



TUGAS AKHIR - DP184838

**DESAIN *LOWER LIMB* EKSOSKELETON SEBAGAI *HOME EXERCISE* PADA PENDERITA DISABILITAS PASCA STROKE**

**RAHMA KURNIA SARI**  
**0831154000131**

Dosen Pembimbing :  
Djoko Kuswanto, S.T., M.Biotech  
NIP. 19700912 199702 1002

Departemen Desain Produk  
Fakultas Desain Kreatif dan Bisnis Digital  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
2020

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**TUGAS AKHIR – DP184838**

**DESAIN *LOWER LIMB* EKSOSKELETON SEBAGAI *HOME EXERCISE*  
PADA PENDERITA DISABILITAS PASCA STROKE**

Rahma Kurnia Sari

08311540000131

Dosen Pembimbing :

Djoko Kuswanto, S.T., M.Biotech

NIP. 19700912 199702 1002

Departemen Desain Produk  
Fakultas Desain Kreatif dan Bisnis Digital  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



**FINAL PROJECT – DP184838**

**LOWER LIMB EXOSKELETON DESIGN AS POST STROKE  
DISSABILITY SUFFERER HOME EXERCISE**

Rahma Kurnia Sari

08311540000131

Supervisor :

Djoko Kuswanto, S.T., M.Biotech

NIP. 19700912 199702 1002

Department of Industrial Design  
Faculty of Creative Design and Digital Bussiness  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**DESAIN LOWER LIMB EKSOSKELETON SEBAGAI HOME EXERCISE**  
**PADA PENDERITA DISABILITAS PASCA STROK**

**TUGAS AKHIR (DP 184838)**

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

Program Studi S-1 Desain Produk  
Fakultas Desain Kreatif dan Bisnis Digital

Oleh:

**Rahma Kurnia Sari**  
**NRP. 08311540000131**

Surabaya, 30 Januari 2020  
Periode Wisuda 121 (Maret 2020)

Mengetahui,  
Kepala Departemen Desain Produk

Disetujui,  
Dosen Pembimbing



**Bambang Tristiono, S.T., M.Si**

**NIP. 197007031997021001**

**Dioko Kuswanto, S.T., M.Biotech**

**NIP. 197009121997021002**

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## LEMBAR PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya mahasiswi Departemen Desain Produk, Fakultas Desain Kreatif dan Bisnis Digital, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, dengan identitas :

Nama : **Rahma Kurnia Sari**

NRP : **0831154000131**

Dengan ini menyatakan bahwa laporan tugas akhir yang saya buat dengan judul **“DESAIN LOWER LIMB EKSOSKELETON SEBAGAI HOME EXERCISE PADA PENDERITA DISABILITAS PASCA STROK”** adalah :

1. Orisinil dan bukan merupakan duplikasi karya tulis maupun karya gambar atau sketsa yang sudah dipublikasikan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan atau tugas-tugas kuliah lain baik di lingkungan ITS, universitas lain maupun lembaga-lembaga lain, kecuali pada bagian sumber informasi yang dicantumkan sebagai kutipan atau referensi atau acuan dengan cara semestinya.
2. Laporan yang berisi karya tulis dan karya gambar atau sketsa yang dibuat dan diselesaikan sendiri dengan menggunakan data hasil pelaksanaan riset.

Demikian pernyataan ini saya buat dan jika tidak memenuhi persyaratan yang telah saya nyatakan di atas, maka saya bersedia apabila laporan tugas akhir ini dibatalkan.

Surabaya, 30 Januari 2020

Penulis,



NRP. 0831154000131

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan buku tugas akhir dengan judul “Desain *Lower Limb* Eksoskeleton sebagai *Home Exercise* pada Penderita Disabilitas Pasca Stroke” sebagai salah satu syarat kelulusan Departemen Desain Produk Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis meyakini bahwa masih banyak yang perlu diperbaiki dalam penyusunan laporan ini, baik dari segi penelitian, eksperimen, penulisan, bahasa, dan tanda baca. Sehingga penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca sebagai bahan evaluasi penulis. Demikian, besar harapan penulis agar laporan ini dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak

Surabaya, 30 Januari 2020

Penulis,

Rahma Kurnia Sari

NRP. 08311540000131

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## UCAPAN TERIMA KASIH

Laporan ini tidak akan selesai tanpa adanya dukungan dari orang - orang yang ikut membantu dalam proses pengerjaannya sampai selesai. Dengan segala ketulusan dan kerendahan hati, penulis menyampaikan maaf dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat dan karunia dalam memberikan kemudahan, kelancaran serta kesehatan selama pengerjaan Tugas Akhir.
2. Bapak Mustakim dan Ibu Nurul Faidah selaku orang tua penulis, serta seluruh keluarga yang telah memberikan doa, bantuan, dukungan, dan motivasi selama penulis menempuh perkuliahan hingga menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Bapak Djoko Kuswanto, S.T., M.Biotech selaku dosen pembimbing yang sudah mengajarkan, memberikan arahan, membimbing dan memberi dukungan serta masukan kepada penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini sampai selesai.
4. Bapak Bambang Iskandriawan, S.T., M.Eng., Bapak M.Y Samboro, S.T., M.Ds., dan Bapak Ari Dwi Krisbianto, S.T., M.Ds., selaku dosen penguji yang telah memberikan arahan dan masukan kepada penulis.
5. Edo Kesuma, yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan serangkaian proses pengerjaan Tugas akhir.
6. Seluruh teman-teman desain angkatan 2015 yang telah membantu, menemani dan memotivasi penulis selama perkuliahan hingga pengerjaan tugas akhir ini.
7. Olivia, Betty, Aina, Ferdi, Galih, Asril, Ella, Mira dan seluruh rekan rekan calon wisudawan 121 Desain Produk yang telah menjadi teman diskusi, teman makan, teman berdebat, dan tentunya menjadi teman seperjuangan di ruang TA dalam pengerjaan tugas akhir ini.
8. Teman-teman Departemen Sosial Masyarakat BEM FTSP ITS. Mas Zaldy, Mas Ijung, Mbak Nissa, Hanna, Dika, Emil, Ayu Risnu, Memel, Eny, Ananta, Rahel, Daniel William, Dini, dan Sherly untuk selalu mendukung, mendoakan, menemani, memberi semangat, serta menjadi tempat melarikan diri dan berbagi cerita selama berada di ITS.

9. Seluruh dosen pengajar, staff, dan karyawan di Departemen Desain Produk, Fakultas Desain Kreatif dan Bisnis Digital Surabaya yang telah memberikan ilmu dan bantuan kepada penulis selama masa perkuliahan.
10. Diri saya sendiri, yang masih mau perjuangan dan selalu berusaha mengesampingkan kata menyerah, yang selalu mau berjuang lagi dan lagi, serta yang selalu kuat hatinya walau berkali-kali patah.

Terimakasih atas segala bentuk bantuan, dukungan, dan doa yang sudah diberikan kepada penulis, semoga Allah SWT membalas kebaikan yang telah diberikan kepada penulis.

