



TUGAS AKHIR - RD141530

**DESAIN *LOWER LIMB EXOSKELETON* UNTUK  
MENUNJANG REHABILITASI PASIEN PASCA STROK  
DENGAN MENGGUNAKAN KONSEP *COMPACT* DAN  
*AFFORD***

IBNU ARIF WICAKSONO  
3414100064

Dosen Pembimbing  
Djoko Kuswanto, ST., M. Biotech

Departemen Desain Produk  
Fakultas Arsitektur, Desain dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2018



**TUGAS AKHIR – RD141530**

**DESAIN *LOWER LIMB* EKSOSKELETON UNTUK  
MENUNJANG REHABILITASI PASIEN PASCA STROK  
DENGAN MENGGUNAKAN KONSEP *COMPACT* DAN  
*AFFORD***

**Mahasiswa:**

**Ibnu Arif Wicaksono**

**3414100064**

**Dosen Pembimbing:**

**Djoko Kuswanto, ST., M. Biotech**

**NIP. 19700912 199702 1002**

**DEPARTEMEN DESAIN PRODUK**

**FAKULTAS ARSITEKTUR, DESAIN DAN PERENCANAAN**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA**

**2018**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT – RD141530**

**LOWER LIMB EXOSKELETON DESIGN TO SUPPORT POST  
STROKE PATIENT REHABILITATION WITH COMPACT  
AND AFFORD CONCEPT**

**Student:**

**Ibnu Arif Wicaksono**

**3414100064**

**Supervisor:**

**Djoko Kuswanto, ST., M. Biotech**

**NIP. 19700912 199702 1002**

**DEPARTMENT OF PRODUCT DESIGN**

**FACULTY OF ARCHITECTURE DESIGN AND PLANNING**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA**

**2018**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**LEMBAR PENGESAHAN**

**DESAIN *LOWER LIMB* EKSOSKELETON UNTUK MENUNJANG  
REHABILITASI PASIEN PASCA STROK DENGAN MENGGUNAKAN  
KONSEP *COMPACT* DAN *AFFORD***

**TUGAS AKHIR (RD 141530)**

Disusun untuk Memenuhi Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Desain (S.Ds)

Pada

Program Studi S-1 Departemen Desain Produk  
Fakultas Arsitektur Desain dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**Ibnu Arif Wicaksono**  
**NRP: 3414100064**

Surabaya, 13 Agustus 2018  
Periode Wisuda 118 (September 2018)

Mengetahui,  
Kepala Departemen Desain Produk



**Ellya Zulaikha, S.T., M.Sn., Ph.D.**  
**NIP. 19751014 200312 2001**

Disetujui,  
Dosen Pembimbing

**Djoko Kuswanto, S.T., M. Biotech.**  
**NIP. 19700912 199702 1002**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## LEMBAR PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya mahasiswa Departemen Desain Produk Industri, Fakultas Arsitektur Desain dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya,

Nama : Ibnu Arif Wicaksono

NRP : 3414100064

Dengan ini menyatakan bahwa Laporan Tugas Akhir yang saya buat dengan judul **DESAIN LOWER LIMB EKSOSKELETON UNTUK MENUNJANG REHABILITASI PASIEN PASCA STROK DENGAN MENGGUNAKAN KONSEP *COMPACT* DAN *AFFORD*** adalah:

1. Orisinil dan bukan merupakan duplikasi karya tulis yang sudah dipublikasikan atau yang pernah dipakai untuk mendapatkan gelar sarjana di universitas lain, kecuali pada bagian sumber informasi yang dicantumkan sebagai kutipan/referensi dengan cara yang semestinya.
2. Dibuat dan diselesaikan sendiri, dengan menggunakan data-data hasil pelaksanaan tugas akhir dalam proyek tersebut.

Demikian pernyataan ini saya buat dan jika terbukti tidak memenuhi apa yang telah dinyatakan di atas, maka saya bersedia Laporan Tugas Akhir Desain Produk ini dibatalkan.

Surabaya, 13 Agustus 2018

Yang membuat pernyataan,



Ibnu Arif Wicaksono

NRP 3414100064

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kepada Allah SWT karena dengan segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Desain *Lower-Limb* Eksoskeleton Untuk Menunjang Rehabilitasi Pasien Pasca Strok dengan Menggunakan Konsep *Compact* dan *Afford*” dengan sebaik baiknya dan tepat pada waktunya. Laporan ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan mata kuliah Tugas Akhir Desain Produk (RD141530), Departemen Desain Produk, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Terselesaikannya tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, sehingga tidak lupa penulis mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua, Bapak Ibno Wakhed dan Ibu Mulat Purwaningrum serta saudara penulis Mbak Intan, Indah, Adi yang tak pernah lelah mendoakan, mendukung, dan selalu menghibur baik secara moral dan material.
2. Pak Djoko Kuswanto ST., M. Biotech, selaku dosen pembimbing yang teramat sangat mendukung dan mempermudah dalam hal pembuatan purwarupa maupun proses penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ibu Dosen yang telah membimbing dan membantu penulis dalam mendapatkan ilmu selama di Departemen ini, serta para penguji sidang, Bapak Drs. Taufik Hidayat, MT., Ibu Hertina Susandari, ST. MT., dan Bapak dr. Tri Hediando, Sp.THT-KL yang selalu memberikan masukan demi pengembangan Tugas Akhir ini.
4. Faizal Rezky Dhafin, Vebri Wiranta, Dimas Dwi Rizkiyanto dan Resi Bhaskoro Achmadi yang merupakan sahabat, keluarga, pemberi motivasi, pemberi bantuan tenaga dan material saat dibutuhkan, *partner* selama 4 tahun yang berjuang bersama sama selama penulis kuliah di Desain Produk, tempat untuk berbagi cerita dan keluh kesah, serta menjadi garda terdepan saat penulis merasa sedih dan butuh hiburan ketika berada di kampus. *Thank you for being a greatest serendipity person in my life!*

5. Mas Chanif Syamsudin dan Mas Chanif Qomarudin merupakan saudara kembar ahli teknik dan elektronik yang telah bersedia membantu menyelesaikan purwarupa penulis.
6. Tim HUCED di ruang 210 yang tidak bisa namanya disebutkan satu persatu, atas dukungan, bantuan dan hiburan yang kalian berikan. Semoga Allah mempermudah urusan dan perjuangan kalian dengan kebaikan-Nya.
7. Dan semua pihak lainnya yang tidak bisa disebutkan satu per satu. Atas kerjasama dan dukungan yang diberikan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Akhir kata semoga laporan ini bermanfaat bagi berbagai pihak, khususnya bagi dunia pendidikan desan produk industri.

Surabaya, 1 Agustus 2018  
Yang membuat pernyataan,

Penulis

**DESAIN *LOWER-LIMB* EKSOSKELETON UNTUK MENUNJANG  
REHABILITASI PASIEN PASCA STROK DENGAN MENGGUNAKAN  
KONSEP *COMPACT* DAN *AFFORD***

Nama : Ibnu Arif Wicaksono  
NRP : 3414100064  
Jurusan : Desain Produk FADP – ITS  
Pembimbing : Djoko Kuswanto S.T., M. Biotech.

**ABSTRAK**

Strok adalah salah satu masalah utama pada bidang kesehatan di seluruh dunia. Pasien yang mengalami strok seringkali meninggalkan kecacatan, hal itu dapat dicegah dengan memberikan rehabilitasi. Eksoskeleton adalah salah satu alternatif rehabilitasi yang berbasis teknologi untuk memperbaiki gangguan pasien pasca strok yang lebih baik daripada teknik konvensional dengan menggunakan bantuan terapis. Salah satu fungsi tubuh yang terkena dampak strok adalah gerakan berjalan. Namun pada beberapa produk eksoskeleton yang ada memiliki ukuran yang cenderung besar dan berat. Di sisi lain, produk eksoskeleton yang berada dipasaran mematok harga diatas \$ 50.000, yang mana harga tersebut terlampaui tinggi dan sedikitnya daya beli orang Indonesia untuk memiliki eksoskeleton. Hal tersebut dikarenakan adanya sensor sebagai sistem pengendali dan sebagai sistem pemantau perkembangan tubuh pasien. Rancangan dilakukan dengan cara melakukan studi banding dengan produk sejenis, observasi dan *deep interview* ke lokasi rehabilitasi untuk mengetahui apa saja batasan ataupun kebutuhan pasien pada saat melakukan terapi. Melakukan studi mengenai ergonomi dan antropometri supaya mendapatkan dimensi dan konfigurasi alat yang sesuai. Merancang dan membuat produk menggunakan 3d printing dan CNC. Kemudian melakukan *usability testing* untuk mengetahui artikulasi gerakan dan kinerja mekanisme eksoskeleton. Hasil perancangan berupa eksoskeleton untuk anggota tubuh bagian bawah (kaki). Menggunakan 3 jenis gerakan dalam sumbu sagital (ekstensi-fleksi pinggul, ekstensi-fleksi lutut, dorsofleksi-plantarfleksi pergelangan kaki) dan 1 jenis gerakan dalam sumbu koronal (aduksi-abduksi pada bagian pinggul). Menggunakan tombol sebagai pengendali sistem yang murah dan tanpa menggunakan sensor untuk mengoperasikan perangkat, sehingga membuat eksoskeleton lebih murah dan orang Indonesia dapat mencapai / mampu daripada produk eksoskeleton yang ada. Menambahkan *back support* untuk menahan dan menjaga tubuh pasien dalam posisi normal. Hasil dari rancangan eksoskeleton ini dapat digunakan di rumah sehingga pasien dapat terapi secara kontinu dan mempercepat proses penyembuhan pasca stroke.

**Keyword : Eksoskeleton Tungkai Bawah, Pasca Strok, Compact and Afford**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **LOWER-LIMB EXOSKELETON DESIGN TO SUPPORT POST STROKE PATIENT REHABILITATION WITH CONCEPT COMPACT AND AFFORD**

*Name* : Ibnu Arif Wcaksono  
*NRP* : 3414100064  
*Department* : *Product Design FADP – ITS*  
*Supervisor* : Djoko Kuswanto S.T., M. Biotech.

### **ABSTRACT**

*Stroke is a major health care problem worldwide. Patient suffered disability must be immediately cured, it can be prevented by providing rehabilitation. Exoskeleton is one of alternative therapy with technology-based rehabilitation to fix impairments post-strok patients more better than conventional technique with therapyst. One of body functions affected by the strok is gait cycle. However, in some existing exoskeleton product have a bulky size and expensive. On the other hand, the price offered on current exoskeleton products prices above \$ 50,000, which is too high and not affordable by Indonesians. This is doe to the sensor using as a controller system and as a monitoring of the patient's level of development in real-time. This design is done by conducting comparative studies with similar products, observation and deep interview to the location of rehabilitation to find out what are the limitations or needs of the patient during the therapy. Undertake studies of ergonomics and anthropometry, in order to obtain the appropriate dimensions and tool configurations. Designing and making the product using 3d printing and CNC, then do usability testing to know the articulation of movement and performance mechanism. The design result is exoskeleton for lower limb (legs). Uses 3 degree of freedom in sagittal plane (hip flexion-extension, knee flexion-extension, ankle dorsiflexion-plantarflexion) and 1 degree of freedom in coronal plane (hip adduction-abduction). Using button console as cheap system controller and have no sensor to control a robot and monitoring patient, so make the exoskeleton more cheaper and Indonesian people can reach/afford more easily than current exoskeleton product. Adding a back support to hold and keep the patient's body in normal position. The result of this exoskeleton design can be used at patient's own home which can continous therapy so accelerate the post stroke healing.*

**Keyword : Lower-Limb Exoskeleton, Post-Stroke, Compact and Afford**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	vi
LEMBAR PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT .....	viii
KATA PENGANTAR .....	x
ABSTRAK .....	xii
<i>ABSTRACT</i> .....	xiv
DAFTAR ISI.....	xvi
DAFTAR GAMBAR .....	xx
DAFTAR TABEL.....	xxiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxvi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar belakang .....	1
1.1.1 Tentang Strok.....	1
1.1.2 Rehabilitasi Pasca Strok.....	2
1.1.3 Eksoskeleton .....	4
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Batasan Masalah.....	6
1.4 Tujuan.....	6
1.5 Manfaat.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Strok .....	7
2.1.1 Definisi Strok .....	7
2.1.2 Jenis Strok .....	7
2.1.3 Gangguan Fungsi akibat Strok .....	7
2.1.4 Gerak Berjalan Pasca Strok.....	8
2.2 Antropometri .....	9
2.3 <i>Lower-Limb</i> Eksoskeleton .....	10
2.3.1 Definisi Eksoskeleton.....	10
2.3.2 Penerapan Eksoskeleton.....	10
2.3.3 Jenis <i>Lower-Limb</i> Eksoskeleton.....	11

2.4	Tinjauan Aspek Teknis .....	13
2.4.1	Sistem penggerak (aktuator).....	13
2.4.2	Sistem pengontrol.....	14
2.4.3	Material.....	15
2.4.4	Sistem <i>Spring</i> .....	16
2.5	Tinjauan Desain Eksoskeleton Tungkai Bawah .....	17
2.6	Tinjauan Hasil Rancangan Eksoskeleton Tungkai Bawah .....	18
2.6.1	Mechanical Design of a Biomimetic Compliant Lower Limb Eksoskeleton (BioComEx).....	18
2.6.2	Developing a Mobil lower Limb Robotic Eksoskeleton for Gait Rehabilitation (MLLRE).....	18
2.6.3	Design and Motion Control of a Lower Limb Eksoskeleton.....	19
BAB III METODE PERANCANGAN .....		21
3.1	Judul Perancangan .....	21
3.2	Skema Penelitian.....	21
3.3	Metode Pengumpulan Data.....	23
3.3.1	Data <i>Stakeholder</i> .....	24
3.3.2	Data Literatur.....	25
3.3.3	Data Produk Eksoskeleton yang Sudah Dipasarkan.....	26
3.3.4	<i>Usability Test</i> .....	26
BAB IV STUDI DAN ANALISIS .....		27
4.1	Analisis Kebutuhan Pasien Pasca Strok.....	27
4.1.1	Kondisi Pasien Pasca Strok .....	27
4.1.2	Analisis Proses Rehabilitasi .....	27
4.2	Studi Ergonomi dan Antropometri .....	31
4.2.1	Titik Kritis.....	31
4.2.2	Antropometri .....	32
4.3	Studi Aktivitas .....	37
4.4	<i>Benchmarking Lower-Limb</i> Eksoskeleton .....	40
4.4.1	Eksoskeleton tungkai bawah yang beredar dipasaran .....	40
4.4.2	Eksoskeleton dalam tahap riset.....	41

4.5	Psikografis Konsumen.....	44
4.6	Positioning Produk .....	45
4.6.1	Target Positioning Produk .....	45
4.6.2	Segmentasi produk.....	47
4.7	<i>Design Development</i> .....	48
4.7.1	<i>Brainstorming</i> Masalah dan Kebutuhan .....	48
4.7.2	<i>Object Tree</i> .....	49
4.7.3	<i>Brainstorming</i> Konsep Desain.....	50
4.7.4	<i>Image Board Inspiration</i> .....	51
4.8	Analisis Aspek Teknologi .....	54
4.8.1	Motor DC .....	54
4.8.2	<i>Physical Controller</i> .....	58
4.8.3	Baterai .....	61
4.9	Analisis Mekanisme .....	63
4.9.1	Sistem mekanik .....	63
4.9.2	Sistem Gerak .....	68
4.10	Analisis Struktur dan Material.....	73
4.10.1	Analisis Beban .....	73
4.10.2	Analisis Berat Komponen .....	76
4.11	Analisis Fitur Produk.....	78
4.11.1	<i>4 degree of freedom motion</i> .....	78
4.11.2	<i>Adjustable</i> .....	81
4.11.3	<i>Back Support</i> .....	83
BAB V KONSEP DESAIN DAN PEMBAHASAN .....		87
5.1	Implementasi Konsep Desain .....	87
5.2	Alternatif Desain .....	91
5.2.1	Sketsa Triger .....	91
1.1.1	Alternatif 1 .....	92
1.1.2	Alternatif 2 .....	93
5.2.4	Alternatif 3.....	94
5.2.5	Alternatif 4.....	95

5.2.5 Alternatif 5 .....	96
5.2.6 3D Model.....	98
5.3 Final Desain .....	99
5.4 Gambar Operasional .....	103
5.5 Skenario Jatuh.....	104
5.6 <i>Usability Testing</i> .....	105
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	107
6.1 Kesimpulan .....	107
6.2 Saran .....	109
DAFTAR PUSTAKA.....	111
LAMPIRAN .....	113

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Grafik penderita strok di Indonesia .....	1
Gambar 1. 2 Jenis-jenis penyakit strok .....	2
Gambar 1. 3 Kondisi berjalan pasien pasca strok (a), sumbu gerak manusia (b) ...	3
Gambar 1. 4 <i>Mobile</i> eksoskeleton .....	4
Gambar 2. 1 Jenis Strok .....	7
Gambar 2. 2 Gangguan setelah strok .....	8
Gambar 2. 3 <i>Gait abnormality</i> .....	8
Gambar 2. 4 Motorstepper .....	13
Gambar 2. 5 Servomotor .....	13
Gambar 3. 1 Skema penelitian .....	22
Gambar 4. 1 Postur orang normal (a), postur pasien pasca strok (b) .....	27
Gambar 4. 2 Hasil analisis kebutuhan .....	30
Gambar 4. 3 Bagian yang mengalami kontraktur .....	31
Gambar 4. 4 Titik kritis pada kaki .....	32
Gambar 4. 5 Antropometri yang dibutuhkan .....	33
Gambar 4. 6 Implementasi antropometri pada eksoskeleton .....	37
Gambar 4. 7 Positioning produk eksoskeleton .....	45
Gambar 4. 8 Grafik kontroler pada eksoskeleton .....	46
Gambar 4. 9 Grafik variasi gerakan (DoF) .....	46
Gambar 4. 10 Grafik Harga .....	47
Gambar 4. 11 Skema masalah dan kebutuhan .....	48
Gambar 4. 12 <i>Objective tree</i> .....	49
Gambar 4. 13 Brainstorming konsep desain .....	50
Gambar 4. 14 Square Idea Board .....	52
Gambar 4. 15 Servomotor dan komponen pendukung .....	55
Gambar 4. 16 Hasil konfigurasi .....	58
Gambar 4. 17 Pengaplikasian <i>button</i> .....	61
Gambar 4. 18 Konfigurasi peletakan baterai .....	62
Gambar 4. 19 Skema input data .....	63

Gambar 4. 20 Mekanisme servo dengan roda gigi .....	65
Gambar 4. 21 Percobaan mekanisme .....	67
Gambar 4. 22 Mekanisme servo dengan roda gigi .....	67
Gambar 4. 23 Percobaan mekanik ke 2 menggunakan model.....	68
Gambar 4. 24 Derajat Kebebasan .....	69
Gambar 4. 25 Percobaan mekanik menggunakan motor .....	70
Gambar 4. 26 Derajat Kebebasan .....	70
Gambar 4. 27 Percobaan kedua sistem gerak .....	72
Gambar 4. 28 Material properties Aluminium (a), ABS (b) .....	73
Gambar 4. 29 Simulasi beban tekan kebawah.....	74
Gambar 4. 30 Hasil simulasi "stress" berdasarkan beban .....	74
Gambar 4. 31 Simulasi gaya abduksi .....	75
Gambar 4. 32 Hasil simulasi "stress" kesamping .....	75
Gambar 4. 33 <i>4 Degree of Freedom</i> .....	78
Gambar 4. 34 Fitur abduksi pinggul.....	79
Gambar 4. 35 <i>Sagittal plane</i> pada pinggul .....	79
Gambar 4. 36 <i>Sagittal plane pada lutut</i> .....	80
Gambar 4. 37 <i>DoF ankle</i> .....	80
Gambar 4. 38 Implementasi sistem adjustable .....	82
Gambar 4. 39 Sistem <i>adjustable</i> pada tungkai paha.....	83
Gambar 4. 40 Implementasi <i>back support</i> .....	85
Gambar 5. 1 Desain Terpilih .....	87
Gambar 5. 2 Back support sebagai aspek ergonomi.....	88
Gambar 5. 3 <i>Mass properties</i> (a) , voronoi pattern (b).....	88
Gambar 5. 4 Pergerakan eksoskeleton.....	88
Gambar 5. 5 Pengaplikasian <i>button</i> .....	90
Gambar 5. 6 <i>Sistem Adjustable</i> .....	90
Gambar 5. 7 <i>Replaceble case</i> .....	90
Gambar 5. 8 Sketsa triger .....	91
Gambar 5. 9 Sketsa Alternatif 1 .....	92
Gambar 5. 10 Sketsa alternatif 2 .....	93

Gambar 5. 11 Alternatif 3 .....	94
Gambar 5. 12 Sketsa alternatif 4 .....	95
Gambar 5. 13 Sketsa alternatif 5 .....	96
Gambar 5. 14 3D model alternatif 1.....	98
Gambar 5. 15 3D model alternatif 2.....	98
Gambar 5. 16 Moodboard .....	99
Gambar 5. 17 Desain terpilih .....	100
Gambar 5. 18 Sketsa desain terpilih.....	100
Gambar 5. 19 Gambar operasonal.....	101
Gambar 5. 20 Pergerakan eksoskeleton .....	101

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Jumlah penderita penyakit strok di Indonesia.....	1
Tabel 2. 1 Data Antropometri.....	9
Tabel 2. 2 Macam-macam eksoskeleton bagian bawah.....	11
Tabel 2. 3 Jenis eksoskeleton berdasarkan bentuk.....	12
Tabel 2. 4 Perbedaan antara servomotor dengan motorstepper .....	14
Tabel 2. 5 Material rangka eksoskeleton.....	15
Tabel 2. 6 Material casing.....	16
Tabel 2. 7 Tinjauan pegas menurut perlakuan .....	16
Tabel 2. 8 Desain eksoskeleton tungkai bawah yang sudah ada.....	17
Tabel 3. 1 Definisi judul.....	21
Tabel 3. 2 <i>Stakeholder</i> .....	24
Tabel 4. 1 Proses Rehabilitasi .....	28
Tabel 4. 2 Antropometri “ Henry Dreyfuss” .....	33
Tabel 4. 3 Antropometri berdasarkan “Nurmianto, 1991”.....	34
Tabel 4. 4 Ukuran komponen.....	35
Tabel 4. 5 Aktivitas Operasional 1.....	37
Tabel 4. 6 Aktivitas operasional 2.....	39
Tabel 4. 7 Benchmarking produk yang tersedia dipasaran .....	40
Tabel 4. 8 Benchmarking produk dalam tahap riset .....	42
Tabel 4. 9 Demografi orang dewasa .....	44
Tabel 4. 10 Demografi orang tua .....	44
Tabel 4. 11 <i>Lifestyle Board</i> .....	51
Tabel 4. 12 Perbedaan servo dan stepper .....	54
Tabel 4. 13 Spesifikasi servomotor yang dipilih.....	55
Tabel 4. 14 Konfigurasi peletakan sistem aktuator .....	56
Tabel 4. 15 Alternatif pengaplikasian kontroler fisik .....	58
Tabel 4. 16 Alternatif <i>physical controller</i> .....	60
Tabel 4. 17 Spesifikasi baterai .....	61
Tabel 4. 18 Konfigurasi peletakan baterai .....	62

Tabel 4. 19 Alternatif sistem mekanisme .....	64
Tabel 4. 20 Jumlah teeth pada roda gigi .....	66
Tabel 4. 21 Jumlah teeth pada roda gigi .....	68
Tabel 4. 22 Derajat Kebebasan percobaan kedua.....	71
Tabel 4. 23 Percobaan analisis berat .....	77
Tabel 4. 24 Alternatif pemilihan sistem shank adjustable.....	81
Tabel 4. 25 Alternatif pemilihan sistem thigh adjustable.....	82
Tabel 4. 26 Alternatif <i>back support</i> .....	84
Tabel 5. 1 Biaya produksi.....	89
Tabel 5. 2 Komparasi alternatif desain .....	97
Tabel 5. 3 Varian <i>fairing/case</i> .....	102
Tabel 5. 4 Skenario pemakaian.....	103
Tabel 5. 5 Skenario jatuh.....	104
Tabel 5. 6 Hasil usability testing .....	105
Tabel 6. 1 Berat eksoskeleton.....	107
Tabel 6. 2 Komparasi berat dengan produk sejenis.....	108
Tabel 6. 3 Komparasi harga sistem kontroler.....	109

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Terapi berjalan pasca strok
- Lampiran 2 *Treadmill* Eksoskeleton
- Lampiran 3 *Gait cycle*
- Lampiran 4 Pengukuran antropometri
- Lampiran 5 REX Bionic
- Lampiran 6 BioComEx eksoskeleton
- Lampiran 7 LOPES eksoskeleton
- Lampiran 8 Mekanisme MLLRE
- Lampiran 9 Komponen eksoskeleton
- Lampiran 10 Gambar tampak
- Lampiran 11 Gambar tampak (2)
- Lampiran 12 Gambar tampak (3)
- Lampiran 13 Gambar isometri
- Lampiran 14 Gambar potongan
- Lampiran 15 Gambar potongan (2)
- Lampiran 16 Gambar potongan (3)
- Lampiran 17 Gambar detail
- Lampiran 18 Gambar detail (2)

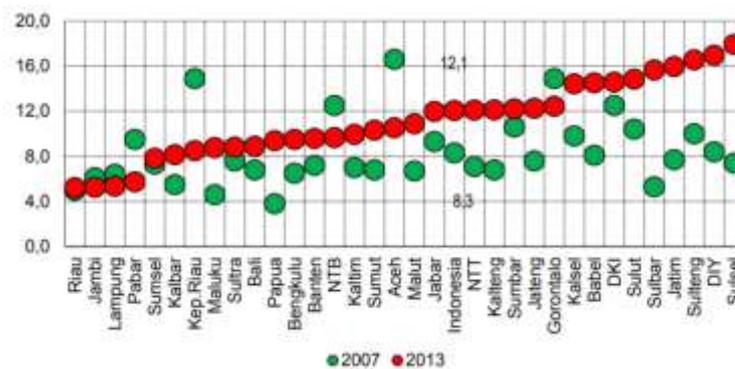
*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar belakang

### 1.1.1 Tentang Strok

Strok merupakan penyebab kematian tertinggi ketiga di dunia setelah penyakit jantung koroner dan kanker (American Strok Association, 2014). Menurut Kementerian Kesehatan RI, pada tahun 2013 penderita penyakit strok yang terdiagnosis maupun gejala mencapai 2.137.941 jiwa atau sekitar 12,1% dari seluruh penduduk Indonesia.



Gambar 1. 1 Grafik penderita strok di Indonesia  
Sumber : Riskesdas,2013

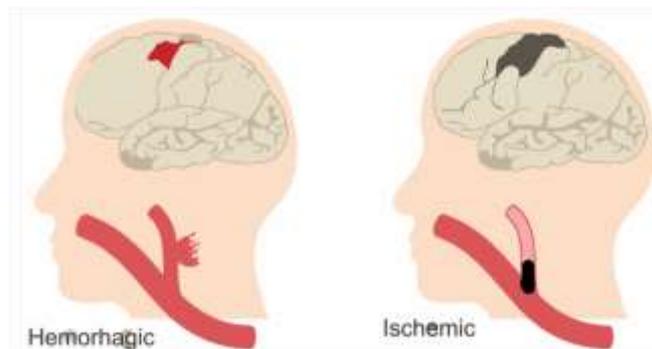
Berdasarkan diagnosis tenaga kesehatan, penyakit strok lebih menyerang pada laki laki daripada perempuan. Strok sering ditemukan pada laki-laki namun tingkat kematian akibat strok lebih sering terjadi pada perempuan karena rata-rata perempuan yang terserang strok pada saat usia lanjut sehingga faktor kemungkinan kematian jauh lebih besar (Riskesdas, 2013).

Tabel 1. 1 Jumlah penderita penyakit strok di Indonesia

No	Jenis Kelamin	Stroke			
		% Diagnosis Nakes (D)	Estimasi Jumlah Absolut (D)	% Diagnosis/Gejala (D/G)	Estimasi Jumlah Absolut (D/G)
1	Laki-laki	7,1	625.897	12,0	1.057.854
2	Perempuan	6,8	602.037	12,1	1.071.271

Sumber : Riskesdas, 2013

Menurut patologi anatomi dan penyebabnya, strok dapat dibagi menjadi 2 kategori, yaitu strok iskemik (sumbatan) dengan presentasi sebanyak 85 % dan strok hemoragik (pendarahan) dengan presentasi sebanyak 15% (Marshall, 1992).



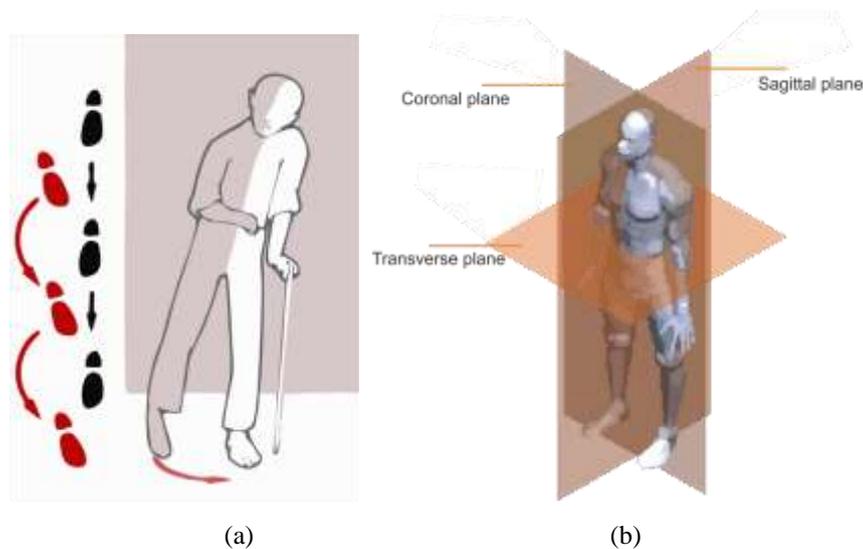
Gambar 1. 2 Jenis-jenis penyakit strok  
Sumber : penulis, diolah dari *strok.ahajournals.org*

Gejala strok yang muncul sangat bergantung pada bagian otak yang terganggu, gejala kelemahan sampai kelumpuhan anggota gerak, bibir tidak simetris, bicara pelo atau tidak dapat berbicara (afasia), nyeri kepala, penurunan kesadaran, dan gangguan rasa (misalnya kebas di salah satu anggota gerak).

### 1.1.2 Rehabilitasi Pasca Strok

Dewasa ini, strok lebih banyak meninggalkan kecacatan daripada kematian, pasien yang selamat melewati fase kritis acapkali meninggalkan bekas kecacatan ringan atau berat (Barnes M, Dobkin B, 2005). Kecacatan tersebut dapat diminimalisir dengan cara memberikan rehabilitasi yaitu memulihkan kondisi pasien agar terhindar dari timbulnya komplikasi tirah baring dan strok berulang yang mana dan menimbulkan penyakit lain yang dapat membawa pada kematian (Rosiana, 2009).

Proses pemulihan setelah strok dibedakan atas pemulihan neurologis (fungsi saraf otak) dan fungsional. Proses kompensasi merupakan salah satu cara terapi fungsional yang mana membantu mengembalikan fungsi organ tubuh pasien dengan cara melakukan gerakan berulang dan dilakukan secara kontinyu, salah satu terapi fisik yang diterapkan yaitu rehabilitasi fisik gerak berjalan (Rosiana, 2009).



Gambar 1. 3 Kondisi berjalan pasien pasca stroke (a), sumbu gerak manusia (b)  
 Sumber : penulis, diolah dari [indrajeetpshah](#)

Gerak berjalan merupakan salah satu sistem motorik yang terkena dampak dari penyakit stroke. Pada gambar 1.3 pasien yang terkena stroke akan kesulitan dalam berjalan karena salah satu sisi tubuh pasien mengalami gangguan terutama pada saat melangkah yang mana pasien cenderung melakukan gerakan membuang. Pada orang normal, umumnya gerakan berjalan menggunakan *sagittal plane* (gambar 1.3b), sedangkan pasien pasca stroke melibatkan sumbu *coronal plane* (gerakan menyamping) pada saat berjalan. Hal tersebut merupakan gerakan tidak wajar yang nantinya jika berkelanjutan akan terbiasa dengan gerakan membuang tersebut.

Terapi berjalan menggunakan cara yang tradisional dan terapi jauh lebih banyak terlibat seperti pada lampiran 1. Mayoritas fasilitas terapi berjalan yang dilakukan berada di ruang rehabilitasi yang mana pasien tidak selalu berada di lokasi tersebut. Padahal kunci utama keberhasilan suatu rehabilitasi ialah durasi dan intensitas terapi fisik (Wagenaar, 1999). Oleh karena itu dibutuhkannya alat terapi alternatif gerak berjalan sebagai pengganti peran terapis agar pasien tetap melakukan terapi secara bersinambung. Terapi dengan sistem robotik dapat dijadikan sebagai alternatif terapi untuk melatih gerak berjalan secara efektif.

### 1.1.3 Eksoskeleton

Eksoskeleton sendiri merupakan alat pembantu terapi selain ahli medis yang dapat bekerja secara kontinu dan terus menerus yang mana pelatihannya dapat mengembalikan kemampuan fungsi gerak yang hilang (Sai K. Bunala, Seok Hun Kim, dkk., 2009). Terapi menggunakan bantuan robot sebagai alat rehabilitasi memiliki dampak yang lebih optimal dibandingkan dengan terapi fisik secara tradisional (Peter D. Guarino, 2010).

Dalam eksistensinya dikesehatan, eksoskeleton bagian kaki terbagi menjadi 2 jenis yaitu *treadmill eksoskeleton* dan *mobile eksoskeleton*. *Treadmill eksoskeleton* merupakan eksoskeleton yang paling banyak digunakan didunia medis seperti pada lampiran 2. Namun bentuknya yang besar (Lokomat 150x140x270cm) dan berat (Lokomat 150,8kg) membuat alat tersebut harus menetap diruang yang cukup besar dan pasien tidak dapat berpindah (Guo Zhao, 2014).

Selain itu *mobile eksoskeleton* adalah jenis lain dari alat bantu dengan desain yang jauh lebih ringkas sehingga pasien dapat bergerak bebas (Guo Zhao, 2014). Namun desain *mobile eksoskeleton* yang sudah ada memiliki kecenderungan absen dalam penggunaan *back support* bahwasannya pasien pasca stroke belum 100% dapat menyangga batang tubuhnya dengan sempurna.



Gambar 1. 4 *Mobile* eksoskeleton

Sumber : penulis, diolah dari <http://research.vuse.vanderbilt.edu>

Eksoskeleton yang sudah dikembangkan, kebanyakan menggunakan pengontrol yang sifatnya otomatis, seperti penggunaan *electromyography* (EMG). Keuntungannya yaitu pasien dapat menggerakkan eksoskeleton

sesuai dengan sinyal biologis yang dikirim oleh otot (Kazuo Kiguchi, 2012). Namun hal tersebut kurang bisa diterapkan di Indonesia karena biaya pengaplikasian pengontrol tersebut cukup mahal dan membuat harga alat tersebut menjadi mahal (Eksos GT \$70.000) sehingga tidak sesuai dengan konsumen menengah keatas di Indonesia. Disisi lain, penggunaan kontroler tersebut membuat sistem komputerisasi dan komponen menjadi kompleks dampaknya beresiko lebih besar terjadinya kesalahan sistem (Umit Onen, 2017). Oleh karena itu diperlukan pengontrolan sederhana sehingga pasien dapat bergerak mudah dan mengoperasikan sesuai keinginan mereka.

Berdasarkan latar belakang yang sudah dijelaskan, pasien pasca stroke membutuhkan alat bantu alternatif yang berguna untuk melatih sistem gerak berjalan pasien secara kontinu dan terus menerus sehingga pada saat masa rehabilitasi, pasien tidak selalu bergantung pada terapis.

