500 \text{ cm}^2 = 0.25 \text{ m}^2$
 $\sigma = 392.1/0.25 = 1568,4 \text{ Pa} = 1.568 \text{ Kpa} = 0.001568 \text{ MPa}$
- Platform Alas Kaki (25 x 50 cm)
Gaya: 78.48 N
Luas: $25 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} = 1250 \text{ cm}^2 = 0.125 \text{ m}^2$
 $\sigma = 78.48/0.125 = 627.84 \text{ Pa} = 0.628 \text{ Kpa} = 0.000628 \text{ MPa}$
- Platform Alas Betis (50 x 50 cm)
Gaya: 78.48 N
Luas: $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} = 2500 \text{ cm}^2 = 0.25 \text{ m}^2$
 $\sigma = 78.48/0.25 = 313.92 \text{ Pa} = 0.314 \text{ Kpa} = 0.000314 \text{ MPa}$
- Platform Pengangkat (30 x 20 cm)
Gaya: 78.48 N
Luas: $30 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} = 600 \text{ cm}^2 = 0.06 \text{ m}^2$
 $\sigma = 78.48/0.06 = 1308 \text{ Pa} = 1.308 \text{ Kpa} = 0.001308 \text{ MPa}$
- Platform Alas Punggung (50 x 50 cm)
Gaya: 156.96 N
Luas: $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} = 2500 \text{ cm}^2 = 0.25 \text{ m}^2$

$$\sigma = 156.96/0.25 = 627.84 Pa = 0.628 Kpa = 0.000628 MPa$$

2. Berikut perhitungan tegangan saat lansia tidur berdasarkan data yang kita dapat:

- Platform Alas Duduk + Pengangkat (50 x 50 cm)
 Gaya: 313.92 N
 Luas: $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} = 2500 \text{ cm}^2 = 0.25 \text{ m}^2$
 $\sigma = 313.92/0.25 = 1255.68 Pa = 1.256 kPa = 0.001256 MPa$
- Platform Betis (50 x 50 cm)
 Gaya: 117.72 N
 Luas: $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} = 2500 \text{ cm}^2 = 0.25 \text{ m}^2$
 $\sigma = 117.72/0.25 = 470.88 Pa = 0.471 kPa = 0.000471 MPa$
- Platform Alas Punggung (50 x 50 cm)
 Gaya: 353.16 N
 Luas: $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} = 2500 \text{ cm}^2 = 0.25 \text{ m}^2$
 $\sigma = 353.16/0.25 = 1412.64 Pa = 1.413 kPa = 0.001413 MPa$
- Platform Alas Kaki (25 x 50 cm)
 Gaya: 78.48 N
 Luas: $25 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} = 1250 \text{ cm}^2 = 0.125 \text{ m}^2$
 $\sigma = 78.48/0.125 = 627.84 Pa = 0.628 kPa = 0.000628 MPa$

Perhitungan *safety factor*

Faktor keamanan (*safety factor*) digunakan untuk mengukur sejauh mana desain mampu menahan beban lebih dari beban operasional yang diharapkan. Dalam konteks *Flexi-Bed*, *safety factor* dihitung dengan membandingkan tegangan izin material terhadap tegangan kerja yang diterima pada masing-masing platform. Nilai ini menentukan apakah material aluminium 1100 yang digunakan cukup aman dalam menahan gaya dari pengguna lansia. Komponen dengan nilai *safety factor* yang rendah perlu dievaluasi ulang untuk penguatan struktural atau penggantian material.

Rumus *Safety Factor*

$$SF = (\sigma \text{ material})/(\sigma \text{ actual})$$

Jika kita menggunakan material Aluminium 1100, σ materialnya = 34 MPa

Tabel 1. Sifat Mekanis Aluminium 1100

Properti	Satuan
Kekerasan, Brinell	23
Kekuatan Tarik, Hasil	34 MPa
Modulus Elastisitas	68.9GPa