Dalam penyusunan laporan, penulis menyadari bahwa hasil laporan praktikum ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mohon maaf atas segala kekurangan tersebut. Terimakasih atas perhatiannya, semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat.

Surabaya, 3 Maret 2020

Penulis,

Rahma Kurnia Sari  
NRP. 08311540000131

## **PENGEMBANGAN DESAIN *LOWER LIMB EXSOSKELETON* SEBAGAI *HOME EXERCISE* PADA PENDERITA DISABILITAS PASCA STROK**

Nama : Rahma Kurnia Sari  
NRP : 08311540000131  
Departemen : Desain Produk  
Fakultas : Desain Kreatif dan Bisnis Digital  
Dosen Pembimbing : Djoko Kuswanto, S.T, M. Biotech

### **ABSTRAK**

Stroke adalah salah satu penyebab kematian tertinggi di Indonesia. Sekitar dua puluh satu persen masyarakat Indonesia meninggal dunia diakibatkan oleh serangan penyakit ini dan yang lainnya mengalami kecacatan yang ditimbulkan pada pasien pasca stroke. Beberapa usaha terapi dilakukan, salah satunya dengan terapi alternatif berbasis teknologi, yaitu penggunaan Eksoskeleton. Penelitian ini melanjutkan dan melengkapi penelitian terdahulu, yaitu dengan melakukan rancang bangun eksoskeleton untuk anggota gerak tubuh bagian bawah mulai pinggul hingga mata kaki. Hasil penelitian ini memiliki bentuk dan sistem yang efisien, menggunakan dua derajat kebebasan dalam sumbu sagital, memiliki variasi gerakan lebih banyak sesuai kebutuhan rehabilitasi, menyediakan levelling gerakan yang bisa menyesuaikan kondisi pasien, serta didukung adanya tombol remote sebagai kontroler. Eksoskeleton ini juga dilengkapi penyangga tubuh bagian belakang sehingga proses rehabilitasi dapat dilakukan secara kontinyu, yang diharapkan mengoptimalkan penyembuhan

**Kata Kunci : Efisien, Eksoskeleton, Lower-limb, Stroke, Rehabilitasi**

## **ABSTRACT**

Stroke is one of the highest causes of death in Indonesia. About twenty-one percent of Indonesian people die due to this disease and others experience disabilities caused by patients after stroke. Some therapeutic efforts are carried out, one of them is a technology-based alternative therapy, namely the use of exoskeleton. This research continues and complements previous research, namely by designing exoskeleton for lower limbs from hips to ankles. The results of this study have an efficient form and system, use two degrees of freedom in the sagittal axis, have more variety of movements according to rehabilitation needs, provide leveling movements that can adjust the patient's condition, and are supported by the existence of a remote button as a controller. The exoskeleton is also equipped with back support so that the rehabilitation process can be carried out continuously, which is expected to optimize healing.

**Keywords : Efficient, Exoskeleton, Lower-limb, Strokes, Rehabilitation**



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
LEMBAR PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT ...	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
KATA PENGANTAR .....	xi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	xiii
ABSTRAK .....	xv
ABSTRACT.....	xvi
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR .....	xxi
DAFTAR TABEL.....	xxiv
BAB I.....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	5
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Tujuan .....	6
1.5 Manfaat .....	6
BAB II.....	7
TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Strok .....	7
2.2 Rehabilitasi.....	8
2.3 Antropometri .....	10
2.4 Eksoskeleton .....	12
2.5 Nilai Motorik Pasien Pasca Strok .....	14

2.6	Regulasi alat kesehatan.....	15
2.7	Tijauan Aspek Teknis.....	15
2.7.1	Sistem penggerak (aktuator).....	16
2.7.2	Sistem Pengontrol.....	17
2.7.3	Material.....	18
BAB III.....		19
METODOLOGI .....		19
3.1	Judul Perancangan .....	19
3.2	Subjek dan Objek .....	19
3.3	Skema Penelitian .....	19
3.4	Metode Desain yang Digunakan .....	20
3.4.1	Studi Literatur.....	20
3.4.2	Wawancara .....	20
3.4.3	Observasi .....	21
3.4.4	Persona .....	22
3.4.5	Afinity Diagram.....	22
BAB IV.....		25
STUDI DAN ANALISIS .....		25
4.1	Studi Produk Sebelumnya .....	25
4.1.1	Sistem Mekanik .....	25
4.1.2	Aktuator .....	26
4.1.3	Adjustable.....	26
4.1.4	Back Support .....	27
4.1.5	Alas Kaki .....	27
4.1.6	Material.....	27

4.1.7 Kekuatan Rangka Eksoskeleton.....	28
4.2 Studi dan analisis Aktifitas .....	29
4.3 Studi dan Analisis Gerak.....	33
4.4 Studi Antropometri .....	37
4.5 Studi dan Analisis Tata Letak .....	41
4.6 Analisis Material .....	42
4.7 Studi Sistem Gerak/ Mekanisme.....	43
4.7.1 Gear Penggerak .....	43
4.7.2 Servomotor.....	44
4.7.3 Microcontroller .....	44
4.7.4 Baterai .....	45
4.7.5 Tombol/ <i>Button</i> .....	46
4.8 Benchmark .....	47
4.9 Analisis Kebutuhan .....	48
4.9.1 Eksplorasi Bentuk ( <i>Shape</i> ).....	48
4.9.2 Variasi gerakan.....	48
4.9.3 Adjustable .....	49
4.10 Proses Produksi .....	49
4.11 Positioning Produk.....	50
4.12 Persona .....	51
4.13 <i>Square Board</i> .....	53
4.14 Analisis Desain .....	54
4.14.1 Mood Board .....	54
4.14.2 Bentuk .....	55
4.14.3 Warna .....	55

4.15 Wiring Diagram.....	57
4.16 Analisis Jalur Belt.....	57
4.17 <i>Controller Button</i> .....	59
4.18 <i>Levelling</i> Gerakan Eksoskeleton .....	59
4.17 Desain Awal .....	62
BAB V .....	64
KONSEP DESAIN .....	64
5.1 Implementasi Konsep Desain .....	64
5.2 Sketsa Alternatif .....	65
5.3 Alternatif Desain.....	69
5.3.2 Alternatif Desain 1.....	69
5.3.3 Alternatif Desain 2.....	70
5.4 Desain Final .....	70
5.5 Uji Coba Penggunaan Alat .....	73
BAB VI.....	76
KESIMPULAN DAN SARAN .....	76
6.1 Kesimpulan.....	76
6.2 Saran .....	76
DAFTAR PUSTAKA.....	78
LAMPIRAN .....	80
BIODATA PENULIS .....	112