## **1.2 Rumusan Masalah**

### **1. Ukuran eksoskeleton yang besar dan bergerak statis**

Bentuk eksoskeleton cenderung besar (eksisting, Lokomat 150x140x270cm berat 150,9kg) serta penggunaan material yang hampir seluruhnya menggunakan metal, membuat eksoskeleton cukup berat dan membutuhkan ruangan yang cukup luas untuk menggunakannya. Sehingga pasien cenderung bergerak statis pada saat mengoperasikan alat tersebut.

### **2. Bantuan penyangga badan tubuh pasien yang masih jarang diaplikasikan**

Pasien pasca stroke belum 100% dapat menyangga batang tubuhnya, sehingga dibutuhkannya penyangga batang tubuh agar pasien dapat tetap berdiri tegap.

### **3. Sistem kontrol eksoskeleton yang terbilang rumit dan cenderung mahal (> \$10000)**

Penggunaan sensor-sensor yang diterapkan pada eksoskeleton berada dipasaran membutuhkan sistem yang kompleks berdampak pada biaya yang cukup besar sehingga membuat kurangnya daya beli konsumen di Indonesia.

### **1.3 Batasan Masalah**

1. Eksoskeleton digunakan untuk pasien strok hemiplegia
2. Eksoskeleton yang dirancang hanya untuk gerak tubuh bagian tungkai bawah/kaki bagian kanan
3. Eksoskeleton yang dirancang berjenis *mobile eksoskeleton*
4. Eksoskeleton menggunakan tidak lebih dari 4 sendi gerak (DoF)
5. Menggunakan kontroler sederhana untuk menggerakkan eksoskeleton

### **1.4 Tujuan**

1. Merancang eksoskeleton yang memiliki ukuran yang ringkas sehingga pasien tidak membutuhkan tenaga yang berlebih untuk mengoperasikan dan membawa perangkat
2. Merancang eksoskeleton yang dapat membantu menyangga batang tubuh pasien agar tetap tegap
3. Merancang eksoskeleton yang memiliki sistem kontroler mudah dan cukup terjangkau (<Rp35.000.000) sehingga konsumen menengah keatas di Indonesia memiliki kapabilitas untuk menggunakan dan membeli

### **1.5 Manfaat**

1. Memberikan hasil terapi yang lebih baik pada pasien pasca strok daripada menggunakan terapi tradisional
2. Meningkatkan konsistensi dan intensitas terapi/latihan gerak pasien pasca strok
3. Mempercepat lajunya penyembuhan dan pengembalian fungsi sistem gerak yang hilang

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Strok

#### 2.1.1 Definisi Strok

Strok atau *cerebrovaskuler accident* mengacu kepada setiap gangguan neurologik secara mendadak yang terjadi akibat pembatasan atau terhentinya aliran darah melalui suplai arteri otak (A. Sylvia and Lorraine, 2005)

#### 2.1.2 Jenis Strok

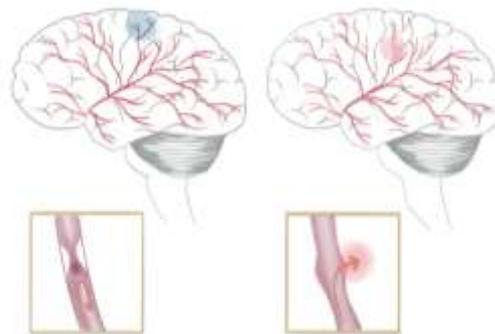
Strok dibedakan menjadi 2 jenis yaitu (Ignatavicius, 2008) :

1. Strok Ishkemik

Strok ishemik terjadi ketika pembuluh darah tersumbat/terhalang, pada umumnya disebabkan oleh darah membeku yang menyumbat pembuluh.

2. Strok Hemoragik

Strok hemoragik terjadi ketika arteri yang berada di otak bocor/pecah dikarenakan tekanan darah menuju otak begitu deras sehingga sel darah keluar yang membanjiri selaput otak.



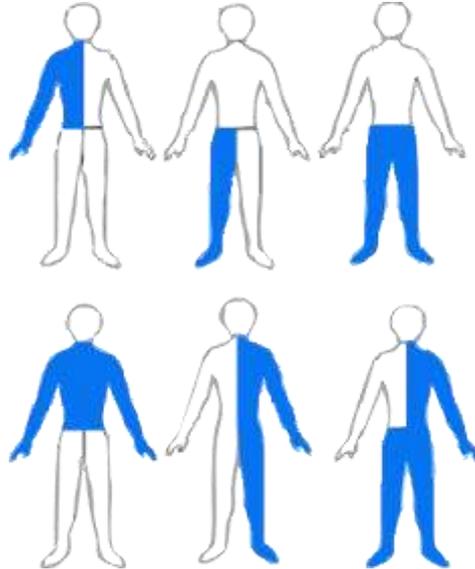
Gambar 2. 1 Jenis Strok

Sumber : Sumber : penulis, diolah dari <http://www.vivekphysio.com/stroke-rehabilitation-treatment/>

#### 2.1.3 Gangguan Fungsi akibat Strok

Jenis dan tingkat gangguan yang terjadi setelah strok bergantung pada area otak yang terserang. Umumnya, strok dapat menyebabkan lima jenis gangguan yaitu kelumpuhan dan masalah mengendalikan gerakan,

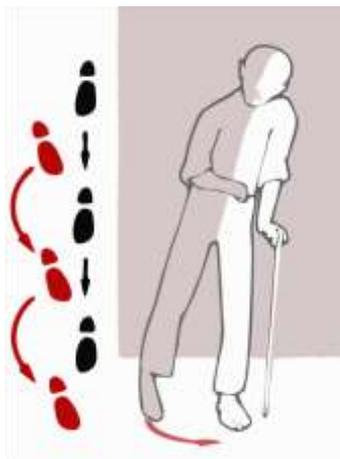
gangguan sensorik termasuk nyeri, masalah penggunaan bahasa, masalah dengan verbal dan ingatan, gangguan emosional.



Gambar 2. 2 Gangguan setelah strok  
Sumber : penulis, diolah dari Agustin F, 2018

#### 2.1.4 Gerak Berjalan Pasca Strok

Sistem gerak berjalan merupakan salah satu sistem yang terkena dampak dari serangan strok. Menurut Forssberg (1982), Syarat utama untuk berhasil berjalan ialah berat badan mendukung gerakan berjalan, kaki dapat bergerak sesuai dengan ritme, badan dapat menyeimbangkan gerakan berjalan yang dinamis, adaptasi terhadap gerakan secara fleksibel.



Gambar 2. 3 *Gait abnormality*  
Sumber : Penulis, diolah dari Dr Indrajeet, Maret 2016

Pada kondisi gambar 2.3 terlihat bahwa, pasien pasca stroke kesulitan dalam melakukan aktivitas gerak berjalan mereka karena terganggunya jalur sistem saraf otak yang biasanya dikarenakan tidak terhubungnya lesi otak.

Pasien pasca stroke memiliki perkembangan aktivitas motorik termasuk berdiri dan berjalan sangat bervariasi tetapi karakter tingkah laku postur berjalan pasien biasanya tidak bisa menyokong dan menyeimbangkan salah satu sisi, mereka tidak memiliki akurasi yang baik serta tidak memiliki gerakan yang cukup untuk mengayun dan menghentak kaki (C.Beyaert., R.Vasa, 2015)

Berikut penyimpangan gerak berjalan pada pasien pasca stroke (lampiran 3) :

1. Awal melangkah (*initial stance*), terbatasnya dorsifleksi pergelangan kaki, penurunan aktivasi otot tibial anterior, gangguan pada fleksi lutut.
2. Langkah menengah (*mid-stance*), gangguan terhadap fleksi lutut, lutut mengalami kekakuan terutama pada saat hiperekstensi, terbatasnya ekstensi pinggul dan dorsifleksi pergelangan kaki, menurunnya kemampuan untuk menggerakkan abduksi pinggul
3. Awal mengayun (*preswing*), gangguan fleksi lutut dan plantarfleksi pergelangan kaki
4. Mengayun awal dan menengah (*mid-swing*), terbatasnya fleksi lutut
5. Mengayun terakhir (*last swing*), terbatasnya ekstensi lutut dan dorsifleksi pergelangan kaki mengalami kekakuan

## 2.2 Antropometri

Data antropometri diperlukan untuk menunjang rancangan eksoskeleton yang sesuai dengan postur orang Indonesia berdasarkan ruang lingkup desain yang dikerjakan (lampiran 4).

Berikut ini adalah tabel hasil pengukuran antropometri orang Indonesia:

Tabel 2. 1 Data Antropometri

Dimensi	Keterangan
D1	Tinggi pinggul

Dimensi	Keterangan
D2	Tinggi bahu dalam posisi duduk
D3	Tebal paha
D4	Panjang lutut
D5	Tinggi lutut
D6	Panjang popliteal
D7	Tebal perut
D8	Lebar sisi bahu
D9	Lebar pinggul
D10	Tinggi popliteal
D11	Panjang kaki
D12	Lebar kaki

sumber [http://antropometriindonesia.org/index.php/detail/sub/3/4/0/dimensi\\_antropometri](http://antropometriindonesia.org/index.php/detail/sub/3/4/0/dimensi_antropometri)

## 2.3 Lower-Limb Eksoskeleton

### 2.3.1 Definisi Eksoskeleton

Eksoskeleton merupakan sistem robotik mekanis yang dapat dipasang di tubuh, serta mempunyai sistem sendi dan sambungan yang sesuai dengan tubuh manusia (Jacob Rosen dan Joel C. Perry, 2007).

### 2.3.2 Penerapan Eksoskeleton

Eksoskeleton sendiri secara garis besar diterapkan diantara kedua bagian tubuh yaitu bagian tubuh atas (*upper limb*) dan bagian tubuh bawah (*lower limb*) namun pada perancangan ini, pemberian eksoskeleton hanya disalah satu sisi tubuh pasien yang mengalami gangguan dan eksoskeleton yang akan dirancang berpusat pada bagian kaki (*lower limb*). Berikut jenis eksoskeleton tungkai kaki berdasarkan derajat kebebasan :

Tabel 2. 2 Macam-macam eksoskeleton bagian bawah

Jenis eksoskeleton	Keterangan
	<i>Ankle foot powered-orthosis</i>
	<i>Knee powered-orthosis</i>
	<i>Knee ankle powered-orthosis</i>
	<i>Hip powered-orthosis</i>
	<i>Hip knee powered-orthosis</i>
	<i>Hip knee ankle powered-orthosis</i>

Sumber : pribadi, diolah dari [exoskeletonreport.com](http://exoskeletonreport.com). Nopember 2017

Berdasarkan tabel diatas dan dengan batasan masalah yang telah dipaparkan, perancangan desain yang pilih yaitu *hip knee ankle foot powered-orthosis* yang mana bagian tubuh yang diterapi ialah pinggul, lutut dan pergelangan kaki.

### 2.3.3 Jenis *Lower-Limb* Eksoskeleton

Terdapat 3 macam jenis eksoskeleton berdasarkan bentuk yaitu *treadmill eksoskeleton*, *supported eksoskeleton*, *mobile eksoskeleton* (Guo,

Zhao, Haoyong Yu,dkk., 2014). Namun pada perancangan ini, jenis eksoskeleton yang dipakai berjenis *mobile eksoskeleton*.

Tabel 2. 3 Jenis eksoskeleton berdasarkan bentuk

 <p style="text-align: center;"><i>Mobile Eksoskeleton</i></p>	<p>Contoh produk : ReWalk, Indego, eLEGS</p> <p>(+) Keseimbangan tubuh dilatih</p> <p>(+) Gerak lebih dinamis</p> <p>(+) Ukuran yang jauh lebih ringkas</p> <p>(+) Konstruksi yang lebih simpel</p> <p>(+) Bisa dilakukan hamper disemua tempat</p> <p>(+) Harga lebih murah</p> <p>(+) Jauh lebih ringan</p> <p>(-) Tidak bisa digunakan terlalu lama karena menggunakan baterai</p> <p>(-) Minim fitur <i>back support</i></p>
---	--

Sumber : exoskeletonreport.com, Nopember 2017

Sumber gerak yang dipakai pada tiap produk eksoskeleton sudah ada / dikembangkan sangat bervariasi. Eksoskeleton memiliki beberapa macam jenis berdasarkan sistem penggerak derajat kebebasan (DoF). Namun pada perancangan ini, eksoskeleton yang rancang menggunakan jenis sebagai berikut (exoskeletonreport.com):

1. *Powered eksoskeleton*, menggunakan baterai atau kabel listrik untuk menjalankan sensor dan aktuator
  - a. *Dynamic eksoskeleton* : Aktuator tidak selalu dihidupkan sehingga perangkat dapat menghemat energi lebih banyak dan lebih efisien
2. *Passive eksoskeleton*, tidak menggunakan listrik sebagai sumber kekuatan dan dapat digunakan untuk :
  - a. *Weight re-distribution* : pegas dan mekanisme pengunci menopang seluruh berat user diatas tanah

- b. *Dampening* : pegas digunakan meredam kejut atau meminimalisir getaran

## 2.4 Tinjauan Aspek Teknis

Berbagai macam sistem dan perangkat pendukung dalam mengembangkan / merancang eksoskeleton gerak kaki dan harus disesuaikan dengan konsep dan kebutuhan objek rancangan.

### 2.4.1 Sistem penggerak (aktuator)

Beberapa sistem penggerak (aktuator) yang seringkali diaplikasikan pada eksoskeleton seperti motor DC yang terdiri dari motor servo dan motor stepper, kabel Bowden, *spring-clutch*, hidrolis maupun pneumatik. Namun pada perancangan ini, sistem penggerak (aktuator) menggunakan alat otomasi berjenis **motor DC**.

#### a. Motor Servo

Motor *servo* adalah sebuah motor DC dengan sistem umpan balik tertutup (*close loop*) dimana posisi rotornya akan diinformasikan kembali ke rangkaian motor servo yang berarti sistem *encoder* sudah tersemat didalam perangkat *servo*.

#### b. Motor Stepper

Motor *stepper* adalah perangkat elektromekanis yang bekerja dengan mengubah pulsa elektronik menjadi gerakan mekanis diskrit. Motor *stepper* bergerak berdasarkan pulsa yang diberikan kepada motor.



Gambar 2. 5 Servomotor  
Sumber : penulis, diolah dari  
<http://www.robotshop.com>,  
Oktober 2017



Gambar 2. 4 Motorstepper  
Sumber : penulis, diolah dari  
<https://www.maxonmotor.com> ,  
Oktober 2017

Tabel 2. 4 Perbedaan antara servomotor dengan motorstepper

<b>Servomotor</b>	<b>Steppermotor</b>
Minim getaran dan resonansi saat beroperasi	Memiliki respon yang sangat baik terhadap mulai, stop, dan berbalik (perputaran)
Daya yang dihasilkan sebanding dengan ukuran dan berat motor	Daya yang dihasilkan tidak sebanding dengan ukuran dan bobot motor
Penggunaan arus listrik sebanding dengan beban yang diberikan	Motor dapat langsung memberikan torsi penuh pada saat mulai bergerak
Memerlukan pengaturan yang tepat untuk menstabilkan umpan balik	Sudut rotasi motor proporsional dengan pulsa masukan sehingga lebih mudah diatur
Tidak berisik saat beroperasi	Menghasilkan suara yang sangat berisik saat beroperasi
Motor menjadi tidak terkendali jika <i>encoder</i> tidak memberikan umpan balik	Torsi berkurang secara drastis seiring dengan bertambahnya kecepatan
Beban yang berlebih dalam waktu yang lama dapat merusak motor	Tidak adanya umpan balik untuk mengetahui terjadinya selisih <i>step</i>

#### 2.4.2 Sistem pengontrol

Sistem pengontrol berfungsi untuk mentransmisikan perintah *user* kepada perangkat agar perangkat dapat beroperasi. Pada perancangan ini, jenis sistem pengontrol yang diaplikasikan yaitu sistem yang sederhana yang mana dimaksudkan untuk mengurangi biaya dan meminimalisir kesalahan sistem.

##### a. *Button or control panel*

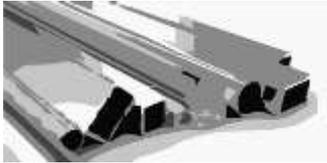
Penggunaan tombol-tombol untuk menggerakkan robot juga dapat diplikasikan. Tombol dan tampilan yang sederhana dapat mempermudah pasien untuk menggerakkan perangkat disisi lain keuntungan yang didapat dari pengontrol memiliki konstruksi tidak rumit dan cenderung lebih mudah digunakan daripada kontroler lainnya.

### 2.4.3 Material

Beberapa material dipertimbangkan dalam merancang alat bantu rehabilitasi pasien pasca stroke. Berikut merupakan tinjauan material yang digunakan pada eksoskeleton untuk pasien pasca stroke :

#### 1. Tinjauan Material untuk Rangka Eksoskeleton

Tabel 2. 5 Material rangka eksoskeleton

<b>Material</b>	<b>Strenght</b>		<b>Density</b> (kg/m <sup>3</sup> )
	$\delta y$ (mpa)	$\delta ts$ (mpa)	
<p><b>Aluminium</b></p>  <p><a href="http://byjus.com/chemistry/occurrence-and-extraction-of-aluminium/">http://byjus.com/chemistry/occurrence-and-extraction-of-aluminium/</a></p>	500	600	2950
<p><b>Besi</b></p>  <p><a href="http://acmebrassplating.com/iron-steel-stainless-steel-finishes/">http://acmebrassplating.com/iron-steel-stainless-steel-finishes/</a></p>	18	18	300-500
<p><b>Stainless Steel</b></p>  <p><a href="http://www.thomasnet.com/articles/custom-manufacturing-fabricating/steel-fabricating-process">http://www.thomasnet.com/articles/custom-manufacturing-fabricating/steel-fabricating-process</a></p>	860	502	502

## 2. Tinjauan Material untuk Casing Penutup Eksoskeleton

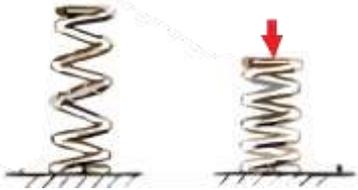
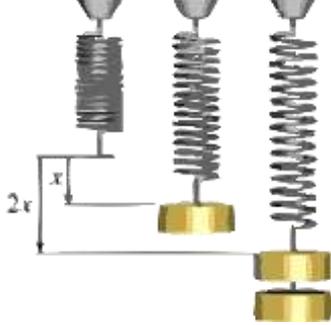
Tabel 2. 6 Material casing

Material	Strength		Density (kg/m <sup>3</sup> )	Kelebihan dan kekurangan
	$\delta y$ (mpa)	$\delta ts$ (mpa)		
 <a href="http://www.metalonmarketing.in/3d-printing-filament.html">http://www.metalonmarketing.in/3d-printing-filament.html</a>	40 - 65	68-97	1040- 1240	(+) -Proses produksi cukup mudah -Murah (-) -Tidak cukup kuat -Produksi tidak cepat

### 2.4.4 Sistem Spring

Pegas acapkali digunakan dan diimplementasikan pada salah satu sistem eksoskeleton terutama pada join derajat kebebasan. Pegas bisa dikatakan sebagai pasif eksoskeleton karena sifatnya sebagai pengganti motor DC namun tidak memiliki tenaga untuk menggerakkan eksoskeleton. Berikut macam pegas menurut perlakuan :

Tabel 2. 7 Tinjauan pegas menurut perlakuan

Compression	Tension	Torsion
		

Sumber : [www.efunda.com/designstandards/springs/calc\\_comp\\_Fstress.cfm](http://www.efunda.com/designstandards/springs/calc_comp_Fstress.cfm)

## 2.5 Tinjauan Desain Eksoskeleton Tungkai Bawah

Tabel 2. 8 Desain eksoskeleton tungkai bawah yang sudah ada

No.	Desain Acuan	Keterangan	Yang diacu
1.	Rex Bionic  (Lampiran 5)	-Menggunakan joystick dan button untuk menggerakkan robot -Menggunakan 6 DoF	Penggunaan joystick dan button sebagai kontroler
2.	Biomimetic Compliant Lower Limb Eksoskeleton (BioComEx)  (Lampiran 6)	-Dapat berpindah tempat -Dapat menyangga tulang belakang -Melatih gerak kaki mulai dari pinggul, lutut dan pergelangan kaki	-Penggunaan <i>back support</i> untuk menyangga tulang belakang -Sistem mekanik yang cukup bagus
3.	Lower Extremity Powered Eksoskeleton (LOPES)  (Lampiran 7)	-Desain yang ringan karena penggunaan kabel bowden sebagai aktuator -Memiliki <i>degree of freedom</i> yang bervariasi, dan memiliki gerak pasif <i>coronal plane</i>	Pengaplikasian gerak <i>coronal plane</i> untuk abduksi gerak kaki

## 2.6 Tinjauan Hasil Rancangan Eksoskeleton Tungkai Bawah

### 2.6.1 Mechanical Design of a Biomimetic Compliant Lower Limb Eksoskeleton (BioComEx)

Eksoskeleton jenis *mobile eksoskeleton* yang memiliki 6 derajat kebebasan dengan menggunakan 8 motor DC. Dengan fitur 6 derajat kebebasan, terapi latihan fisik yang dilatih mencakup pada fleksi-ekstensi pinggul, fleksi-ekstensi lutut dan melatih dorsifleksi dan planterfleksi pergelangan kaki (lampiran 6).

Aktuator yang digunakan menggunakan motor DC (lutut-pinggul, 100watt-80watt)(250watt dan 10watt untuk pergelangan kaki) yang menggerakkan *ball screw* dengan bantuan *belt* kemudian gerak yang muncul dikonversikan pada linear giude dan bergerak secara vertikal dengan penggunaan 7 *force sensor* sebagai kontroler. Penambahan *back support* pada tulang belakang dan disambungkan pada perangkat eksoskeleton yang berguna untuk penyangga tubuh sehingga penderita pasca stroke dapat menopang tubuh mereka tanpa takut terjatuh.

### 2.6.2 Developing a Mobil lower Limb Robotic Eksoskeleton for Gait Rehabilitation (MLLRE)

Merancang sebuah eksoskeleton yang menggabungkan antara *portable eksoskeleton* dan *over-ground robot* yang mana menurut penulis pengembangan tersebut dapat meningkatkan keamanan, ringkas dan dapat berpindah seperti pada lampiran 8.

Menggunakan 2 derajat kebebasan yang mana terdiri dari ekstensi fleksi pinggul dan lutut yang mana menggunakan aktuator motor servo 60N (untuk lutut) dan 80-60N untuk pinggul dengan menggunakan sensor electromyography dan *pressure sensor* sebagai kontroler. Motor servo menggerakkan *ball screw* secara linear (vertikal) yang disambungkan ke *linkage*.

### 2.6.3 Design and Motion Control of a Lower Limb Robotic Eksoskeleton

Eksoskeleton yang dirancang menggunakan dua derajat kebebasan (DoF) per masing masing kaki yang mana total keseluruhan menggunakan 4 derajat kebebasan. Lutut dan pinggul bergerak pada *sagital plane* menggunakan DC servomotor dan untuk bantuan keseimbangan, ditambahkan tongkat berjalan. Penulis juga membandingkan efektifitas kontroler, antara sensor *electromyography* dengan remote kontrol. Pada jurnal ini dijelaskan bahwa sensor *electromyography* sangat sulit diterapkan karena sinyal EMG sangat berisik. Sedangkan penggunaan remote kontrol merupakan alternatif lain dalam hal mengontrol eksoskeleton (lampiran 9).

Penggunaan material alumunium pada rangka eksoskeleton dan pada parameter keamanan, semua derajat kebebasan yang berada pada *coronal* dan *transverse plane* dikunci sehingga gerak pasien hanya pada gerakan *sagital plane*. Menggunakan sistem *adjustable* yang berguna untuk mengatur ketinggian robot terhadap pasien sehingga rancangan eksoskeleton dapat digunakan pada pria dengan tinggi 170cm-186cm sedangkan dapat digunakan pada wanita dengan tinggi 167-186cm.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB III METODE PERANCANGAN

### 3.1 Judul Perancangan

Desain *Lower Limb Eksoskeleton* untuk Menunjang Rehabilitasi Pasien Pasca Strok dengan Menggunakan Konsep *Compact* dan *Afford*

Tabel 3. 1 Definisi judul

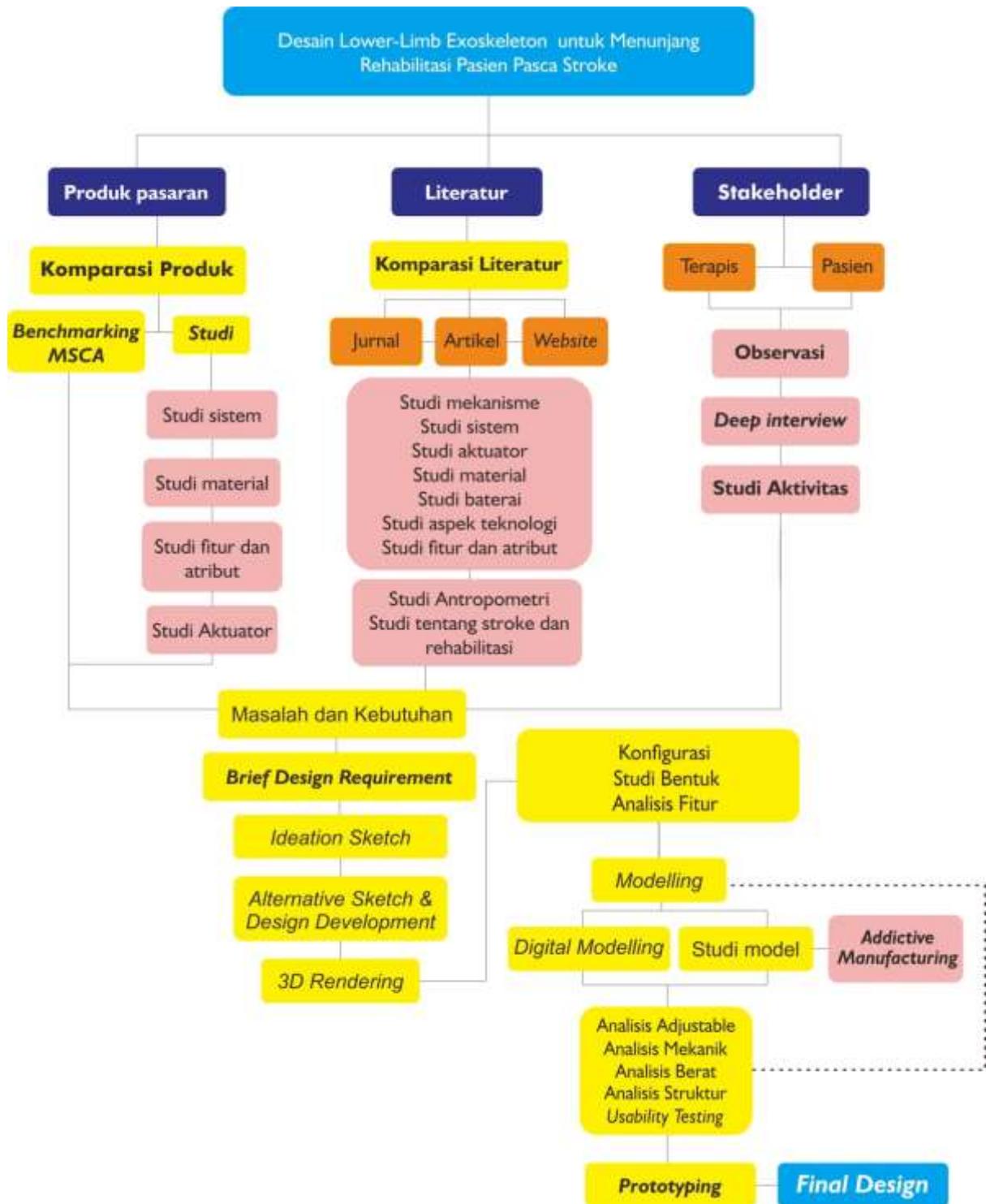
<i>Desain Lower Limb Eksoskeleton</i>	Proses perancangan ortosis yang menggunakan motor untuk anggota gerak bawah (kaki)
Rehabilitasi Pasien Pasca Strok	Tahap kegiatan penyembuhan sistem motorik pada pasien strok
<i>Compact</i>	Ukuran alat yang terbilang kecil dan ringan
<i>Afford</i>	Kemampuan daya pasien untuk memiliki mengenakan, dan mengoperasikan alat tersebut

Definisi judul secara umum :

Mendesain ortosis bermotor yang ditujukan untuk anggota gerak bawah (kaki) sebagai tahap kegiatan penyembuhan pasien strok dengan menggunakan konsep yang ringkas dan kemampuan daya beli, pemakaian dan pengoperasian .

### 3.2 Skema Penelitian

Skema penelitian digunakan untuk mengetahui tata urutan penelitian yang dilakukan dalam perancangan ini. Dalam skema ini dilakukan pendekatan untuk mendapatkan data yang diinginkan. Diperlukan pendekatan kuantitatif dan kualitatif agar hasil penelitian yang diperoleh merupakan data konkrit dan sesuai dengan kondisi yang ada, terdapat urutan penelitian serta metode yang digunakan untuk menyelesaikan rancangan eksoskeleton.



Gambar 3. 1 Skema penelitian

Pada perancangan ini, riset dilakukan dalam 3 sumber yaitu yang pertama bersumber dari *stakeholder* yang mana berisikan terapis dan pasien. Pada tahap ini dilakukan metode observasi yang mana penulis berkunjung ke lokasi terapi untuk

melakukan pengamatan pada proses rehabilitasi kemudian melakukan *deep interview* kepada terapis mengenai tentang rehabilitasi dan perkembangan pasien. Kemudian melakukan *deep interview* kepada pasien, bertanya keseharian dan aktifitas terapi yang dilakukan selain diklinik dan kemudian dibentuk persona sesuai dengan data yang didapatkan.

Sumber yang kedua berasal dari literatur, yang mana data dapat didapatkan melalui jurnal, artikel atau website yang sudah absah kebenarannya. Pada sumber ini mencari data lebih pada teori tentang strok dan penanganannya, produk eksoskeleton yang masih berstatus riset dan dikomparasikan dengan produk sejenis, serta studi tentang baterai, material dan aktuator di *marketplace* untuk mencari tahu harga komponen eksoskeleton dipasaran.

Sumber yang ketiga yaitu berasal dari produk pasaran, yang mana mengidentifikasi berdasarkan *market share* dan *benchmarking* serta melakukan komparasi mengenai bentuk, harga, sistem yang dianut dll.

Berdasarkan ketiga sumber tersebut dapat ditarik suatu masalah/fenomena yang ada. Kemudian menentukan apa saja yang akan diselesaikan dan membentuk *Brief Design Requirement* dan dilanjutkan dengan melakukan *ideation sketch* dan membuat alternatif desain. Setelah desain telah terpilih, kemudian menganalisa komponen yang dibutuhkan, analisa fitur, studi material dan studi antropometri yang dapat diperoleh pada literatur. Langkah selanjutnya membuat Digital modelling menggunakan *software 3d* dan studi model dengan menggunakan metode *rapid prototyping*. Kemudian menganalisa struktur, mekanik, sistem adjustable dan melakukan *usability testing*. Setelah dirasa cukup, kemudian lanjut ke tahap purwarupa dan menghasilkan desain final.

### **3.3 Metode Pengumpulan Data**

Pengumpulan data yang terbagi atas 2, yaitu data primer dan data sekunder. Untuk mendapatkan data primer, diperlukan pengumpulan data dengan cara observasi lapangan dan melakukan wawancara kepada stake holder sedangkan data sekunder yaitu dari kumpulan literatur dan membandingkan literatur satu dengan yang lain sesuai dengan parameter ataupun batasan masalah yang sudah dijelaskan, mempelajari produk yang sudah ada untuk dijadikan acuan

desain yang akan dirancang yang bisa didapatkan/diambil dari literatur, jurnal ataupun internet.

Pengambilan data yang dilakukan dalam perancangan ini ialah sebagai berikut :

### 3.3.1 Data Stakeholder

Pengambilan data primer yang dilakukan dengan cara melakukan wawancara dengan pakar dan orang yang terlibat guna untuk mengidentifikasi kebutuhan serta kemungkinan masalah yang muncul dan nantinya dapat mempengaruhi konsep dan desain akhir dari eksoskeleton. *Stakeholder* yang digunakan untuk pengambilan data primer ialah pasien pasca strok serta ahli medis/terapis yang menangani pasien.

Berikut adalah narasumber yang turut andil dalam pengumpulan data primer :

Tabel 3. 2 *Stakeholder*

Pasien Rehabilitasi	Terapis
 <p data-bbox="347 1525 831 1615">Pasien rehabilitasi dengan kelemahan otot sebelah kiri</p>	 <p data-bbox="879 1525 1406 1615">Penulis bersama terapis yang menangani proses terapi</p>

#### a. *Deep Interview*

Metode ini ditujukan kepada terapi ataupun ahli medis dari pihak rumah sakit untuk mendapatkan data berupa :

1. Data kemajuan pasien atau kondisi pasien dalam tahap rehabilitasi
2. Metode yang digunakan terapis pada saat melakukan terapi

3. Saran yang diberikan terapis terkait alat bantu terapi
  4. Solusi yang diberikan terapis pada permasalahan yang kemungkinan muncul
- b. Observasi

Metode ini digunakan untuk mengunjungi lokasi yang gunanya untuk mengamati aktivitas terapi, alat terapi dan metode terapi yang dipakai secara langsung. Observasi dilakukan sebanyak 3 kali dihari jumat pada pukul 18.00-19.00 yang berlokasi di Klinik Fisioterapi Niniek didaerah Surabaya Timur. Dari pengamatan ini didapatkan data berupa :

1. Aktivitas dan proses terapi
2. Metode-metode yang dilakukan pada saat melakukan terapi
3. Proses terapi keseimbangan dan berjalan pada pasien
4. Keluhan dan limitasi yang diderita pasien
5. Titik lemah pasien pada saat terapi
6. Permasalahan dan kebutuhan pasien

### 3.3.2 Data Literatur

Data literatur merupakan data sekunder yang mana bisa didapatkan dari berbagai sumber, mulai dari buku akademis, jurnal maupun artikel terpercaya yang tersebar di Internet. Data yang diambil diantaranya keilmuan tentang strok, rehabilitasi pasca-strok mengenai anggota gerak, riset pengembangan alat eksoskeleton kaki, paten, antropometri tungkai bawah, mekanisme, sistem dan lain- lain. Data tersebut nantinya diolah dan beberapa data yang diperoleh dikembangkan lebih lanjut dan diimplementasikan. Data literatur yang diperoleh berupa :

1. Pengembangan riset eksoskeleton yang serupa
2. Ilmu mengenai strok dan cara menanggulangi
3. Data antropometri di berbagai sumber
4. Jurnal mengenai pengaruh penggunaan alat bantu robotik dalam proses terapi berjalan

5. Paten tentang mekanisme gerak dan sistem
6. Sistem yang diperlukan untuk pembuatan eksoskeleton
7. Jurnal mengenai analisa pasar, regulasi dll

### 3.3.3 Data Produk Eksoskeleton yang Sudah Dipasarkan

Data produk merupakan data sekunder yang mana data yang dikumpulkan berupa kumpulan produk eksoskeleton yang sudah beredar dipasarkan. Data yang diambil berupa cara kerja operasional robot, *power supply*, sistem kontroler, harga, konfigurasi dan bentuk. Data tersebut nantinya diolah dan dikomparasikan dengan eksoskeleton yang akan dirancang sesuai dengan batasan masalah yang telah dipaparkan. Data produk eksisting yang diambil berupa :

1. Bentuk/casing
2. Konfigurasi peletakan motor
3. Sistem gerak
4. Sistem kontroler yang dipakai

### 3.3.4 Usability Test

*Usability test* merupakan metode yang dilakukan dengan cara melaksanakan tes produk secara langsung entah itu berstatus model, prototipe pengembangan ataupun tahap prototipe siap produksi. Guna dari metode ini ialah mencari respon, hasil atau *feedback* dari pengguna yang memakai guna mengoreksi dan memperbaiki produk supaya lebih maksimal.

