

PERANCANGAN *EXOSKELETON* UNTUK REHABILITASI KAKI PENDERITA *STROKE HEMIPARESIS*

Anum Kusuma Lendie¹, Dhika Aditya Purnomo^{1*}, Am Maisarah Disrinama²

¹Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal,
Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

²Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan
Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

*Email: adityadhika@ppns.ac.id

Abstrak

Stroke merupakan penyebab utama kecacatan pada orang dewasa, dengan prevalensi *hemiparesis* mencapai 70–80 persen dari total kasus. *Hemiparesis* menyebabkan kelemahan pada satu sisi tubuh yang berdampak signifikan terhadap kemampuan berjalan dan keseimbangan. Meskipun berbagai alat bantu sederhana seperti tongkat dan *walker* banyak digunakan, alat-alat tersebut umumnya hanya berfungsi sebagai penopang pasif tanpa mendukung gerakan rehabilitatif secara optimal. Sementara itu, *exoskeleton* aktif dinilai efektif dalam rehabilitasi intensif, namun memiliki keterbatasan berupa biaya tinggi, bobot besar, dan ketergantungan pada tenaga listrik. Penelitian ini bertujuan merancang *exoskeleton* pasif untuk rehabilitasi kaki penderita stroke *hemiparesis* yang mengedepankan aspek fungsional, kenyamanan, dan kesesuaian dengan kebutuhan penderita. Proses perancangan mengikuti metode Ulrich, mencakup identifikasi kebutuhan, pengembangan dan evaluasi konsep desain, analisis kekuatan struktur menggunakan metode elemen hingga (FEM) melalui Autodesk Fusion 360, serta analisis ergonomi menggunakan metode RULA pada perangkat lunak Catia V5. Tiga konsep dikembangkan dan dibandingkan, dengan konsep 1 terpilih sebagai desain terbaik. Desain akhir memiliki dimensi panjang 137 cm, lebar 53 cm dan tinggi 119 cm dengan berat total sebesar 19,9 kg. Hasil simulasi menunjukkan tegangan maksimum *von mises* sebesar 47,373 MPa dari batas izin 137,5 MPa, menghasilkan *safety factor* sebesar 3,42. Evaluasi ergonomi menghasilkan skor RULA sebesar 2, yang menandakan postur pengguna berada pada kategori aman. Biaya total yang dibutuhkan untuk membuat *exoskeleton* ini diperkirakan sebesar Rp5.438.098.

Kata kunci: desain produk, ergonomi, *exoskeleton*, FEM, rehabilitasi, *stroke hemiparesis*

Abstract

Stroke is a leading cause of disability in adults, with the prevalence of *hemiparesis* reaching 70–80 percent of total cases. *Hemiparesis* results in weakness on one side of the body, significantly affecting a patient's ability to walk and maintain balance. Although various simple mobility aids such as canes and walkers are widely used, these devices generally function only as passive supports and do not optimally assist rehabilitative movements. On the other hand, active *exoskeletons* are considered effective for intensive rehabilitation but are limited by high costs, heavy weight, and reliance on electrical power. This study aims to design a passive *exoskeleton* for lower limb rehabilitation in stroke *hemiparesis* patients, prioritizing functionality, comfort, and alignment with user needs. The design process follows the Ulrich method, involving user requirement identification, concept development and evaluation, structural strength analysis using the Finite Element Method (FEM) via Autodesk Fusion 360, and ergonomic assessment using the RULA method in Catia V5 software. Three design concepts were developed and compared, with concept 1 selected as the best design. The final design has dimensions of 137 cm in length, 53 cm in width and 119 cm in height with a total weight of 19,9 kg. Simulation results show a maximum *von mises* stress of 42,373 MPa, well below the allowable stress of 137,5 MPa, yielding a *safety factor* of 3,42. Ergonomic

evaluation produced a RULA score of 2, indicating that the user's working posture is within a safe category. The estimated total production cost for the passive exoskeleton is IDR 5.438.098.

Keywords: ergonomics, exoskeleton, FEM, product design, rehabilitation, stroke hemiparesis

PENDAHULUAN

Stroke merupakan penyebab utama kecacatan jangka panjang di Indonesia dengan prevalensi 8,3 per 1.000 penduduk atau sekitar 638.178 kasus (Dewi, 2023). Komplikasi utamanya adalah hemiparesis yang dialami 70–80% pasien (Anam, 2020), dan sekitar 45% mengalami kelemahan kaki yang mengganggu mobilitas serta meningkatkan risiko komplikasi sekunder seperti atrofi otot, kontraktur, dan trombosis vena dalam (Bistara, 2019; Halim et al., 2016).