1. Berikut perhitungan *safety factor* saat lansia duduk berdasarkan data yang kita dapat:

- Platform Alas Duduk

$$\frac{34}{0.001568} = 21,694$$
- Platform Alas Kaki

$$\frac{34}{0.000628} = 54,141$$
- Platform Alas Betis

$$\frac{34}{0.000314} = 108,280$$
- Platform Pengangkat

$$\frac{34}{0.001308} = 25,977$$

- Platform Alas Punggung

$$\frac{34}{0.000628} = 54,141$$

2. Berikut perhitungan *safety factor* saat lansia tidur berdasarkan data yang kita dapat:

- Platform Alas Duduk + Pengangkat

$$\frac{34}{0.001256} = 27,070$$

- Platform Alas Kaki

$$\frac{34}{0.000628} = 5,414$$

- Platform Betis

$$\frac{34}{0.000471} = 7,218$$

- Platform Alas Punggung

$$\frac{34}{0.001413} = 24,062$$

Momen puntir dan tegangan geser pada poros roda

Salah satu komponen kritis dalam sistem penggerak *Flexi-Bed* adalah poros roda, yang bertugas mentransmisikan torsi dari motor ke roda belakang dan depan. Untuk memastikan poros tidak mengalami kegagalan akibat beban puntir, dilakukan analisis momen puntir dan tegangan geser maksimum yang terjadi selama operasi, baik pada medan datar maupun saat menanjak. Perhitungan ini mempertimbangkan torsi keluaran motor, ukuran roda, serta radius poros yang dirancang. Hasilnya digunakan untuk menentukan diameter minimum poros yang aman berdasarkan kekuatan geser material aluminium 1100, dengan mempertimbangkan faktor konsentrasi tegangan dan batas elastis material.

Perkiraan: Tegangan geser maksimum (τ_{max}): 34 MPa (diperoleh dari nilai 0.2% *proof strength* untuk aluminium 1100, asumsi 50% dari *tensile strength* ~68 MPa)

- Jari – jari roda belakang = 0.3 m
- Jari – jari roda depan = 0.075 m

1. Perhitungan Torsi Kedua Roda:

- Roda Belakang 0.3 m
 - Bidang Datar

$$\tau_{roda} = 414.54 \text{ Nm}$$

- Bidang dengan Kemiringan 30°

$$\tau_{roda} = \mathbf{506 \text{ Nm}}$$

- Roda Depan 0.075
 - Bidang Datar

$$\tau_{roda} = 1381.8 \text{ N} \times 0.075$$

$$\tau_{roda} = 103.6 \text{ Nm}$$

- Bidang Miring

$$\tau_{roda} = 1686.67 \text{ N} \times 0.075$$

$$\tau_{roda} = \mathbf{126.5 \text{ Nm}}$$

2. Perhitungan Poros

$$d \llbracket = (16T / (\pi \tau_{max})) \rrbracket ^{(1/3)}$$

- Diameter Poros Roda Belakang:

- Bidang Datar (T = 414.54 Nm):

$$d \llbracket = ((16 \times 414.54 \text{ Nm}) / (\pi \times 34 \times 10^6)) \rrbracket ^{(1/3)}$$

$$d \llcorner = (6632.64 / (106.81 \times 10^6)) \llcorner ^{(1/3)}$$

$$d = 0.0398m = 3.98cm$$

$$r = d/2 = 0.0199m$$

- o Bidang Miring (T = 506 Nm):

$$d \llcorner = ((16 \times 506 \text{ Nm}) / (\pi \times 34 \times 10^6)) \llcorner ^{(1/3)}$$

$$d \llcorner = (8096 / (106.81 \times 10^6)) \llcorner ^{(1/3)}$$

$$d = 0.0422m = \mathbf{4.22cm}$$

$$r = d/2 = 0.0211m$$

- Diameter Poros untuk Roda Depan:

- o Bidang Datar (T = 103.64 Nm):

$$d \llcorner = ((16 \times 103.64 \text{ Nm}) / (\pi \times 34 \times 10^6)) \llcorner ^{(1/3)}$$

$$d \llcorner = (1658.24 / (106.81 \times 10^6)) \llcorner ^{(1/3)}$$

$$d = 0.0252m = 2.52cm$$

$$r = d/2 = 0.0126m$$

- o Bidang Miring (T = 126.50 Nm):

$$d \llcorner = ((16 \times 126.50 \text{ Nm}) / (\pi \times 34 \times 10^6)) \llcorner ^{(1/3)}$$

$$d \llcorner = (2024 / (106.81 \times 10^6)) \llcorner ^{(1/3)}$$

$$d = 0.0262m = \mathbf{2.62cm}$$

$$r = d/2 = 0.0131m$$

3. Perhitungan Momen Inersia:

- Diameter poros 4.22cm (diameter poros terbesar roda belakang)S
 $J_{4.22cm} = \llcorner \pi (0.0422) \llcorner ^4 / 32 = 3.11 \times 10^{(-7)} m^4$
- Diameter poros 2.62cm (diameter poros terbesar roda depan)
 $J_{2.62cm} = \llcorner \pi (0.0262m) \llcorner ^4 / 32 = 1.16 \times 10^{(-7)} m^4$