## BAB IV STUDI DAN ANALISIS

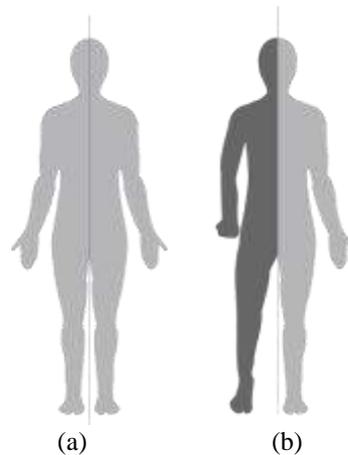
### 4.1 Analisis Kebutuhan Pasien Pasca Strok

#### Tujuan

Analisis dilakukan untuk mengetahui limitasi ataupun masalah yang muncul, sehingga dari kebutuhan tersebut memunculkan mekanisme ataupun fitur yang diperlukan dalam merancang eksoskeleton.

#### 4.1.1 Kondisi Pasien Pasca Strok

Pasien yang mengalami strok memiliki postur yang berbeda bila dibandingkan dengan orang normal hal ini dikarenakan salah satu efek dari serangan strok yaitu terganggunya gerakan melangkah pada kaki pasien. Berikut merupakan perbedaan postur antara orang normal dengan pasien pasca strok :



Gambar 4. 1 Postur orang normal (a), postur pasien pasca strok (b)

Berdasarkan gambar 4.1, pasien pasca strok memiliki postur yang tidak seimbang dibandingkan dengan postur orang normal salah satunya pada posisi kaki yang menjauh dari tubuh dan gejala *foot drop* yang dikarenakan pelemahan otot pada kaki.

#### 4.1.2 Analisis Proses Rehabilitasi

Untuk mengetahui gerakan mana pada pasien yang perlu mendapatkan *treatment* khusus yang nantinya akan dijadikan landasan rancangan eksoskeleton pada kaki pasien. Berikut hasil analisis proses rehabilitasi :

Tabel 4. 1 Proses Rehabilitasi

Gambar	Keterangan
	<p>Terapis memberikan dorongan pada telapak kaki pasien agar spastis yang ada didaerah telapak kaki menjadi renggang, hal ini juga untuk melatih gerak dorsifleksi pada kaki yang mana pasien masih memiliki efek foot drop.</p>
	<p>Melakukan gerakan <i>hip-knee bend</i>. Pada latihan ini pasien memiliki kompensasi gerakan keluar tubuh. Tidak adanya bantuan telapak kaki pasien, sehingga telapak telungkup dan mengalami inversi dan otot <i>tibialis anterior</i> menerima beban paling besar</p>
	<p>Melakukan latihan <i>knee bend</i> ini dapat melatih gerakan flesi-ekstensi dan hiperekstensi. Namun pada saat melakukan latihan tersebut, pasien sangat kesulitan dan membutuhkan tenaga ekstra untuk mengangkat kaki sehingga pada tahap ini pasien mudah lelah dan hanya dapat melakukan pengangkatan kaki beberapa kali saja</p>

Gambar	Keterangan
	<p>. Pada kaki pasien yang mengalami <i>impairment</i>, kaki kurang bisa melakukan gerakan abduksi sehingga pasien mengangkat pinggul untuk dapat menggerakkan kaki sebelah kiri ke arah samping.</p>
	<p>Pasien melakukan gerakan <i>squat</i> untuk melatih kekuatan otot-otot pada lutut dalam menopang beban pasien. Pada tahap ini, kaki pasien yang mengalami <i>impairment</i> yang seringkali menjingkat.</p>
	<p>Pada saat pasien melakukan gerakan berjalan, kaki pasien mengayun dan cenderung melakukan gerakan membuang.</p>

Berdasarkan tabel diatas terdapat beberapa gerakan pasien yang mana membutuhkan *treatment* lanjutan agar gerak pasien dapat lebih baik. Berikut merupakan beberapa gerakan pasien yang dapat digunakan untuk memberikan atribut tambahan pada eksoskeleton yang dirancang :

- Gerakan kaki yang membuang pada saat berjalan kedepan
- Tidak adanya bantuan telapak kaki pasien, sehingga telapak telungkup dan mengalami inversi dan otot *tibialis anterior* menerima beban paling besar
- Gerakan kompensasi keluar tubuh pada saat mengangkat lutut

- Kesulitan melakukan gerakan hiperekstensi

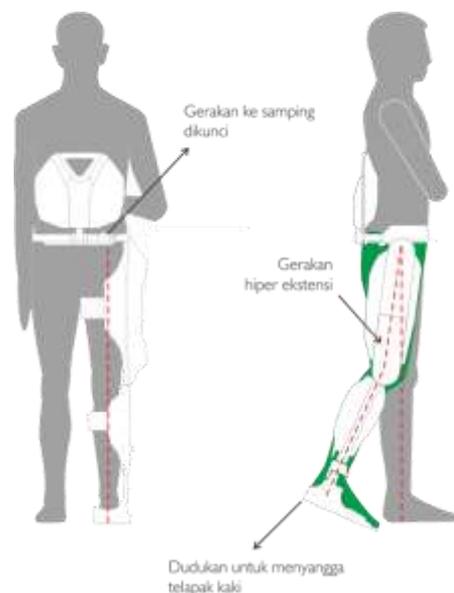
Didapatkan data primer lain berupa *deep interview* dengan terapis mengenai rehabilitasi pasien pasca stroke sebagai berikut :

- Pasien melakukan proses rehabilitasi dengan bantuan terapis yang dilaksanakan seminggu sekali di klinik
- Penanganan dan terapi stroke harus dilakukan sedini mungkin setelah terjadi serangan, agar penanganan dan penyembuhan pasien berjalan lebih cepat

### Kesimpulan

Masalah yang telah disimpulkan, kemudian diimplementasikan pada eksoskeleton yang dirancang yaitu :

- Gerakan kaki kaki membuka dikunci pada bagian pinggul hal ini dimaksudkan agar tidak terjadi gerakan membuang dan lesi otak membaca gerakan yang benar
- Terdapat dudukan yang menyangga telapak kaki, hal ini dilakukan agar telapak kaki pasien tidak mengalami telungkup dan otot *tibialis anterior* tidak berkontraksi secara berlebihan



Gambar 4. 2 Hasil analisis kebutuhan

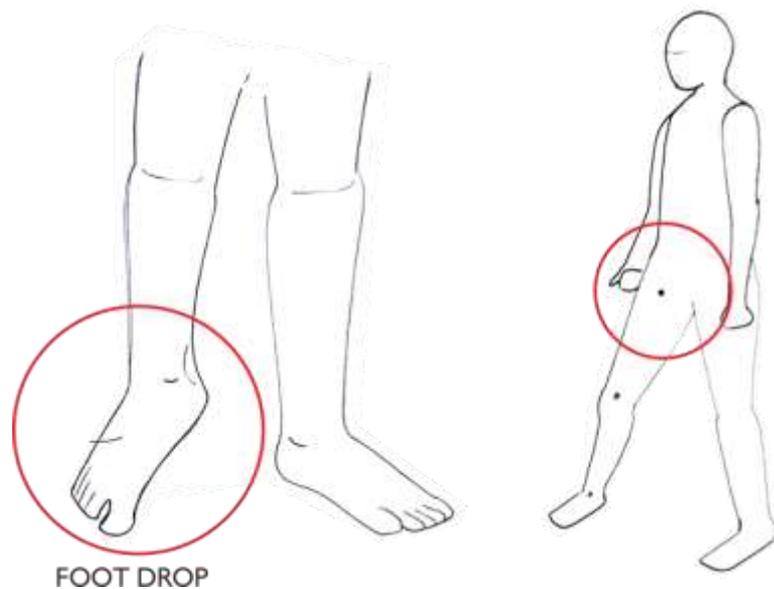
## 4.2 Studi Ergonomi dan Antropometri

### Tujuan

Studi dilakukan untuk mengetahui ukuran dan tingkat kenyamanan tubuh manusia khususnya bagian kaki sehingga data ukuran yang didapat akan mempengaruhi bentukan dan dimensi dari eksoskeleton itu sendiri.

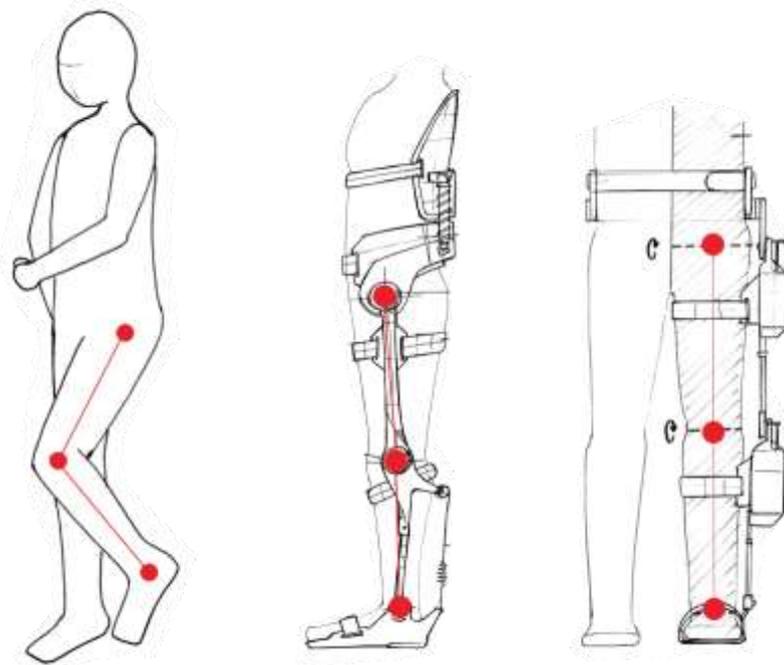
### 4.2.1 Titik Kritis

Pada pasien pasca stroke mengalami spastis dan kontraktur di beberapa bagian terutama di daerah kaki sehingga dalam merancang eksoskeleton perlu mempertimbangkan ukuran di beberapa titik tertentu yang mana akan mempengaruhi bentuk dan dimensi daripada eksoskeleton. Berikut bagian yang mengalami kontraktur dan bagian titik kritis :



Gambar 4. 3 Bagian yang mengalami kontraktur

Pada gambar diatas merupakan bagian bagian yang mengalami pemendekan otot dan berdampak pada kegagalan fungsi dari sistem bergerak pada saat berjalan dan terganggunya titik kritis. Berikut titik kritis yang berada pada kaki :



Gambar 4. 4 Titik kritis pada kaki

Berikut merupakan bagian titik kritis yang dipertimbangkan dalam perancangan eksoskeleton meliputi :

- a. Panjang keseluruhan kaki
- b. Panjang antara titik pinggul ke lutut
- c. Panjang antara titik lutut ke pergelangan kaki
- d. Lebar kaki

#### 4.2.2 Antropometri

Setelah mengetahui posisi titik kritis yang dibutuhkan, kemudian membandingkan ukuran antara 2 sumber yang dapat mempengaruhi bentuk dan dimensi pada *lower-limb* eksoskeleton.

Data acuan ukuran antropometri kaki manusia yang dipakai yaitu berdasarkan literatur Hendry Dreyfuss dan Nurmianto.



Gambar 4. 5 Antropometri yang dibutuhkan

Pada literatur “Henry Dreyfuss : The Measure of Man Human factor in design” mengenai dimensi dan antropometri manusia, didapatkan data sebagai berikut ;

Tabel 4. 2 Antropometri “ Henry Dreyfuss”

Jenis	5%	50%	95%
Lebar pinggul	299,7	335,28	375,92
Lebar paha	154,94	180,34	208,28
Lebar telapak kaki	88,9	96,52	106,68
Tebal pinggul	185,42	223,52	269,24
Panjang telapak kaki	243,84	266,7	289,56
Panjang telapak-pinggul	861,06	929,64	998,22
Panjang punggung	416,56	457,2	500,38
Tinggi lutut-pinggul	398,78	426,72	457,2
Tebal betis	10,16	11,9	13,2
Lebar betis	9,14	10,16	11,68

Jenis	5%	50%	95%
Tinggi <i>ankle</i> -lutut	386,08	414,0	444,5
Tinggi telapak kaki- <i>ankle</i>	76,3	88.9	96, 52

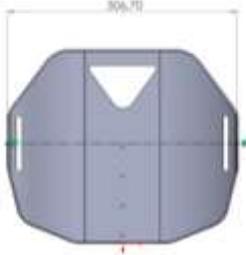
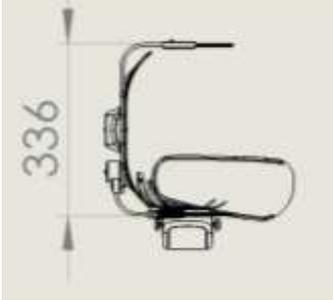
Pada tabel data diatas, dipilih beberapa parameter ukuran yang sesuai dengan cangkupan desain yaitu pada area tungkai bawah / kaki. Ukuran antropometri yang dipilih ialah ukuran manusia berjenis kelamin laki-laki, hal ini dikarenakan jumlah pasien strok laki-laki lebih banyak daripada perempuan yang mana sudah dijelaskan pada bab 1. Data antropometri pada “Nurmianto,1991“ digunakan sebagai pembanding literatur pertama

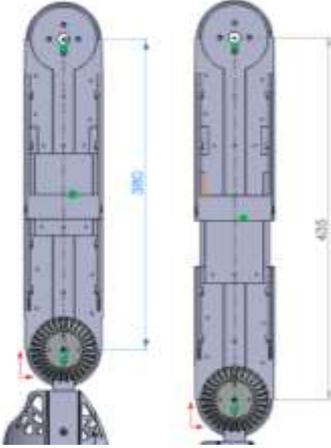
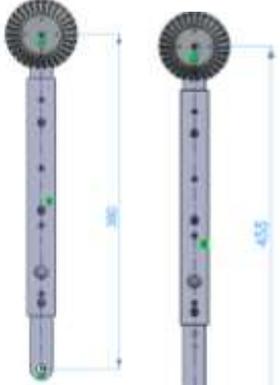
Tabel 4. 3 Antropometri berdasarkan “Nurmianto, 1991”

Jenis	5%	50%	95%
Lebar pinggul	291	338	372
Lebar paha	115	140	165
Lebar telapak kaki	82	89	96
Panjang telapak kaki	230	248	266
Panjang punggung	-	-	-
Tinggi lutut-pinggul	-	-	-
Tebal betis	-	-	-
Lebar betis	-	-	-
Tinggi <i>ankle</i> -lutut	-	-	-
Tinggi telapak kaki- <i>ankle</i>	61	66	71

Produk eksoskeleton menggunakan beberapa ukuran persentile bergantung pada titik kritis pasien. Berikut penggunaan persentile pada komponen produk eksoskeleton yang dirancang :

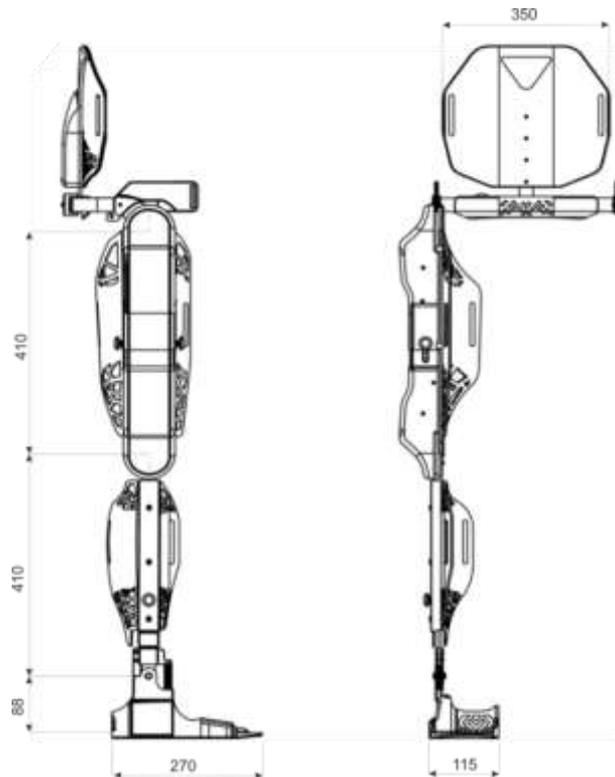
Tabel 4. 4 Ukuran komponen

Komponen	Persentile	Keterangan
	<p>5%tile Henry Dreyfuss</p>	<p>Back Support, dikarenakan komponen melengkung dan didukung oleh strap sehingga ukuran dari komponen tidak terlalu besar</p>
	<p>50%tile Henry Dreyfuss</p>	<p>Penyangga pinggul diharuskan <i>fit</i> dengan pengguna, oleh karena itu dipilih 50%tile karena rata rata dimensi manusia. Namun tidak menutup kemungkinan disediakan varian SML</p>
	<p>5%tile Nurmianto</p>	<p>Cover paha, menggunakan 5%tile karena bentukannya mengikuti lengkungan tubuh dan didukung oleh strap</p>
	<p>5%tile Henry Dreyfuss</p>	<p>Cover tulang kering, menggunakan 5%tile karena bentukannya mengikuti lengkungan tubuh dan didukung oleh strap</p>
	<p>95%tile Nurmianto</p>	<p>Telapak kaki, menggunakan ukuran 95%tile agar semua dapat menggunakannya. Namun tidak menutup kemungkinan erdapat varian SML.</p>

Komponen	Persentile	Keterangan
	<p><b>380mm-435mm</b> 5%tile-95%tile Henry Dreyfuss</p>	<p>Karena dimensi manusia yang berbeda beda, maka digunakan sistem <i>adjustable</i> sehingga diharapkan dapat mencakup hampir seluruh <i>user</i></p>
	<p><b>380mm-455mm</b> 5%tile-95%tile Henry Dreyfuss</p>	<p>Karena dimensi manusia yang berbeda beda, penggunaan sistem <i>adjustable</i> diharapkan dapat mencakup hampir seluruh <i>user</i></p>

### Kesimpulan

Pada kedua sumber literatur yang berbeda, terdapat beberapa perbedaan dimensi/ukuran manusia. Hal ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor misal ras, kondisi internal dll. Studi antropometri berfokus pada orang Indonesia namun beberapa pengukuran yang diperlukan tidak terdapat pada literatur Nurmianto, maka beberapa pengukuran diambil dari Henry Dreyfuss.



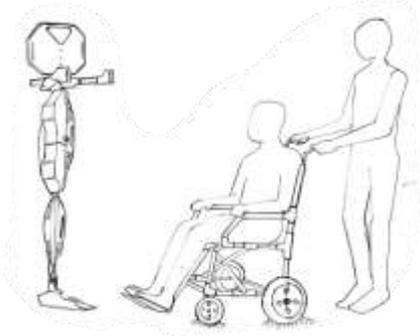
Gambar 4. 6 Implementasi antropometri pada eksoskeleton

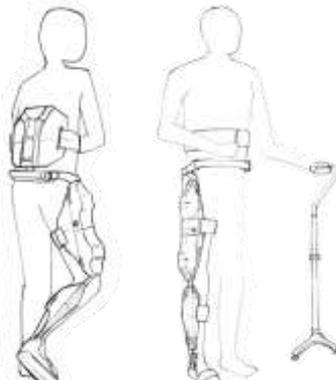
### 4.3 Studi Aktivitas

Studi ini dilakukan untuk mengetahui skenario apa yang kemungkinan dilakukan pada saat pasien menggunakan alat eksoskeleton. Beberapa kegiatan diidentifikasi agar mengetahui aktivitas dan kebutuhan yang perlu dipertimbangkan saat mengoperasikan eksoskeleton yang terdiri sebagai berikut :

a. Skenario 1

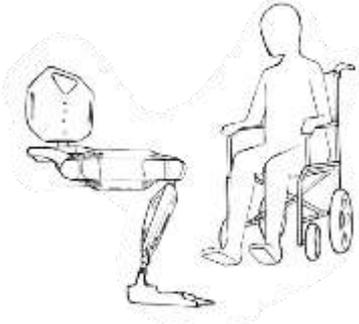
Tabel 4. 5 Aktivitas Operasional 1

Gambar	Keterangan
	<p><b>Aktivitas :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pasien menuju alat diantar/sendiri</li> <li>- Posisi eksoskeleton berdiri</li> </ul> <p><b>Kebutuhan :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Apabila eksoskeleton pada posisi berdiri, maka pasien memasang alat dengan posisi berdiri dengan atau tanpa bantuan</li> </ul>

Gambar	Keterangan
	<p><b>Aktivitas :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Berdiri dari tempat duduk/kursi roda dengan bantuan orang lain</li> <li>- Berjalan menuju kursi roda dengan/tanpa bantuan orang lain</li> </ul> <p><b>Kebutuhan :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mampu beranjak dari kursi/kursi roda dengan mudah</li> </ul>
	<p><b>Aktivitas :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pemasangan strap eksoskeleton dibantu dengan orang lain</li> </ul> <p><b>Kebutuhan :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Operasional pemakaian yang mudah bagi pengguna</li> <li>- Kenyamanan bahan pada pemasangan, karena bersentuhan langsung dengan tubuh</li> <li>- Pemakaian yang mudah dan aman agar tetap menjaga sirkulasi darah</li> <li>- Penggantian casing dibantu oleh orang lain</li> </ul>
	<p><b>Aktivitas :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pasien mulai berjalan</li> </ul> <p><b>Kebutuhan :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tongkat/kruk untuk menjaga keseimbangan</li> <li>- Ketahanan baterai pada saat eksoskeleton beroperasi</li> <li>- Kemudahan menjangkau dan menggunakan system kontroler</li> </ul>

b. Skenario 2

Tabel 4. 6 Aktivitas operasional 2

Gambar	Keterangan
	<p><b>Aktivitas :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>c. Pasien menuju alat diantar/sendiri</li> <li>d. Eksoskeleton posisi duduk</li> </ul> <p><b>Kebutuhan :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>e. Eksoskeleton bisa diletakkan pada posisi duduk</li> </ul>
	<p><b>Aktivitas :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>f. Pasien memasang strap ke kaki pasien</li> <li>g. Eksoskeleton posisi duduk</li> </ul> <p><b>Kebutuhan :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>h. Kemudahan pada saat memasang strap dengan posisi duduk</li> <li>i. Keamanan bahan yang bersentuhan langsung dengan tubuh pasien</li> <li>j. Kenyamanan bahan yang tidak menyumbat sirkulasi darah</li> <li>k. Kemudahan membuka cover secara modular agar pasien tidak merasa bosan</li> </ul>
	<p><b>Aktivitas :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>l. Pasien mulai bangkit dari tempat duduk dan mulai berjalan</li> </ul> <p><b>Kebutuhan :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>m. Dibutuhkan eksoskeleton yang cukup ringan untuk bergerak dari posisi duduk ke berdiri</li> <li>n. Motor servo yang cukup kuat untuk mengangkat ekso dan orang</li> </ul>

Gambar	Keterangan
	<p><b>Aktivitas :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o. Pasien mulai berjalan</li> </ul> <p><b>Kebutuhan :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>p. Tongkat/kruk untuk menjaga keseimbangan</li> <li>q. Ketahanan baterai pada saat eksoskeleton beroperasi</li> <li>r. Kemudahan menjangkau dan menggunakan system kontroler</li> </ul>

Berdasarkan tabel diatas, pasien strok melakukan rehabilitasi dengan 2 skenario. Hal yang dibutuhkan pasien, dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan untuk eksoskeleton yang dirancang. Tempat rehabilitasi yang berada di rumah, mempengaruhi bentuk dan spesifikasi yang harus dipenuhi agar pasien dapat mengoperasikan dengan mudah, aman dan nyaman.

#### 4.4 Benchmarking Lower-Limb Eksoskeleton

Benchmarking bertujuan untuk membandingkan produk eksoskeleton berjenis *mobile-lower limb eksoskeleton* yang sudah dikembangkan maupun yang sudah dalam tahap produksi massal berdasarkan parameter harga, sistem, jenis, fitur dan lain-lain.

##### 4.4.1 Eksoskeleton tungkai bawah yang beredar dipasaran

Eksoskeleton untuk gangguan pasca strok banyak dikembangkan dibanyak negara di dunia. Berikut merupakan komparasi produk-produk eksoskeleton yang sudah beredar dipasaran :

Tabel 4. 7 Benchmarking produk yang tersedia dipasaran

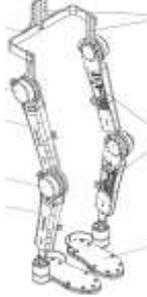
	EKSO GT (1)	REX (2)	ARKE (3)
Parameter			

<b>Parameter</b>	<b>EKSO GT (1)</b>	<b>REX (2)</b>	<b>ARKE (3)</b>
Jenis Eksoskeleton	<i>Mobile Eksoskeleton</i>	<i>Mobile Eksoskeleton</i>	<i>Mobile Eksoskeleton</i>
<i>Purpose</i>	Rehabilitasi	Rehabilitasi dan Augmentasi	Rehabilitasi
Nama Perusahaan	Ekso Bionics	REX Bionics	BionikLabs
Harga	\$70.000	\$110.000	\$80.000
Anatomi gerakan	<i>Sagital plane, Coronal plane</i>	<i>Sagital plane</i>	<i>Sagital plane</i>
DoF (per sisi)	4 titik	3 titik	3 titik
DoF yang digerakkan	Abduksi-adduksi paha Fleksi-ekstensi paha Fleksi-ekstensi lutut Plantarfleksi-dorsifleksi kaki	Fleksi-ekstensi paha Fleksi-ekstensi lutut Plantarfleksi-dorsifleksi kaki	Fleksi-ekstensi paha Fleksi-ekstensi lutut Plantarfleksi-dorsifleksi kaki
Aktuator aktif	<i>Hip-Knee</i>	<i>Hip-Knee-Ankle</i>	<i>Hip-Knee</i>
Aktuator pasif	<i>Ankle-Hip (abduction)</i>	-	<i>Ankle</i>
Aktuator	Servo motor	Servo motor	Servo motor
Jenis DoF pasif	Hidrolik, <i>spring</i>	-	<i>Spring</i>
Kontroler	<i>Button</i>	<i>Joystick dan button</i>	<i>Voice command :</i>
Material	<i>Carbon Fiber, Aluminium</i>	Aluminium	<i>Carbon fiber, Aluminium, Baja</i>
<i>Balancing support</i>	<i>Crutch/walker</i>	-	<i>Crutch/walker</i>
<i>Power Supply</i>	Baterai	Baterai	Baterai
<i>Back Support</i>	Ya	Tidak ( <i>lumbar support</i> )	Ya

#### 4.4.2 Eksoskeleton dalam tahap riset

Berikut merupakan eksoskeleton yang dalam tahap riset dan menjadi basis eksoskeleton yang akan dikembangkan

Tabel 4. 8 Benchmarking produk dalam tahap riset

<b>Parameter</b>	Design and Motion Control of a Lower Limb Robotic Eksoskeleton Umit Onen,2017
	
Jenis Eksoskeleton	<i>Mobile Eksoskeleton</i>
<i>Purpose</i>	Rehabilitasi
Anatomi gerakan	<i>Sagital plane</i>
DoF (per sisi)	3 titik
DoF yang digerakkan	Fleksi-ekstensi pinggul Fleksi-ekstensi lutut Plantarfleksi-dorsifleksi kaki
Aktuator aktif	<i>Hip-Knee</i>
Aktuator pasif	<i>Ankle</i>
Jenis DoF aktif (aktuator)	Servo motor
Kontroler	<i>Pre-defined Motion (PMC)</i>
Material	Aluminium, polyamide (P6)
<i>Balancing support</i>	<i>Link bar</i>
<i>Power Supply</i>	Baterai
<i>Back Support</i>	Tidak

## Kesimpulan

Berdasarkan tabel diatas diketahui spesifikasi pada setiap eksoskeleton yang dikomparasi. Berdasarkan tabel diatas, fitur yang wajib ada pada eksoskeleton yang akan dirancang ialah :

- a. Bergerak pada sumbu *sagittal plane*
- b. Dapat menggerakkan sendi pnggul dan lutut (fleksi-ekstensi)

Fitur yang sebaiknya ada pada eksoskeleton yang dirancang ialah :

- a. Menggunakan servomotor sebagai penggerak utama
- b. Dapat menggerakkan sendi pergelangan kaki
- c. Terdapat *balancing support* sebagai alat penyeimbang
- d. Menggunakan baterai sebagai *power supply*
- e. Memiliki dudukan telapak kaki sebagai alas pada saat berjalan

Fitur sebagai peluang dan menjadi nilai lebih daripada produk rancangan :

- a. Terdapat fitur *back support* untuk menahan batang tubuh pasien agar tetap tegap
- b. Memiliki fitur *adjustable* sehingga bisa dikustom sesuai dengan antropometri ukuran pasien
- c. Memiliki gerak pada sumbu *coronal plane* (aduksi dan abduksi) supaya gerak pasien lebih dinamis

## 4.5 Psikografis Konsumen

Psikografis konsumen bertujuan untuk menentukan *target user*. Pemilihan *target user* berdasarkan kesesuaian dan kegunaan pada produk eksoskeleton yang dirancang. Untuk masalah eksoskeleton yang digunakan oleh pasien pasca stroke, mayoritas orang yang menggunakan adalah golongan orang yang dewasa dan golongan tua karena mayoritas stroke menyerang manusia pada umur diatas 35 tahun. Sehingga psikografis konsumen berfokus pada golongan dewasa dan tua.

### a. Dewasa

Tabel 4. 9 Demografi orang dewasa

Demografi konsumen		AIO			Kebutuhan
		<i>Activity</i>	<i>Interest</i>	<i>Opinion</i>	
Umur	35-50	-Terapi dengan semangat yang tinggi	-Tidak mengeluarkan banyak biaya  -Multifungsi	-Lebih mengutamakan performa  -Mudah pemakaian  -Terjangkau	-Alat bantu yang mampu mempercepat pemulihan  -Alat bantu yang memiliki harga cukup terjangkau
Gender	Pria dan Wanita	-Memiliki pekerjaan yang tertunda			

### b. Orang Tua

Tabel 4. 10 Demografi orang tua

Demografi konsumen		AIO			Kebutuhan
		<i>Activity</i>	<i>Interest</i>	<i>Opinion</i>	
Umur	>50	-Terapi dengan semangat tinggi	-Bentuk yang simpel  -Alat yang mudah digunakan	-Lebih mengutamakan kepercayaan diri  -Sistem yang mudah dikontrol	-Alat bantu dengan bentuk yang ringkas  -Alat yang mudah digunakan
Gender	Pria dan Wanita	-Berkumpul dengan keluarga  - <i>Quality Time</i>	-Kenyamanan	-Tidak cepat lelah dan seimbang	-Alat yang dapat digunakan di rumah

## Kesimpulan

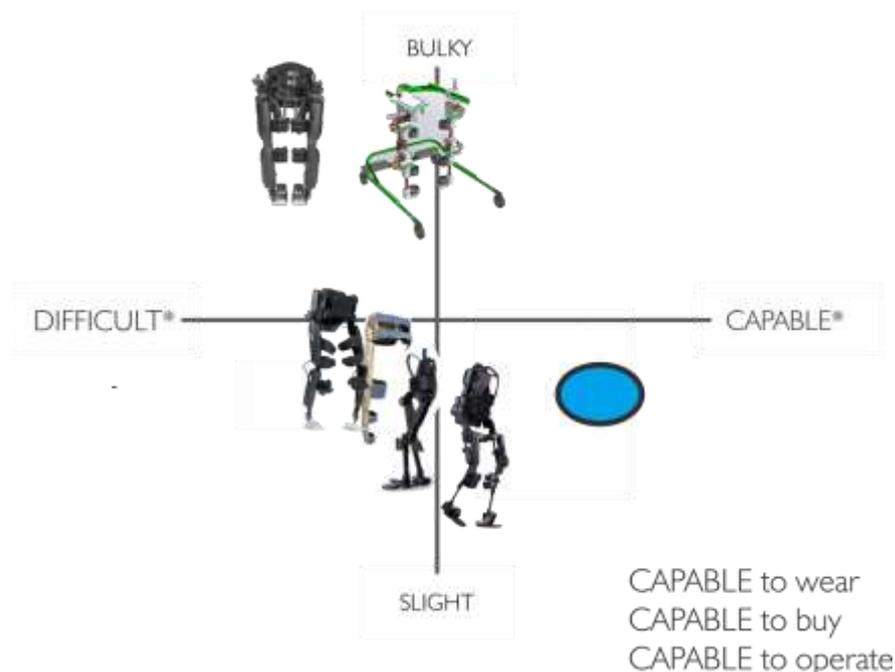
Dari tabel diatas, terdapat beberapa poin yang memiliki kesamaan antara demografi golongan dewasa dan golongan tua yaitu mudah pemakaian. Disisi lain user golongan dewasa mementingkan performa dan harga yang terjangkau sedangkan untuk golongan tua membutuhkan alat yang nyaman dan bentuk yang ringkas. Dari pemilihan keinginan kedua golongan tersebut, maka eksoskeleton yang dirancang haruslah mementingkan faktor performa pemakaian, faktor harga, faktor kenyamanan dan bentuk yang ringkas.

## 4.6 Positioning Produk

Positioning merupakan usaha yang dilakukan untuk memberikan benak/kesan pada produk. Pemberian kesan ini dilakukan agar calon *user* percaya terhadap suatu produk. Oleh karena itu, pada eksoskeleton ini dilakukan *positioning* agar memiliki kesan dan benak khusus.

### 4.6.1 Target Positioning Produk

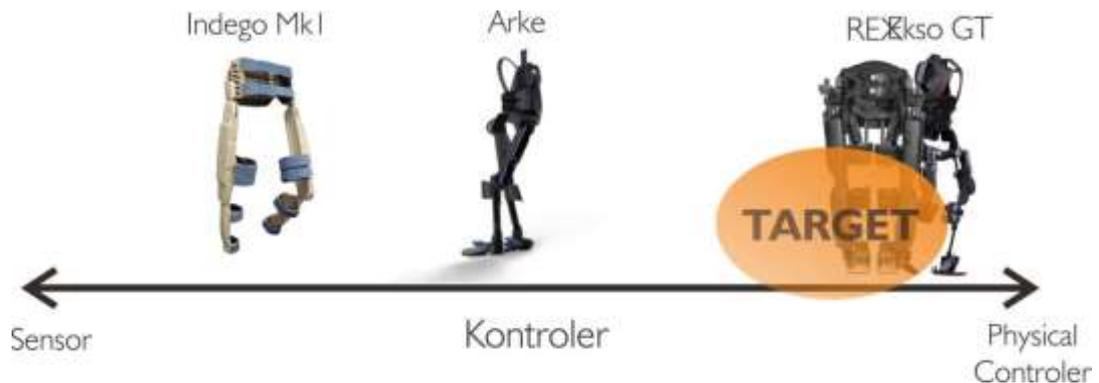
Untuk menentukan segmentasi pasar, maka positioning produk diantara kompetitor perlu dilakukan. Positioning produk berfungsi untuk menempatkan dimana produk kita akan ditempatkan.



Gambar 4. 7 Positioning produk eksoskeleton

Produk akan ditempatkan dimana produk memiliki bentuk yang cenderung kecil dan juga memiliki kontroler maupun harga yang relatif ataupun kemudahan pemasangan pada pasien yang mampu dijangkau dan diterapkan di Indonesia.