Rehabilitasi pasca-stroke melalui latihan berjalan berulang sangat penting (Adnan, 2022), namun layanan konvensional terbatas oleh waktu, tenaga medis, dan biaya. Alternatif modern adalah *exoskeleton*, kerangka eksternal untuk mendukung pergerakan tubuh, yang terbukti meningkatkan kualitas dan durasi latihan (Duddy et al., 2021). Sayangnya, *exoskeleton* aktif masih mahal, berat, dan bergantung pada baterai (Plaza et al., 2021), sementara produk yang ada umumnya impor dan kurang sesuai dengan kondisi pasien di Indonesia.

Untuk itu, penelitian ini merancang *exoskeleton* yang ringan, sederhana, dan ekonomis. Desain ini bekerja menggunakan mekanisme tuas, engsel, dan struktur pendukung tubuh. Tiga konsep diuji berdasarkan ergonomi, kekuatan struktur, kemudahan penggunaan dan kompleksitas manufaktur, dengan pemodelan di Autodesk Fusion 360, analisis FEM dan evaluasi ergonomi menggunakan RULA di Catia V5.

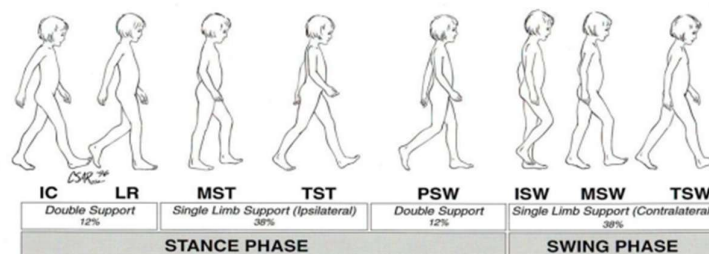
TINJAUAN PUSTAKA

(A) Stroke dan Hemiparesis

Stroke adalah gangguan neurologis akibat penyumbatan atau pecahnya pembuluh darah otak, yang terbagi menjadi stroke iskemik dan stroke hemoragik (Pinzon, 2016). Gejala sisa yang paling umum ialah *hemiparesis*, dialami 70–80% pasien (Humam & Lisiswanti, 2015), khususnya pada ekstremitas bawah yang mengganggu berjalan, keseimbangan, dan kemandirian (Asman, 2020).

(B) Siklus Berjalan dan Gangguan Berjalan Pasca-Stroke

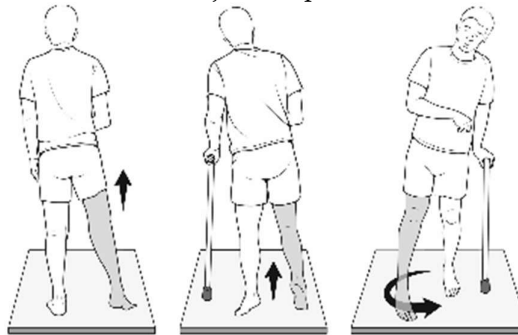
Siklus berjalan manusia terdiri dari fase tumpuan (*stance*, $\pm 60\%$) dan fase ayun (*swing*, $\pm 40\%$) yang berperan menjaga efisiensi energi serta keseimbangan dinamis (Abu-Faraj et al., 2015). Pembagian kedua fase ditunjukkan pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Siklus Pola Berjalan

Berdasarkan Gambar di atas, siklus berjalan terdiri dari delapan fase utama. Fase pertama adalah *Initial Contact (IC)*, saat tumit menyentuh lantai dengan pergelangan kaki netral dan lutut lurus (0–5%). Selanjutnya *Loading Response (LR)* terjadi ketika telapak kaki menapak penuh dan berat badan berpindah ke kaki tersebut (0–10%). Fase berikutnya adalah *Midstance (MST)*, ketika kaki berlawanan bergerak melewati kaki depan dan pusat gravitasi mencapai posisi tertinggi (10–30%), diikuti *Terminal Stance (TST)* saat tumit terangkat dan berat badan bertumpu pada kaki depan (30–50%). Setelah itu, *Preswing (PSW)* ditandai dengan pelepasan kaki dari tanah dan perpindahan beban ke sisi lain (50–60%). Fase *Initial Swing (ISW)* terjadi ketika kaki diangkat ke depan akibat kontraksi otot fleksor pinggul (60–70%), lalu *Midswing (MSW)* saat tungkai bergerak maju untuk persiapan *heel strike* (70–85%). Terakhir, *Terminal Swing (TSW)* terjadi ketika kaki berada di depan tubuh dan bersiap menyentuh tanah kembali (85–100%).