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Strok Iskemik dan Strok Hemoragik.....	1
Gambar 1. 2 Detail Bentuk XO Lower Limb.....	3
Gambar 1. 3 Gerak Berjalan dengan walker dan Posisi <i>Stand Phase</i> pada XO Lower Limb.....	4
Gambar 2. 1 Gerak berjalan pasca strok .....	7
Gambar 2. 2 Bagian otak dan pengaruhnya terhadap strok .....	8
Gambar 2. 3 Tahapan Rehabilitasi Pasca Strok .....	10
Gambar 2. 4 Antropometri Manusia .....	11
Gambar 2. 5 XO Lower Limb Eksoskeleton.....	13
Gambar 2. 6 Komponen Servomotor .....	16
Gambar 2. 7 Motor Stepper.....	17
Gambar 2. 8 Sistem Pengontrol Berupa <i>Button</i> .....	17
Gambar 2. 9 Alumunium.....	18
Gambar 2. 10 Filamen.....	18
Gambar 3. 1 Skema Penelitian .....	20
Gambar 3. 2 Afinity Diagram .....	23
Gambar 4. 1 XO Lower Limb Eksoskeleton.....	25
Gambar 4. 2 Titik Kritis .....	38
Gambar 4. 3 Dimensi minimal dan maksimal eksoskeleton .....	40
Gambar 4. 4 Alternatif tata letak komponen eksoskeleton .....	41
Gambar 4. 5 Kain Scuba/ Neoprene.....	43
Gambar 4. 6 Dynamixel MX-106 .....	44
Gambar 4. 7 Mikrokontroler berjenis OpenCM 9.04.....	44
Gambar 4. 8 Baterai Li-Po .....	45
Gambar 4. 9 Benchmark .....	47
Gambar 4. 10 Permasalahan dan Kebutuhan .....	48

Gambar 4. 11 Kata Kunci dan Konsep Desain.....	49
Gambar 4. 12 Persona.....	51
Gambar 4. 13 Square Board .....	53
Gambar 4. 14 Mood Board.....	54
Gambar 4. 15 Image board sebagai acuan desain bentuk produk eksoskeleton....	55
Gambar 4. 16 Skema warna dan pembagian warna hangat dan warna dingin .....	56
Gambar 4. 17 Image board sebagai acuan penentuan warna produk .....	57
Gambar 4. 18 Sudut maksimum pada gerakan level 1 .....	60
Gambar 4. 19 Sudut maksimum pada gerakan level 2 .....	61
Gambar 4. 20 Sudut maksimum pada gerakan level 3 .....	61
Gambar 4. 21 Alternatif Desain 1.....	62
Gambar 4. 22 Alternatif Desain 2.....	63
Gambar 5. 1 Sketsa alternatif 1 .....	65
Gambar 5. 2 Sketsa alternatif 2 .....	66
Gambar 5. 3 Sketsa alternatif 3 .....	67
Gambar 5. 4 Sketsa alternatif 5 .....	68
Gambar 5. 5 Desain Alternatif 1.....	69
Gambar 5. 6 Desain alternatif 2.....	70
Gambar 5. 7 Desain Terpilih .....	71
Gambar 5. 8 Gambar Operasional .....	71
Lampiran 1 Produk Final.....	80
Lampiran 2. Sistem <i>belt/</i> sabuk .....	82
Lampiran 3. Tombol <i>On/Off</i> dan Konektor penghubung remote .....	84
Lampiran 4. Remote 4 tombol dengan masing-masing fungsi yang berbeda .....	86
Lampiran 5. Lembar Asistensi 1 .....	88
Lampiran 6. Lembar Asistensi 2 .....	90
Lampiran 7. Lembar Asistensi 3 .....	92
Lampiran 8. Lembar Asistensi 4 .....	94

Lampiran 9. Lembar Asistensi 5 .....	96
Lampiran 10. Gambar Tampak .....	98
Lampiran 11. Gambar Ledak .....	100
Lampiran 12. Gambar Tampak, Potongan, dan Isometri (Punggung) .....	102
Lampiran 13. Gambar Tampak, Potongan, dan Isometri (Pinggang) .....	104
Lampiran 14. Gambar Tampak, Potongan, dan Isometri (Rangka Paha) .....	106
Lampiran 15. Gambar Tampak, Potongan, dan Isometri (Rangka Betis).....	108
Lampiran 16. Gambar Tampak dan Isometri Case Mata Kaki .....	110

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.3 Skala Tingkat Kekuatan Otot .....	14
Tabel 2 Benchmark.....	47
Tabel 4. 1 Gaya berjalan pasien pasca strok dan orang normal .....	33
Tabel 4. 2 <i>Gait Cycle</i> .....	34
Tabel 4. 3 Dimensi Tubuh Menurut Henry Dreyfus dan Antropometri Indonesia .	37
Tabel 4. 4 Psikografis .....	51

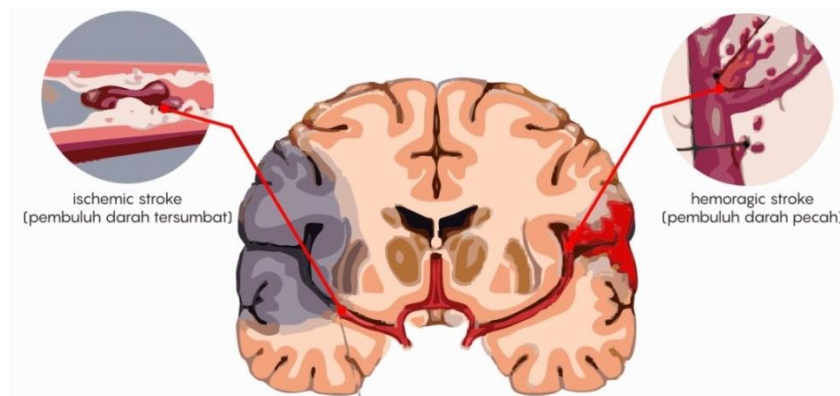


# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Berdasarkan data dari World Health Organization (WHO), strok merupakan penyebab kematian paling tinggi kedua di seluruh dunia pada tahun 2011, yaitu sebanyak 6,2 juta kematian (WHO, 2013). Strok merupakan penyakit pada otak berupa gangguan fungsi syaraf lokal dan/atau global yang munculnya mendadak, progresif, dan cepat. Strok juga merupakan penyakit dengan resiko kecacatan fisik pada penderitanya berupa bicara tidak lancar, bicara tidak jelas, kelumpuhan wajah, kesulitan berjalan dan kehilangan keseimbangan.



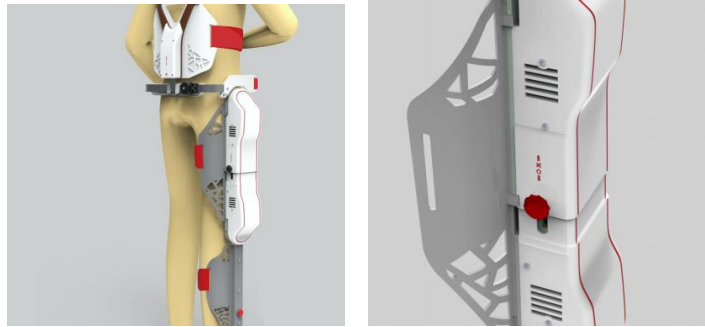
**Gambar 1. 1** Strok Iskemik dan Strok Hemoragik  
(sumber : UCLA Interventional Neuroradiology dalam  
<http://radiology.ucla.edu/acute-strok>)

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

Seiring dengan kemajuan teknologi, jumlah kematian akibat strok dapat ditekan, namun masih meninggalkan kecacatan. Salah satu kecacatan yang ditimbulkan ialah ketidak mampuan dalam berjalan atau berpindah tempat. Rehabilitasi yang teratur dan berkelanjutan sangat penting dilakukan untuk mengembalikan dan memperbaiki fungsi berjalan yang hilang akibat strok.