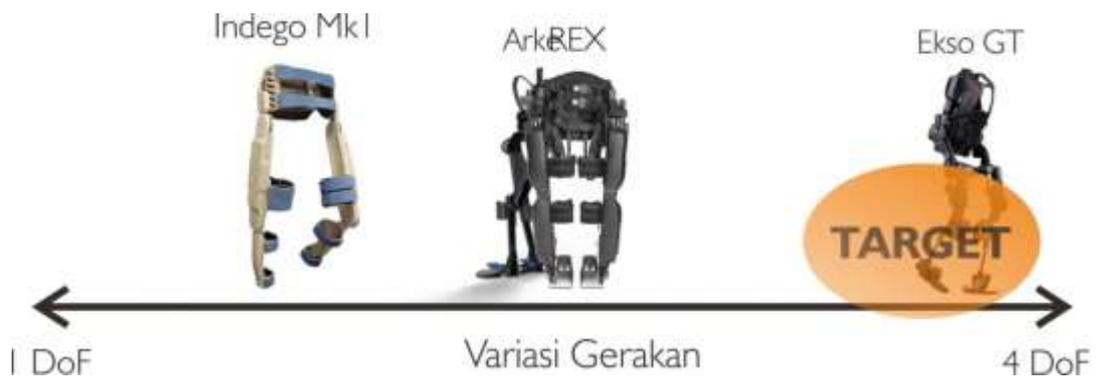
a. Target positioning menurut tingkat kerumitan sistem pengontrol



Gambar 4. 8 Grafik kontroler pada eksoskeleton

Target pasar akan ditempatkan berdekatan dengan produk REX dan Ekso GT karena keduanya menggunakan kontroler fisik berupa *joystick* dan *button* yang mana lebih mudah dan aman sebab semua pengaturan berdasarkan keinginan pengguna dan sedikitnya tingkat kerumitan/kompleks dari rangkaian yang mana meminimalisir kesalahan sistem.

b. Target positioning menurut variasi gerakan



Gambar 4. 9 Grafik variasi gerakan (DoF)

Untuk variasi gerakan yang akan diterapkan, produk rancangan ditempatkan berdekatan dengan Ekso GT yang memiliki variasi gerakan yang lebih banyak daripada 3 kompetitor lainnya yaitu 4 titik gerakan

(DoF). Produk rancangan dan Ekso GT memiliki jumlah variasi yang sama namun memiliki sistem yang berbeda.

c. Target positioning menurut harga



Gambar 4. 10 Grafik Harga

Untuk target berdasarkan harga, target rancangan ditetakkan 6/10 jauh dari 4 produk eksoskeleton lainnya. Hal ini dikarenakan daya beli masyarakat menengah keatas di Indonesia tidak sebesar negara lain terutama komponen-komponen pendukung eksoskeleton selalu impor dan berdasarkan nilai dolar.

#### 4.6.2 Segmentasi produk

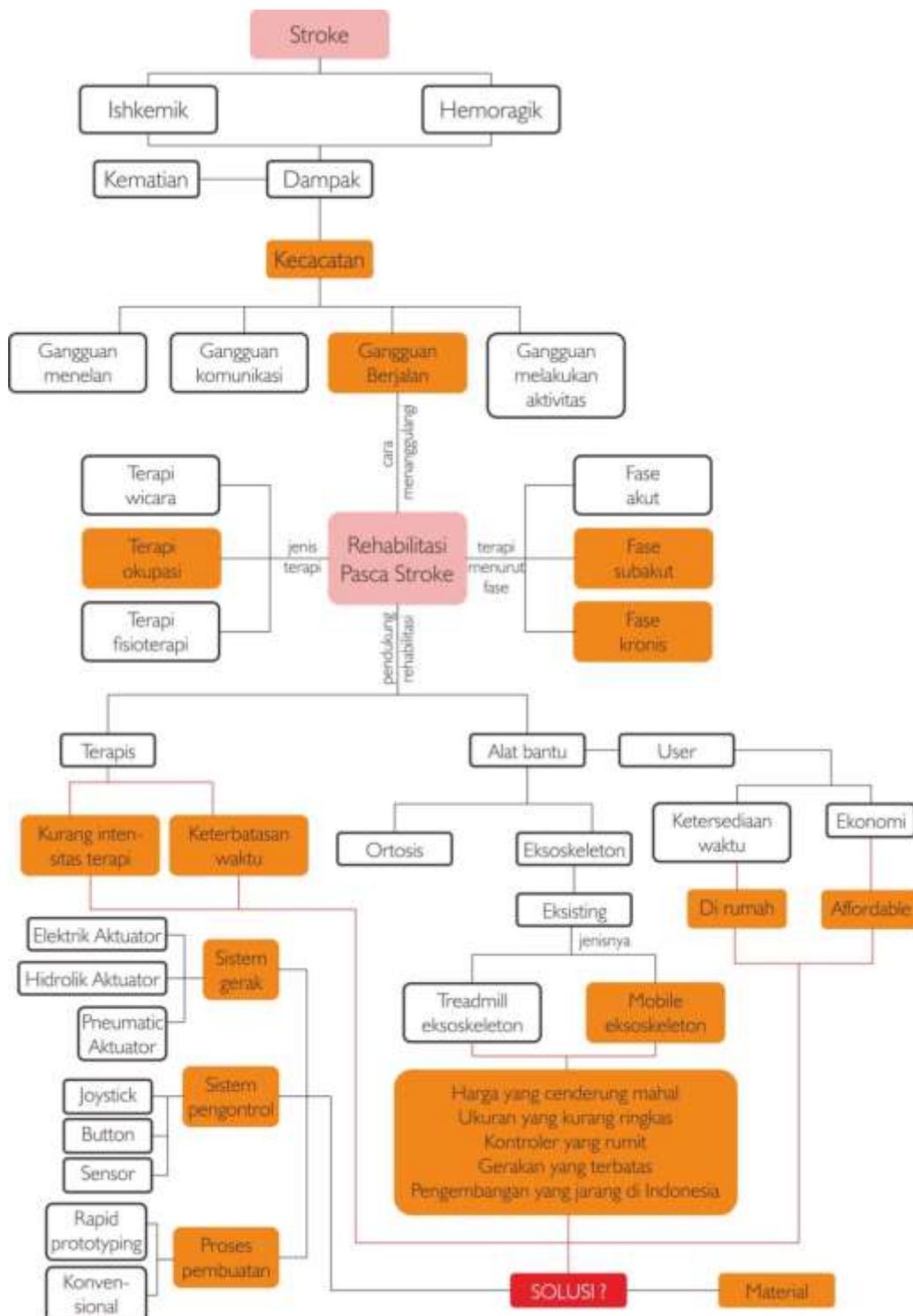
Segmentasi produk dilakukan untuk menentukan letak dimana produk rancangan akan ditempatkan. Penggunaan segmentasi demografis merupakan segmentasi yang paling sesuai pada produk rancangan.

a. Segmentasi demografis:

1. Usia : segmentasi yang dituju yaitu kalangan diusia 35 ke atas, yang mana faktor terjadinya serangan strok lebih besar
2. Kelas sosial : kelas sosial yang dipilih yaitu keluarga golongan menengah ke atas
3. Jenis kelamin : Bersifat unisex dan dapat digunakan sesuai dengan ukuran antropometri orang Indonesia.

## 4.7 Design Development

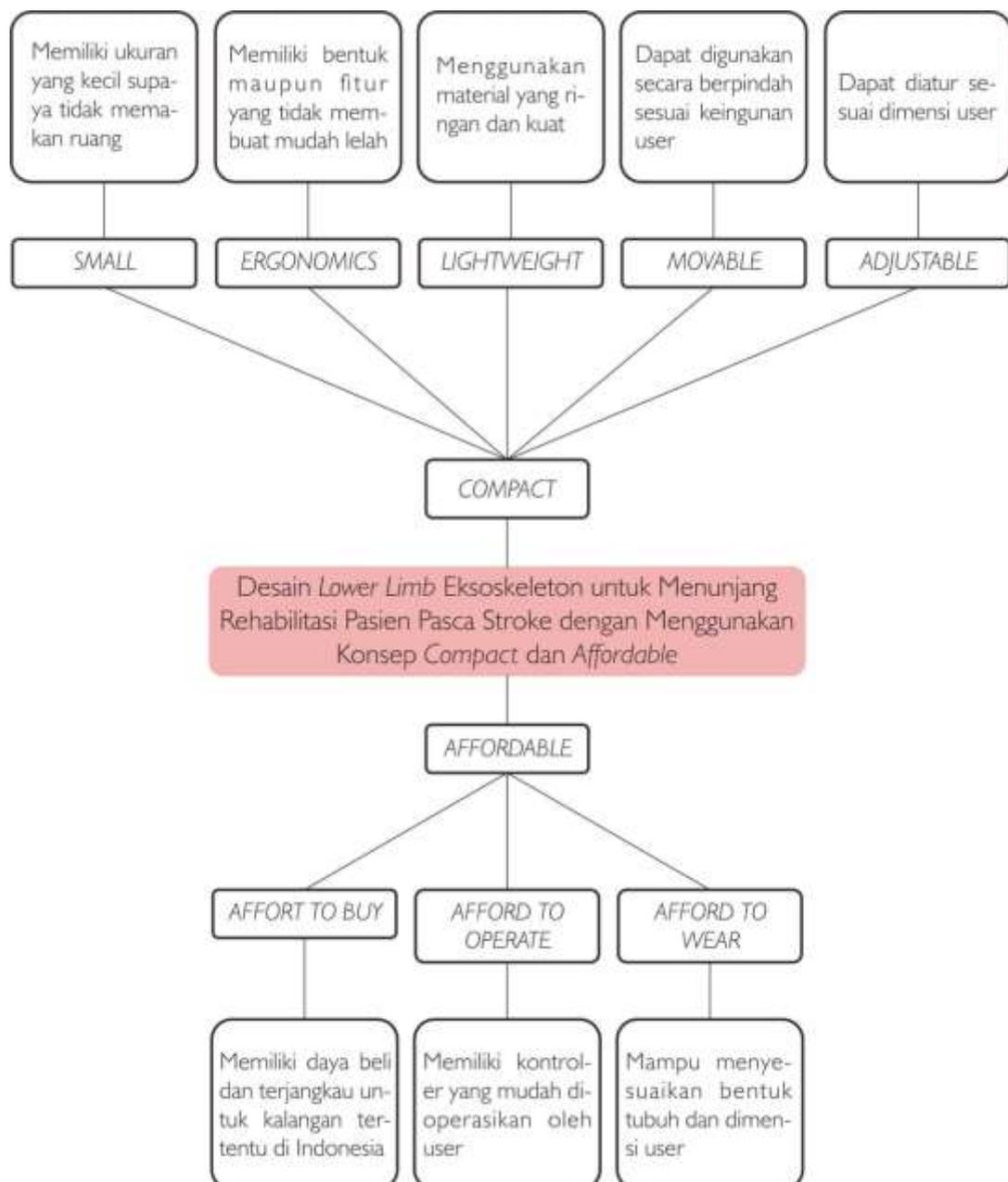
### 4.7.1 Brainstorming Masalah dan Kebutuhan



Gambar 4. 11 Skema masalah dan kebutuhan

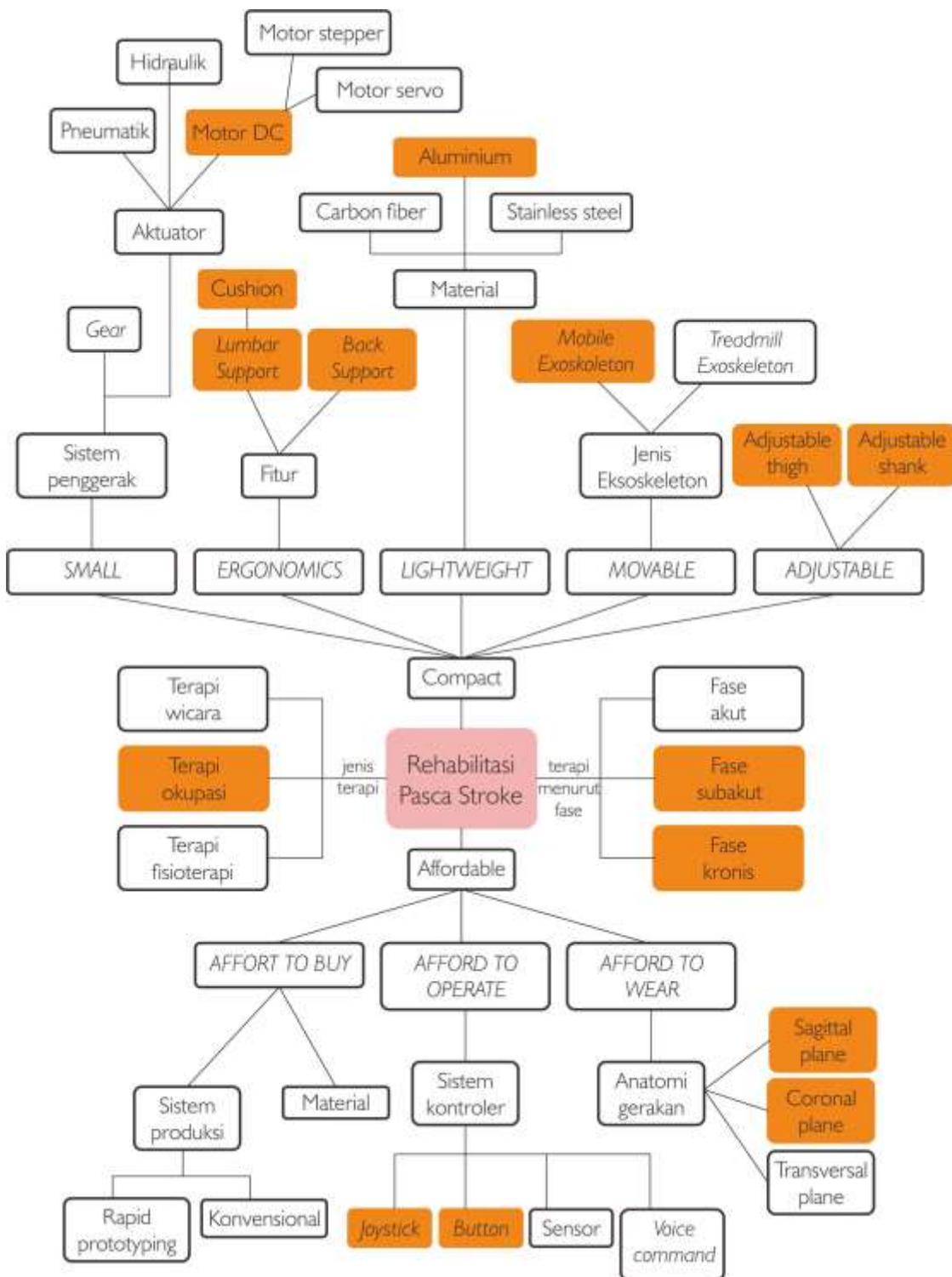
#### 4.7.2 Object Tree

Berikut adalah *object tree* dari konsep *lower limb* eksoskeleton yang menjadi dasar pemikiran untuk menemukan ide desain yang tepat sasaran dari produk yang akan dirancang. Konsep eksoskeleton ini adalah *compact* dan *Affordable*.



Gambar 4. 12 Objective tree

### 4.7.3 Brainstorming Konsep Desain



Gambar 4. 13 Brainstorming konsep desain

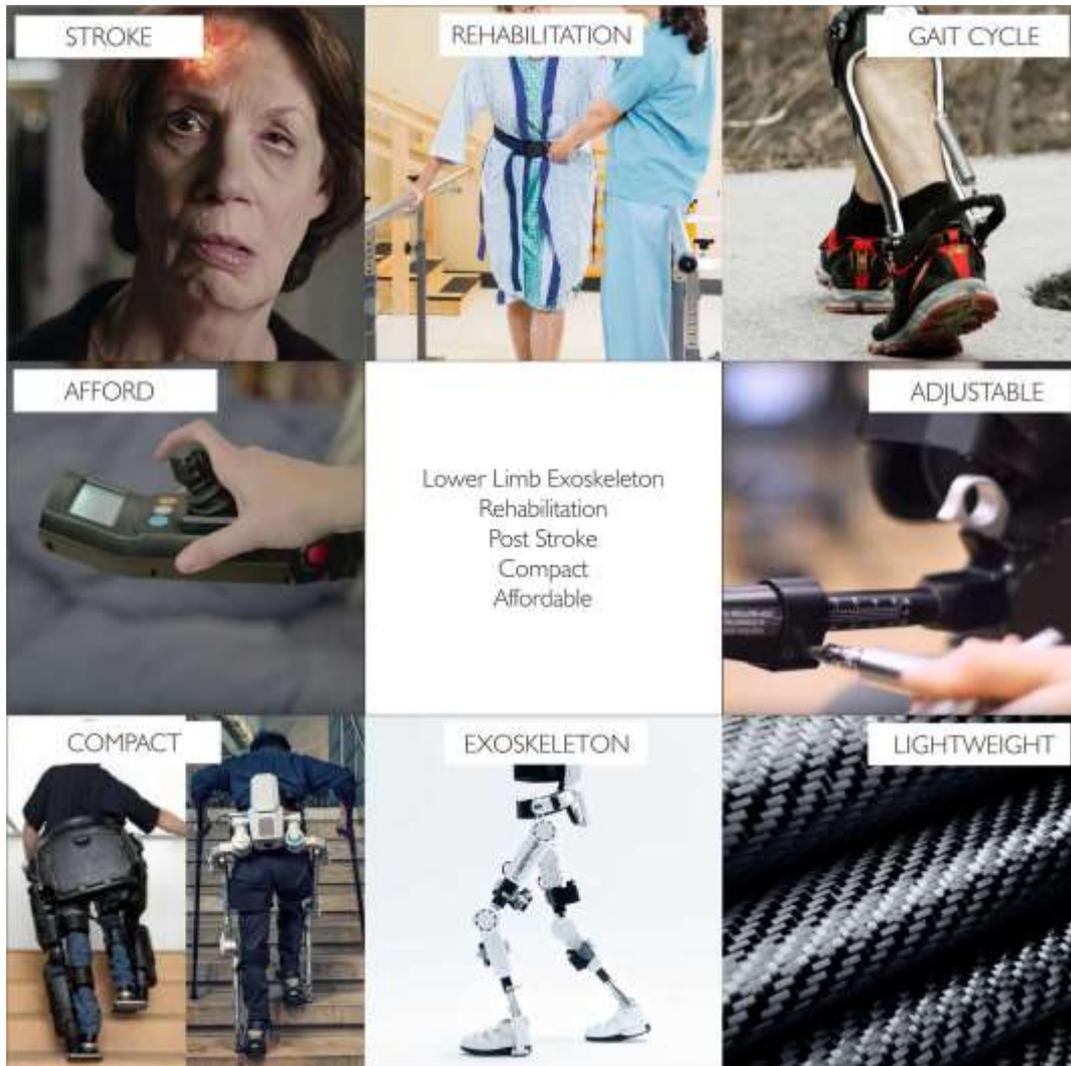
#### 4.7.4 Image Board Inspiration

##### a. Lifestyle Board

Tabel 4. 11 *Lifestyle Board*

Demografi	<i>Lifestyle</i>	Deskripsi
<p>Pasien Pasca Strok</p> <p>Umur &gt;35 tahun</p>		<p>Pasien pasca strok yang dalam aktivitasnya selalu melakukan terapi dengan terapis. Terapis yang dilakukan yaitu terapis gerak berjalan dengan paralel bar yang berukuran cukup besar dan hanya bisa dilakukan di rumah sakit. Sedangkan di rumah, pasien menambah biaya terapi dengan menggunakan alat bantu orthosis sebagai terapi berjalan didalam rumah, namun orthosis yang digunakan tidak bisa ditekuk sehingga menyulitkan pasien. Disisi lain, pasien terapi dirumah dengan terapis namun menyesuaikan keadaan dan ketersediaan waktu terapis.</p>

*b. Square Idea Board*



Gambar 4. 14 Square Idea Board

Keterangan :

1. Strok, merupakan salah satu penyakit mematikan di dunia. Proyek perancangan yang akan dibuat berhubungan dengan penyakit strok.
2. *Rehabilitation*, adalah proses penyembuhan dan tindakan tepat guna untuk pasien yang selamat dari serangan strok.
3. *Gait Cycle*, atau disebut pola berjalan merupakan salah satu dampak yang terkena bila terkena serangan strok. Kebanyakan pasien pasca strok akan kehilangan kemampuan berjalan yang cukup signifikan.

4. *Adjustable*, alat bantu yang dirancang harus bisa menyesuaikan dengan bentuk dan ukuran pengguna yang berbeda beda, gunanya agar pasien merasa pas dan nyaman pada saat memakai alat bantu tersebut.
5. *Lightweight*, adalah faktor yang sangat penting pada alat bantu yang akan dirancang, bawasannya alat bantu yang ringan dan kuat akan sangat membantu pasien dan membuat pasien merasa nyaman.
6. *Eksoskeleton*, adalah objek perancangan yang akan dikerjakan. Merupakan bagian dari *powered orthosis* yang mana membantu mengembalikan fungsi organ yang hilang, terutama kemampuan berjalan.
7. *Compact*, adalah faktor penting untuk merancang alat bantu ini, karena dengan menggunakan desain yang compact dapat mengimplementasikan bobot yang ringan dan tidak mengintimidasi pasien.
8. *Afford*, dalam arti lain yaitu mampu yang mana salah satu parameter mampu yaitu mampu mengoperasikan alat dengan mudah dan digerakkan oleh pasien itu sendiri. Menggunakan jenis kontroler yang mudah dan tidak banyak tombol.

## 4.8 Analisis Aspek Teknologi

### Tujuan

Analisis untuk mengidentifikasi dan memilih teknologi yang dapat diaplikasikan pada eksoskeleton yang akan di rancang Pada rancangan eksoskeleton ini terdapat beberapa aspek teknologi yang digunakan diantaranya :

#### 4.8.1 Motor DC

Motor DC merupakan salah satu pusat sistem gerak pada suatu eksoskeleton. Diperlukan motor DC yang memiliki ukuran ringkas namun mampu mengangkat beban yang dibawa.

Tabel 4. 12 Perbedaan servo dan stepper

<b>Servomotor</b>	<b>Motorstepper</b>
<b>Keuntungan</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Minim getaran dan resonansi saat beroperasi</li><li>- Daya yang dihasilkan sebanding dengan ukuran dan berat motor</li><li>- Penggunaan arus listrik sebanding dengan beban yang diberikan</li><li>- Resolusi dan akurasi dapat diubah dengan hanya mengganti <i>encoder</i> yang dipakai</li><li>- Tidak berisik saat beroperasi</li></ul>	<b>Keuntungan</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Sudut rotasi motor proporsional dengan pulsa masukan sehingga lebih mudah diatur</li><li>- Motor dapat langsung memberikan torsi penuh pada saat mulai bergerak</li><li>- Posisi dan pergerakan repetisinya dapat ditentukan secara presisi</li><li>- Memiliki respon yang sangat baik terhadap mulai, stop, dan berbalik (perputaran)</li></ul>
<b>Kekurangan</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Memerlukan pengaturan yang tepat untuk menstabilkan umpan balik</li></ul>	<b>Kekurangan</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Penggunaan arus listrik tidak sebanding dengan beban yang diberikan</li><li>- Torsi berkurang secara drastis</li></ul>

- Motor menjadi tidak terkendali jika <i>encoder</i> tidak memberikan umpan balik	seiring dengan bertambahnya kecepatan
- Beban yang berlebih dalam waktu yang lama dapat merusak motor	- Daya yang dihasilkan tidak sebanding dengan ukuran dan bobot motor
	- Menghasilkan suara yang sangat berisik saat beroperasi

Berdasarkan tabel diatas, terdapat poin-poin penting yang cukup krusial dan harus diperhatikan seperti daya yang dihasilkan sebanding dengan ukuran dan berat motor karena eksoskeleton yang dirancang haruslah ringkas dan cenderung kecil. Oleh karena itu, **Servomotor** dipilih menjadi sumber gaya untuk eksoskeleton yang dirancang.

Berdasarkan *forum group discussion*, berikut spesifikasi servomotor yang dipilih untuk menggerakkan tungkai eksoskeleton yang dirancang :



Gambar 4. 15 Servomotor dan komponen pendukung

Tabel 4. 13 Spesifikasi servomotor yang dipilih

Merek	DYNAMIXEL MX-106T
<i>Operating voltage</i>	14,8V
<i>Stall torque</i>	10 N.m / 102 kg.cm
<i>Speed (no load)</i>	55 rpm
Berat	153 gram
Dimensi	40,2 x 65,1 x 46 mm
<i>Operating angle</i>	360°

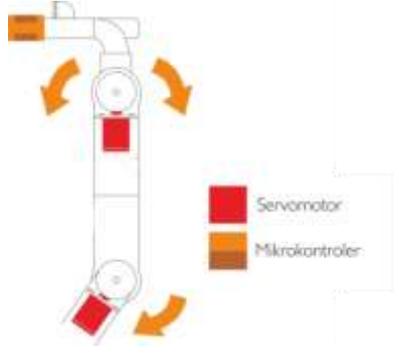
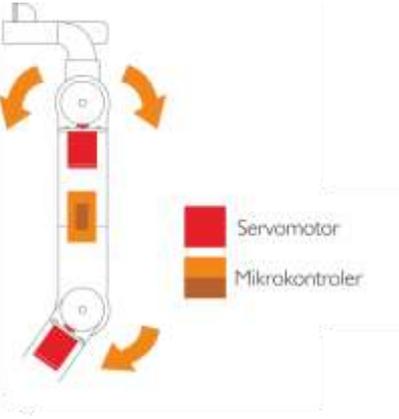
Suhu (beroperasi)	-5°C ~ 85°C
Material	<i>Metal gears &amp; engineering plastic body</i>
Motor	Maxon RE-MAX
<i>Com speed</i>	8000bps ~ 3Mbps
<i>Reduction ratio</i>	1/225

**a. Konfigurasi peletakan servo dan komponen**

Konfigurasi bertujuan untuk membentuk susunan ataupun tatanan sebagai pendukung terbentuknya eksoskeleton. Konfigurasi peletakan sistem aktuator bertujuan untuk menentukan posisi servo dan mikrokontroler yang paling sesuai dan berdampak pada bentuk serta dimensi eksoskeleton yang dirancang. Alternatif sistem aktuator sebagai berikut :

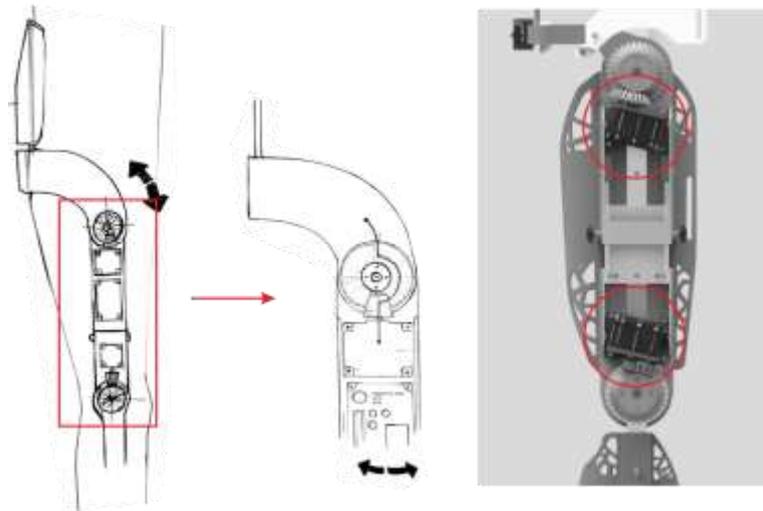
Tabel 4. 14 Konfigurasi peletakan sistem aktuator

Alternatif	Gambar	Keterangan
1		Peletakan ke2 servo berada disatu area, sedangkan mikrokontroler diletakkan dibelakang eksoskeleton. Area <i>thigh limb</i> terdapat ruang kosong
2		Peletakan ke2 servo dan mikrokontroler berada disatu area, sehingga area <i>thigh limb</i> hanya memiliki sedikit ruang kosong

Alternatif	Gambar	Keterangan
3		<p>Peletakan ke2 servo berada berbeda area di <i>thigh limb</i> dan <i>shank limb</i> sedangkan mikrokontroler diletakkan dibelakang eksoskeleton. Area <i>thigh limb</i> banyak ruang kosong</p>
4		<p>Peletakan ke servo berada berbeda area di <i>thigh limb</i> dan <i>shank limb</i> sedangkan mikrokontroler berada pada <i>thigh limb</i></p>

### Kesimpulan

Pemilihan alternatif sistem aktuator berdasarkan konsep yang telah dijabarkan. Salah satu konsepnya yaitu *compact* yang mana bentuknya haruslah ringkas dan padat. Sehingga **alternatif 2** dipilih sebagai konfigurasi karena peletakan motor DC dan driver berada pada satu area yaitu berada pada daerah tungkai paha sehingga ukuran menjadi lebih ringkas. Namun pemilihan alternatif tersebut, membuat area semakin sempit dan aktuator yang dipilih haruslah dapat memiliki daya yang besar namun dengan dimensi yang relatif kecil.



Gambar 4. 16 Hasil konfigurasi

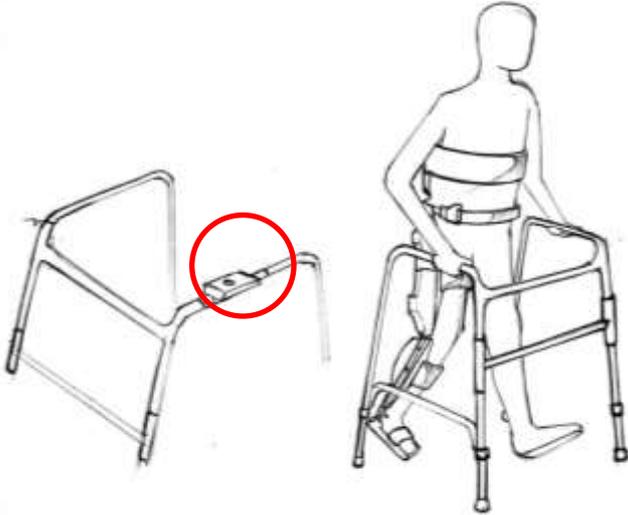
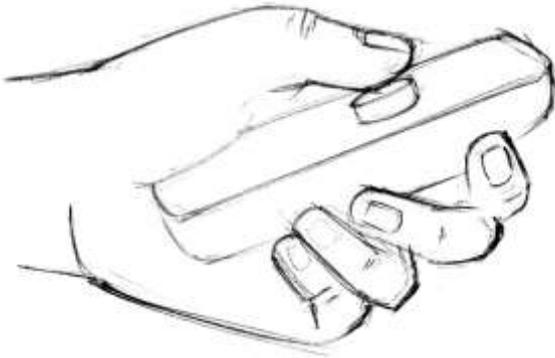
#### 4.8.2 *Physical Controller*

##### a. Pengaplikasian *physical controller*

*Physical controller* merupakan *option* pilihan untuk mengaktifkan motor dan menggerakkan eksoskeleton. Pengaplikasian *physical controller* pada eksoskeleton perlu dipertimbangkan agar pasien dapat mengoperasikan alat dengan mudah.

Tabel 4. 15 Alternatif pengaplikasian kontroler fisik

<p>Alternatif 1</p>	
---------------------	--

Alternatif 2	
Alternatif 2	

### Kesimpulan

Pada tabel diatas, terdapat 3 alternatif pengaplikasian kontroler fisik. Namun alternatif 1 dan 2 dipih karena kontroler menjadi satu dengan kruk yang mana fungsi kruk sendiri sebagai alat penyeimbang.

#### b. Jenis *physical controller*

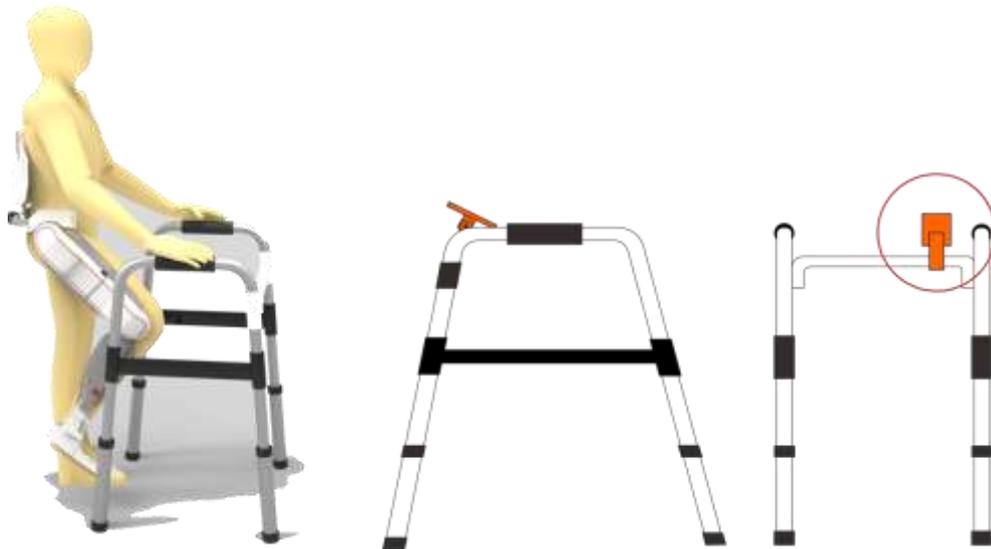
Terdapat dua jenis kotroler fisik menurut pengembangan eksoskeleton yang sudah ada yaitu berjenis *joystick* dan *button*. Pemilihan kontroler jenis ini, bertujuan mengurangi *cost production* karena sistem yang sederhana dan tidak kompleks.

Tabel 4. 16 Alternatif *physical controller*

Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
		
<i>Joystick</i>	<i>Button</i>	<i>Joystick dan button</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>c. Rangkaian mudah</li> <li>d. Butuh modul tambahan untuk sistem <i>joystick</i></li> <li>e. Modul <i>joystick</i> cukup memakan tempat</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>f. Rangkaian mudah</li> <li>g. Penggunaan mudah</li> <li>h. Lebih <i>seamless</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>i. Rangkaian lebih rumit</li> <li>j. Modul <i>joystick</i> dan <i>button</i> sangat memakan tempat</li> <li>k. Komponen lebih kompleks</li> </ul>

### Kesimpulan

Berdasarkan tabel diatas, terdapat 3 alternatif *physical controller* berpotensi sebagai controller untuk eksoskeleton yang dirancang. Namun berdasarkan batasan masalah yang menggunakan kontroler sederhana serta aktivitas pengoperasian alat, *physical controller* berjenis **button** dipilih sebagai kontroler alat. Hal ini dikarenakan rangkaian yang paling sederhana dari ke 2 alternatif lainnya. Pengaplikasian *button* dapat pula menggunakan sistem nirkabel dengan bantuan teknologi Bluetooth dan perangkat *smartphone*.



Gambar 4. 17 Pengaplikasian *button*

#### 4.8.3 Baterai

Baterai merupakan salah satu sumber penggerak alat elektronik tak terkecuali eksoskeleton. Rehabilitasi pada pasien pasca strok sekitar 1-2jam tergantung prosedur rumah sakit sehingga waktu kosong lebih banyak dilakukan dirumah. Oleh karena itu, dibutuhkan baterai yang cukup lama bertahan sehingga pasien bisa melakukan terapi dirumah lebih lama.