Pasien stroke umumnya mengalami pola jalan abnormal berupa langkah pendek, tumpuan tidak stabil, serta gerakan ekstremitas yang tidak sinkron akibat spastisitas otot, gangguan proprioseptif, dan disfungsi koordinasi neuromuskular (Beyaert et al., 2015; Bistara, 2019). Pola tersebut ditunjukkan pada Gambar 2 di bawah ini.



Gambar 2. Gaya Berjalan Pasca Stroke

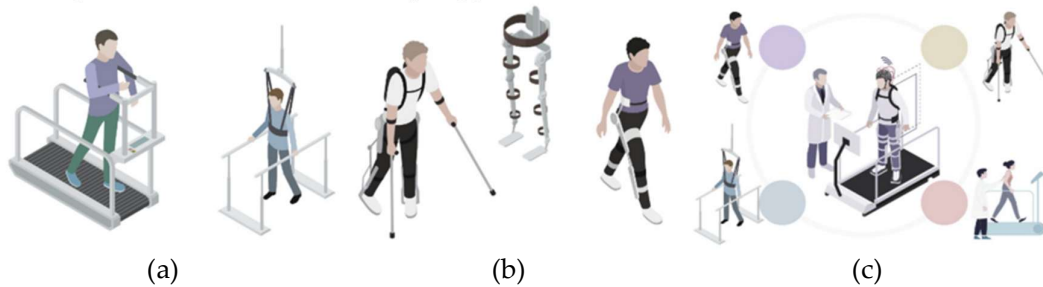
(C) Prinsip Rehabilitasi dan Penggunaan *Exoskeleton*

Rehabilitasi stroke berlangsung dalam fase akut, subakut, dan kronik dengan pendekatan terapi berbeda pada tiap tahap. Prinsip utamanya ialah latihan gerakan fungsional berulang, peningkatan keseimbangan, penguatan otot, serta kemandirian pasien (Wirawan, 2009). Pemanfaatan teknologi *exoskeleton* dalam terapi berjalan memberi dukungan mekanis dan bimbingan gerak konsisten (Amin, 2021). *Exoskeleton* sendiri terbagi menjadi aktif, semi-aktif, dan pasif; jenis aktif menggunakan motor dan sensor, sedangkan pasif hanya mengandalkan mekanisme engsel, pegas, atau tuas tanpa tenaga listrik (Plaza et al., 2021). *Exoskeleton* pasif relatif ringan, sederhana, dan ekonomis, sehingga sesuai untuk terapi di rumah maupun fasilitas rehabilitasi dengan sumber daya terbatas (Duddy et al., 2021).

(D) *Exoskeleton*

Exoskeleton medis untuk rehabilitasi pasien dengan gangguan mobilitas, seperti *stroke hemiparesis*, umumnya terbagi menjadi tiga kategori utama (Rakhmatillaev et al., 2024), yaitu *exoskeleton* penopang berat badan yang dirancang untuk mengurangi beban otot dan sendi sehingga menurunkan risiko kelelahan dan cedera, *exoskeleton* bantu berjalan yang mendukung gerakan sendi panggul, lutut, dan pergelangan kaki untuk

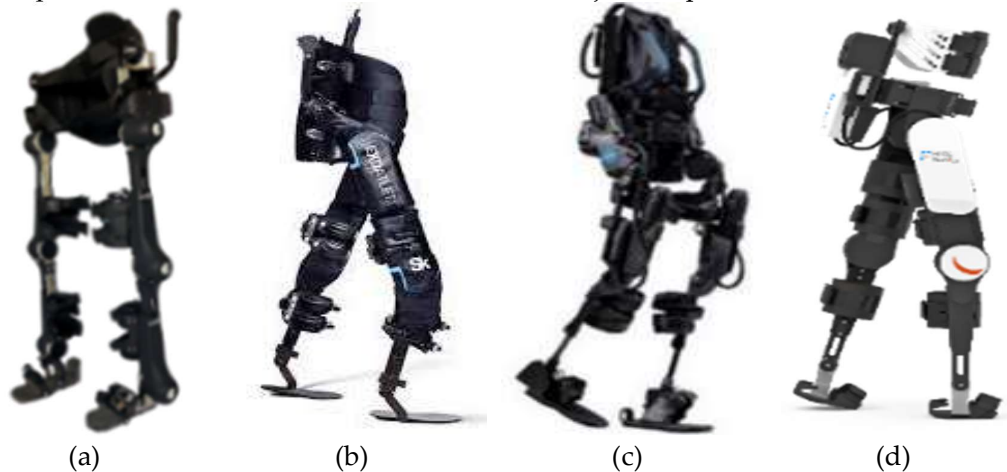
menghasilkan pola berjalan lebih alami dan stabil, serta *exoskeleton* bertenaga cerdas yang dilengkapi sensor, aktuator, dan sistem kontrol adaptif guna memberikan dukungan *real-time* sesuai kondisi pengguna.