Rehabilitasi sendiri merupakan suatu upaya untuk mengembalikan kondisi pasien dalam keadaan semula atau ke kondisi yang lebih baik daripada kondisi sakit. Pasien yang telah melewati masa strok dianjurkan dan disegerakan melakukan rehabilitasi. Jenis dan lamanya proses pemulihan bergantung pada tingkat keparahan dan dari dampak strok itu sendiri. Sehingga setiap individu yang melakukan rehabilitasi memiliki jangka waktu penyembuhan yang berbeda-beda. Intensitas dalam melakukan rehabilitasi juga sangat mempengaruhi kecepatan dalam pemulihan kondisi pasien. Namun, fakta yang terjadi di lapangan menjelaskan bahwa terapi yang dilakukan oleh pasien pasca strok kurang optimal yang mana hal ini disebabkan karena keterbatasan waktu oleh pasien dan tenaga medis, serta adanya keterbatasan alat di Indonesia yang mengharuskan pasien harus bergilir dalam melakukan terapi. Padahal, dengan dilakukannya rehabilitasi yang benar dan intens, diharapkan penderita pasca strok dapat secara lebih cepat mendapatkan kembali sistem saraf tubuh yang hilang agar mereka dapat mandiri kembali dan tidak selalu bergantung pada orang lain.

Beberapa alat bantu rehabilitasi telah dikembangkan di dunia, tak terkecuali di Indonesia, salah satunya berupa eksoskeleton. Eksoskeleton sendiri telah dikembangkan sebagai alat bantu berjalan yang berfungsi mengembalikan fungsi berjalan pada pasien pasca strok yang mana alat tersebut dapat membantu menggantikan fungsi terapis untuk melakukan terapi berjalan, sehingga terapi berjalan dapat dilakukan secara kontinu. Namun, dari beberapa penelitian yang telah dilakukan, masih terdapat kendala pada eksoskeleton yang masih bisa diperbaiki dan dikembangkan baik dalam segi fungsional maupun dari bentuk eksoskeleton itu sendiri. Beberapa kendala yang didapati dari hasil penelitian sebelumnya antara lain bentuk dari eksoskeleton yang cenderung mengotak sehingga terkesan kaku dan tajam, adjustable pada beberapa bagian yang masih perlu diperbaiki, serta gerakan dari eksoskeleton yang kurang variatif sehingga pemanfaatannya kurang maksimal. Selain itu, beberapa pengembangan bisa dilakukan terhadap produk eksoskeleton, yaitu mengenai sistem mekanik didalamnya.



**Gambar 1. 2** Detail Bentuk XO Lower Limb  
(Sumber: Wicaksono Arif, 2018)

XO Lower Limb yang telah dibuat pada penelitian sebelumnya dijadikan dasar dari pengembangan produk yang akan dirancang dengan beberapa pertimbangan. XO Lower Limb merupakan produk pertama yang sudah diteliti dan dibuat di Indonesia sehingga pengembangan dari produk ini sangat perlu dilakukan. Selain itu, produk ini memiliki harga yang bersaing di antara kompetitornya, praktis, dan memiliki sistem *adjustable* yang masih bisa dikembangkan. Beberapa pengembangan yang mungkin dilakukan adalah adanya pengembangan dan eksplorasi dalam hal desain, sistem dan variasi gerak, serta perbaikan terhadap sistem *adjustable* yang telah diterapkan sebelumnya.

*Case* dari produk eksoskeleton harus dirancang seramping dan seringan mungkin. Berdasarkan keterangan yang diperoleh dari RS Dr. Soetomo Surabaya, eksoskeleton penting dirancang dengan beban seringan mungkin sehingga dapat meringankan kerja servo pada alat. Pada produk-produk alat kesehatan yang dikembangkan sebelumnya, bentuk yang dihasilkan cenderung memiliki kesan tajam dan mengotak sehingga produk jadi kehilangan kesan humanis yang mana dapat menimbulkan ketidakpercayaan diri pada pasiennya. *Case* juga perlu didesain menarik sehingga penderita strok mendapatkan rasa percaya diri ketika menggunakan produk eksoskeleton tersebut.



**Gambar 1. 3** Gerak Berjalan dengan walker dan Posisi *Stand Phase* pada XO Lower Limb

(Sumber : Wicaksono Arif, 2018)

Dari segi variasi gerakan yang dihasilkan, exoskeleton diharapkan mampu mencakup sebagian besar kebutuhan sehingga pemanfaatan akan produk exoskeleton dapat dilakukan semaksimal mungkin. Pada produk XO Lower Limb yang telah dirancang pada penelitian sebelumnya, gerakan yang ada hanya gerak berjalan sehingga timbul beberapa masalah baru terkait pemasangan alat yang susah jika harus dilakukan dengan posisi berdiri, tidak adanya gerakan yang menunjang pasien dalam berpindah dari posisi duduk ke posisi berdiri dan sebaliknya, serta kemampuannya terbatas pada gerak berjalan yang membuat tidak ada gerak latihan sederhana yang menunjang kebutuhan pasien.

Sementara itu, kebutuhan pasien akan exoskeleton tidak hanya pada gerakan berjalan, tetapi juga gerakan penunjang berpindah posisi, serta gerak terapi ringan sehingga membantu pasien untuk berlatih kekuatan otot ringan (latihan ringan) pada kakinya yang mana dilakukan terapis sebelum latihan berjalan dilakukan. Hal ini selain sebagai pemanasan juga akan menambah nilai jual pada produk, sehingga diharapkan exoskeleton yang akan dirancang perlu dilengkapi dengan gerakan-gerakan yang dibutuhkan tersebut.

Selain itu, adjustable juga perlu diperhatikan demi kenyamanan pasien pada saat menggunakan exoskeleton. Adjustable penting diterapkan dalam produk eksoskeleton karena beberapa faktor, yaitu adanya kemungkinan penggunaan ekso secara umum atau bergilir, kemungkinan penyusutan atau penambahan ukuran

tubuh, serta memudahkan proses produksi. Beberapa produk telah menerapkan sistem adjustable namun pada ketebalan kaki, adjustable hanya diletakkan pada material kain yang mana tidak didukung adjustable pada material filamen sehingga pada kondisi ekstrim, pasien akan kurang nyaman dengan posisi adjustable dengan material filamen yang terlalu besar atau terlalu kecil.