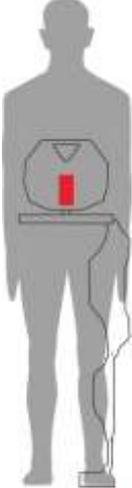
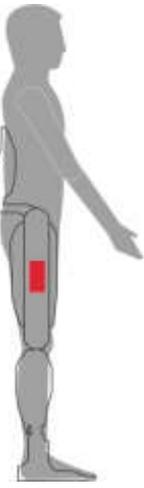
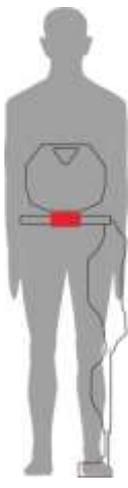
Baterai yang digunakan yaitu baterai bersifat *removable* bertegangan 12V yang mana menyesuaikan spesifikasi servo yang digunakan :

Tabel 4. 17 Spesifikasi baterai

Tegangan	11,1V
Kapasitas	2200mAh
Dimensi	25x34x105mm
Berat	175gram
<i>Time to full charge</i>	2-3 jam
Jenis baterai	<i>Lithium Polymer</i>

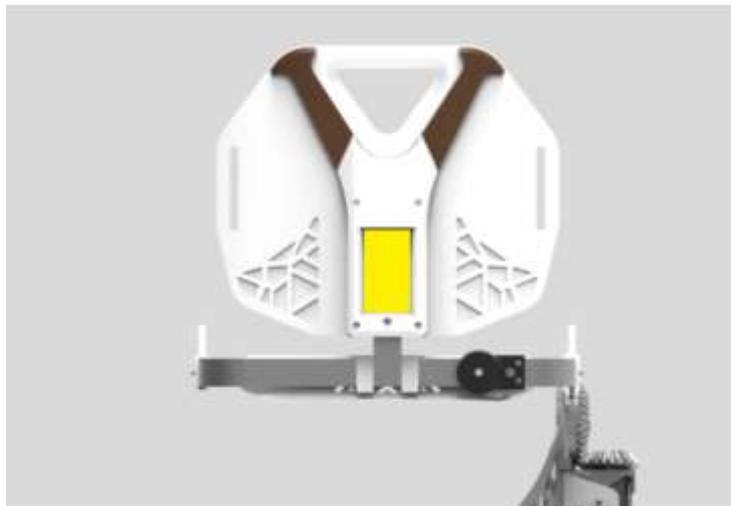
Berdasarkan spesifikasi diatas, baterai berjenis *removable* digunakan untuk eksoskeleton yang dirancang hal ini dimaksudkan agar memudahkan *user* saat *maintenance*. Berikut konfigurasi peletakan baterai pada eksoskeleton :

Tabel 4. 18 Konfigurasi peletakan baterai

Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
		

### Kesimpulan

Berdasarkan tabel diatas, terdapat 3 konfigurasi peletakan baterai. Alternatif 1 dipilih sebagai konfigurasi peletakan baterai hal ini dikarenakan tata letaknya tidak mengganggu komponen ataupun mekanisme eksoskeleton.



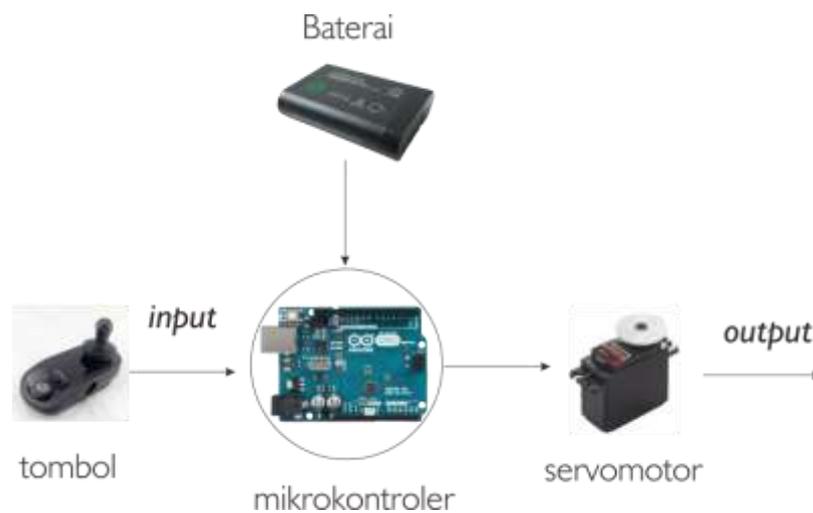
Gambar 4. 18 Konfigurasi peletakan baterai

## 4.9 Analisis Mekanisme

### 4.9.1 Sistem mekanik

#### Tujuan

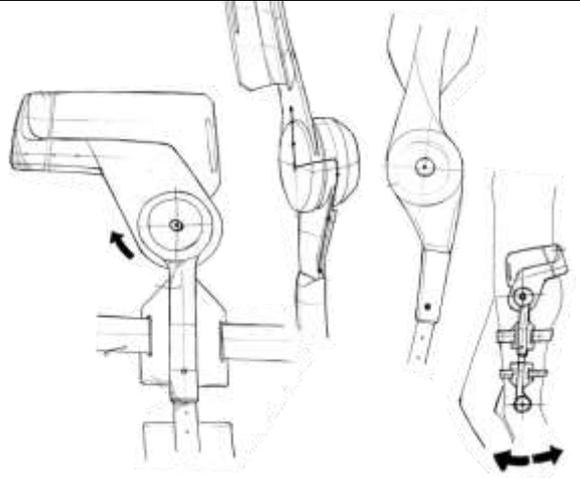
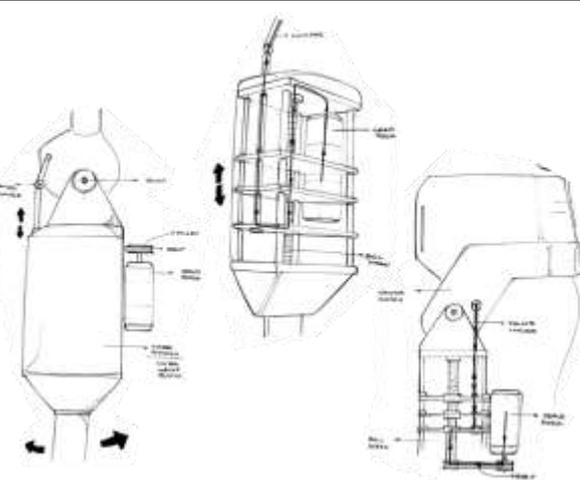
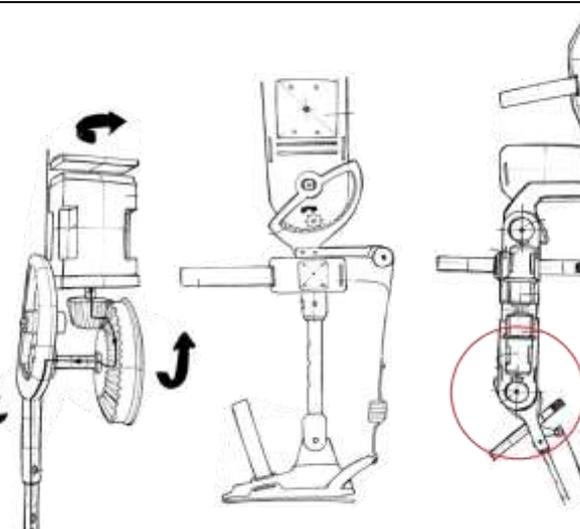
Analisis mekanisme dilakukan untuk menentukan gerakan yang dapat dioperasikan oleh user . Berikut mekanisme dasar eksoskeleton bekerja :

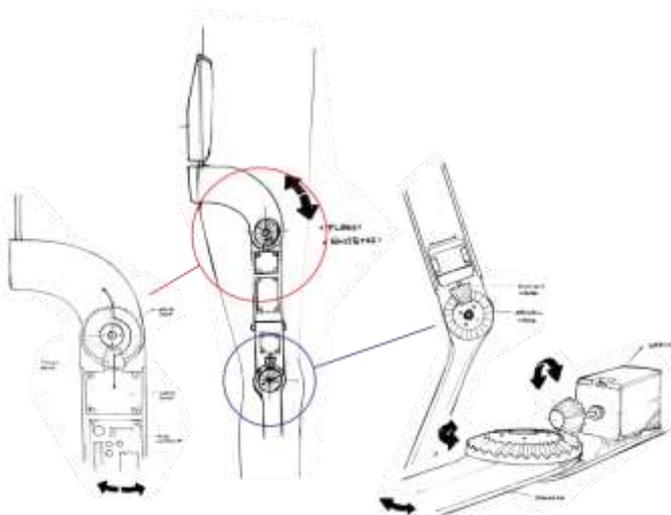


Gambar 4. 19 Skema input data

Berdasarkan data diatas, sistem pengimputan data melalui simsem kontrol berjenis *button* kemudian diolah oleh mikrokontroler dengan bantuan daya baterai untuk menggerakkan servo dan kemudian gaya *output* menggerakkan eksoskeleton. Terdapat bermacam-macam cara mentransmisikan tenaga servo untuk menggerakkan tungkai eksoskeleton. Berikut alternatif mekanisme gerak eksoskeleton :

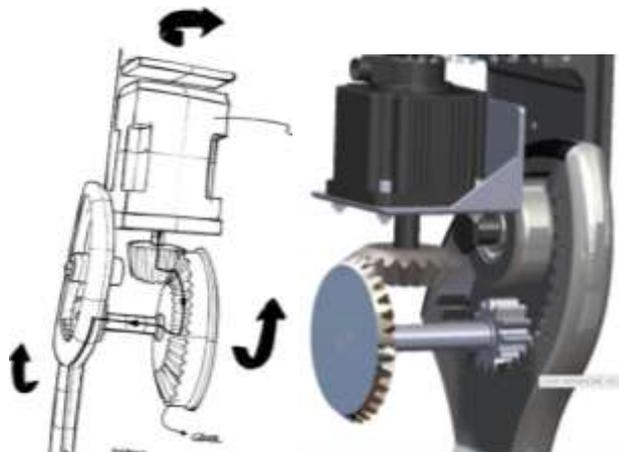
Tabel 4. 19 Alternatif sistem mekanisme

ALT	Gambar	Keterangan
1		<p>Menggunakan flat servo</p> <p>Servo langsung menggerakkan join sendi</p> <p>Ukuran servo yang cukup besar</p>
2		<p>Penempatan servo diluar <i>case</i></p> <p>Tenaga servo disalurkan ke <i>linkage</i> menggunakan <i>belt</i></p> <p>Ukuran mekanisme yang memakan tempat</p>
3		<p>Servo menggerakkan <i>pinion</i> dan <i>bevel gear</i>, kemudian dilanjutkan ke <i>epicyclic gear</i></p> <p>Rasio gigi menjadi banyak</p>

ALT	Gambar	Keterangan
4		<p>Servo menggerakkan <i>pinion gear</i> dan tenaga diteruskan kepada <i>bevel gear</i></p> <p>Rasio gigi menjadi banyak</p> <p>Penggantian <i>part</i> lebih mudah</p>

Berdasarkan tabel gambar diatas, terdapat beberapa alternatif desain mengenai sistem gerak mekanik servomotor. Alat ukur yang digunakan yaitu sistem yang ringkas, oleh karena itu alternatif 3 dan 4 menjadi basis pengembangan sistem gerak eksoskeleton yang dirancang.

**a. Percobaan sistem mekanik 1 :**



Gambar 4. 20 Mekanisme servo dengan roda gigi

Gambar diatas merupakan gambar mekanisme rancangan eksoskeleton dengan menggunakan **roda gigi bevel-pinion** dan ditransmisikan pada **epicyclic gear** dan diteruskan pada tungkai.

Tabel 4. 20 Jumlah teeth pada roda gigi

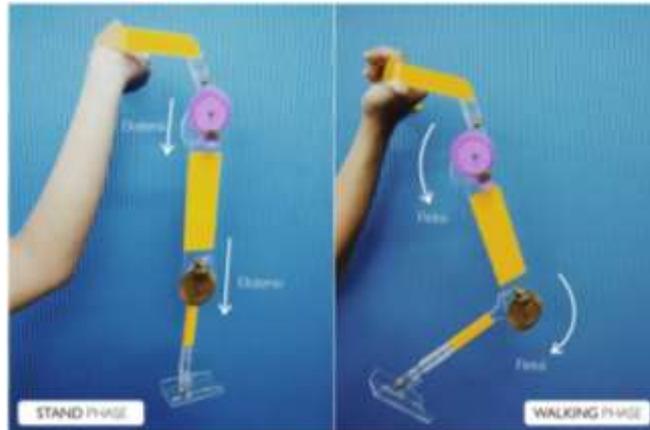
			
Straigh bevel (gear)	Pinion gear	Spur gear	Internal spur gear
51 teeth	17 teeth	8 teeth	32 teeth

*Spur gear* dan *Internal Spur Gear* bergerak meneruskan gerakan *straigh bevel* dan *pinion* sehingga didapatkan :

$$\begin{aligned}
 &= 1 : (51 \times (32/8)) / 17 \\
 &= 1 : (51 \times 4) / 17 \\
 &= 1 : 204 / 17 \\
 &= 1 : 12
 \end{aligned}$$

Sehingga untuk memutar **satu putaran dari *inrternal spur gear*** dibutuhkan **12 kali putaran servo** hal ini bertujuan untuk meringankan beban yang diterima servo untuk menggerakkan tungkai.

Untuk mengetahui sistem mekanik tersebut dapat bekerja atau tidak, maka dilakukan percobaan mekanisme yang sesuai dengan mekanisme pada gambar 3D dengan menggunakan metode *rapid prototyping* yang tergambar sebagai berikut :



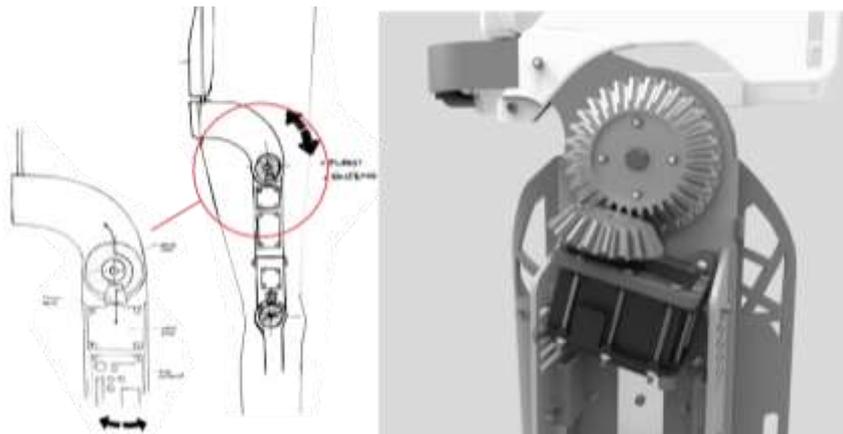
Gambar 4. 21 Percobaan mekanisme

### Kesimpulan

Pada gambar diatas, dapat terlihat bahwa mekanisme yang digunakan dalam merancang eksoskeleton dapat bekerja sesuai dengan posisi gerak jalan yang diinginkan penggunaan *bevel-pinion gear* dan *epicyclic gear* membuat rasio gigi perputaran menjadi lebih besar dan beban aktuator menjadi lebih kecil

Pada 1 putaran penuh (360 derajat) *internal spur gear*, membutuhkan 12 x 360 derajat perputaran servomotor yang artinya rasio gigi sebesar **1 : 12**

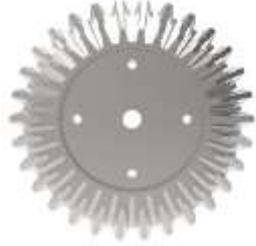
### b. Percobaan sistem mekanik 2 :



Gambar 4. 22 Mekanisme servo dengan roda gigi

Gambar diatas merupakan gambar mekanisme rancangan eksoskeleton dengan menggunakan **roda gigi bevel** dan **pinion**

Tabel 4. 21 Jumlah teeth pada roda gigi

	
Straigh bevel (gear)	Pinion gear
30 teeth	20 teeth

Berdasarkan tabel diatas, servo menggerakkan *pinion gear* dan diteruskan kepada *straight bevel gear* sehingga didapatkan rasio gigi 2 : 3.



Gambar 4. 23 Percobaan mekanik ke 2 menggunakan model

### Kesimpulan

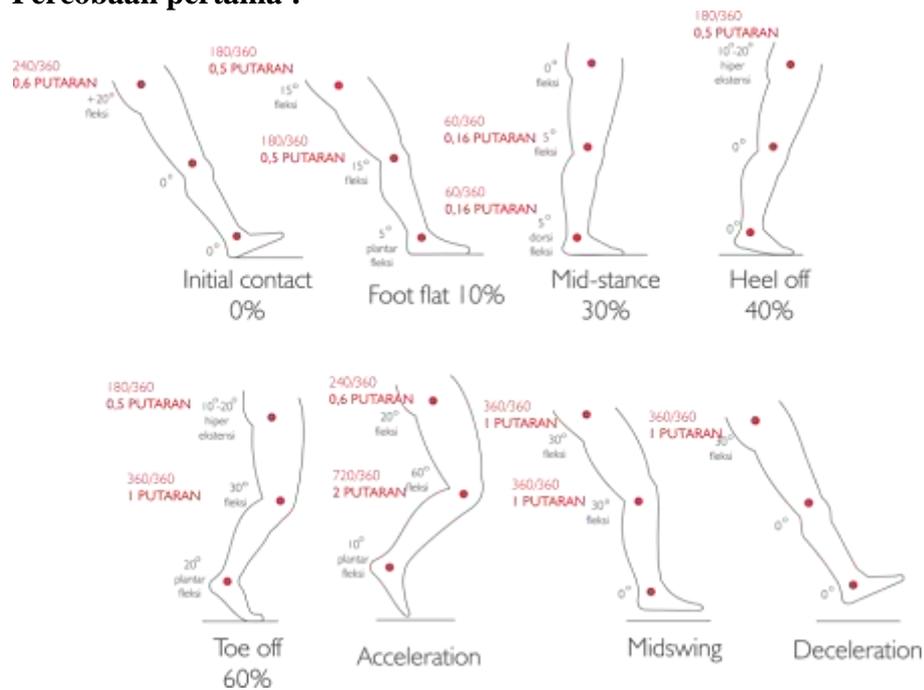
Sehingga untuk memutar **satu putaran dari *straight bevel gear*** dibutuhkan **1,5 kali putaran servo** hal ini bertujuan untuk meringankan beban yang diterima servo untuk menggerakkan tungkai.

### 4.9.2 Sistem Gerak

## Tujuan

Sistem gerak dipelajari mekanisme gerakan yang diterapkan pada eksoskeleton yang akan dirancang. Gerakan yang dipelajari ialah gerakan berjalan manusia yang mana tergambar seperti berikut :

### Percobaan pertama :



Gambar 4. 24 Derajat Kebebasan

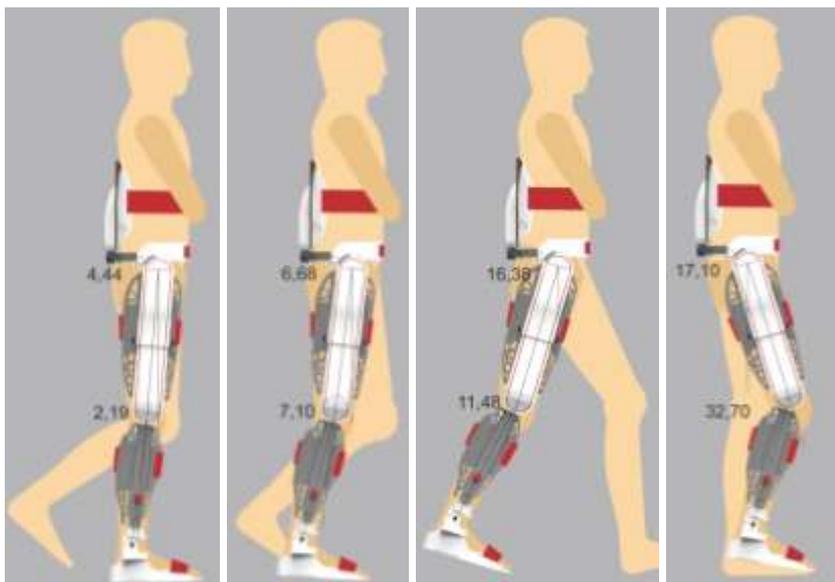
Pada gambar diatas, terdapat beberapa gerakan gerak kaki manusia dan gambar tersebut merupakan gambar gerakan 1 kali langkah manusia. Pada setiap gambarnya terdapat titik dan terdapat sudut kemiringan kaki dan jumlah perputaran sudut tersebut yang mana angka dari sudut tersebut dimasukkan dalam program kontroler motor.



Gambar 4. 25 Percobaan mekanik menggunakan motor

Pada gambar diatas, gerakan dari motor dapat menggerakkan sistem mekanik dan dapat diterapkan pada desain eksoskeleton namun gerakan yang dihasilkan masih cukup kaku dan artikulasi gerakan tidak seperti gerakan berjalan manusia normal. Oleh karena itu, percobaan kedua membuat sudut derajat kebebasan yang lebih banyak sehingga program membaca lebih detail.

**Percobaan kedua :**



Gambar 4. 26 Derajat Kebebasan

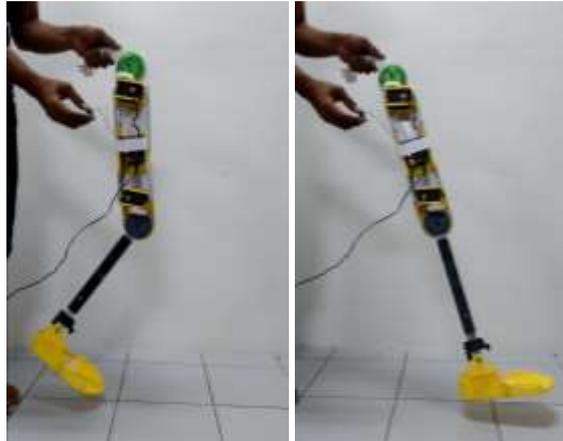
Pada gambar 4.26 merupakan beberapa contoh derajat kebebasan. Pada percobaan kedua, untuk mendapatkan sudut gerakan melangkah yang lebih halus dibutuhkan 38 *frames* gambar. Berikut derajat yang dihasilkan oleh *gait cycle* pada percobaan kedua :

Tabel 4. 22 Derajat Kebebasan percobaan kedua

No.	Derajat Kebebasan (DoF)		No.	Derajat Kebebasan (DoF)	
	Pinggul	Lutut		Lutut	Pinggul
1	0	0	20	10,7	44,8
2	3,3	0	21	14,55	40
3	4,44	2,19	22	17,1	32,7
4	5,4	5,53	23	17,1	26,65
5	6,68	7,1	24	18,4	19,2
6	8,6	7,5	25	19,4	14
7	10,33	7,63	26	20,2	8,8
No.	Derajat Kebebasan (DoF)		No.	Derajat Kebebasan (DoF)	
	Pinggul	Lutut		Lutut	Pinggul
8	13,19	8,03	27	20,2	5,15
9	15	8,91	28	20,2	0
10	16,38	9,54	29	20,2	0
11	16,38	11,48	30	18,7	0,5
12	16,38	16	31	16,4	1
13	14,70	21,6	32	14,7	1,5
14	12	26	33	12,3	2
15	9	30,38	34	9,6	1,5
16	6,24	33,9	35	7,3	1
17	3,85	38,2	36	5	0,5
18	0,5	43,66	37	2,3	0
19	5,12	49,44	38	0	0

Keterangan : ■ sudut +0°

Pada tabel 4.22 merupakan kumpulan beberapa angka yang mana angka tersebut ialah sudut pada derajat kebebasan yang berada pada pinggul dan lutut. Kemudian sudut tersebut dikalikan dengan rasio gigi pada eksoskeleton dan hasilnya dimasukkan pada program servomotor.



Gambar 4. 27 Percobaan kedua sistem gerak

### **Kesimpulan**

Pada gambar 2.27, gerakan dari motor dapat menggerakkan sistem mekanik dan dapat diterapkan pada desain eksoskeleton dan gerakan yang dihasilkan sudah cukup halus dan artikulasi gerakan sudah mendekati gerakan berjalan manusia normal. Oleh karena itu, pengembangan *gait cycle* selanjutnya menggunakan banyak *frame* sudut agar gerakan semakin halus.

## 4.10 Analisis Struktur dan Material

Analisis dilakukan guna untuk mengevaluasi dan mengetahui struktur dan kekuatan rancangan eksoskeleton.

### 4.10.1 Analisis Beban

Pengujian dilakukan dengan cara memberikan beban statis pada produk rancangan dengan menggunakan software SolidWorks. Gaya yang diberikan bervariasi dan cenderung diberikan gaya paling besar yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan maksimal dari komponen tersebut. Pemberian arah gaya disesuaikan dengan area dan gerakan limitasi pasien yang mana pada titik tersebut yang mengalami gaya paling besar.

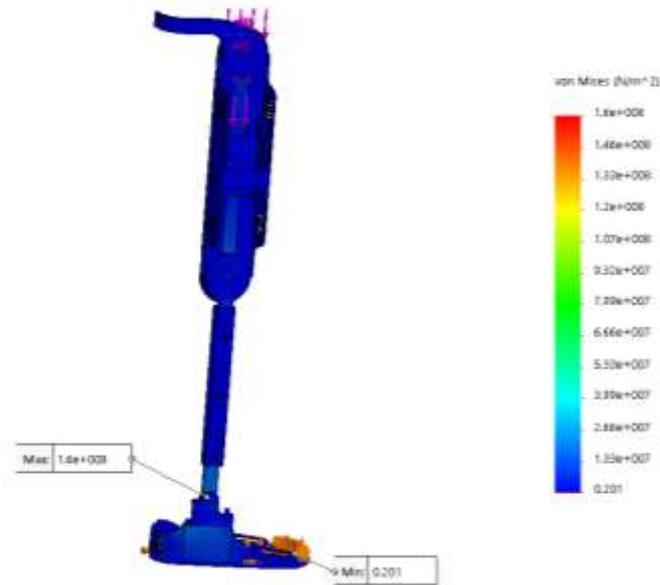
Property	Value	Units	Property	Value	Units
Elastic Modulus	7.19999992e+010	N/m <sup>2</sup>	Elastic Modulus	2410000000	N/m <sup>2</sup>
Poisson's Ratio	0.33	N/A	Poisson's Ratio	0.3897	N/A
Shear Modulus	2.689999969e+010	N/m <sup>2</sup>	Shear Modulus	862200000	N/m <sup>2</sup>
Mass Density	2810	kg/m <sup>3</sup>	Mass Density	1070	kg/m <sup>3</sup>
Tensile Strength	570000003.4	N/m <sup>2</sup>	Tensile Strength	40000000	N/m <sup>2</sup>
Compressive Strength		N/m <sup>2</sup>	Compressive Strength		N/m <sup>2</sup>
Yield Strength	505000003.1	N/m <sup>2</sup>	Yield Strength	159000000	N/m <sup>2</sup>
Thermal Expansion Coefficient	2.4e-005	/K	Thermal Expansion Coefficient		/K

(a)

(b)

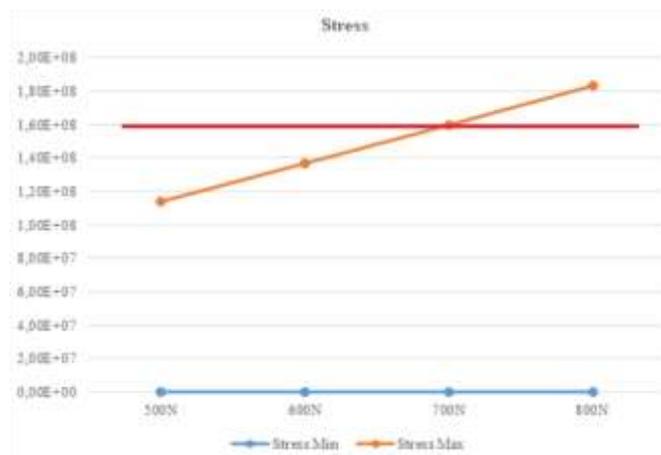
Gambar 4. 28 Material properties Aluminium (a), ABS (b)

Berdasarkan gambar 4.28, Setiap material memiliki spesifikasi tersendiri mengenai kekuatan, elastisitas, kekakuan dll. Pada simulasi gaya tekan ini, faktor yang mempengaruhi kekuatan material yang digunakan yaitu *Yield Strengt*. Pada eksoskeleton, material yang digunakan yaitu Aluminiumd dan ABS. Pada material aluminium, *yield strength* yang tertera pada tabel *material properties* sebesar 505000003.1 N/m<sup>2</sup> atau sekitar 5,05E+008 sedangkan pada material ABS memiliki *yield streght* 159000000 N/m<sup>2</sup> atau sekitar 1,59E+008.



Gambar 4. 29 Simulasi beban tekan kebawah

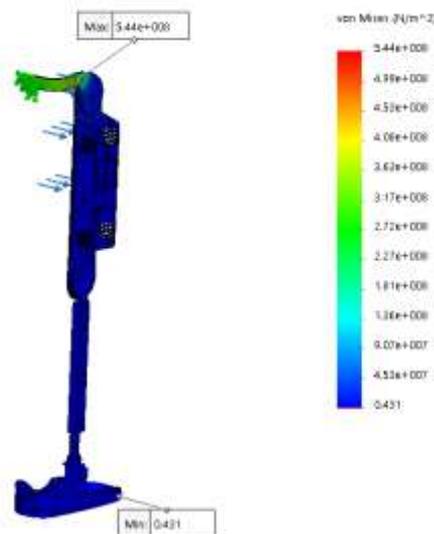
Pada gambar 4.29, simulasi dilakukan dengan cara pemberian gaya dari atas hal ini dikarenakan menyesuaikan gaya yang terjadi pada saat produk dikenakan oleh pasien. Pada gambar tersebut, beban paling besar terjadi pada engsel pergelangan kaki yang mana menggunakan material ABS dan angka maksimal pada gambar menunjukkan 1,6E+008 yang artinya material ABS sudah pada kekuatan maksimal



Gambar 4. 30 Hasil simulasi "stress" berdasarkan beban

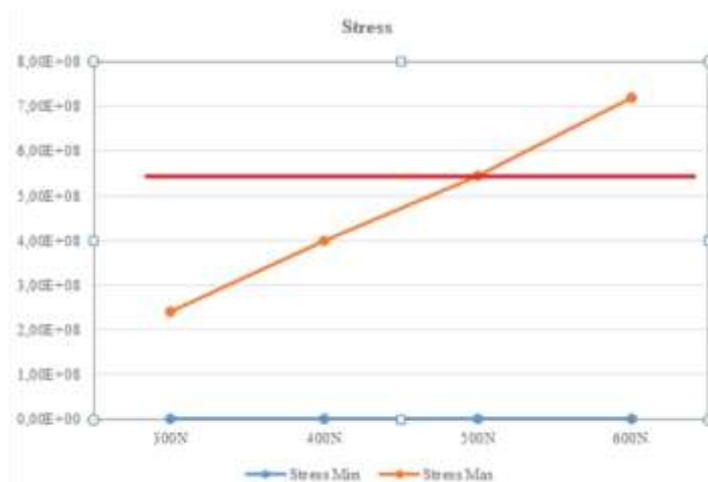
Pada gambar 4.30, tertera pada grafik bahwa simulasi berdasarkan pemberian beban secara berurut mulai dari beban 500N, 600N, 700N dan 800N. Pada grafik tersebut, puncak *yield streght* ABS berada pada beban

sekitar 700N yang artinya kekuatan maksimal eksoskeleton berkisar 67-70kg.



Gambar 4. 31 Simulasi gaya abduksi

Pada gambar 4.31, simulasi dilakukan dengan memberikan gaya kesamping eksoskeleton, gerak melangkah pasien cenderung melakukan gerakan membuang sehingga gaya tekan kesamping kemungkinan terjadi. Pada gambar tersebut, beban paling besar terjadi pada pinggul yang menggunakan material aluminium dan angka maksimal pada gambar menunjukkan 5,44E+008 yang artinya material ABS hampir pada kekuatan maksimal.



Gambar 4. 32 Hasil simulasi "stress" kesamping

Pada gambar 4.32, grafik simulasi berdasarkan pemberian beban secara berurut mulai dari beban 300N, 400N, 500N dan 600N. Pada grafik tersebut, puncak *yield strenght* aluminium berada pada beban sekitar 500N yang artinya kekuatan maksimal eksoskeleton menahan gaya samping sekitar 48-52kg.

### **Kesimpulan**

- a. Berdasarkan hasil simulasi diatas, kerangka mengalami deformasi hal ini ditunjukkan oleh warna hijau pada beberapa bagian
- b. Pada gaya tekan kebawah, terjadi deformasi pada dudukan terutama pada engsel dan sanggup mehan beban 70kg. Oleh karena itu, diperlukan perbaikan desain dengan cara memberi ketebalan dan penambahan struktur yang lebih baik pada lingkaran engsel, penambahan ketebalan pada dudukan telapak kaki, penggantian jenis material pada dudukan telapak serta *walker* membantu meringankan beban pasien terhadap struktur eksoskeleton
- c. Pada *frame* bagian pinggul menerima gaya paling besar, hal ini ditunjukkan dengan perubahan warna pada *frame* dan sanggup menahan beban dari samping sekitar 50kg. Oleh karena itu, diperlukan perbaikan desain dengan cara penebalan dan perubahan pola desain pada *frame*

#### **4.10.2 Analisis Berat Komponen**

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui berat suatu komponen berdasarkan material dan perilaku yang berbeda. Melakukan percobaan pada salah satu komponen dengan menggunakan material berbeda serta pemberian teknik tambahan berupa *voronoi pattern*. Berikut hasil dari percobaan analisis berat :

Tabel 4. 23 Percobaan analisis berat

			
ABS + voronoi pattern	ABS	PLA + voronoi pattern	PLA
24g	26g	26g	28g

### Kesimpulan

- a. Berdasarkan percobaan diatas, komponen yang menggunakan *voronoi pattern* dapat mereduksi beban komponen sekitar 2 gram
- b. ABS memiliki massa yang lebih ringan daripada material PLA
- c. Sehingga material yang digunakan untuk komponen eksoskeleton yaitu ABS. Serta pemberian beberapa teknik *voronoi* pada beberapa komponen agar meningkatkan segi estetika, mereduksi beban komponen dan mengurangi *cost* bahan baku pada saat proses produksi

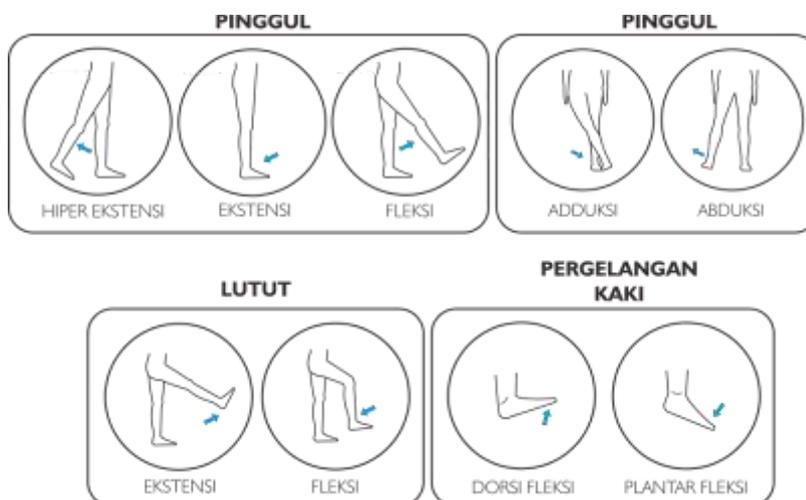
## 4.11 Analisis Fitur Produk

### Tujuan

Analisis ini dilakukan guna menyelesaikan beberapa permasalahan yang ada pada analisa kebutuhan yang sudah dipaparkan dan pada desain acuan. Pemberian fitur pada produk eksoskeleton selain untuk menyelesaikan masalah disisi lain menjadi diferensiasi terhadap produk eksoskeleton yang sejenis sehingga dirasa memiliki nilai positif tersendiri.

#### 4.11.1 4 degree of freedom motion

Berdasarkan alat eksoskeleton yang tersedia dipasaran, penggunaan anatomi gerakan yang dipakai hanya fokus pada 1 gerakan saja yaitu gerakan *sagittal plane* yang mana pasien yang dilatih gerak secara fleksi-ekstensi, plantar-dorsifleksi. Hal tersebut membuat gerak pasien tidak begitu dinamis karena alat menahan gerak pasien. Alih-alih untuk keamanan pasien justru membuat keseimbangan pasien tidak begitu terlatih. Eksoskeleton rancangan ini menggunakan 4 DoF (*Degree of Freedom*) terletak pada pergelangan kaki, lutut dan dua dipinggul.