4. Momen Puntir Terbesar

- Roda Belakang = **506 Nm**
- Roda Depan = **126.50 Nm**

5. Perhitungan Tegangan Geser

$$\tau = (T \times r \text{ shaft}) / J$$

- Roda Belakang (506 Nm)(r = 0.0211)
 $\tau = (506 \times 0.0211) / (3.11 \times 10^{(-7)} m^4) = 34.3 \text{ MPa}$
- Roda Depan (126.50 Nm)(r = 0.0131)
 $\tau = (126.50 \times 0.0131) / (1.16 \times 10^{(-7)} m^4) = 14.3 \text{ MPa}$

Perhitungan gaya pada joint

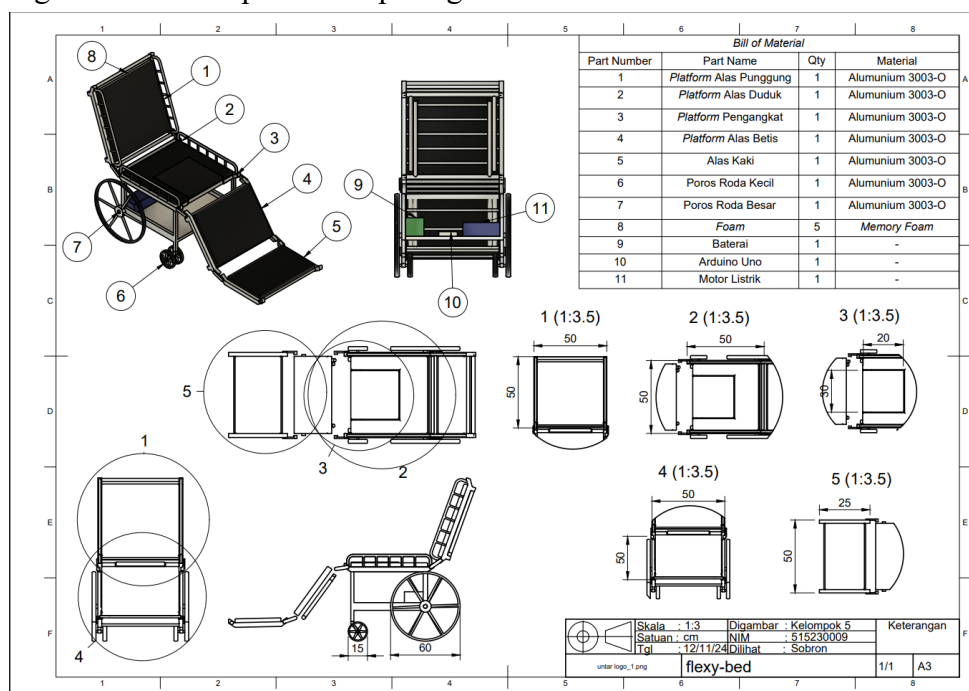
Sambungan atau *joint* antar komponen struktural merupakan titik kritis dalam sistem mekanik *Flexi-Bed* yang harus dianalisis secara cermat untuk menghindari kegagalan akibat konsentrasi tegangan. Perhitungan gaya total yang bekerja pada *joint* dilakukan khususnya pada area antara alas duduk dan alas punggung, alas duduk dan alas betis, serta alas betis dan alas kaki. Setiap sambungan harus mampu menahan kombinasi gaya vertikal dan horizontal yang dihasilkan oleh beban tubuh pengguna dalam berbagai posisi. Dalam posisi duduk, alas duduk menerima gaya dominan sebesar 392,4 N dari berat tubuh bagian bawah dan sebagian beban punggung. Sementara itu, alas punggung yang berada pada kemiringan 110° memberikan gaya sebesar 156,96 N, yang terbagi ke dalam komponen vertikal dan horizontal dan diteruskan melalui joint ke alas duduk.