## **1.2 Rumusan Masalah**

### **a. Bentuk eksoskeleton yang mengotak dan terkesan kaku.**

Produk eksoskeleton yang sudah ada memiliki bentuk case yang masih cenderung mengotak sehingga terlihat kaku dan kurang *humanis*, sedangkan perlakuan medis pasca stroke harus dilakukan dengan rileks sehingga perlu adanya pengembangan desain yang membuat bentuk eksoskeleton nampak lebih baik dan *humanis*.

### **b. Belum ada mekanisme gerak per sendi pada eksoskeleton.**

Selain terapi berjalan, pasien pasca stroke masih memerlukan terapi lain berupa gerakan berpindah dari posisi duduk ke berdiri dan dari posisi berdiri ke posisi duduk, serta adanya gerakan terapi kecil lain. Sehingga perlu ditambahkan gerakan tambahan pada eksoskeleton.

### **c. Sistem *adjustable* kurang sesuai dengan dimensi tubuh pengguna.**

Penerapan adjustable belum dapat digunakan oleh orang berusia 35 keatas dengan dimensi kecil. Adjustable yang tepat seharusnya dapat mencakup dimensi manusia usia 35 keatas dengan tinggi pinggul 710mm hingga 966mm atau 5 persentil -95 persentil. Sistem adjustable pada produk eksisting yang diterapkan pada bagian ketebalan pada kaki pada produk sebelumnya juga belum maksimal, serta tidak adanya pengaturan ukuran telapak kaki pada eksoskeleton.

## **1.3 Batasan Masalah**

- a. Eksoskeleton hanya untuk penyanggah disabilitas pasca stroke (hemiplegia/monoplegia) pada ekstremitas bawah (satu sisi) mulai pinggul hingga mata kaki.
- b. Eksoskeleton hanya untuk pasien hemiplegia dalam fase pemulihan subakut dan kronis dengan nilai motorik minimal 2.

- c. Sistem dan mekanisme yang digunakan berdasarkan produk yang sudah ada sebelumnya.
- d. Menggunakan proses rapid prototyping/ 3D print.
- e. Menggunakan 2 buah servo yang diletakkan pada tungkai paha dan lutut.
- f. Gerakan exoskeleton berada pada sumbu tubuh sagital.
- g. Penggunaan alat dilakukan di rumah dengan kontroling berkala oleh tim medis.

#### **1.4 Tujuan**

- 1. Merancang exoskeleton dengan desain yang sesuai kebutuhan.
- 2. Merancang exoskeleton yang dilengkapi gerak latihan sederhana.
- 3. Merancang exoskeleton yang dilengkapi dengan sistem adjustable sehingga memudahkan pasien dalam menyesuaikan ukuran.

#### **1.5 Manfaat**

Bagi pengguna exoskeleton :

- 1. Sebagai sarana meningkatkan kualitas hidup penderita.
- 2. Memperkecil kemungkinan adanya komplikasi yang akan ditimbulkan.
- 3. Sebagai sarana melatih gerak berjalan dan gerak anggota tubuh bagian bawah yang lemah karena stroke.
- 4. Sebagai sarana pengganti kehadiran terapis sehingga terapi tetap bisa dilakukan secara rutin, intens, dan berkala.

Bagi rumah sakit :

- 1. Sebagai alternatif tambahan produk alat kesehatan (alat rehabilitasi) yang menunjang proses rehabilitasi pasien.
- 2. Sebagai Exoskeleton acuan yang dapat digunakan untuk penderita disabilitas gerak kaki akibat stroke kedepannya.

Bagi desainer :

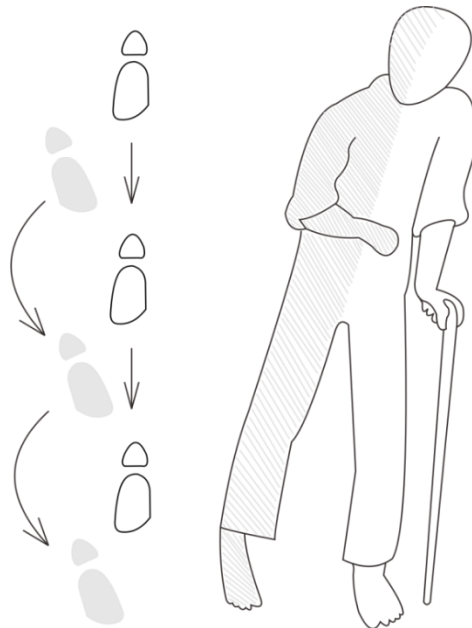
- 1. Sebagai wadah eksplorasi dalam hal penerapan serta pengembangan ilmu pengetahuan dan desain.
- 2. Sebagai acuan dan referensi dalam pengembangan desain exoskeleton selanjutnya.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Strok

Pengertian Strok menurut World Health Organization ialah gangguan fungsi pada otak yang terjadi secara spontan dan mendadak dimana merupakan suatu kondisi terhentinya aliran darah yang mensuplai otak secara tiba-tiba, baik karena adanya sumbatan maupun pecahnya pembuluh darah di otak. Kondisi ini menyebabkan jaringan otak yang tidak terkena aliran darah kekurangan oksigen dan nutrisi sehingga otak menjadi rusak.

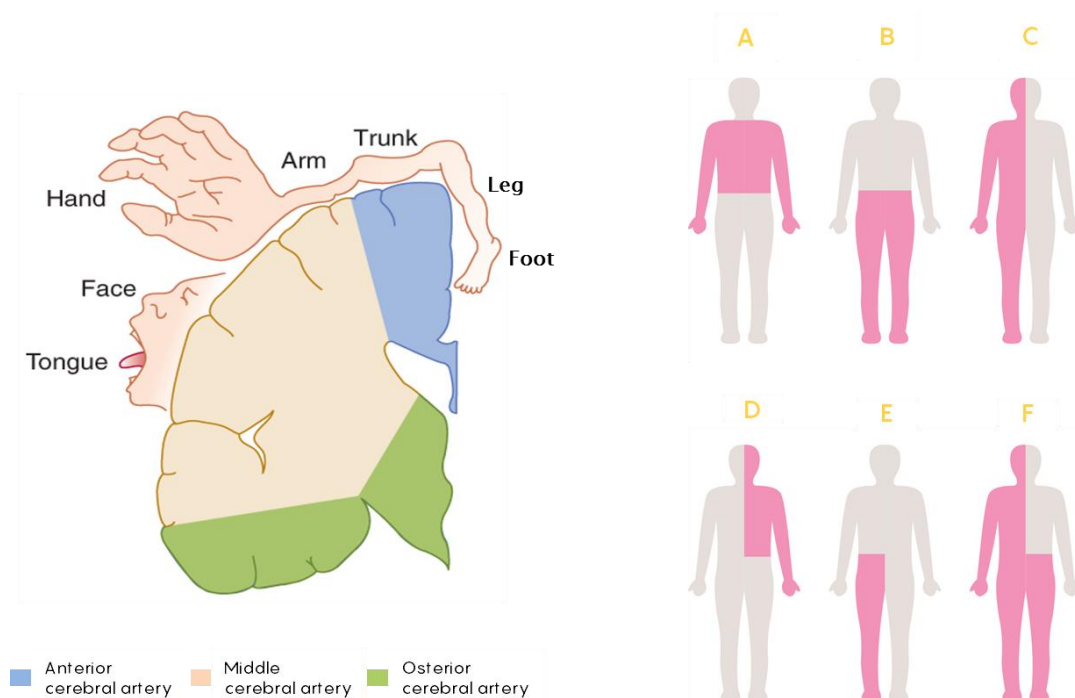
Strok ialah kerusakan jaringan otak yang disebabkan kurangnya atau berhentinya suplai darah di otak secara tiba-tiba (Depkes RI, 1996). Strok juga bisa diartikan sebagai gejala-gejala defisit fungsi susunan saraf yang diakibatkan penyakit pembuluh darah otak dan bukan oleh lainnya. (M. Adib, 2009).