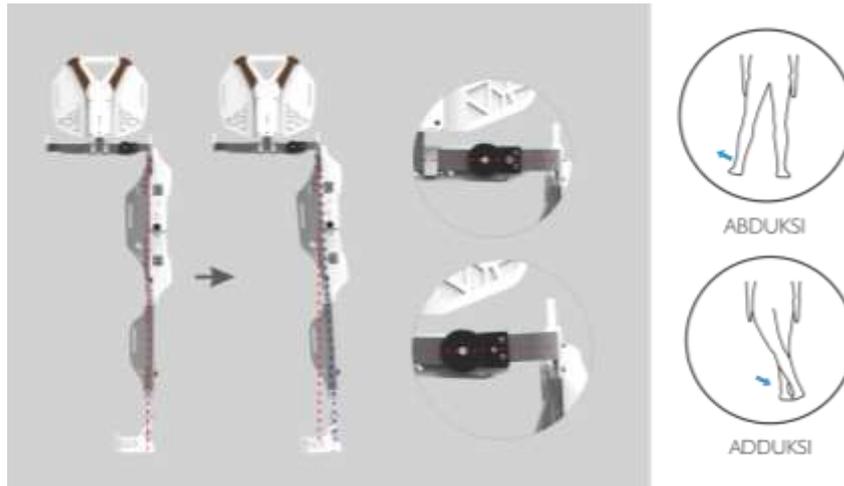


Gambar 4. 33 4 Degree of Freedom

#### a. Punggul

Pada bagian punggul terdapat 2 derajat kebebasan yaitu bergerak pada sumbu *coronal* dan *sagittal* yang mana melakukan gerakan abduksi-adduksi dan gerakan fleksi-ekstensi pada bagian punggul.

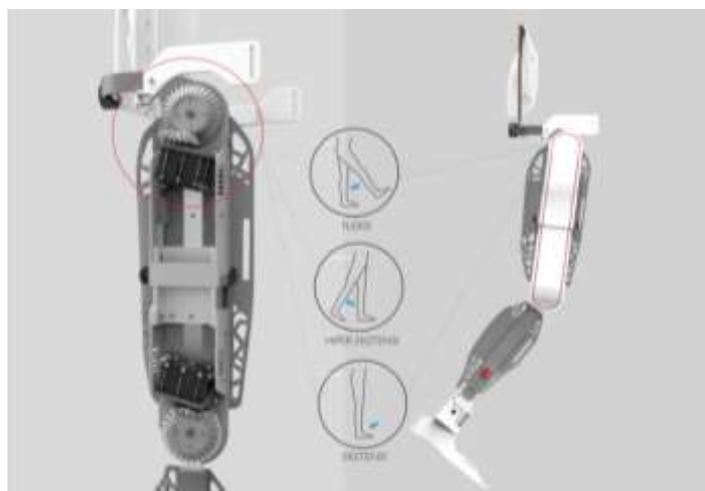
Prosedur pemakaiannya yaitu pada saat pasien baru saja terkena strok, sistem *coronal plane* dikunci agar sistem gerak pasien diperbaiki terlebih dahulu. Kemudian setelah beberapa bulan melakukan terapi, fitur *motion of coronal plane* diaktifkan supaya gerakan pasien yang sudah terarah menjadi lebih dinamis.



Gambar 4. 34 Fitur abduksi pinggul

Mekanisme fitur *coronal plane* menggunakan sistem pegas berjenis *torsion spring*. Pegas ini dipilih karena sifat pegas yang berputar dan dapat kembali keposisi semula sehingga gerakan *coronal* robot akan kembali ke posisi semula pada saat eksoskeleton tidak digunakan.

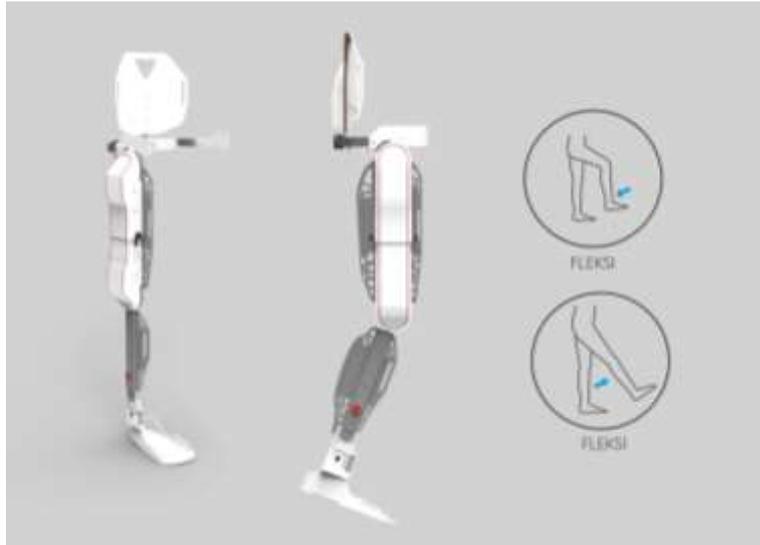
Pada sumbu *sagittal*, bergerak untuk melatih gerakan fleksi-ekstensi-hiper ekstensi pinggul pasien dengan bantuan aktuator berupa motor DC



Gambar 4. 35 *Sagittal plane* pada pinggul

### b. Lutut

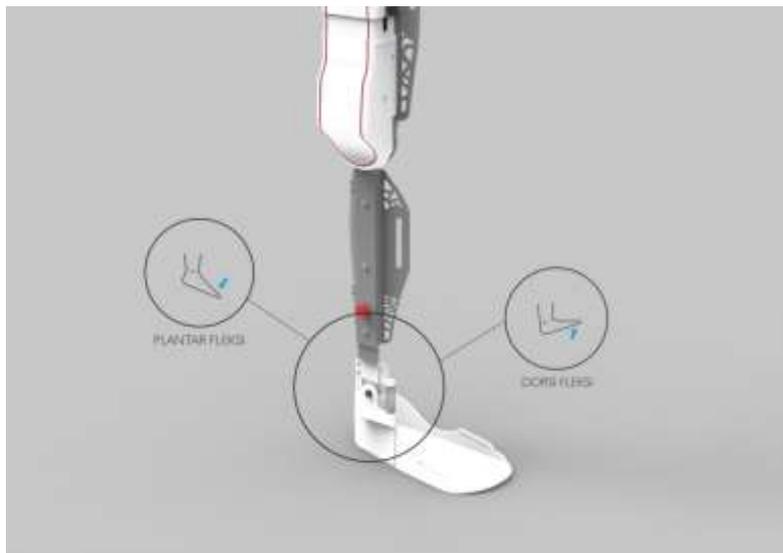
Pada bagian lutut terdapat 1 DoF dan bersumbu pada poros *sagittal* yang mana berfungsi menggerakkan dan melatih fleksi dan ekstensi lutut. Pada gerakan ini, motor DC membantu pasien untuk melatih gerakan tersebut



Gambar 4. 36 *Sagittal plane pada lutut*

### c. Pergelangan kaki

Pada bagian pergelangan kaki terdapat 1 DoF dan bersumbu pada poros *sagittal* yang mana berfungsi menggerakkan dan melatih dorsifleksi dan plantarfleksi



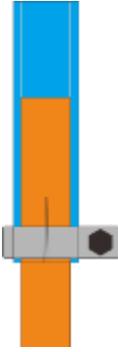
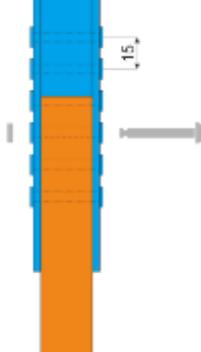
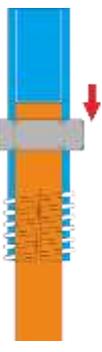
Gambar 4. 37 *DoF ankle*

#### 4.11.2 Adjustable

Suatu produk digunakan untuk banyak orang yang artinya tidak menutup kemungkinan user yang memakainya memiliki anatomi tubuh yang tidak selalu sama oleh karena itu fitur *adjustable* ini digunakan. Penggunaan fitur tersebut disematkan pada area tungkai paha dan tungkai tibia yang mana dapat menyesuaikan panjang pendeknya tungkai setiap user.

#### Shank limb

Tabel 4. 24 Alternatif pemilihan sistem shank adjustable

Alternatif	 1	 2	 3
Sistem	Baut M5	Pin dan Snap ring	Mur HEX
Keterangan	Baut M5 sebagai kunci, membutuhkan tenaga cukup besar untuk mengunci. Ketinggian bisa mendetail. Kekuatan kunci cenderung lemah.	Penggunaan pin dan snap ring membutuhkan tenaga ringan karena hanya memasukkan pin pada lubang. Ketinggian tidak bisa detail. Setiap lubang, berjarak 15mm. Kunci kuat.	Membutuhkan tenaga besar untuk memutar mur HEX. Butuh peralatan besar. Pengaturan ketinggian sesuai keinginan. Kunci kuat dan kencang.

### Kesimpulan

Berdasarkan gambar diatas, pemilihan sistem *adjustable* pada tungkai tibia menggunakan sistem *slide* dan dikunci menggunakan pin pada **alternatif 2**. Pemilihan sistem ini dimaksudkan agar memudahkan pergantian ukuran dan sistem yang lebih mudah, simpel dan *clean*. Jarak setiap lubang pada tungkai tersebut berjarak 15mm.



Gambar 4. 38 Implementasi sistem adjustable berjenis *pin* dan *hole*

### *Thigh limb*

Tabel 4. 25 Alternatif pemilihan sistem thigh adjustable

X			
Alternatif	1	2	3

Keterangan	Sambungan adjustable menyatu dengan kerangka	Sambungan adjustable terpisah dan menggunakan material aluminium	Sambungan adjustable menyatu dengan kerangka  Terdapat coakan stopper untuk baut  Ketinggian adjustable tidak bisa diatur sesuai dengan keinginan
------------	--	--	---

### Kesimpulan

Sistem *adjustable* pada tungkai paha menggunakan alternatif kedua hal ini dikarenakan sistem kunciannya yang cukup kuat dengan menggunakan material aluminium.

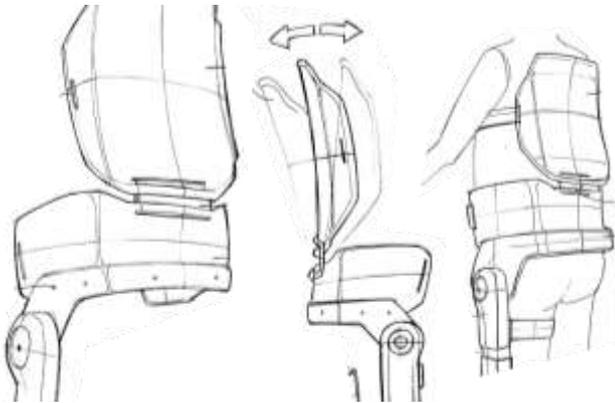
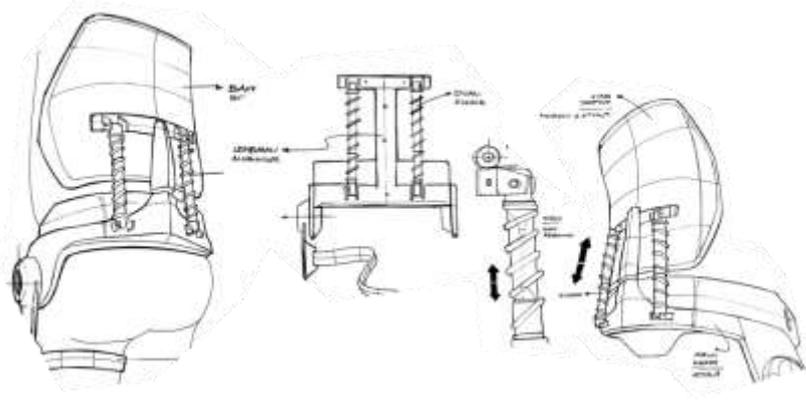
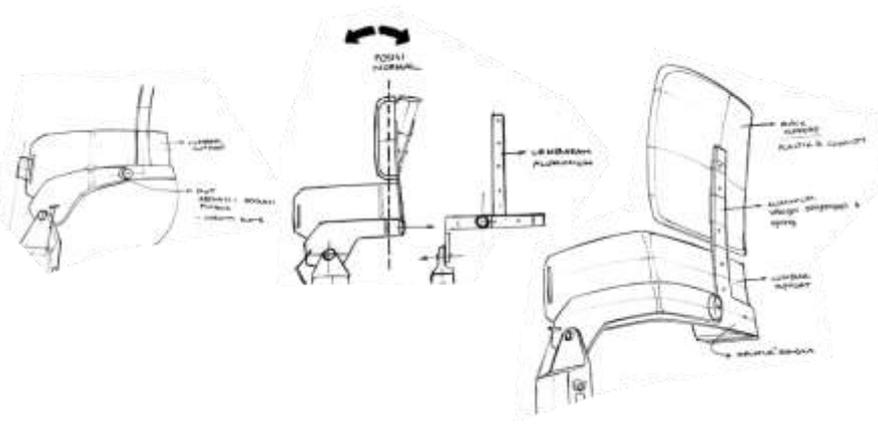


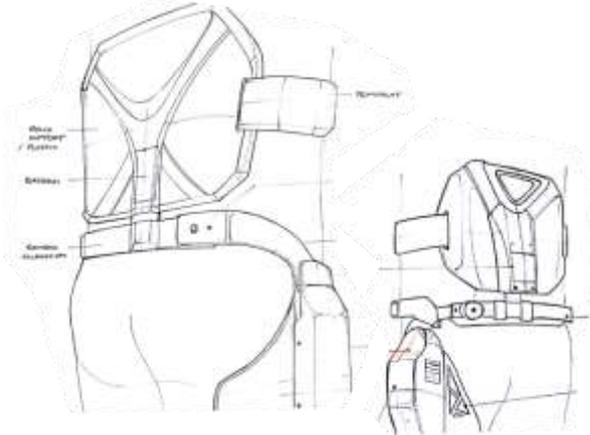
Gambar 4. 39 Sistem *adjustable* pada tungkai paha

#### 4.11.3 Back Support

Fitur *back support* pada eksoskeleton yang dirancang agar pasien dapat melakukan rehabilitasi berjalan dengan postur badan yang tegap. Berikut alternatif sistem dari *back support* yang akan diaplikasikan pada eksoskeleton yang dirancang:

Tabel 4. 26 Alternatif *back support*

ALT	Gambar
1	
2	
3	

ALT	Gambar
4	

### Kesimpulan

*Back support* dibentuk menyesuaikan anatomi postur tulang belakang manusia. Alat ukur yang digunakan untuk pemilihan *back support* berdasarkan segi estetika. Alternatif 4 dipilih karena memakai mekanisme yang sederhana namun dibalut dengan *case*. Menggunakan material ABS dan penambahan *cushion* sehingga tubuh pasien tidak langsung menempel dengan plastik ABS sehingga lebih aman dan nyaman. Plat aluminium juga sebagai pegas sehingga tetap memberikan sedikit gerakan bebas.

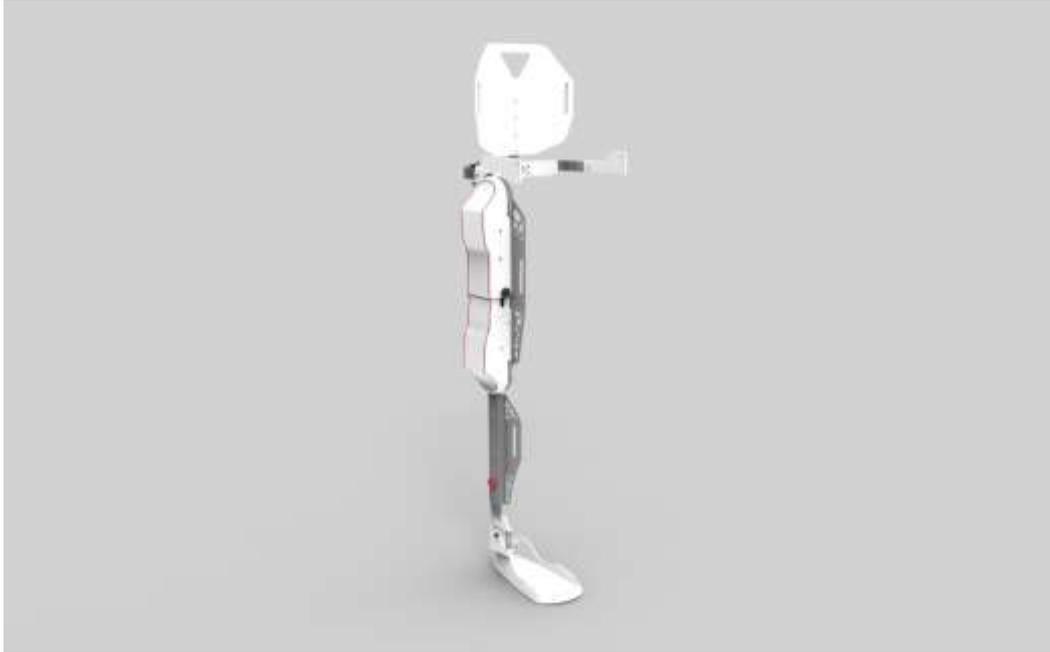


Gambar 4. 40 Implementasi *back support*

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB V KONSEP DESAIN DAN PEMBAHASAN

### 5.1 Implementasi Konsep Desain



Gambar 5. 1 Desain Terpilih

*Compact :*

1. *Small*

Eksoskeleton yang didesain sekecil mungkin dengan penggunaan dan peletakan aktuator yang ringkas guna memaksimalkan *space* yang juga membuat user mudah menggunakan dan mengoperasikan eksoskeleton tersebut tanpa membutuhkan tenaga yang berlebih

2. *Ergonomic*

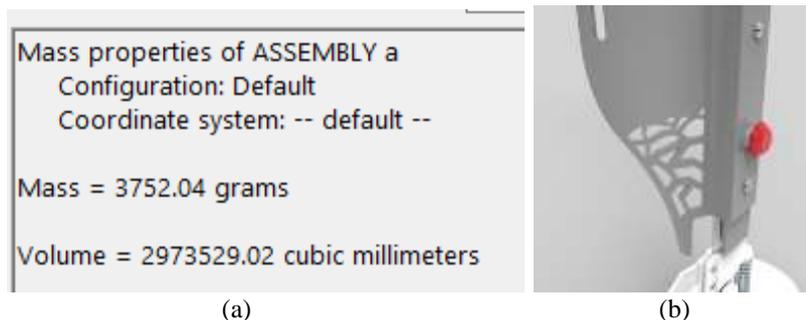
Eksoskeleton yang didesain memiliki fitur penunjang seperti *back support* dan *cushion* yang mana membuat pasien tidak mudah mengalami kelelahan dan dapat menjaga batang tubuh pasien tetap tegap



Gambar 5. 2 Back support sebagai aspek ergonomi

### 3. *Lightweight*

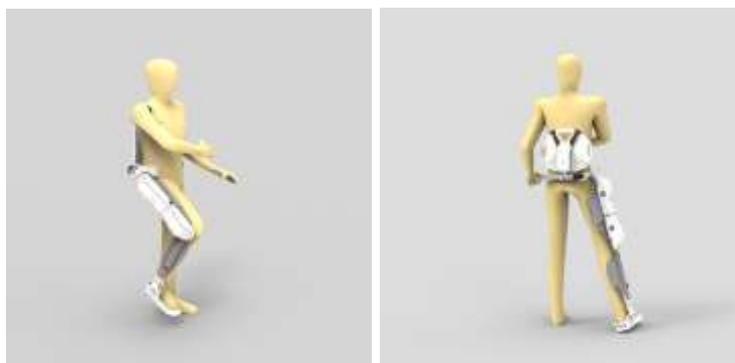
Eksoskeleton yang didesain sebagian besar menggunakan material ringan seperti aluminium sebagai rangka utama dan penggunaan ABS pada cover, *lumbar support*, *back support*. Pemberian *voronoi pattern* dapat mengurangi beban setiap komponen. Hasil dari prototipe eksoskeleton memiliki berat sebesar 3,7kg hal ini lebih ringan daripada eksoskeleton yang sudah ada yang mana berat mencapai >10kg



(a) (b)  
Gambar 5. 3 *Mass properties* (a) ,*voronoi pattern* (b)

### 4. *Movable*

Menggunakan eksoskeleton berjenis *mobile eksoskeleton* yang mana keunggulan utamanya yaitu dapat bergerak dan berpindah sesuai dengan keinginan konsumen



Gambar 5. 4 Pergerakan eksoskeleton

*Afford :*

1. *Afford to buy*

Eksoskeleton didesain tanpa menggunakan sistem dan mekanisme kompleks sehingga dapat meminimalisir harga jual yang mana dapat dijangkau oleh masyarakat menengah keatas di Indonesia. Berdasarkan proses produksi, biaya pembuatan eksoskeleton dapat dijabarkan sebagai berikut :

Tabel 5. 1 Biaya produksi

No.	Komponen	Total
1	Desain	5.000.000,00
2	Servomotor	14.000.000,00
3	Material	3.000.000,00
4	Baterai	1.500.000,00
5	Perkabelan	800.000,00
6	<i>Accesories</i>	1.500.000,00
<b>Total</b>		25.800.000,00

Berdasarkan tabel diatas, didapatkan harga produksi Rp 25.800.000 kemudian ditambahkan *margin* sebesar 20% dari biaya produksi yaitu sekitar 5,2 juta sehingga harga eksoskeleton sebesar **Rp 31.000.000,00**

2. *Afford to use*

Produk mudah untuk dioperasikan sendiri oleh user karena menggunakan sistem kontrol sederhana berupa tombol yang berada dalam *smartphone* dengan bantuan teknologi bluetooth. User hanya perlu meletakkan *smartphone* pada *holder* kemudian membuka aplikasi dan langsung dapat mengoperasikan perangkat.

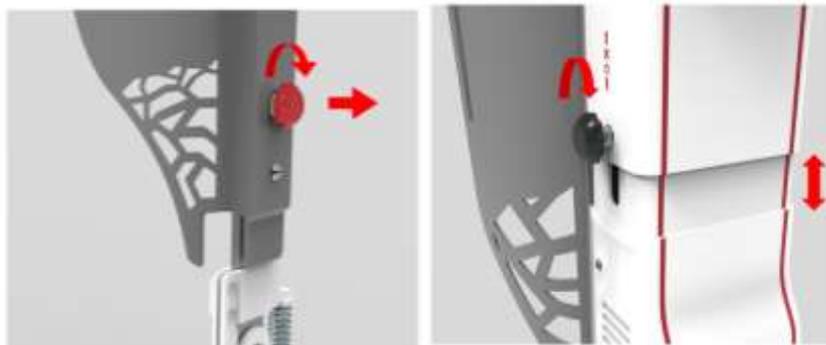


Gambar 5. 5 Pengaplikasian *button*

### 3. *Afford to customize*

Produk mudah dikustom sesuai dengan keinginan dan dimensi pasien. Menggunakan mekanisme *adjustable* yang mana membuat user merasa nyaman dan sesuai dengan eksoskeleton serta *case* yang dapat diubah sesuai keinginan pengguna