Gambar 3. (a) *Exoskeleton* Penopang Badan, (b) *Exoskeleton* Bantu Jalan, (c) *Exoskeleton* Bertenaga Cerdas

(E) *Exoskeleton* Komersial

Beberapa *exoskeleton* komersial telah dikembangkan, seperti *HANK* yang memiliki enam derajat kebebasan (DoF) dan sistem kontrol sensorik, serta *ExoAtlet I* dan *Ekso GT* yang mendukung gerak pinggul dan lutut berbasis aktuator listrik. Produk lain seperti *Free Walk* dari *FREE Bionics* memadukan DoF aktif dan pasif untuk fleksibilitas medan gerak. Namun, semua sistem tersebut masih memiliki kekurangan berupa harga tinggi, ketergantungan energi, dan keterbatasan untuk pengguna di negara berkembang. Beberapa contoh *exoskeleton* komersial tersebut ditunjukkan pada Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. (a) *HANK*, (b) *ExoAtlet I*, (c) *Ekso GT*, (d) *Free Walk*

(F) Pemilihan Material untuk Struktur *Exoskeleton*

Pemilihan material sangat penting dalam desain *exoskeleton* karena berkaitan dengan rasio kekuatan terhadap berat. Beberapa material logam yang umum digunakan antara lain *aluminium alloy*, *titanium alloy*, dan baja tahan karat. Titanium memiliki kekuatan tinggi namun mahal, sedangkan baja tahan karat kuat tetapi berat. Aluminium 7075 dianggap paling optimal karena ringan, kuat, dan mudah diperoleh. Alternatif lain adalah serat karbon yang sangat ringan namun sulit diproses serta mahal, dan magnesium yang ringan namun kurang tahan korosi (Rakhmatillaev et al., 2024). Pada

penelitian ini dipilih Aluminium 6061 karena lebih ekonomis, mudah dikerjakan, ringan, serta cukup kuat untuk struktur *exoskeleton*. Sifat fisik material Aluminium 6061 ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Sifat Fisik Material Aluminium 6061

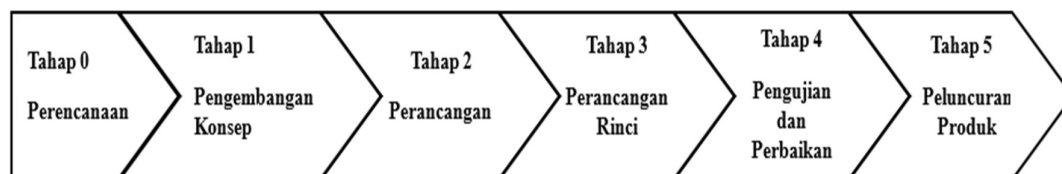
<i>Parameters</i>	<i>Description</i>
<i>Material</i>	Aluminium 6061
<i>Density</i>	2,7 g/cm ³
<i>Yield Strength</i>	276 MPa
<i>Ultimate Tensile Strength</i>	310 MPa
<i>Modulus of Elasticity</i>	68,9 GPa
<i>Poissons's Ratio</i>	0,33
<i>Fatigue Strength</i>	96,5 MPa
<i>Shear Modulus</i>	26 GPa
<i>Shear Strength</i>	207 MPa

(G) Antropometri dan Ergonomi

Dalam penelitian ini, data antropometri Indonesia tahun 2013 digunakan untuk memperkirakan dimensi alat seperti panjang batang dan tinggi rangka. Untuk analisis postur dan kenyamanan penggunaan alat, digunakan pemodelan dengan Catia V5 menggunakan manekin Jepang dengan tinggi 1688,3 mm, karena dianggap paling mendekati postur tubuh masyarakat Indonesia. Penilaian postur dilakukan dengan metode *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) (McAtamney & Corlett, 1993).

(H) Metode Ulrich dalam Desain Produk

Menurut Ulrich & Eppinger (2015), proses pengembangan produk terdiri dari enam tahap utama yang bertujuan untuk mengubah sekumpulan input menjadi output yang lebih terdefinisi. Metode Ulrich & Eppinger merupakan pendekatan sistematis dalam perancangan produk teknik, yang mencakup identifikasi kebutuhan pengguna, pembangkitan konsep, seleksi konsep, hingga pengembangan detail desain. Proses pengembangan produk secara umum dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini.