Alas betis berperan sebagai penopang tambahan dan hanya menerima gaya kecil, yaitu sekitar 78,48 N, karena beban utama bagian kaki ditopang oleh alas kaki yang berada dalam posisi horizontal. Dengan demikian, gaya yang diterima *joint* antara alas duduk dan alas betis relatif lebih

kecil dibanding sambungan lainnya. *Joint* antara alas betis dan alas kaki harus tetap dirancang untuk menahan gaya penuh dari berat kaki pengguna, mengingat alas kaki menerima beban langsung dari bagian kaki depan. Analisis ini menegaskan pentingnya perancangan sambungan yang mampu menahan gaya gabungan secara aman, terutama pada titik transisi beban antara segmen tubuh yang berbeda dalam posisi duduk atau berbaring. Berikut Perhitungannya:

- *Joint* antara alas punggung dan alas duduk
 Alas Punggung: Gaya 156.96 N pada posisi vertikal 110°.
 Alas Duduk: Gaya 392.4 N (horizontal).
- Total gaya pada *joint*:
 Vertikal: 147.49 N (dari alas punggung)
 Horizontal: 392.4 – 53.68 = 338.72 N
- *Joint* antara alas duduk dan alas betis
 Alas Duduk: Gaya 392.4 N.
 Alas Betis: Gaya total 78.48 N (kemiringan -70°).
 - Komponen Vertikal:
 $78.48\sin(-70^\circ) = -73.74\text{N}$ (arah ke bawah)
 - Komponen Horizontal:
 $78.48\cos(-70^\circ) = 26.84\text{N}$
- Total gaya pada *joint*:
 Vertikal: -73.74N
 Horizontal: 392.4 + 26.84=419.24 N
- *Joint* antara alas betis dan alas kaki
 Alas Betis: Gaya total 78.48 N (kemiringan -70°).
 Alas Kaki: Gaya 78.48 N.
- Total gaya pada *joint*:
 Vertikal: -73.74 + 78.48 = 4.74N
 Horizontal: 26.84 + 78.48 = 105.32N

Gambar design kursi roda dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3. Design Konstruksi Kursi Roda Multi Fungsi (*Flexi-Bed*)

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan menganalisis sistem kursi roda multifungsi *Flexi-Bed* yang mampu bertransformasi menjadi tempat tidur, sebagai solusi mobilitas bagi lansia yang tinggal sendiri. Proses perancangan dilakukan secara menyeluruh dengan pendekatan teknik yang mencakup analisis gaya, pemilihan material, hingga validasi struktur, untuk memastikan keamanan, efisiensi, dan kenyamanan pengguna.

Hasil perancangan menunjukkan bahwa *Flexi-Bed* mampu menopang beban hingga 80–100 kg dengan faktor keamanan minimal di atas 5 pada setiap komponen utamanya. Pemilihan material aluminium 1100 didasarkan pada rasio kekuatan terhadap berat yang baik serta kemudahan fabrikasi untuk konstruksi modular. Sistem penggerak menggunakan motor listrik berkekuatan 1349,33 W dengan konfigurasi gearbox yang disesuaikan: rasio 1,1:1 untuk medan datar dan 1,5:1 untuk tanjakan hingga 30°, menghasilkan kecepatan efektif sekitar 0,9 m/s.

Distribusi gaya dianalisis secara detail pada berbagai posisi tubuh, seperti posisi duduk, tidur, dan berdiri, untuk memastikan stabilitas dan kenyamanan pengguna. Perhitungan momen puntir dan tegangan maksimum pada poros juga telah divalidasi agar torsi dapat ditransmisikan secara aman. Dengan pendekatan berbasis analisis teknik yang matang, *Flexi-Bed* dinilai layak secara struktural, efisien dari sisi energi, serta cukup fleksibel untuk kebutuhan lansia mandiri. Inovasi ini diharapkan dapat menjadi kontribusi nyata dalam mendukung kemandirian lansia melalui teknologi yang ergonomis dan aman.

Saran

Untuk pengembangan tahap selanjutnya, disarankan agar *Flexi-Bed* dioptimalkan dari segi efisiensi daya serta peningkatan fitur-fitur penunjang lansia. Salah satu langkah yang potensial adalah penggunaan baterai *lithium-ion* yang lebih ringan dan efisien dibanding baterai timbal-asam, sehingga daya tahan operasional dapat meningkat tanpa menambah beban sistem. Selain itu, penambahan fitur cerdas seperti sensor anti-jatuh, kontrol suara, serta pemantauan kondisi kesehatan dapat memperkuat fungsi dan memberikan rasa aman bagi pengguna lansia, khususnya yang tinggal sendiri. Integrasi sistem otonom, seperti yang diusulkan oleh Anggoro et al. (2022), juga dapat menjadi langkah berikutnya untuk meningkatkan kemampuan dan fungsionalitas *Flexi-Bed*.