#### a. *Adjustable*



Gambar 5. 6 Sistem *Adjustable*

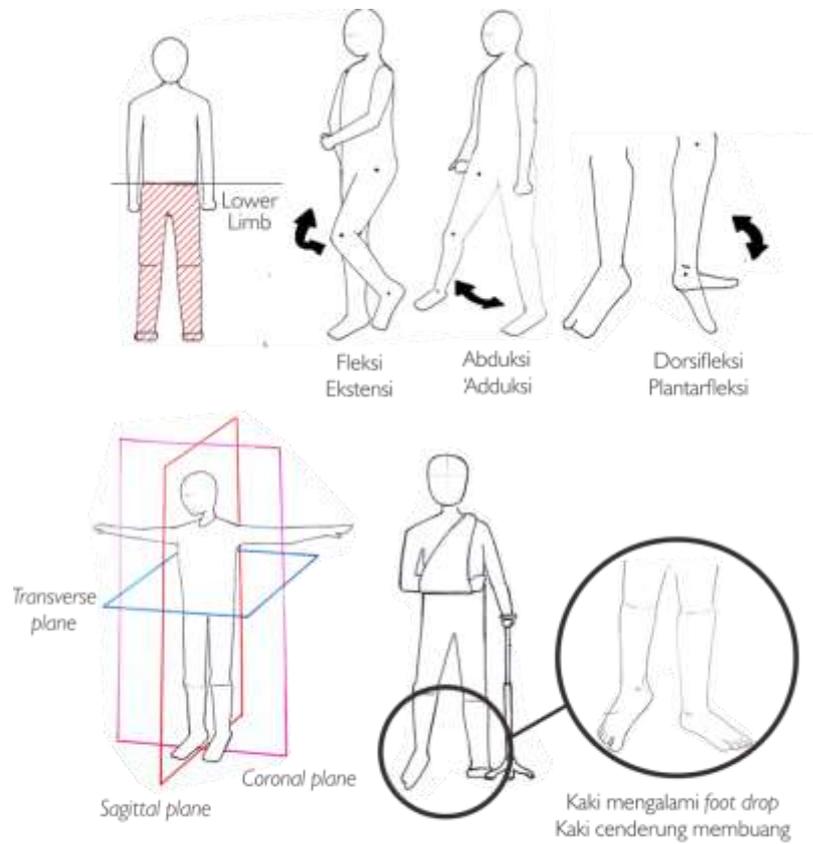
#### b. *Replaceble Case*



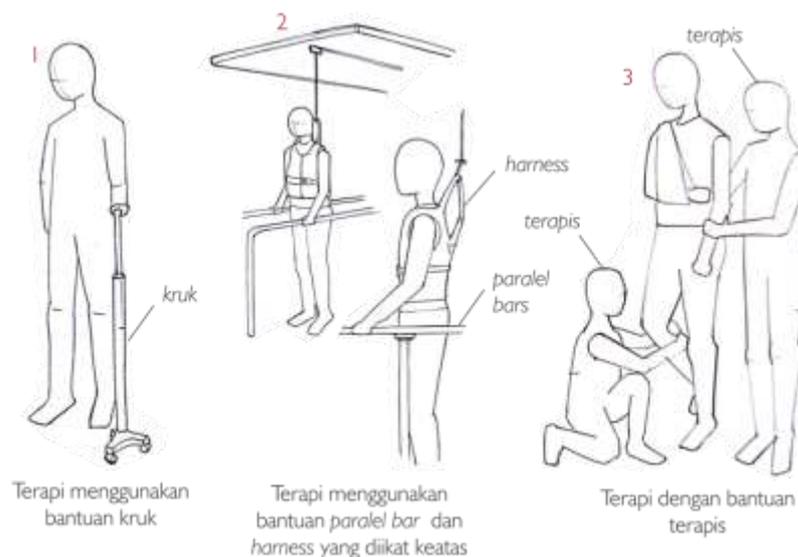
Gambar 5. 7 *Replaceble case*

## 5.2 Alternatif Desain

### 5.2.1 Sketsa Triger

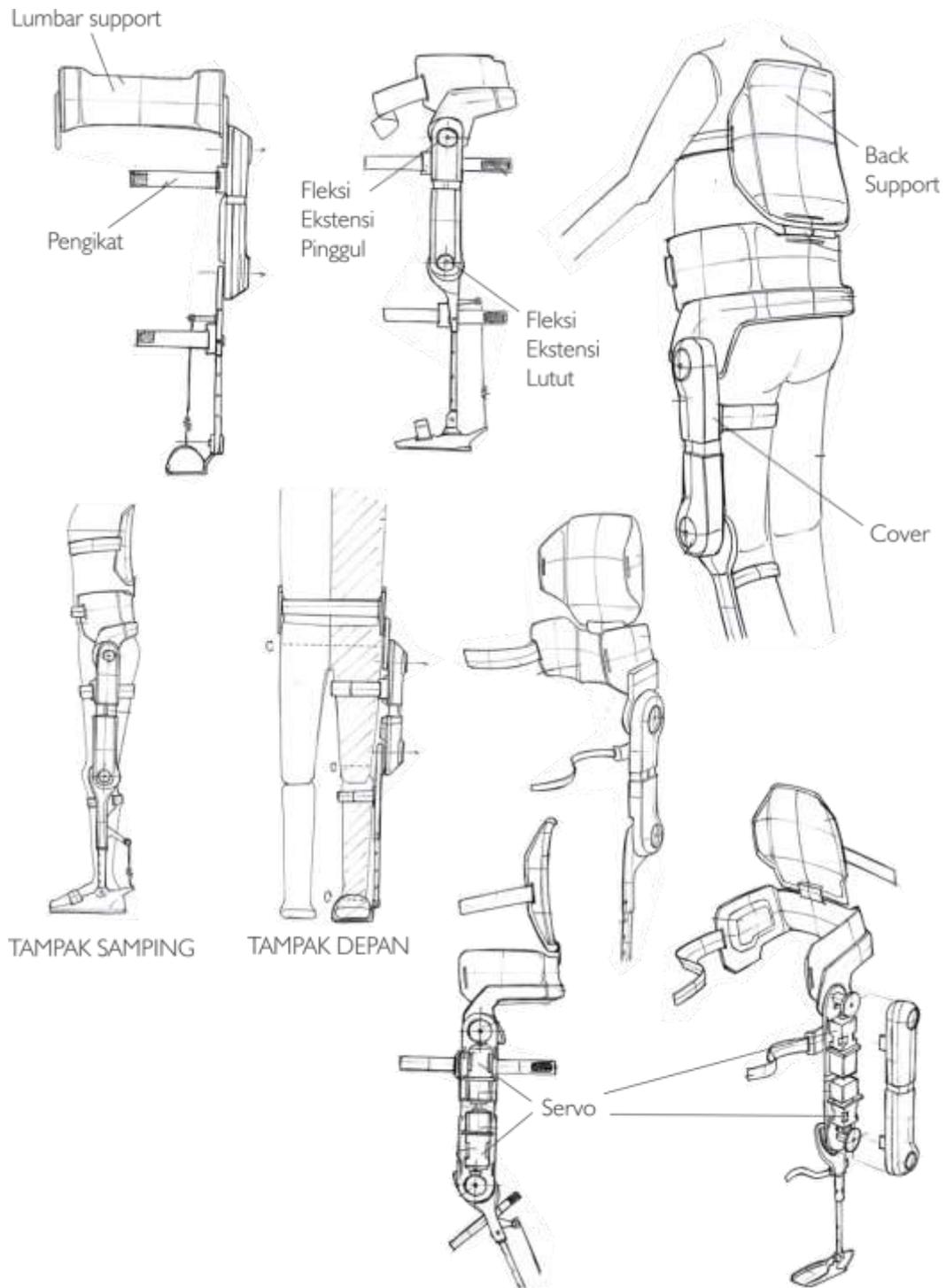


#### REHABILITASI



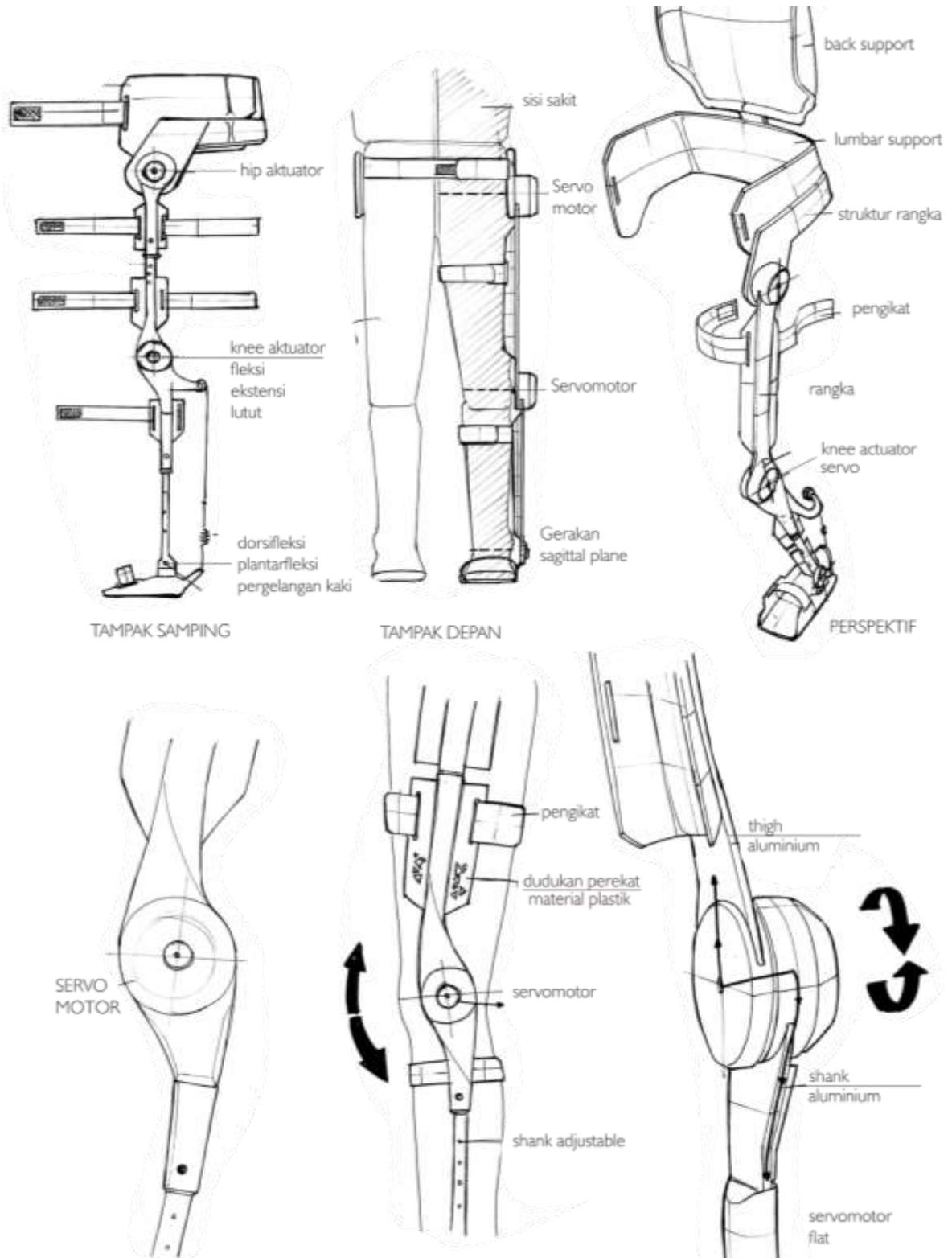
Gambar 5. 8 Sketsa triger

### 1.1.1 Alternatif 1



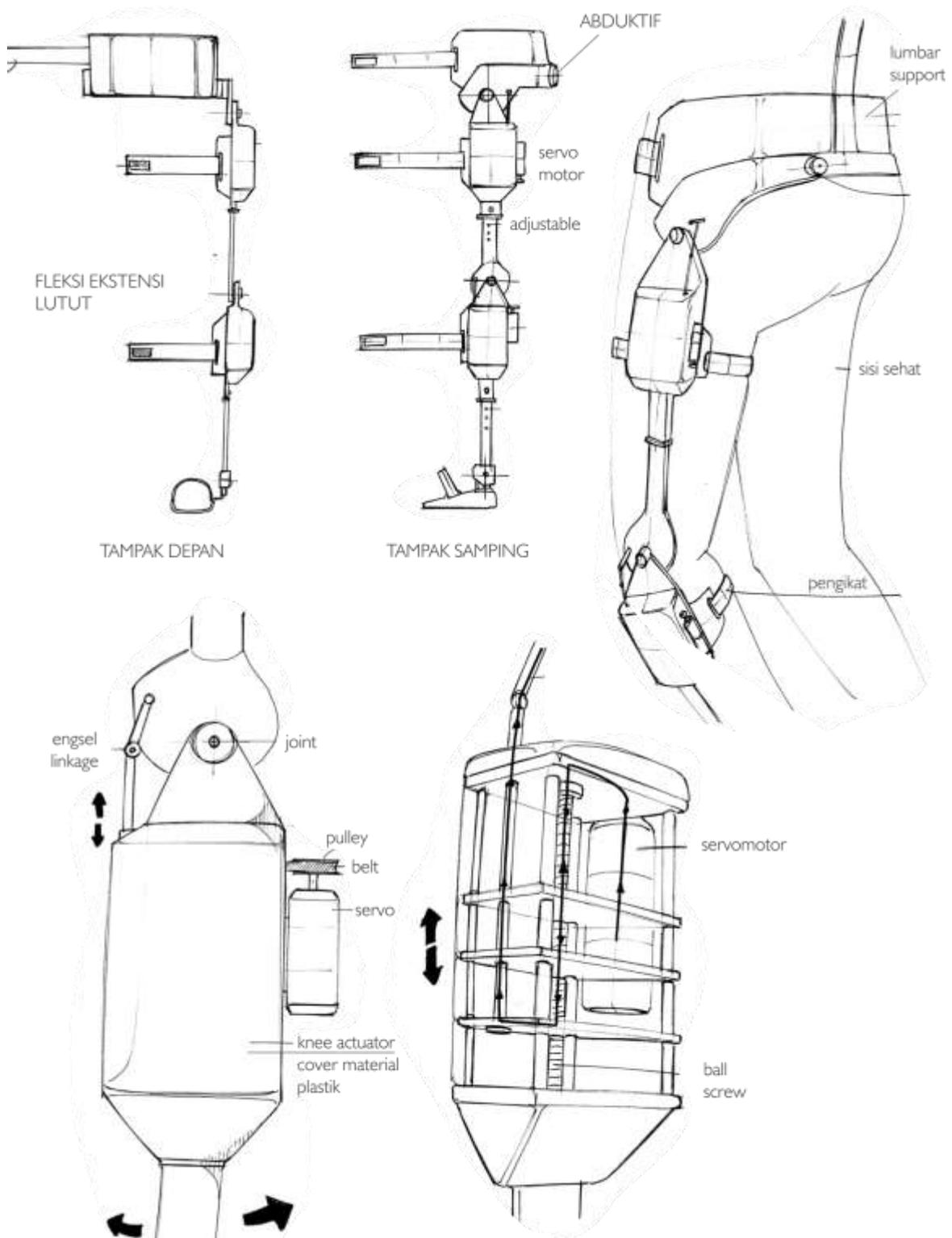
Gambar 5. 9 Sketsa Alternatif 1

### 1.1.2 Alternatif 2



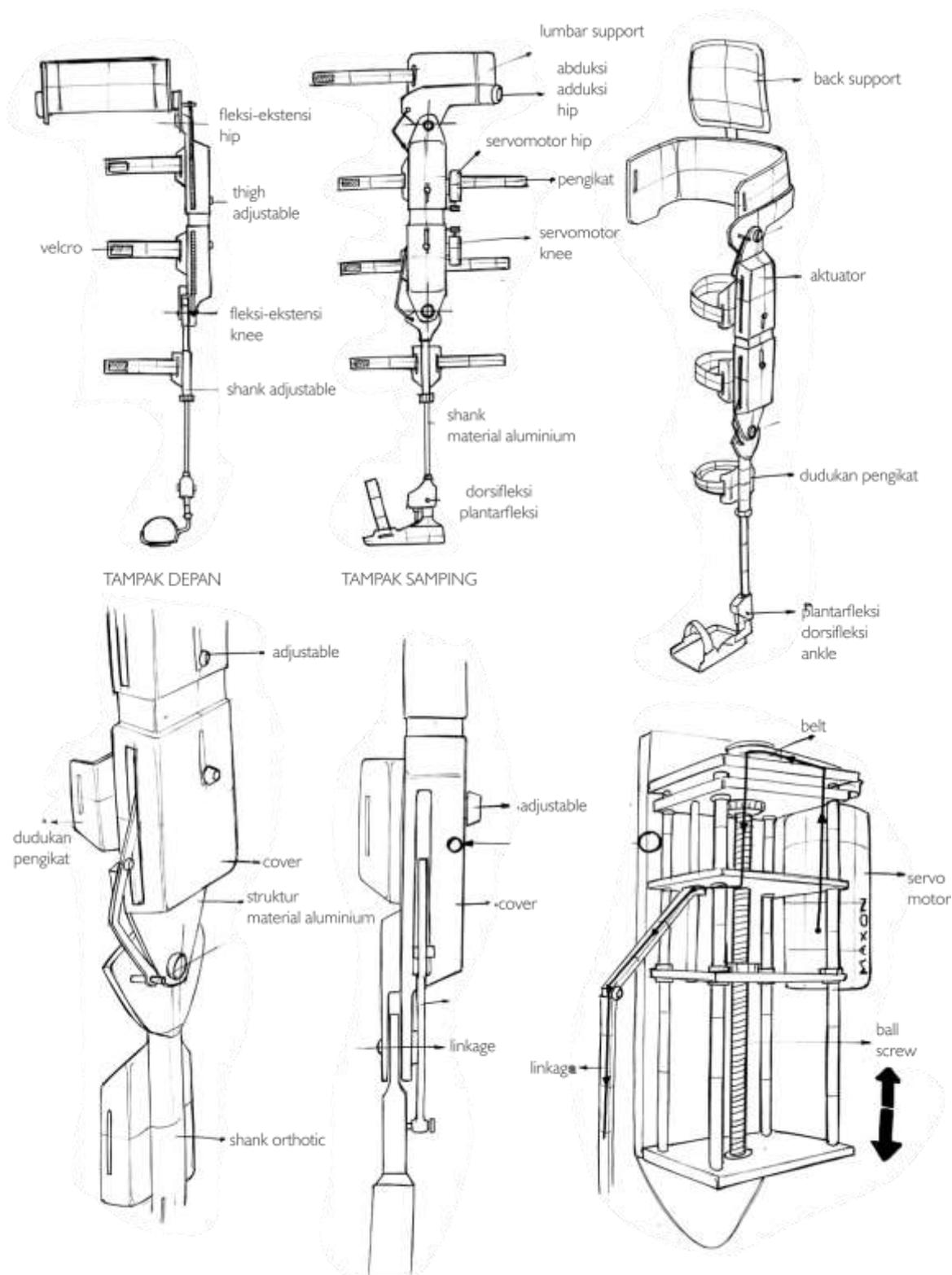
Gambar 5. 10 Sketsa alternatif 2

### 5.2.4 Alternatif 3



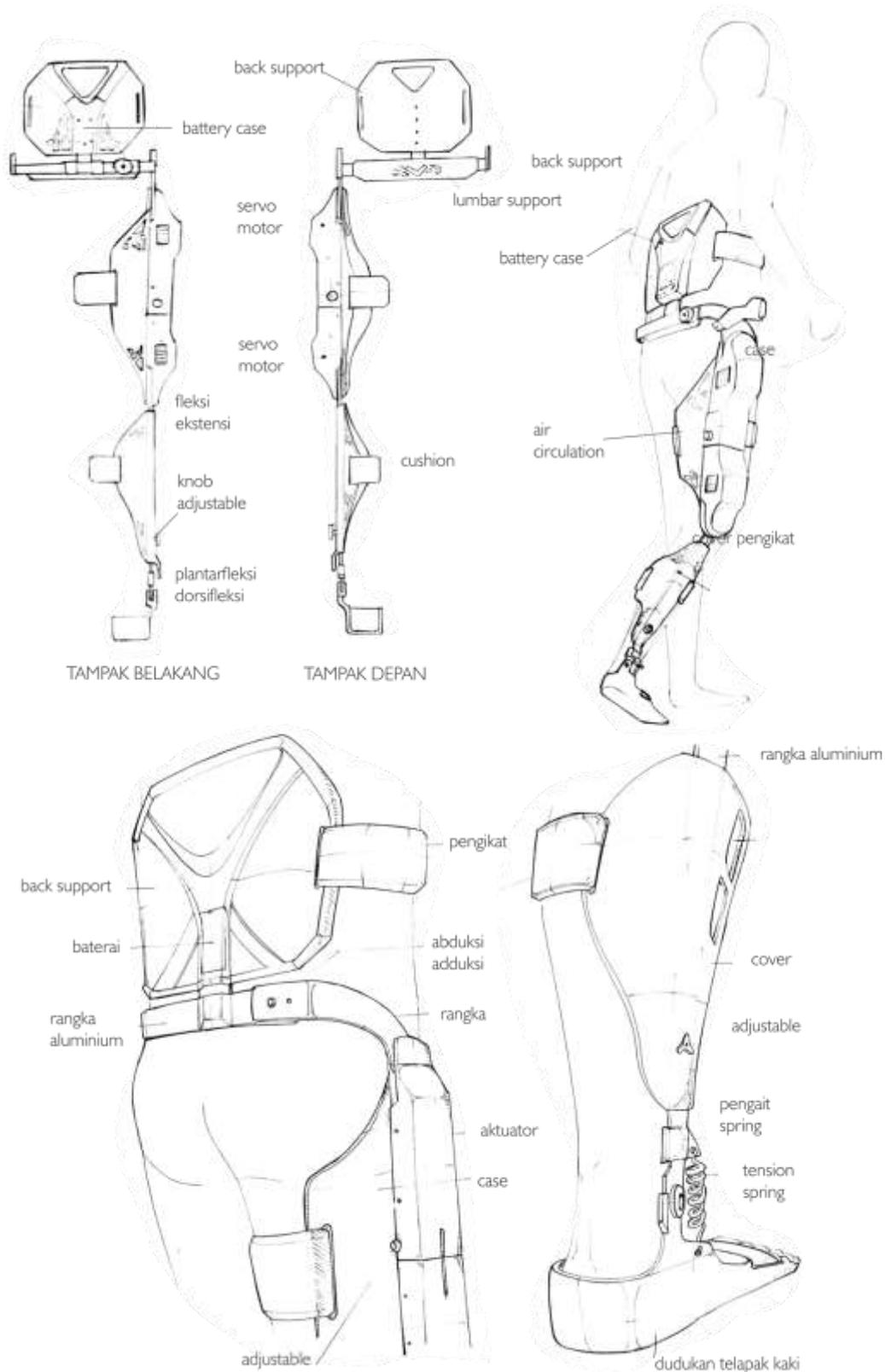
Gambar 5. 11 Alternatif 3

### 5.2.5 Alternatif 4



Gambar 5. 12 Sketsa alternatif 4

### 5.2.5 Alternatif 5



Gambar 5. 13 Sketsa alternatif 5

Tabel 5. 2 Komparasi alternatif desain

Parameter	Alt 1	Alt 2	Alt 3	Alt4	Alt5
Jenis Eksoskeleton	Mobile eksoskeleton	Mobile eksoskeleton	Mobile eksoskeleton	Mobile eksoskeleton	Mobile eksoskeleton
Cover pelindung	Ada	Tidak	Ada	Ada	Ada
Jenis aktuator	Motorstepper	Servomotor flat	Servomotor	Servomotor	Servomotor
Aktuator 2	Bevel, pinion dan epicyclic	-	Ball screw, engsel linkage	Ball screw, engsel linkage	Bever, pinion gear
<i>Adjustable</i>	Ada	Ada	Ada	Ada	Ada
Jenis pegas ankle	<i>Tension spring, clutch</i>	<i>Tension spring, clutch</i>	<i>Compression spring</i>	<i>Compression spring</i>	<i>Compression spring</i>
<i>Back Support</i>	Ada	Ada	Tidak	Ada	Ada
Tata letak aktuator	Paha (2)	Paha (2)	Paha (1), Shank (1)	Paha (2)	Paha (2)
Jumlah strap	5	5	4	5	5
Jumlah DOF	3	3	4	4	4
Abduksi-adduksi	Tidak	Tidak	Ada	Ada	Ada

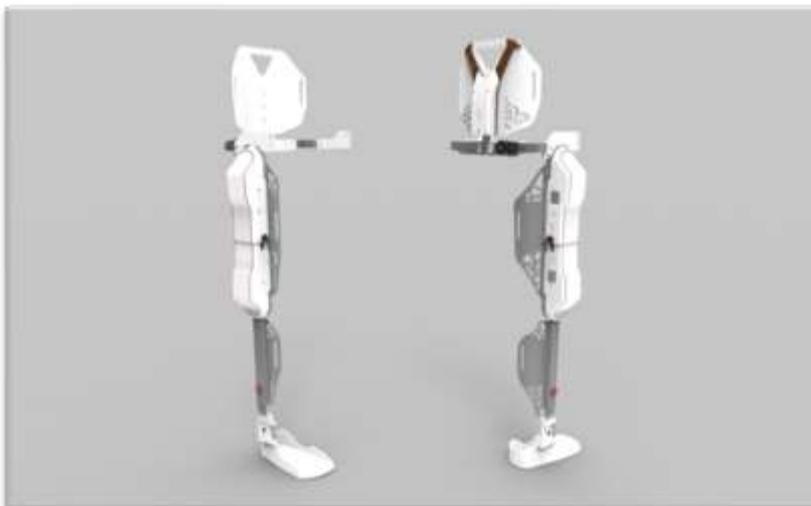
Berdasarkan tabel 5.2, dapat terlihat bahwa tiap alternatif desain memiliki fitur berbeda. Namun berdasarkan batasan dan rumusan masalah yang sudah ditentukan, pemilihan alternative banyak pada alternative 1 dan 5. Hal yang membuat terpilihnya alternatif 1 dan 5 karena desain yang cenderung sama dan penggunaan aktuator 2 yang menggunakan bevel dan pinion yang mana mekanisme tersebut tidak besar dan tidak membebani kerja motor karena menggunakan rasio gigi

### 5.2.6 3D Model



Gambar 5. 14 3D model alternatif 1

3D model alternatif dikembangkan dari sketsa alternatif yang pertama. Bentuk eksoskeleton cenderung pada bentuk dasar dan geometri.

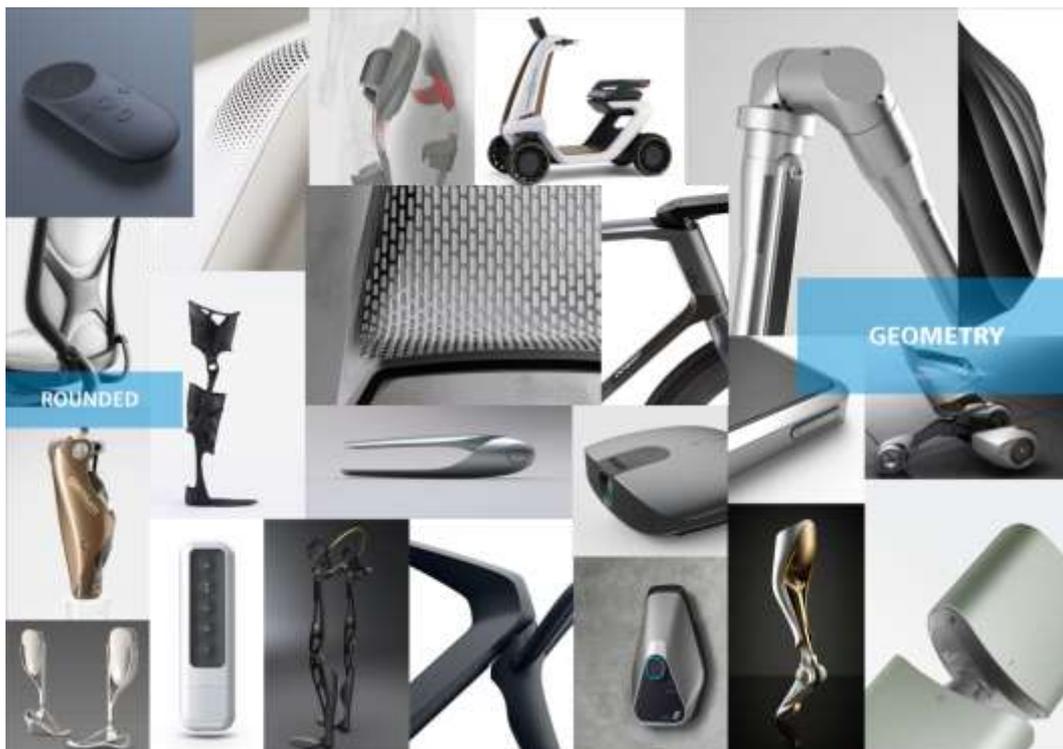


Gambar 5. 15 3D model alternatif 2

3D model alternative 1 dikembangkan menjadi bentuk yang lebih luwes yang mana memadukan bentuk geometris dan organik. Bentuk geometris bertujuan untuk mempermudah proses produksi sedangkan bentuk organik membuat rancangan lebih humanis dan ergonomis pada saat dikenakan oleh *user*.

### 5.3 Final Desain

Alternatif desain dipilih sebagai dasar terbentuknya desain final. Desain dipilih berdasarkan konsep yaitu *compact* dan *afford*. Pada konsep *compact*, bentuk tidak terlalu banyak guratan dan cukup minimalis hal ini bertujuan untuk memudahkan saat proses produksi. Pada *afford*, bentukan mampu untuk diproduksi dan mudah dibersihkan.



Gambar 5. 16 Moodboard

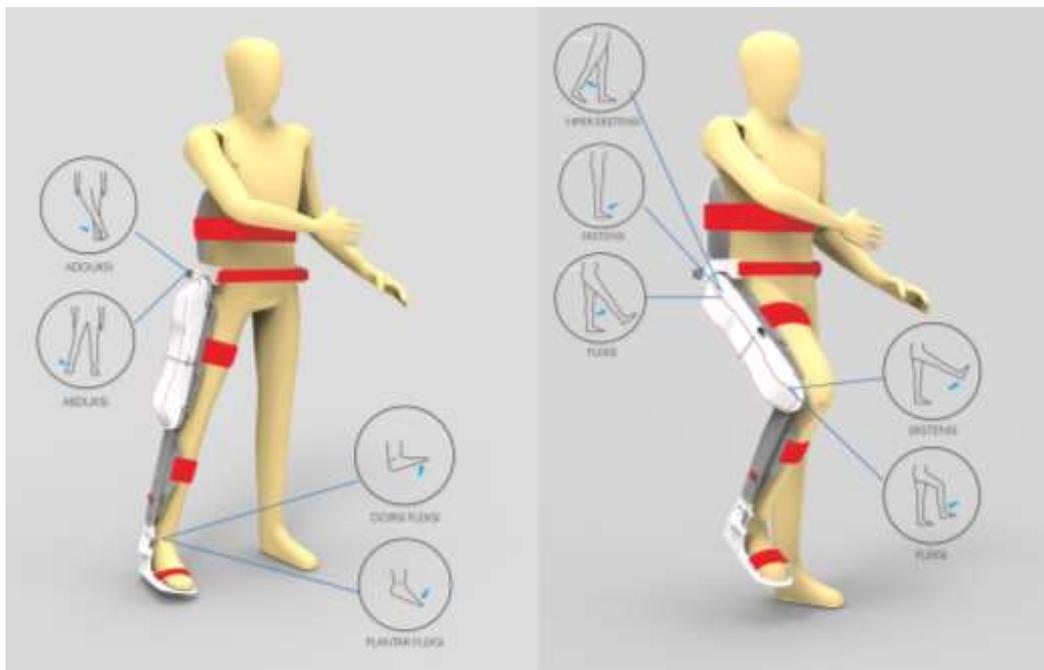
Pada gambar moodboard, bentukan yang dipilih yaitu memadukan antara *rounded* dan *geometry*. Pada pemilihan warna, dipilih warna yang netral, warna yang tidak menimbulkan persepsi ambigu yang mana sesuai dengan produk rancangan yaitu berupa alat medis sehingga pemilihan warna yang dipilih merupakan warna dasar yaitu putih dan abu abu dan pemberian sedikit aksen warna kontras.







Gambar 5. 19 Gambar operasional



Gambar 5. 20 Pergerakan eksoskeleton

Pada eksoskeleton yang dirancang memiliki 4 derajat kebebasan (*degree of freedom*) yang terbagi pada bagian tertentu diantaranya:

1. Pinggul

Pada bagian pinggul terdapat 2 derajat kebebasan yaitu bergerak pada sumbu *coronal* dan *sagittal* yang mana melakukan gerakan abduksi-adduksi dan gerakan fleksi-ekstensi pada bagian pinggul.

2. Lutut

Pada bagian lutut terdapat 1 DoF dan bersumbu pada poros *sagittal* yang mana berfungsi menggerakkan dan melatih fleksi dan ekstensi lutut.

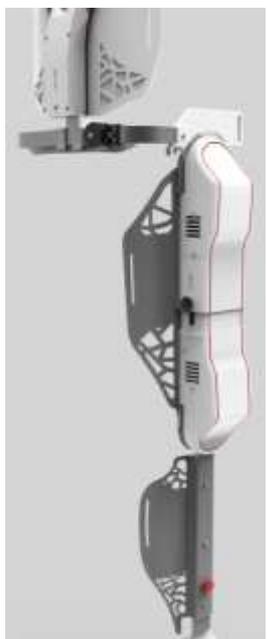
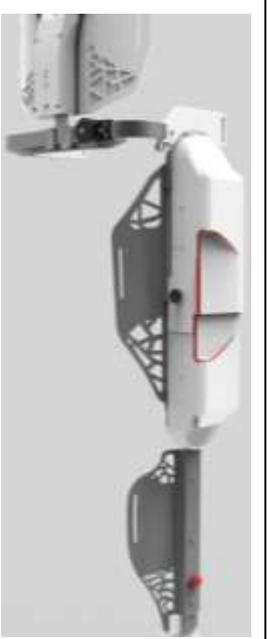
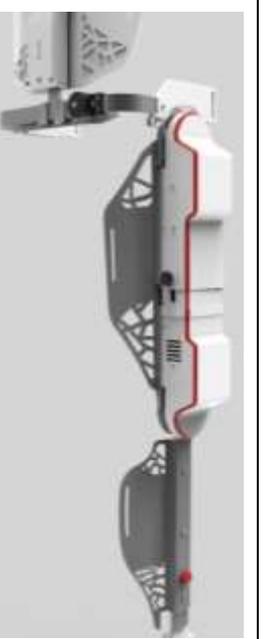
3. Pergelangan kaki

Pada bagian pergelangan kaki terdapat 1 DoF dan bersumbu pada poros *sagittal* yang mana berfungsi menggerakkan dan melatih dorsifleksi dan plantarfleksi

b. Varian *Fairing*

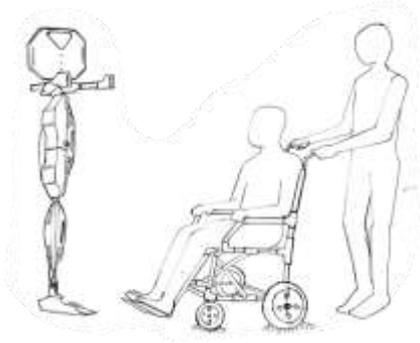
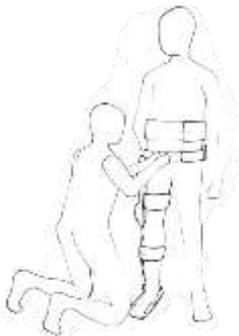
Pada bagian *fairing / case* dapat diubah sesuai keinginan *user* oleh karena itu berikut beberapa varian *case* yang dapat digunakan sebagai alternatif pemilihan user dalam memilih *case* eksoskeleton:

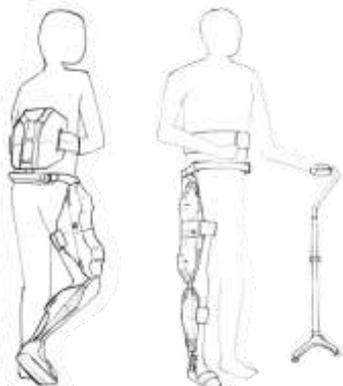
Tabel 5. 3 Varian *fairing/case*

Fairing 1	Fairing 2	Fairing 3	Fairing 4
			

## 5.4 Gambar Operasional

Tabel 5. 4 Skenario pemakaian

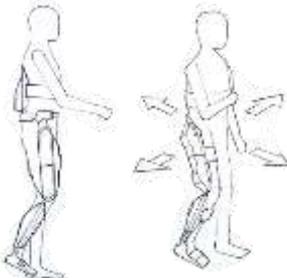
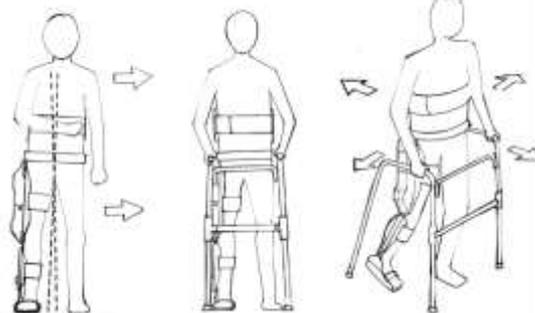
Gambar	Keterangan
	<p><b>Aktivitas :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pasien menuju alat diantar/sendiri</li> <li>- Posisi eksoskeleton berdiri</li> </ul> <p><b>Kebutuhan :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Apabila eksoskeleton pada posisi berdiri, maka pasien memasang alat dengan posisi berdiri dengan atau tanpa bantuan</li> </ul>
	<p><b>Aktivitas :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Berdiri dari tempat duduk/kursi roda dengan bantuan orang lain</li> <li>- Berjalan menuju kursi roda dengan/tanpa bantuan orang lain</li> </ul> <p><b>Kebutuhan :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mampu beranjak dari kursi/kursi roda dengan mudah</li> </ul>
	<p><b>Aktivitas :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pemasangan strap eksoskeleton dibantu dengan orang lain</li> </ul> <p><b>Kebutuhan :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Operasional pemakaian yang mudah bagi pengguna</li> <li>- Kenyamanan bahan pada pemasangan, karena bersentuhan langsung dengan tubuh</li> <li>- Pemakaian yang mudah dan aman agar tetap menjaga sirkulasi darah</li> <li>- Penggantian casing dibantu oleh orang lain</li> </ul>

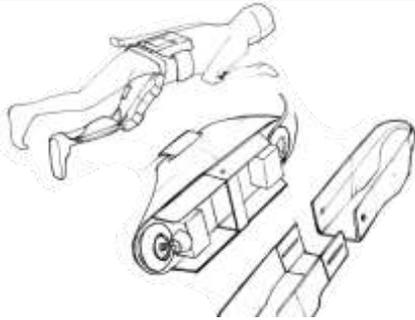
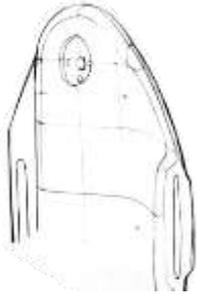
Gambar	Keterangan
	<p><b>Aktivitas :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pasien mulai berjalan</li> </ul> <p><b>Kebutuhan :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tongkat/kruk untuk menjaga keseimbangan</li> <li>- Ketahanan baterai pada saat eksoskeleton beroperasi</li> <li>- Kemudahan menjangkau dan menggunakan system kontroler</li> </ul>

### 5.5 Skenario Jatuh

Terkadang perangkat yang dirancang pada saat beroperasi memiliki kemungkinan untuk gagal salah satunya ialah terjatuh. Pengguna yang mengoperasikan perangkat memiliki peluang untuk terjatuh walaupun telah menggunakan *balancing support* ataupun perangkat pengaman lainnya. Berikut merupakan scenario yang akan terjadi pada saat pasien terjatuh :

Tabel 5. 5 Skenario jatuh

Gambar	Keterangan
	<p>Pada saat pasien tidak menggunakan walker, kemungkinan jatuh kesegala arah sangat besar karena sisi sakit pasien belum cukup kuat menumpu beban dan hanya bertumpu pada perangkat.</p>
	<p>Pasien cenderung condong kekiri untuk menyeimbangkan tubuh saat membawa perangkat. <i>Balancing support</i> diberikan kepada pasien untuk meminimalisir resiko jatuh</p>

Gambar	Keterangan
	<p>Pada saat pasien terjatuh, covet eksoskeleton hancur/terlepas/pecah yang mana fungsinya untuk melindungi komponen yang berada didalamnya</p>
	<p>Upaya melindungi pasien dengan cara memberikan bantalan pada pengikat kaki pasien sehingga kaki pasien tidak terkena benturan yang cukup keras</p>
	<p>Kemungkinan yang terjadi setelah terjatuh :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pasien terluka/lebih parah</li> <li>- Eksoskeleton patah/lebih parah</li> </ul>

### 5.6 Usability Testing

Usability testing dilakukan untuk mengetahui dan mengevaluasi hasil rancangan pada saat dikenakan kepada pengguna. Terdapat beberapa poin yang menjadi bahan evaluasi yaitu :

Tabel 5. 6 Hasil usability testing

Gambar	Hasil evaluasi	Solusi
	<p>Sistem <i>adjustable</i> pada eksoskeleton sudah pada posisi paling bawah, dalam kata lain tinggi badan dibawah itu tidak bias menggunakan perangkat</p>	<p>Menambah panjang tungkai untuk sistem <i>adjustable</i></p>

Gambar	Hasil evaluasi	Solusi
	<p>Dudukan telapak kaki saat dikenakan membuat telapak kaki menjadi kecil</p>	<p>Penambahan ukuran SML pada dudukan kaki</p>
	<p>Sistem strap yang sulit pada saat pemasangan</p>	<p>Penggantian system kunci strap agar pemasangan mudah dan cepat</p>
	<p>Cover pengikat paha kurang sesuai dengan paha pengguna</p>	<p>Memperlebar diameter cover pengikat dan merubah tempat dudukan strap yang cenderung keatas</p>
	<p>Tidak adanya pengikat servo pada <i>frame</i> sehingga membuat servo seringkali bergeser keluar</p>	<p>Memberikan lubang untuk baut pengikat pada dudukan servo supaya servo tidak terlepas</p>

## BAB VI

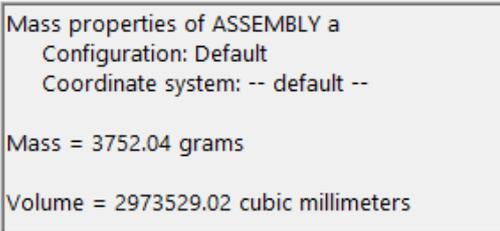
### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Berikut merupakan kesimpulan dari perancangan eksoskeleton untuk menjawab permasalahan yang telah dijabarkan pada BAB 1. Kesimpulan didapatkan setelah dihasilkan prototype berupa eksoskeleton tungkai kaki serta dilaksanakan *usability test*

1. Desain eksoskeleton dapat menunjang dan membantu gerakan sisi kanan kaki (hemiplegia). Memiliki 4 sendi gerakan yaitu 2 fleksi-ekstensi, abduksi-adduksi serta plantarfleksi-dorsifleksi.
2. Hasil rancangan eksoskeleton memiliki berat yang cukup ringan dan disesuaikan dengan komponen serta atribut yang ada pada eksoskeleton.

Tabel 6. 1 Berat eksoskeleton

Gambar	Keterangan
	<p>Pada <i>mass properties</i> berat total eksoskeleton sebesar <b>3,7kg</b></p>
	<p>Pada pengukuran <i>real-time</i> berat eksoskeleton sebesar 72,1-68,7 = <b>3,4kg</b></p>

Pada tabel diatas, pengukuran berat eksoskeleton menggunakan 2 metode dan menunjukkan diferensiasi bobot namun hasil yang tertera tidak begitu signifikan. Berat eksoskeleton berdasarkan pengukuran secara langsung yaitu 3,4kg.

Tabel 6. 2 Komparasi berat dengan produk sejenis

Parameter	Desain <i>Lower-Limb</i> Eksoskeleton untuk Menunjang Rehabilitasi Pasien Pasca Strok	<i>Design and Motion Control of a Lower Limb Robotic Exoskeleton</i>
	Ibnu Arif (2018)	Fatih Botsali,,dkk (2017)
		
Material	ABS - Aluminium	<i>Polyamide (P6) - Aluminium</i>
<i>Balancing Support</i>	<i>Walker</i>	<i>Link bar</i>
<b>Berat</b>	<b>3,7kg</b>	<b>7kg (1 tungkai)</b>
<i>Max. Load</i>	67-70kg	78kg

Pada tabel diatas, komparasi spesifikasi berat hasil rancangan eksoskeleton penulis sebesar 3,7kg dengan produk sejenis sebesar 7kg sehingga dapat diketahui terjadi diferensiasi bobot yang dapat diartikan bahwa produk rancangan penulis memiliki bobot yang lebih ringan sebesar 45% dari produk sejenis (tabel 6.2).

3. Eksoskeleton memiliki ukuran yang ringkas untuk mempermudah penyimpanan dan pengoperasian dengan dimensi (p x l x t) 365,7mm x 403mm x 1277,8mm.
4. Menggunakan kontroler sederhana berupa *button* yang disematkan pada *smartphone* dengan bantuan teknologi Bluetooth serta penambahan modul bluetooth yang disematkan pada eksoskeleton.

Tabel 6. 3 Komparasi harga sistem kontroler

Parameter	HC-06	EMG
		
Jenis	Modul Bluetooth	Sensor
Harga Per satuan	Rp 75.000,00	Rp 1.500.000,00

Pada eksoskeleton rancangan hanya perlu 1 modul Bluetooth yang disematkan pada arduino yang membuat biaya kontroler menjadi murah serta kompleksitas komponen menjadi lebih minim yang mana berdampak pada minimnya kesalahan sistem.

5. Pada bagian belakang eksoskeleton, ditambahkan *back support* sebagai peletakan baterai dan juga membantu badan pasien agar tetap tegap.
6. Penggunaan sistem *adjustable* pada eksoskeleton dibagian tungkai paha dan tungkai betis sehingga dapat mencangkup tinggi pengguna antara 165cm sampai 178,5cm.
7. Komponen eksoskeleton berupa *cover* pengikat pada bagian tungkai paha dan betis dapat *dicustom* dengan motif dan ukuran yang diinginkan pengguna.
8. Menggunakan 2 buah servomotor berkekuatan 10 Nm untuk menggerakkan 2 sendi gerak yaitu bagian pinggul dan lutut.

## 6.2 Saran

Berikut beberapa masukan untuk pengembangan desain selanjutnya :

- a. Artikulasi gerak dapat disempurnakan supaya mendekati gerakan kaki normal

- b. Pengembangan sistem elektronika perlu disempurnakan agar perangkat lebih stabil dan aman bagi pengguna
- c. Penggunaan material eksoskeleton masih bisa lebih ringan  
Pengembangan struktur lain yang memungkinkan bodi eksoskeleton menjadi lebih *rigid* dan lebih kuat
- d. Diharapkan eksoskeleton dapat dikemas dan dibongkar pasang guna untuk memudahkan proses distribusi
- e. Penggunaan strap pengikat yang lebih nyaman dan lebih *breathable*
- f. Teknik penggantian komponen dapat menggunakan cara yang lebih sederhana, praktis dan mudah bagi pasien

## DAFTAR PUSTAKA

- A. Sylvia, Lorraine Mc. Carty, Wilson Price. (2006). *Patofisiologi : Konsep Klinis Proses-proses Penyakit*, Edisi 6, (terjemahan), Peter Anugrah, EGC, Jakarta.
- Barnes M., Dobkin B., Bougousslavsky J. (2005). *Recovery After Stroke*. Cambridge University Press, 88-162.
- Baser, O. (2016). *Mechanical Design of a Biomimetic Compliant Lower Limb Eksoskeleton (BioComEx)*. InTech, 1-8
- Beyaert C., Vasa R., Frykberg G.E. (2015). *Gait post-stroke: Pathophysiology and rehabilitation strategies, 335-355*
- Columbia University Medical Center. (2016, September). Diakses 23 Oktober, 2017 dari Columbia Neurology: <http://columbianeurology.org>
- Dreyfuss, H. (1966). *The Measure of Man : Human Factors in Design*. New York: Whitney Library of Design.
- Forssberg H (1982) *Spinal locomotion functions and descending control. In Brain Stem Control of Spinal Mechanisms (eds B Sjölund, A Bjorklund)*, Elsevier Biomedical Press, New York.
- Galle, Samuel. (2015). *Experimental optimization of an ankle-foot eksoskeleton to reduce the metabolic cost of walking for practical applications in healthy and impaired subjects*
- Guo, Z, Yu, H., & Yin, Y. H. (2014). Journal of Medical Devices. *Developing a Mobile Lower Limb Robotic Eksoskeleton for Gait Rehabilitation*, 1-10.
- Harsono, (2000). *Kapita Selekt Neurologi* ,Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Ignatavicius, D. D., & Workman, m. L. (2010). *Medical - surgical nursing: Patient – centered collaborative care. Sixth Edition, 1 & 2* . Missouri: Saunders Elsevier.
- Jacob Rosen dan Joel C. Perry, (2007). *Upper-Limb Powered Eksoskeleton Design*
- Kazuo Kiguchi and Yoshiaki Hayashi. (2012). *An EMG-Based Control for an Upper-Limb Power-Assist Eksoskeleton Robot*

Kwakkel, G., Wagenaar, R. C., Twisk, J. W., Lankhorst, G. J., dan Koetsier, J. C., (1999). *Intensity of leg and arm training after primary middle-cerebral-artery stroke: a randomized trial*

Marshall RS, Perera GM, Lazar RM, et al. *Evolution of cortical activation during recovery from corticospinal tract infarction stroke*. 2000;31:656–661

Omit Onen, Fatih M, Botsali, Mete Kalyonco. (2017). *Design and Motion Control of a Lower Limb Robotic Eksoskeleton*

Panero J., Zelnik, M., & Kurniawan D. (2003). *Dimensi Manusia & Ruang Interior : Buku Panduan untuk Standar Pedoman Perancangan*. Penerbit Erlangga.