**Gambar 2. 1** Gerak berjalan pasca strok  
(Sumber : Wicaksono I dalam Dr Indrajeet, 2018)

Pasien pasca strok memiliki karakter postur berjalan yang umumnya tidak bisa menyokong dan menyeimbangkan salah satu sisi, mereka tidak memiliki akurasi yang baik dan juga gerakan yang cukup untuk mengayun dan menghentak kaki (C.Beyaert., R.Vasa, 2015).

Jenis dan tingkat gangguan yang terjadi setelah stroke bergantung pada area otak yang terserang. Umumnya, stroke dapat menyebabkan lima jenis gangguan yaitu kelumpuhan dan masalah mengendalikan gerakan, 8 gangguan sensorik termasuk nyeri, masalah penggunaan bahasa, masalah dengan verbal dan ingatan, gangguan emosional. Gangguan fungsi akibat stroke dapat dilihat dalam ilustrasi berikut dimana gangguan fungsi tiap pasien berbeda-beda.



**Gambar 2.2** Bagian otak dan pengaruhnya terhadap stroke  
(sumber : diolah berdasarkan keterangan dari RSUD Dr. Soetomo)

## 2.2 Rehabilitasi

Rehabilitasi sangat penting dilakukan bagi penderita pasca stroke, hal ini sangat berkaitan dengan peningkatan mutu harapan hidup serta mengembalikan jaringan-jaringan anggota gerak yang mengalami lemah otot pasca serangan stroke. Rehabilitasi sendiri merupakan sebuah proses perawatan restoratif untuk memaksimalkan proses pemulihan dan meminimalisir resiko *impairment* maupun disabilitas yang diakibatkan oleh stroke.



Jika dilihat berdasarkan tujuan dan intervensi, rehabilitasi pasca stroke dibedakan menjadi tiga fase, yaitu fase akut, fase subakut, dan fase kronis (Wirawan, 2009).

1. Rehabilitasi fase akut

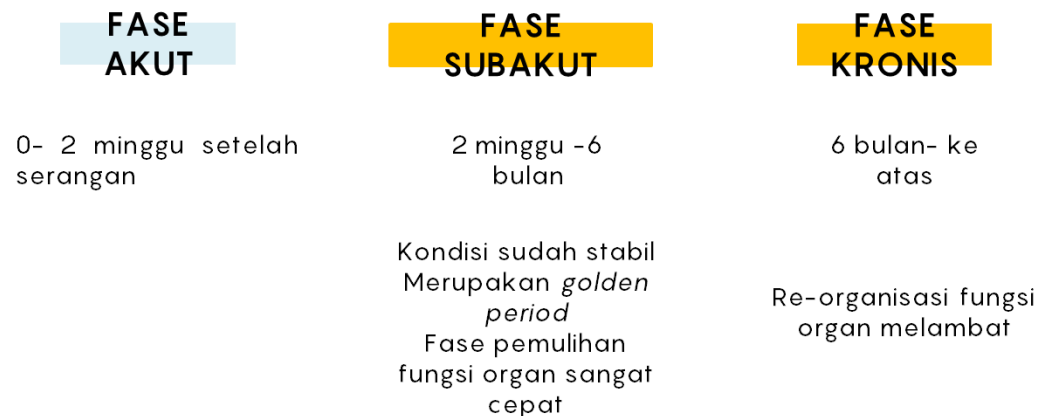
Tahap rehabilitasi ini dimulai 24-72 jam sesudah serangan atau dimulai sedini mungkin dan biasanya latihan aktif dimulai sesudah kondisi pasien stabil kecuali pasien stroke hemoragik yang membutuhkan waktu 2-3 minggu.

2. Rehabilitasi fase subakut

Antara 2 minggu sampai 6 bulan pasca stroke. Pada fase ini, pasien sudah memiliki kesadaran yang baik dan stabil dan diperbolehkan untuk pulang kerumah kecuali pasien yang membutuhkan rehabilitasi lebih intensif misal pasien pasca stroke pendarahan. Namun 80% pasien pulang dengan gejala sisa yang bervariasi beratnya dan sangat membutuhkan intervensi yang optimal oleh karena itu pada fase subakut ini pasien seyogianya mulai kembali untuk belajar melakukan aktivitas dasar merawat diri dan berjalan. Fase ini merupakan *gold period* yang mana reorganisasi otak terbentuk dengan cepat sehingga fokus medis dalam hal terapi banyak memanfaatkan fase ini untuk mengembalikan fungsi gerak pasien seperti semula.

3. Rehabilitasi fase kronis

Dilakukan setelah 6 bulan pasca serangan stroke. Tahap ini tidak banyak berbeda dengan tahap fase subakut, hanya saja dalam fase ini sirkuit-sirkuit gerak/aktivitas sudah terbentuk, membuat pembentukan sirkuit baru menjadi sulit dan lambat. Latihan tetap dapat berkembang bila berfokus pada sirkuit yang sudah terbentuk sebelumnya sehingga membuat gerakan semakin baik dan semakin efisien.



**Gambar 2. 3** Tahapan Rehabilitasi Pasca Strok

(Sumber : wirawan, 2009)

Sedangkan menurut Bastian (2011), berdasarkan tujuan yang ingin dicapai, rehabilitasi pasca strok dapat digolongkan menjadi dua fase yaitu fase awal dan fase sekunder. Fase awal ialah rehabilitasi dengan tujuan mencegah komplikasi dan melindungi fungsi anggota tubuh yang tersisa. Sedangkan fase lanjutan ialah rehabilitasi yang digunakan untuk mencapai kemandirian fungsional dalam mobilisasi dan ADL (*Activity of Daily Living*). Pada fase lanjutan ini, proses rehabilitasi akan melibatkan beberapa jenis terapi yaitu fisioterapi, okupasi terapi, terapi wicara, ortotik prostetik, dan psikologi.