Di sisi lain, studi ergonomi dapat diperluas dengan mempertimbangkan variasi bentuk tubuh dan keterbatasan fisik pengguna agar menghasilkan desain yang lebih inklusif. Dari aspek manufaktur, efisiensi biaya dapat ditingkatkan melalui eksplorasi material alternatif seperti aluminium seri 6000 atau komposit ringan yang tetap memenuhi standar kekuatan struktural. Dengan mengimplementasikan saran-saran tersebut, *Flexi-Bed* berpotensi menjadi produk mobilitas inovatif yang tidak hanya fungsional, tetapi juga siap diproduksi secara massal dan berkelanjutan.

Ucapan Terima Kasih (*Acknowledgement*)

Dengan penuh rasa hormat dan terima kasih, penulis menyampaikan apresiasi yang sebesar-besarnya kepada Bapak Ir. M. Sobron Yamin Lubis, M.Sc., Ph.D., selaku dosen pembimbing, atas bimbingan, arahan, dan masukan berharga yang diberikan selama proses perancangan hingga evaluasi teknis proyek ini. Dukungan dan kesabaran beliau sangat berarti dalam menyempurnakan setiap tahap penelitian ini.

Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh dosen di Program Studi Teknik Mesin Universitas Tarumanagara atas ilmu, motivasi, dan semangat yang telah diberikan selama proses pembelajaran. Penulis tidak lupa berterima kasih kepada para narasumber dan responden yang telah bersedia meluangkan waktu untuk berbagi pengalaman dan data penting dalam pengembangan alat bantu mobilitas ini. Setiap bantuan dan kontribusi yang diberikan menjadi bagian penting dalam keberhasilan proyek ini. Semoga kolaborasi ini dapat terus berkembang dan menjadi awal dari inovasi-inovasi yang lebih bermanfaat di masa mendatang.

REFERENSI

- Andhare, A. B., & Onkar, A. M. (2015). Design and development of bed with commode. *Health and Technology*, 5, 189–194. <https://doi.org/10.1007/s12553-015-0117-z>
- Anggoro, I. T., Purwaningrum, R. D., Prakoso, N. A. B., Rahmawati, A., Apriani, R. A., & Arifai, M. (2022). Inovasi kursi roda fleksibel berdasarkan otonom sistem cerdas untuk penyandang cacat dan lansia menggunakan metode PDCA. *Prosiding Seminar dan Konferensi Nasional IDEC 2022*, A12.
- Apsari, A. E. (2022). Perancangan kamar tidur ergonomis bagi lansia dengan integrasi metode Axiomatic dan Triz. *Jurnal Disprotek*, 13(1), 45–52.
- Guspara, W. A., & Saputra, L. K. P. (2021). Perluasan mobilitas pengguna kursi roda dalam konsep urban micro-mobility. *Prosiding Seminar Nasional Desain Sosial (SNDS)*, 3, 88–100.
- Mardiana, D. P., Pujiyanto, M. R. A., & Sulisty, S. (2020). Perancangan kursi roda ergonomis untuk orang manula. *Journal of Industrial Engineering and Technology*, 1(1), 11–17.
- Moula, S. F., Sporsho, S. T., Chanda, N. A., & Xames, M. D. (2023). Design and development of a multifunctional convertible wheelchair in a low-income country context. *Indonesian Journal of Computing, Engineering, and Design (IJoCED)*, 5(1), 8–17.
- Supadma, D. E., & Rahmawati, R. F. (2022). Layanan kursi roda adaptif pada penyandang difabel: Adaptive wheelchair service for people with disabilities. *GemakeS: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 2(1), 62–68.
- Yunus, M. (2021). Pengembangan desain walker fleksibel bagi lansia. *Jurnal Mesin Nusantara*, 4(1), 1–10.
- Zhang, Z., Xu, P., Wu, C., & Yu, H. (2024). Smart nursing wheelchairs: A new trend in assisted care and the future of multifunctional integration. *Biomimetics*, 9(8), 492.

Halaman ini sengaja dikosongkan