(Patent, 2014) Foot Plate Assembly for Use In An Eksoskeleton Apparatus

Peter D. Guarino, M.P.H., Ph.D., Albert C. Lo, M.D., Ph.D., Lorie G. Richards, dkk, (2009). *Multicenter Randomized Trial of Robot-Assisted Rehabilitation for Chronic Strok: Methods and Entry Characteristics for VA ROBOTICS*

Pinzon, Laksmi dan Asanti, Rizaldi, (2010). *Awas strok! Pengertian, gejala, tindakan, perawatan dan pencegahan*. Yogyakarta: Andi Offset.

Pradanasari, Rosiana W. (2009). *Rehabilitasi Strok pada Pelayanan Kesehatan Primer*, 3-6

R.A, Nabyl, (2012). *Deteksi dini dan gejala dan pengobatan strok, solusi hidup sehat bebas strok*. Yogyakarta: Aulia Publishing.

R. Jeanette Suwantara. (2004). *Depresi pasca-strok : epidemiologi, rehabilitasi dan psikoterapi*

Riskesdas, “Riset Dasar Kesehatan”. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan

Purwanti Oki S., Maliya A. (2008). Berita Ilmu Keperawatan. *Rehabilitasi Klien Pasca Strok*, 43-46

Veneman, Jan F, dkk (2007). *Design and Evaluation of the LOPES Eksoskeleton Robot for Interactive Gait Rehabilitation*. IEEE, 1-8

## LAMPIRAN



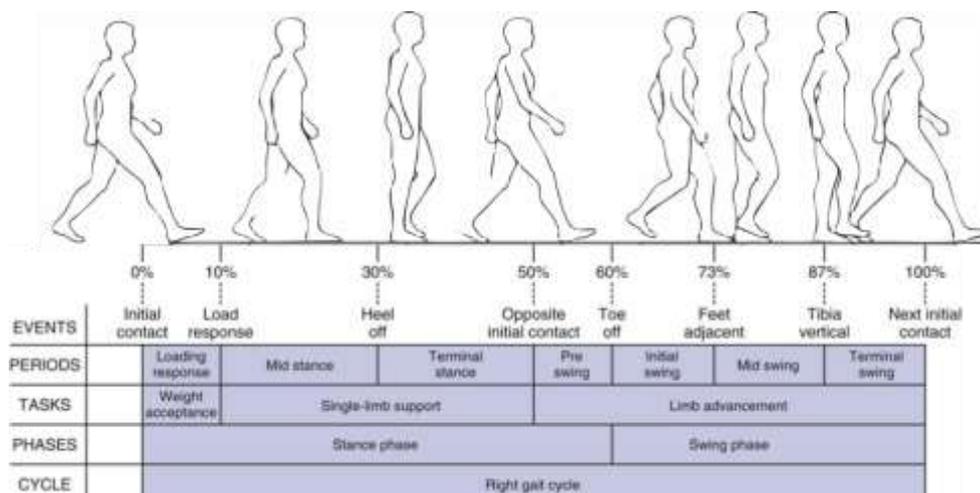
Lampiran 1 Terapi berjalan pasca strok

Sumber : <https://www.multicare.org/news/after-strok-inpatient-rehab-helps-patients>



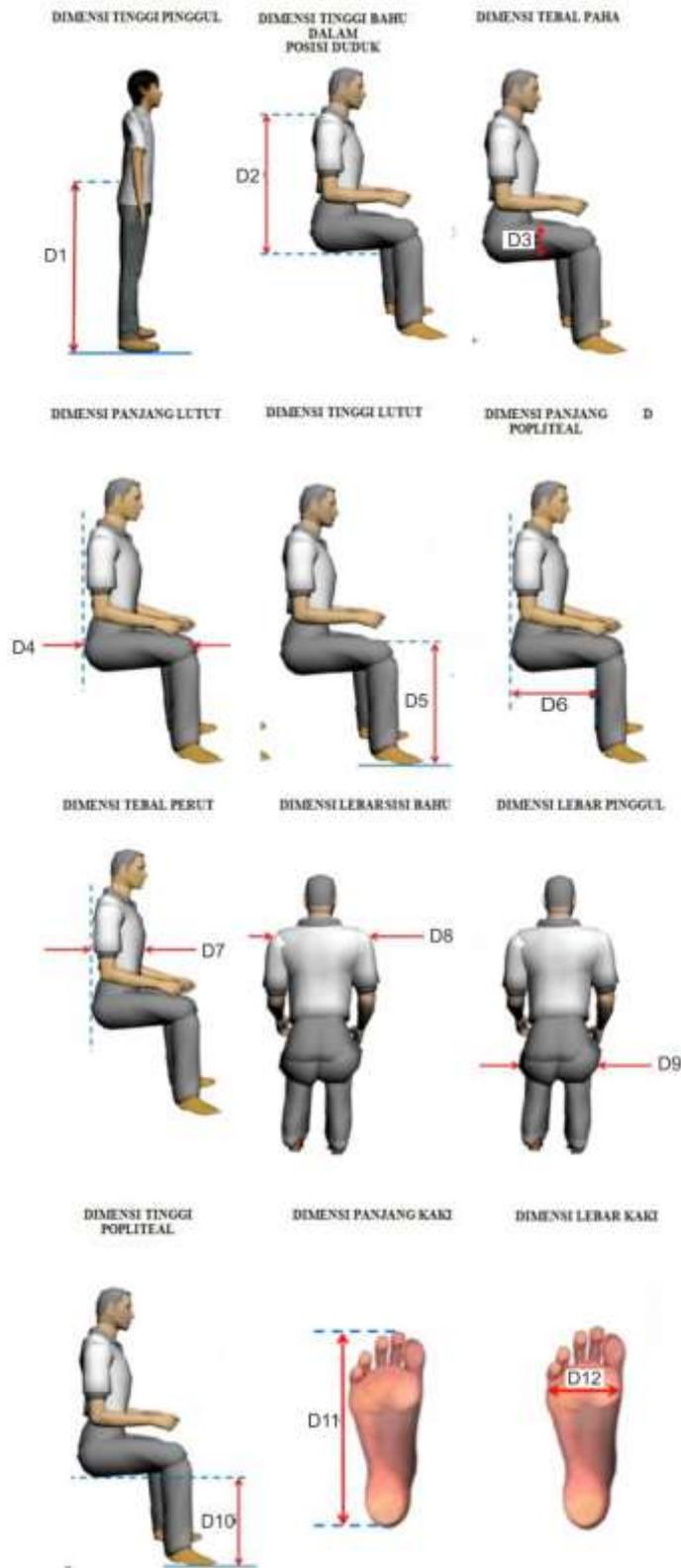
Lampiran 2 *Treadmill* Eksoskeleton

Sumber : [www.hocoma.com/solutions/lokomat/](http://www.hocoma.com/solutions/lokomat/)



Lampiran 3 *Gait cycle*

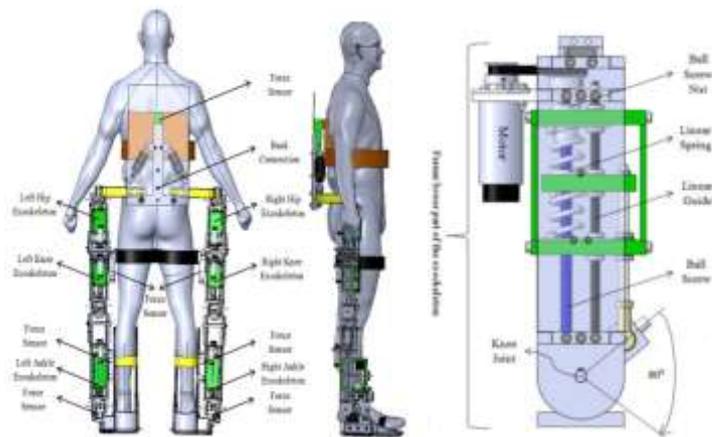
Sumber : [epomedicine.com](http://epomedicine.com), Oktober 2017



Lampiran 4 Pengukuran antropometri  
 Sumber : <http://antropometriindonesia.org>, Oktober 2017



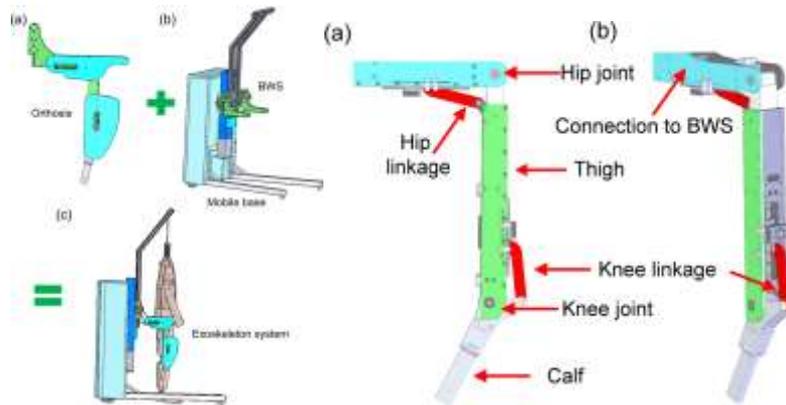
Lampiran 5 REX Bionic  
 Sumber : <https://www.rexbionics.com/>



Lampiran 6 BioComEx eksoskeleton  
 Sumber : Ozgur Bazer, dkk., 2016

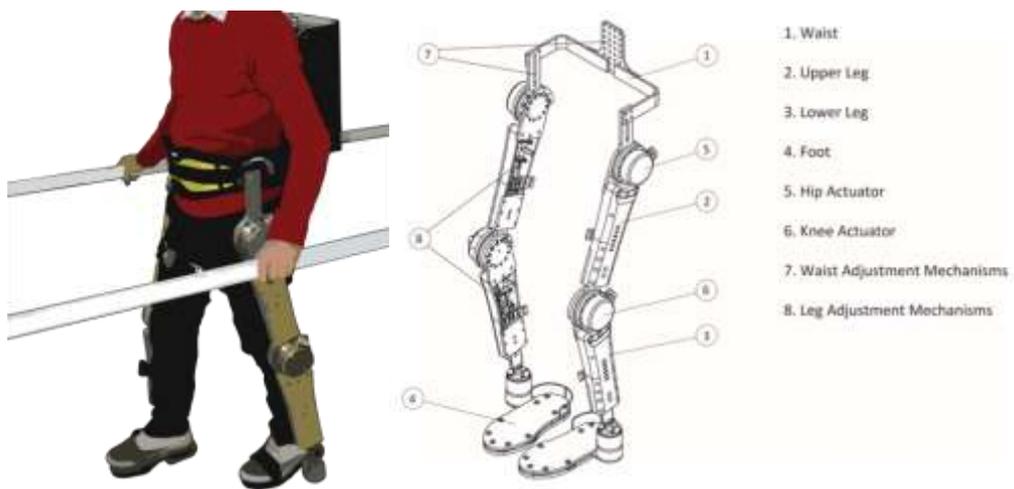


Lampiran 7 LOPES eksoskeleton  
 Sumber : Veneman. J.,2007



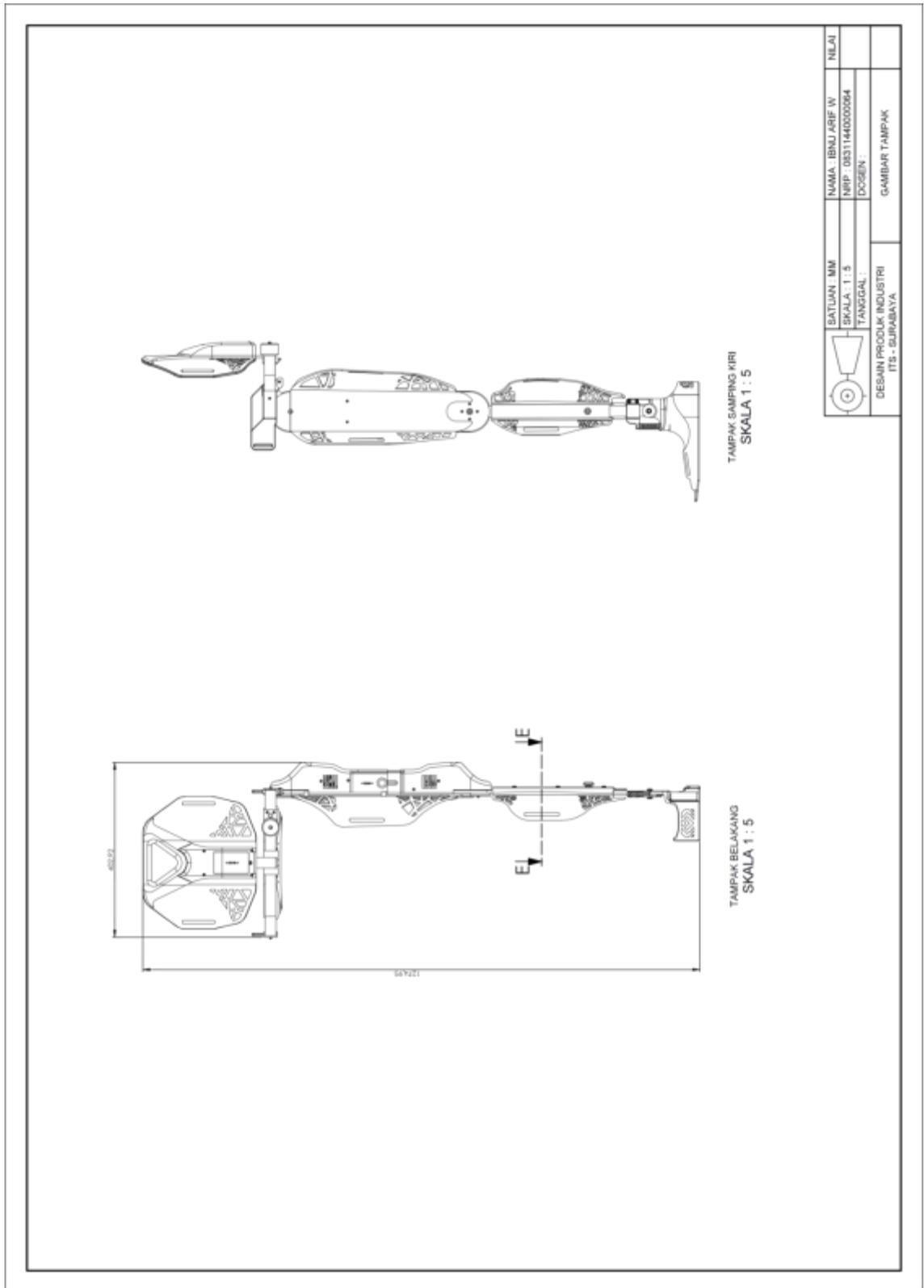
Lampiran 8 Mekanisme MLLRE

Sumber : Developing a Mobile Lower Limb Robotic Eksoskeleton for Gait Rehabilitation



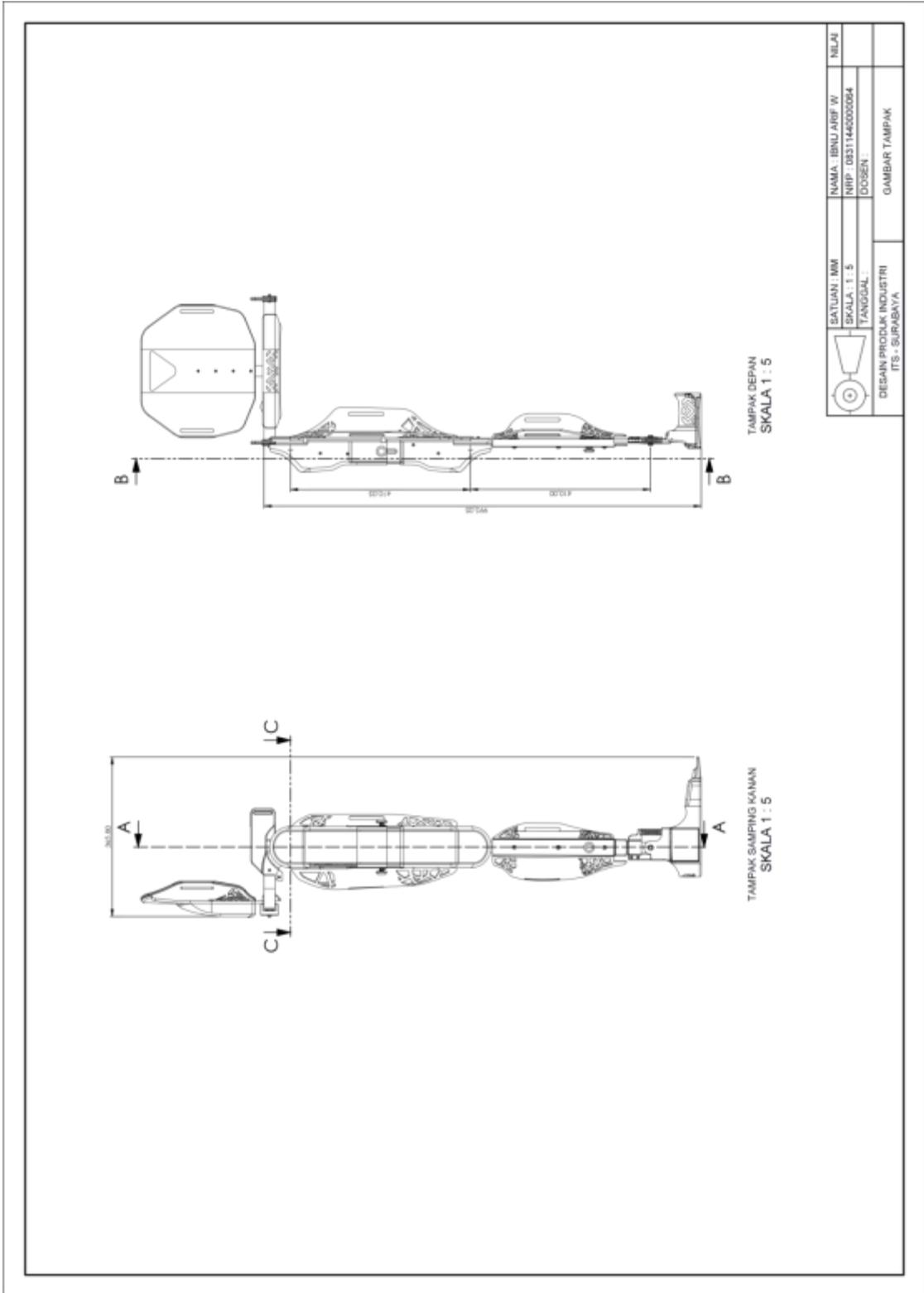
Lampiran 9 Komponen eksoskeleton

Sumber : Developing a Mobile Lower Limb Robotic Eksoskeleton for Gait Rehabilitation

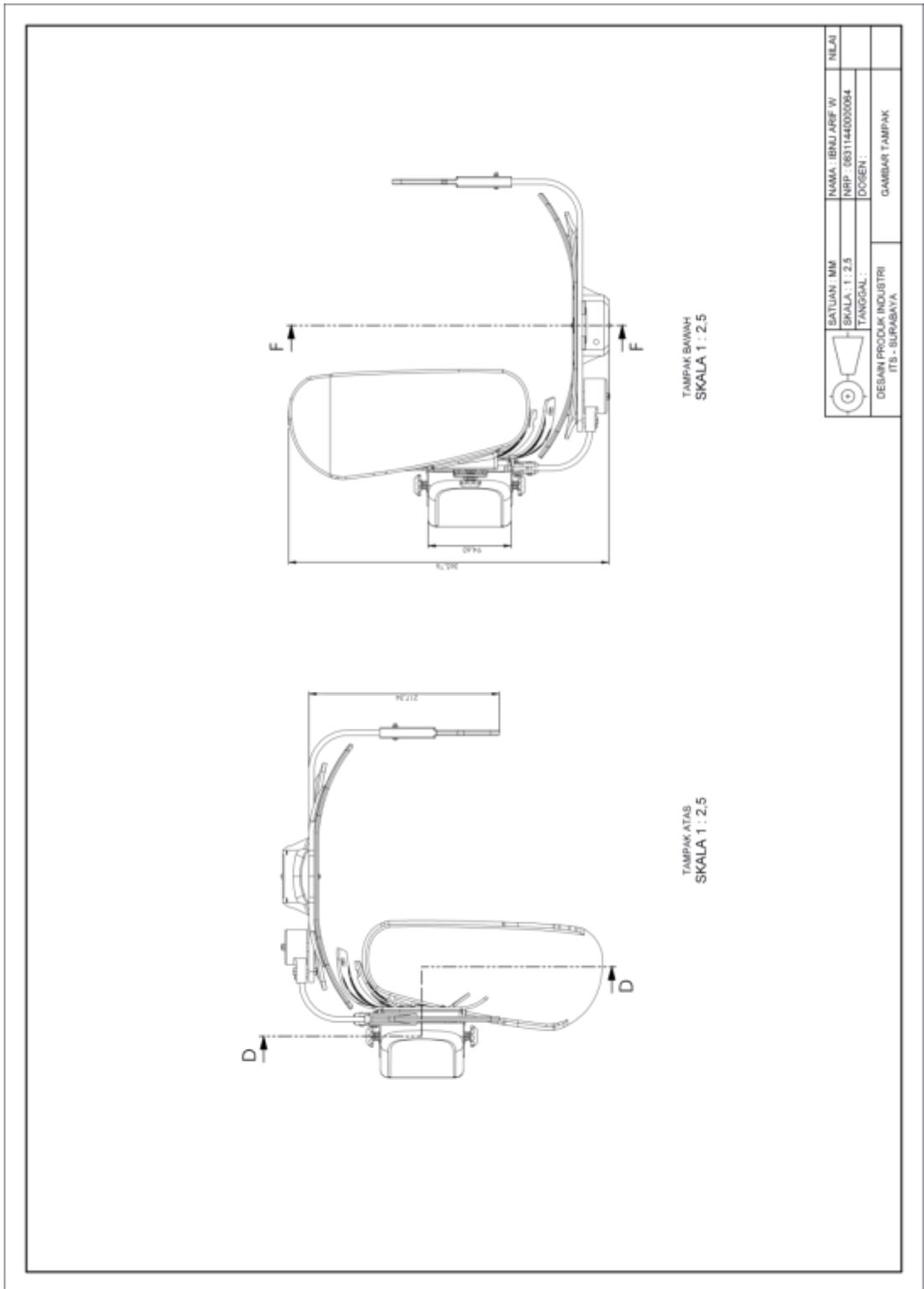


	SATUAN : MM	NAMA : IBNU ARIF W	NILAI
	SKALA : 1 : 5	NRP : 083114000064	
	TANGGAL :	DOSEN :	
DESAIN PRODUK INDUSTRI ITS - SURABAYA		GAMBAR TAMPAK	

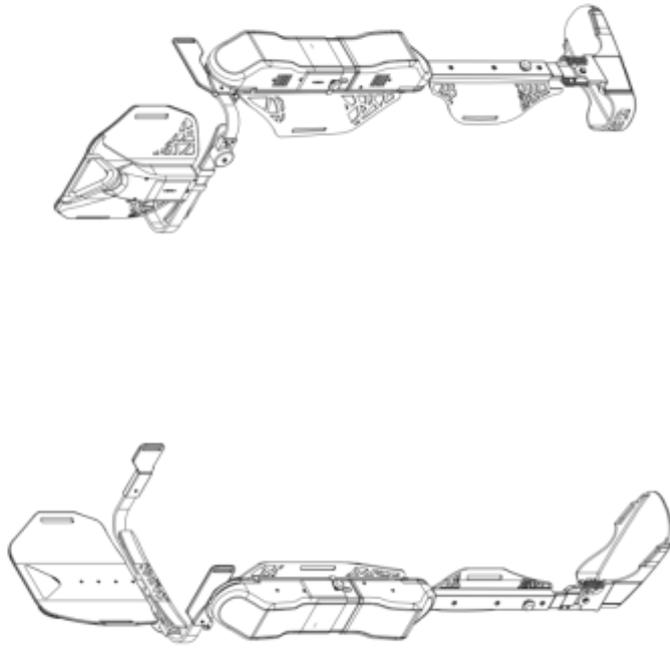
Lampiran 10 Gambar tampak



Lampiran 11 Gambar tampak (2)



Lampiran 12 Gambar tampak (3)

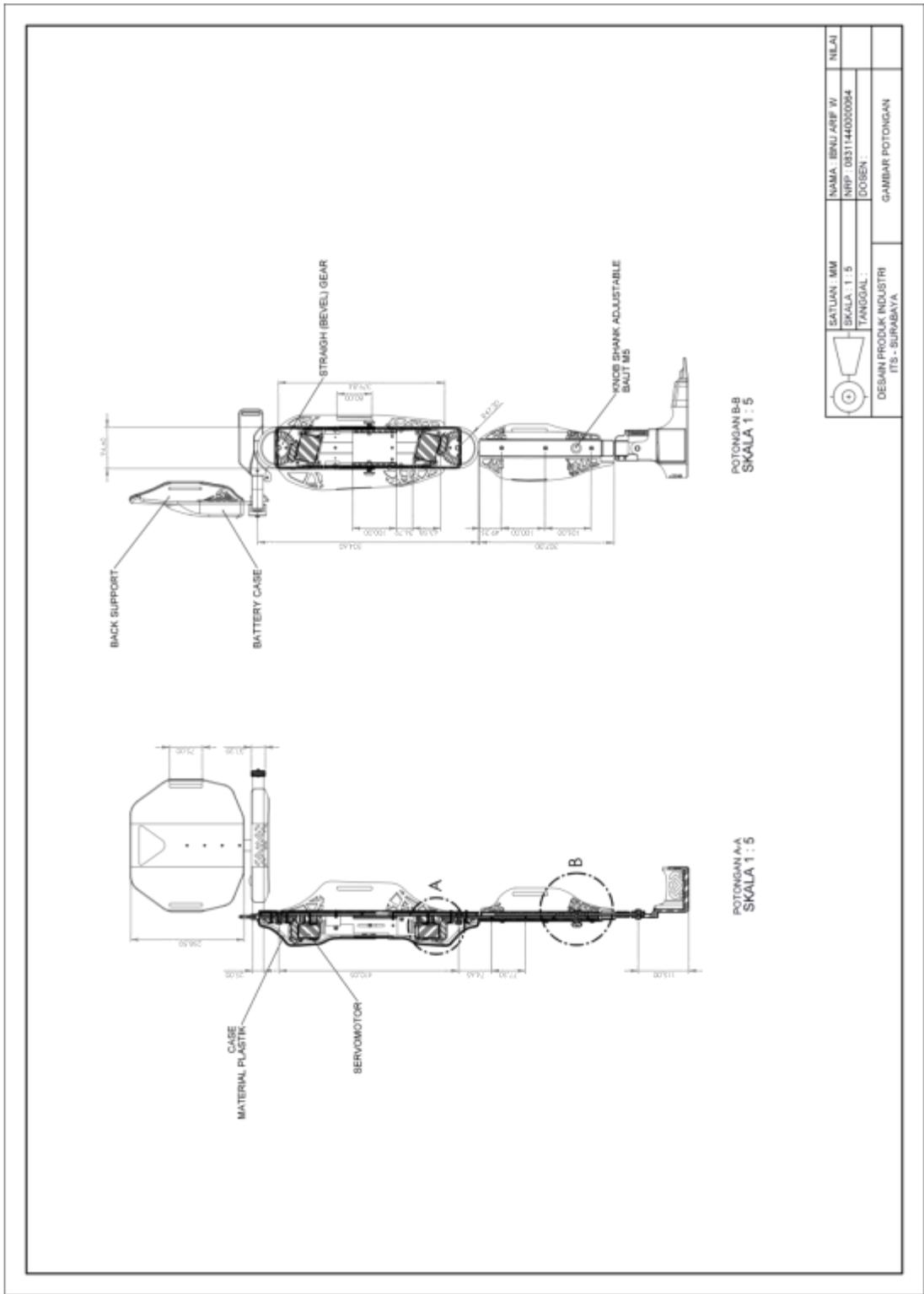


GAMBAR ISOMETRI  
SKALA 1 : 5

GAMBAR ISOMETRI  
SKALA 1 : 5

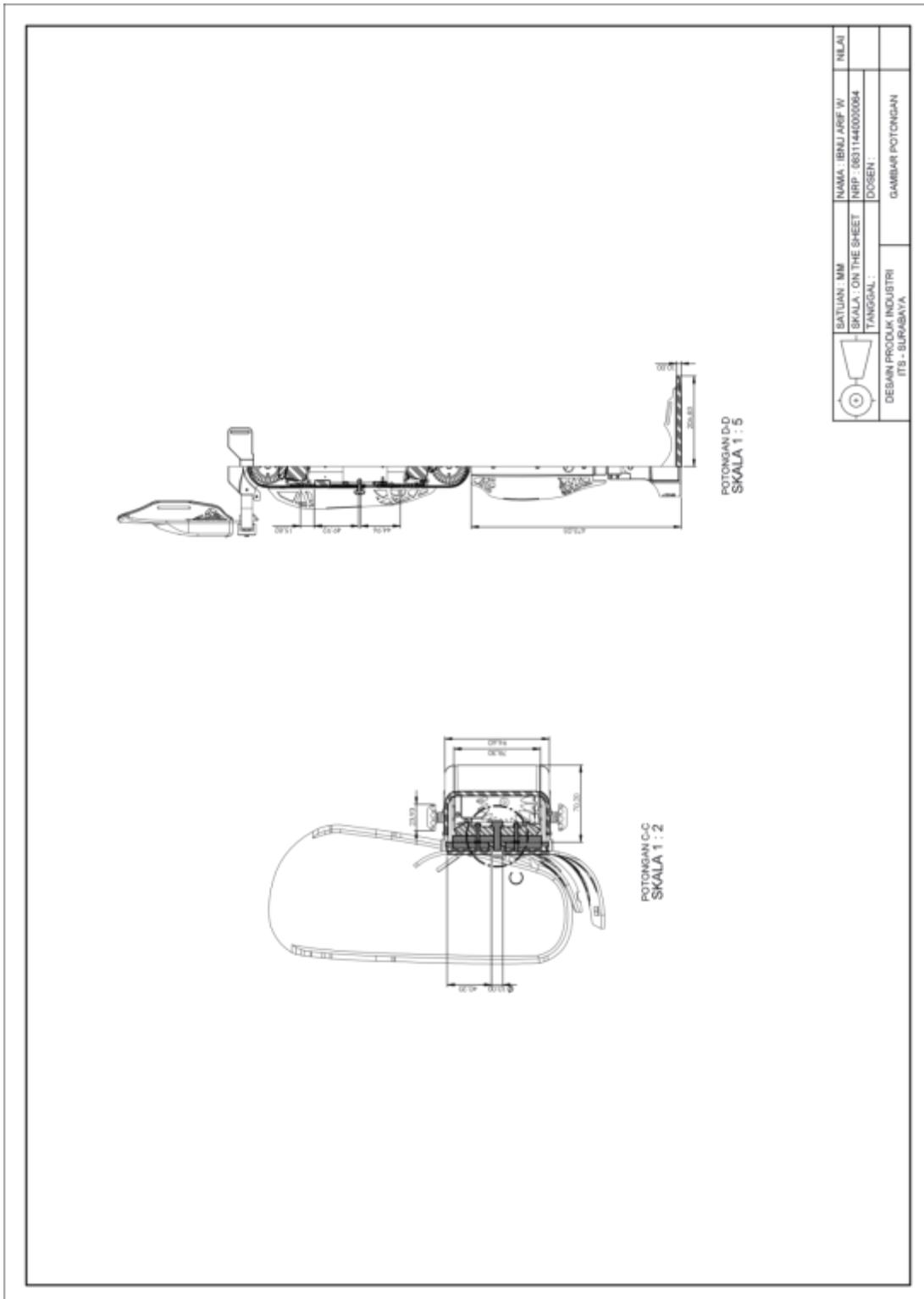
	SATUAN: MM	NAMA: IBNU ARIF W	NILAI
	SKALA: 1 : 5	NRP: 0031144000094	
	TANGGAL:	DOSEN:	
DESAIN PRODUK INDUSTRI		GAMBAR ISOMETRI	
ITS - SURABAYA			

Lampiran 13 Gambar isometri



	SATUAN : MM	NAMA : BENI ARIP W	NILAI
	SKALA : 1 : 5	NRP : 0831144000094	
TANGGAL :		DOSEN :	
DESIAN PRODUK INDUSTRI ITS - SURABAYA		GAMBAR POTONGAN	

Lampiran 14 Gmbar potongan



Lampiran 15 Gambar potongan (2)







*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Ibnu Arif Wicaksono. Lahir pada tanggal 5 Mei 1996 di Kota Surabaya, adalah anak kedua dari 4 bersaudara. Setiap pendidikan formal penulis mulai dari TK hingga SMA ditamatkan di Surabaya. Semasa kecil penulis lebih menyukai menggambar hal itu membuat penulis bertekad untuk memasuki Departemen Desain Produk di Institut Teknologi Sepuluh Nopember setelah tamat SMA di tahun 2014. Selama menempuh pelajaran mata kuliah di Desain ITS, penulis sadar bahwa tidak hanya menggambar sajalah yang dibutuhkan oleh seorang desainer, namun peluang, kreatifitas, pengalaman meriset dan aspek teknis lainnya tidak kalah penting untuk dipelajari. Beberapa proyek desain yang pernah dikerjakan adalah *Desain Styling*: Perhiasan berupa cincin dan gelang, serta *Koper traveling short trip* dengan konsep futuristic, *Desain Appliance*: Talenan multifungsi untuk memotong sayur dan buah serta Radio untuk ibu rumah tangga, *Desain Furniture*: Skuter bersama untuk anak PAUD, *Desain Transportasi*: Mobil desa pengangkut jagung dengan basis Tata Ace. Pada proyek tugas akhir, penulis merancang *Lower Limb* Eksoskeleton untuk Menunjang Rehabilitasi Pasien Pasca Strok yang pada awalnya sangat diluar dugaan, hal ini dikarenakan perangkat tersebut tergolong baru untuk dikembangkan. Dari perancangan ini penulis berharap kedepannya rancangan penulis dapat dikembangkan lebih lanjut dan berguna dimasyarakat khususnya penderita strok.

Email : [ibnuarifwicaksono05@gmail.com](mailto:ibnuarifwicaksono05@gmail.com)