Sumber: Ulrich & Eppinger, 2015

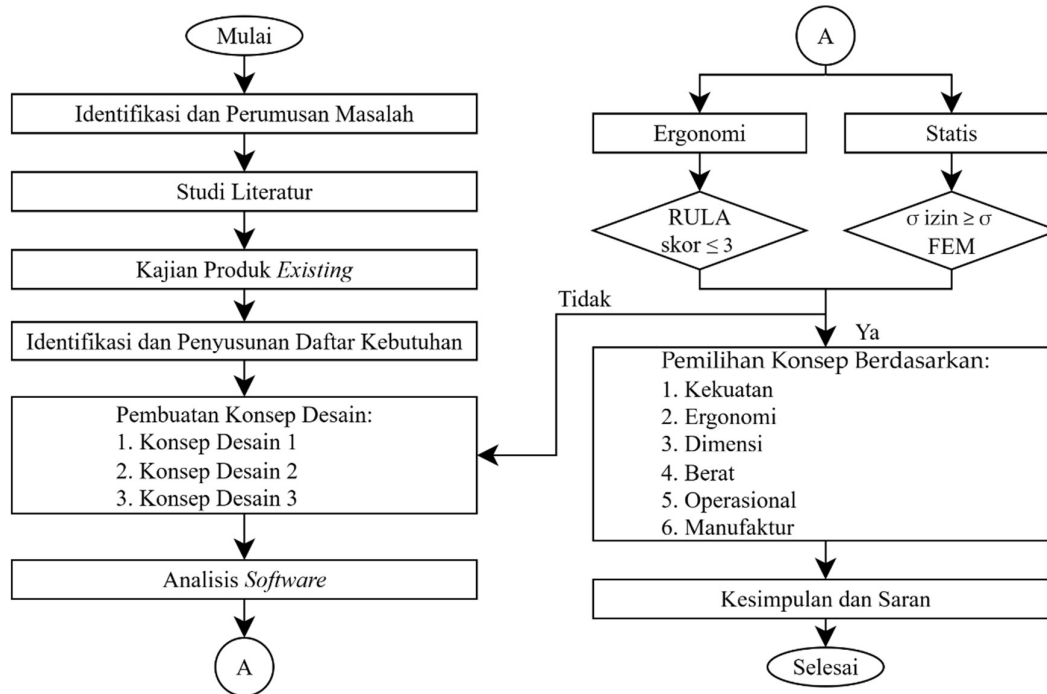
Gambar 5. Tahap Perencanaan dan Pengembangan Produk

(I) Analisis Kekuatan dengan *Finite Element Method* (FEM)

Finite Element Method (FEM) adalah metode numerik yang digunakan untuk menganalisis respon struktur terhadap pembebanan. Dalam perancangan *exoskeleton*, FEM digunakan untuk mengevaluasi tegangan maksimum, distribusi deformasi, dan faktor keamanan pada setiap bagian rangka. FEM banyak diterapkan pada simulasi teknik menggunakan perangkat lunak seperti ANSYS, SolidWorks *Simulation*, atau

Autodesk Fusion 360. Metode ini sangat efektif dalam memvalidasi kekuatan desain sebelum dilakukan prototipe atau manufaktur fisik.

METODE



Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

(A) Kajian Produk Existing

Sebelum merancang *exoskeleton*, dilakukan studi terhadap produk sejenis yang telah tersedia di pasaran sebagai referensi desain yang spesifikasinya disajikan pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Spesifikasi Produk Existing

Spesifikasi	
Batas Berat	250 lbs (± 113,4 kg)
Ukuran Rangka (p×l×t)	50"×31"-33"×79"(±127×78,7-83,8×200,7 cm)
Berat Rangka	30 kg
Harga	\$456,95 + pajak impor 19% = Rp8.867.796 (kurs Rp16.307/USD + 19% pajak impor)

Berdasarkan spesifikasi pada Tabel di atas, dilakukan identifikasi kelebihan dan kekurangan produk dalam mendukung aktivitas rehabilitasi berjalan. Hasil identifikasi ditampilkan pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Kelebihan dan Kekurangan Produk Existing

Kelebihan	Kekurangan
Menggunakan sabuk pengaman/harness	Tinggi terlalu besar (hingga 200 cm) Tidak dapat digunakan di ruang sempit

	Bobot total 30 kg
	Tidak portabel dan sulit dibongkar-pasang
	Tidak dirancang untuk kemasan dan distribusi yang efisien