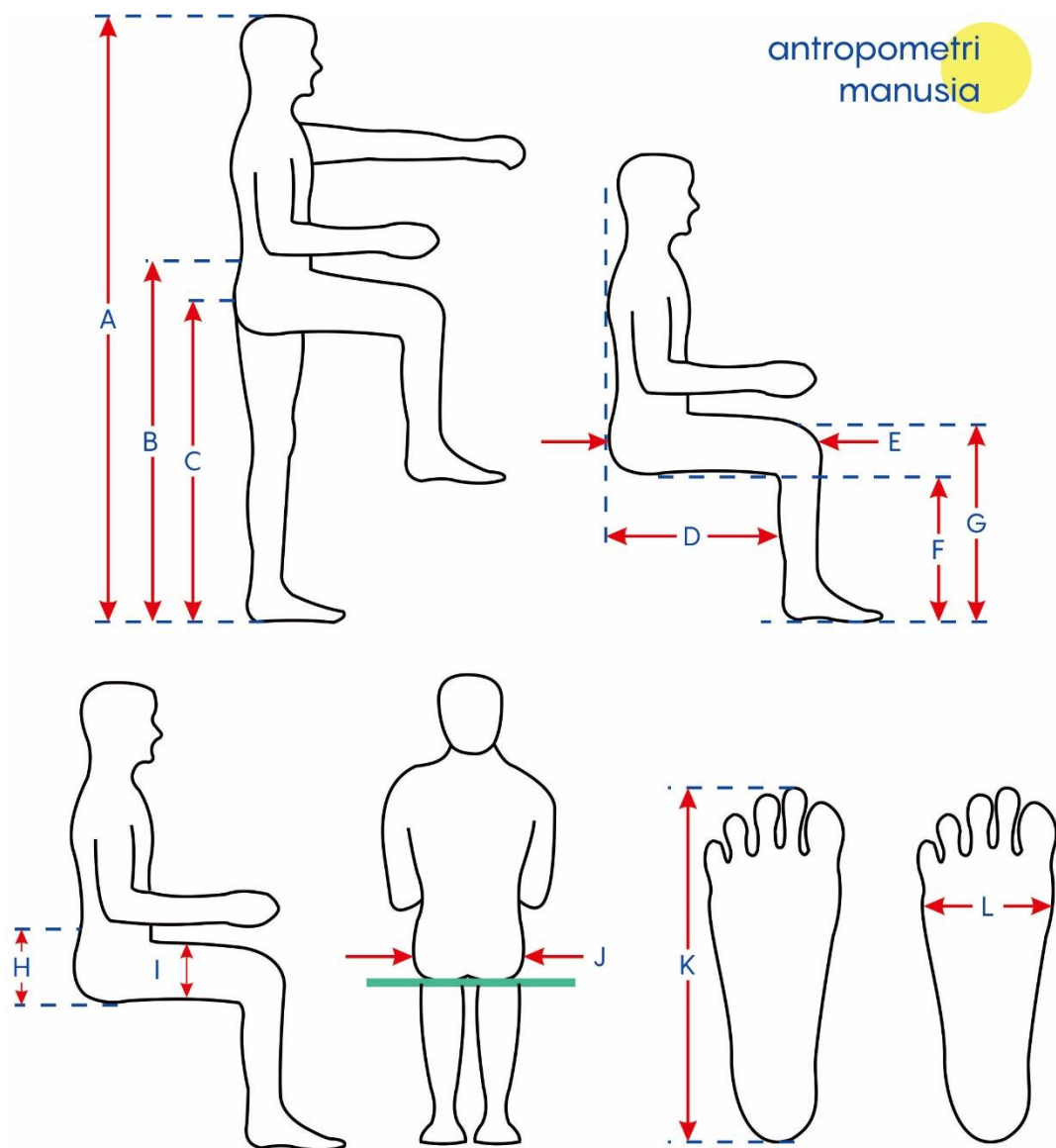
Alat bantu rehabilitasi pasca strok yang sering digunakan di Indonesia sangat terbatas pada peralatan tradisional. Alat bantu modern hanya ada pada rumah sakit besar sehingga proses pemulihan pasien berjalan cukup lama. Salah satu alat yang digunakan dalam proses terapi pasca strok yaitu *treadmill exoskeleton* dimana alat tersebut membantu latihan terapi berjalan pasien yang sifatnya statis dan berukuran besar sehingga hanya ditemui dirumah sakit besar.

### 2.3 Antropometri

Antropometri adalah ilmu yang secara khusus mempelajari tentang pengukuran dimensi tubuh manusia guna merumuskan perbedaan-perbedaan ukuran pada tiap individu ataupun kelompok (Julius Panero, Dimensi Manusia dan Ruang Interior). Pada perancangan alat bantu rehabilitasi pasca strok ini, data antropometri diperlukan sebagai penunjang dalam proses merancang alat agar

tercipta produk yang memenuhi ergonomi sesuai dimensi tubuh manusia. Data antropometri yang dibutuhkan ialah seputar data antropometri tubuh bagian bawah yaitu dimulai dari panggul hingga mata kaki.

Berikut disertakan data berupa tabel pengukuran antropometri orang Indonesia yang dapat menjadi acuan dalam perancangan alat bantu rehabilitasi anggota gerak bawah berdasarkan antropometriindonesia.org.



**Gambar 2. 4** Antropometri Manusia

(Sumber : antropometriindonesia.org)

**Tabel 2.1** Antropometri Orang Indonesia

<b>Dimensi</b>	<b>Keterangan</b>	<b>5%</b>	<b>50%</b>	<b>95%</b>
A	Tinggi tubuh	116.68	152.06	187.45
B	Tinggi pinggul	71.06	83.84	96.63
C	Tinggi tulang ruas	68.57	72.94	77.31
H	Tinggi siku dalam posisi duduk	29.4	33.99	38.58
I	Tebal paha	17.56	19.84	22.12
E	Panjang lutut	52.14	52.35	61.45
D	Panjang popliteal	32.18	35.9	39.62
G	Tinggi lutut	51.46	56.83	62.2
F	Tinggi popliteal	42.36	46.47	50.58
J	Lebar pinggul	36.02	39.45	42.88
K	Panjang kaki	22.26	25.81	28.36
L	Lebar kaki	8.94	9.86	10.77

## 2.4 Eksoskeleton

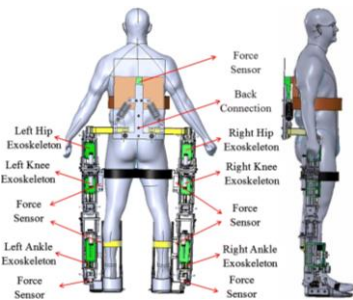

Alat rehabilitasi dengan bantuan robot atau yang bisa disebut eksoskeleton ialah sistem robotik mekanis yang dapat dipasang di luar tubuh, serta mempunyai sistem sendi dan sambungan yang sesuai dengan tubuh manusia (Jacob Rosen dan Joel C. Perry, 2007). Eksoskeleton merupakan suatu alat yang sangat berpotensi digunakan untuk rehabilitasi terapi fisik, yang mana pelatihannya dapat mengembalikan kemampuan fungsi gerak yang hilang (Wicaksono dalam Sai K. Bunala, Seok Hun Kim, dkk., 2009).