(B) Penyusunan Daftar Kebutuhan

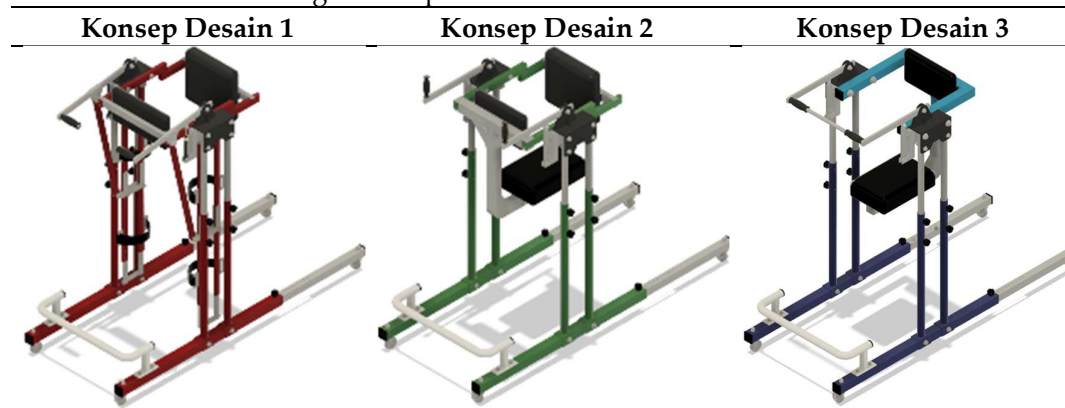
Daftar kebutuhan pengguna disusun berdasarkan data dari kuesioner yang diberikan kepada penderita stroke sebagai calon pengguna. Hasil dari tahap ini memberikan gambaran umum mengenai kebutuhan pengguna, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Daftar Kebutuhan Produk

PRODUCT REQUIREMENTS LIST			
No.	S/H	Description of Needs	Person in Charge
Strength			
1.	S	Strong tool to withstand the weight of the user's body	Design and Manufacturing Team
	H	Durable tool in long-term use / durable	
Dimensions			
2.	H	Has compact dimensions	Design and Manufacturing Team
Weight			
3.	S	Uses lightweight materials	Design and Manufacturing Team
Ergonomics			
4.	S	Small risk of bodily injury (RULA score)	Design and Manufacturing Team
	H	The shape of the handle is comfortable to grip	
	H	There are pads and belts for fastening	
Manufacturing			
5.	S	Can be manufactured	Design and Manufacturing Team
	S	Can be assembled	
	S	Easy part replacement	
Operational			
6.	S	Adjustable	Design and Manufacturing Team
	S	Easy to use tool	
Cost			
7.	S	Production costs are within reasonable limits	Design and Manufacturing Team

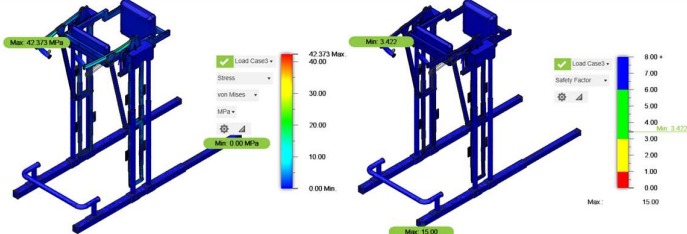
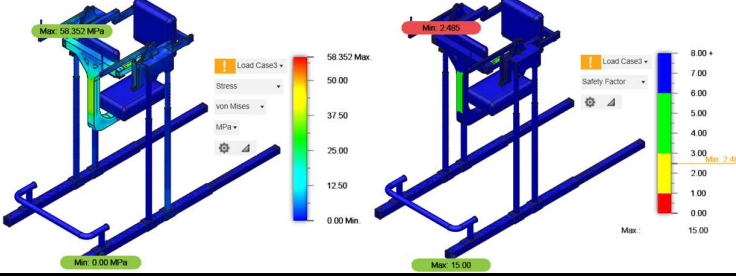
(C) Pembuatan Konsep Desain

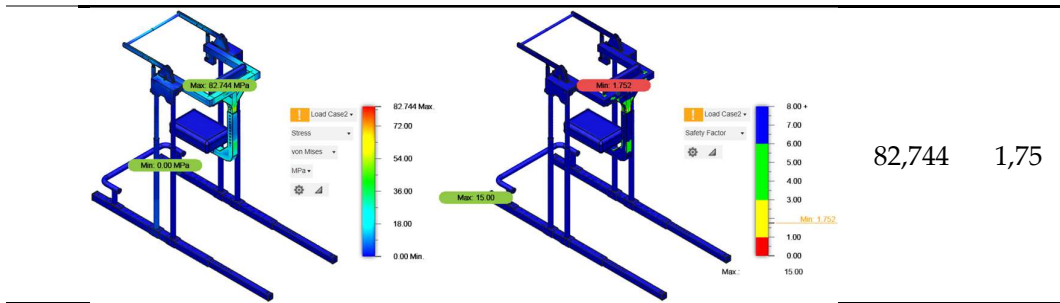
Pada tahap ini dibuat tiga konsep desain *exoskeleton*. Pembuatan beberapa konsep dilakukan untuk memperluas pilihan desain yang dapat dibandingkan. Dalam metode Ulrich, semakin banyak alternatif yang dikembangkan, maka peluang untuk memperoleh desain terbaik juga semakin besar. Ketiga konsep tersebut, ditampilkan pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. Hasil Ketiga Konsep Desain**(D) Analisis Software (Static Stress)**

Hasil dari simulasi *static stress* pada ketiga konsep desain ini ditunjukkan pada Tabel 6 di bawah ini.

Tabel 6. Hasil Analisis *Static Stress*

Konsep Desain 1			
No.	Hasil	Max Stress (MPa)	Safety Factor
1.		42,373	3,42
Konsep Desain 2			
	Hasil	Max Stress (MPa)	Safety Factor
2.		58,352	2,49
Konsep Desain 3			
3.	Hasil	Max Stress (MPa)	Safety Factor



(E) Analisis Ergonomi dengan RULA (*Rapid Upper Limb Assessment*)

Pada analisis ergonomi, digunakan skor RULA sebagai penilaian, di mana semakin rendah nilainya, semakin baik postur tubuh pengguna dan semakin rendah risiko cedera yang ditimbulkan.

Tabel 7. Hasil Analisis RULA

Hasil					
Konsep Desain 1	Skor RULA	Konsep Desain 2	Skor RULA	Konsep Desain 3	Skor RULA
	2		2		3

Hasil analisis RULA pada ketiga konsep desain, konsep desain 1 dan konsep desain 2 memperoleh skor RULA tertinggi yaitu 2. Skor ini menunjukkan bahwa postur tubuh saat menggunakan alat berada dalam kategori aman (*acceptable*) dan tidak memerlukan tindakan perbaikan.

(F) Penetapan Desain Terpilih

Berdasarkan bobot yang telah ditetapkan pada masing-masing kriteria seleksi, proses pemilihan konsep desain terbaik dapat dilakukan. Konsep terbaik ditentukan berdasarkan nilai tertinggi yang diperoleh dari hasil perbandingan antar konsep, dengan mengisi nilai pada setiap kriteria dalam matriks pemilihan konsep. Seleksi dilakukan berdasarkan lima kriteria utama, yaitu kekuatan struktur, berat total, ergonomi, kemudahan operasional dan kemudahan proses manufaktur. Ketentuan pemberian nilai pada matriks tersebut dapat dilihat pada Tabel 8 di bawah ini.

Tabel 8. Penentuan Nilai pada Matriks Pemilihan Konsep

Rate	Description
1	New concept is much worse than the existing concept
2	New concept is worse than existing concept
3	New concept is same as existing concept
4	New concept is better than existing concept
5	New concept is better than existing concept

Penilaian dilakukan menggunakan skala 1 hingga 5. Nilai 3 menunjukkan bahwa konsep baru memiliki performa yang setara dengan konsep referensi. Nilai 4 berarti konsep baru lebih baik, dan nilai 5 menunjukkan bahwa konsep baru secara signifikan lebih unggul dari referensi. Masing-masing kriteria telah diberikan bobot penilaian sesuai *rate*. Detail proses penilaian dan pembobotan ditunjukkan pada Tabel 9 berikut.

Tabel 9. Matriks Penilaian Konsep

Selection Criteria	Weight (%)	Design Concept 1		Design Concept 2		Design Concept 3		Design Concept 4	
		Rate	Score	Rate	Score	Rate	Score	Rate	Score
Strength	25%	5	1,25	3	0,75	2	2	3	0,75
Ergonomics	25%	5	1,25	5	1,25	4	1	3	0,75
Dimensions	10%	3	0,3	3	0,3	3	0,3	2	0,2
Weight	15%	5	0,75	4	0,6	4	0,6	1	0,15
Operational	15%	5	0,75	4	0,6	4	0,6	3	0,45
Manufacturing	10%	2	0,2	4	0,4	4	0,4	3	0,3
Absolute Value		25	4,5	23	3,9	21	4,9	15	2,6
Relative Value (%)		29,8	28,3	27,4	24,5	25,0	30,8	17,9	16,4
Ranking		1		3		2		4	

Berdasarkan hasil matriks penilaian konsep pada Tabel di atas, dapat disimpulkan bahwa konsep desain yang terpilih adalah konsep 1 karena memiliki nilai relatif tertinggi. Nilai relatif berdasarkan total rate adalah sebesar 29,8%, sedangkan nilai relatif berdasarkan total skor adalah sebesar 28,3%.

KESIMPULAN

Dari hasil Perancangan *Exoskeleton* Untuk Rehabilitasi Kaki Penderita *Stroke Hemiparesis* dapat disimpulkan bahwa konsep desain 1 ditetapkan sebagai rancangan akhir karena memperoleh skor tertinggi pada sebagian besar kriteria utama, seperti kekuatan struktur, ergonomi, dimensi, bobot keseluruhan dan kemudahan operasional. Hasil simulasi menunjukkan faktor keamanan 3,42 dengan tegangan maksimum 42,373 MPa, membuktikan struktur mampu menopang beban hingga 100 kg secara aman. Analisis ergonomi metode RULA menghasilkan skor 2 (kategori aman), sehingga desain dinilai tidak hanya kuat tetapi juga nyaman digunakan. Dengan dimensi keseluruhan panjang 137 cm, lebar 53 cm dan tinggi 119 cm, *exoskeleton* ini dinilai sesuai untuk mendukung kebutuhan rehabilitasi penderita *stroke hemiparesis*.

REFERENSI

- Abu-Faraj, Z. O., Harris, G. F., Smith, P. A., & Hassani, S. (2015). Human gait and clinical movement analysis. *Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering* (pp.1–34).
- Adnan, M. G. (2022). *Durasi waktu pemulihan pasien pasca stroke sub-akut dengan menggunakan terapi rehabilitasi medik* [Skripsi, Universitas Hasanuddin].
- Amin, A. (2021). *The use of mobile applications to improve physical activity in stroke rehabilitation patients* [Master's thesis, Universitas Hasanuddin].

- Anam, C. (2020). Studi kasus perbedaan kekuatan otot ekstremitas atas antara pemberian terapi cermin dan terapi *range of motion* pada klien stroke non hemoragik dengan *hemiparesis* [Skripsi, Universitas Muhammadiyah Surabaya].
- Asman, A. (2020). *The psychological correlation with post stroke fatigue: A literature review* [Undergraduate thesis, Universitas Hasanuddin].
- Beyaert, C., Vasa, R., & Frykberg, G. E. (2015). Gait post-stroke: Pathophysiology and rehabilitation strategies. *Neurophysiologie Clinique*, 45(4–5), 335–355.
- Bistara, D. N. (2019). Pengaruh range of motion (ROM) terhadap kekuatan otot pada pasien stroke. *Jurnal Kesehatan Vokasional*, 4(2), 112–117.
- Dewi, K. R. (2023). *Penerapan latihan range of motion untuk meningkatkan kemampuan aktivitas fisik pada pasien stroke non hemoragik di RSUD Budhi Asih Jakarta* [Skripsi, Universitas Kristen Indonesia].
- Duddy, D., Doherty, R., Connolly, J., McNally, S., Loughrey, J., & Faulkner, M. (2021). The effects of powered exoskeleton gait training on cardiovascular function and gait performance: A systematic review. *Sensors*, 21(9), 3207.
- Halim, R., Gesal, J., & Sengkey, L. S. (2016). Gambaran pemberian terapi pada pasien stroke dengan hemiparesis dekstra atau sinistra. *E-CliniC*, 4(2).
- Humam, A. A., & Lisiswanti, R. (2015). Stroke: Patophysiology, diagnosis, and therapy. *Majority Journal*, 4(1), 1–6.
- McAtamney, L., & Corlett, E. N. (1993). RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, 24(2), 91–99.
- Pinzon, R. T. (2016). *Awas stroke*. Pustaka Anggrek.
- Plaza, A., Hernandez, M., Puyuelo, G., Garces, E., & Garcia, E. (2021). Lower-limb medical and rehabilitation exoskeletons: A review of the current designs. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 16, 278–291.
- Rakhmatillaev, J., Bučinskis, V., Juraev, Z., Kimsanboev, N., & Takabaev, U. (2024). A recent lower limb exoskeleton robot for gait rehabilitation: A review. *Robotic Systems and Applications*, 4. Doi:10.21595/rsa.2024.24662
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2015). *Product design and development* (6th ed.). McGraw-Hill Education.