Dalam dunia medis dan kesehatan, ada 2 jenis eksoskeleton yaitu *treadmill exoskeleton* dan *mobile exoskeleton*. *Treadmill exoskeleton* merupakan eksoskeleton untuk rehabilitasi gerak berjalan yang memiliki ukuran besar dan hanya bergerak statis diatas *treadmill* sehingga membutuhkan ruangan khusus dan pasien tidak dapat berpindah tempat, sedangkan *mobile exoskeleton* merupakan

eksoskeleton yang mana memiliki mekanik penggerak di bagian kaki dan memiliki penyangga badan dan bergerak secara bebas (Wicaksono Arif dalam Guo Zhao, 2014).

Berdasarkan penelitian sebelumnya, powered eksoskeleton telah beberapa kali dibuat. Diantaranya juga telah menerapkan sistem adjustable dan rekayasa bentuk case sehingga exsoskeleton bisa lebih ringan.

**Tabel 2.2** Tinjauan Desain Eksoskeleton Tungkai Bawah

No	Gambar	Keterangan	Yang diacu
1	 <p>Biomimetic Compliant Lower Limb Eksoskeleton (BioComEx) Sumber : Ozgur Bazer, dkk., 2016</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dapat menyangga tulang belakang</li> <li>- Melatih gerak kaki mulai dari pinggul, lutut dan pergelangan kaki</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Adanya fungsi melatih gerak kaki pada sendi (penerapan aktuator pada 2 sendi kaki)</li> <li>- Adanya Back Suport</li> </ul>
2	 <p><b>Gambar 2.5</b> XO Lower Limb Eksoskeleton (wicaksono, 2018)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menggunakan 4 DoF</li> <li>- Menggunakan button sebagai kontroler</li> <li>- Menerapkan 2 aktuator yaitu pada tungkai paha dan lutut</li> <li>- Menggunakan material alumunium dan plastik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistem mekanik</li> <li>- Penggunaan button sebagai kontroler</li> <li>- Penggunaan material</li> </ul>

## 2.5 Nilai Motorik Pasien Pasca Strok

Untuk menentukan target user, diperlukan penilaian terhadap motorik pasien, dimana penilaian tersebut dilakukan berdasarkan pemeriksaan *Manual Muscle Testing (MMT)* oleh tim medis. Tujuan dari MMT yaitu untuk mengetahui pada tingkatan mana pasien strok tersebut berada sehingga dapat ditentukan jenis penanganan selanjutnya. Serangkaian pemeriksaan MMT dilakukan dengan mengamati pergerakan tubuh pada bagian yang terdampak strok. Berikut ialah tingkatan strok berdasarkan hasil pemeriksaan dari *Manual Muscle Testing (MMT)* yang bersumber dari med.unhas.ac.id :

**Tabel 1.3** Skala Tingkat Kekuatan Otot

Nilai	Skala	Fungsi	Keterangan
5	100%	Normal	Normal, kekuatan penuh/ROM aktif secara penuh,mampu menahan gravitasi dan tahanan
4	75%	Baik	ROM penuh, mampu menahan gravitasi tetapi lemah bila diberi tahanan
3	50%	Cukup	ROM penuh, otot secara aktif hanya mampu melawan gravitasi tanpa tahanan
2	25%	Kurang	Otot mampu melawan gravitasi tapi dengan bantuan / tidak dapat melakukan gaya tarik bumi
1	10%	Buruk	Kontraksi otot sedikit terlihat dan terpalpasi
0	0%	Sangat Buruk	Tidak terjadi kontraksi otot dalam usaha untuk mengadakan gerakan

## **2.6 Regulasi alat kesehatan**

Berdasarkan wawancara yang dilakukan pada dokter spesialis rehab medik RSUD Dr. Soetomo Surabaya, didapatkan poin-poin penting yang menjadi prasyarat dalam pembuatan produk exsoskeleton untuk mencapai kondisi fungsional yang optimal pada pasien, yaitu :

- a. Berat dari exsoskeleton dibuat seingan mungkin sehingga tidak menyulitkan pasien pada saat bergerak, serta meringankan kerja motor dalam menggerakkan exsoskeleton.
- b. Dapat mengangkat beban tubuh pasien yang dikisarkan sebesar 50-80kg.
- c. Dilengkapi dengan safety yang membantu menjaga tubuh pasien (berupa adanya fabric atau pelapis yang melindungi kulit dari bersentuhan langsung dengan alat, adaya back support dan walker).
- d. Set up exsoskeleton disesuaikan gait cycle masing-masing pasien sehingga gerakan yang dihasilkan bersifat custom.
- e. Dapat melakukan penggantian part dengan mudah (kemudahan dalam perawatan).
- f. Dilengkapi dengan sistem adjustable (kemudahan dalam menyesuaikan ukuran).

Beberapa ketentuan lain yang harus diperhatikan yaitu adanya pengukuran terhadap nilai motorik pasien (MMT) dan melakukan latihan penggunaan alat oleh tim medis sebelum memberikan exsoskeleton kepada pasien. Untuk produk exsoskeleton, nilai motorik minimal yaitu 2, dimana pasien sudah dapat menggerakkan bagian tubuhnya yang lemah, namun belum mampu bergerak melawan gravitasi.

## **2.7 Tinjauan Aspek Teknis**

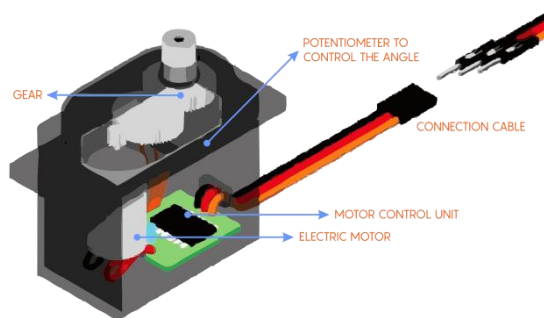
Tinjauan aspek teknis diperlukan sebagai acuan mengenai berbagai macam sistem dan perangkat pendukung dalam mengembangkan rancangan eksoskeleton pada gerak kaki yang harus disesuaikan dengan konsep dan kebutuhan objek rancangan

### 2.7.1 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 otomatisasi berjenis **motor DC**

#### a. Servomotor

Servomotor merupakan 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*. Motor yang terdiri dari motor DC, serangkaian *gear*, potensiometer, dan rangkaian kontrol.

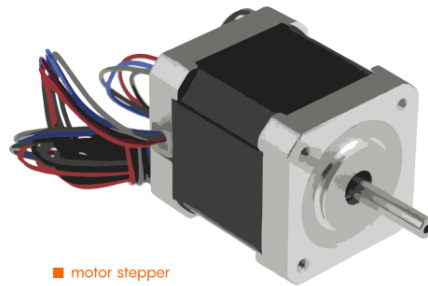


**Gambar 2. 6** Komponen Servomotor  
(sumber: diolah dari mechatro.co.id)

#### 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. Karena itu, untuk menggerakkan motor diperlukan pengendali motor *stepper* yang membangkitkan pulsa-pulsa periodik.





**Gambar 2. 7** Motor Stepper  
(sumber: partner3D.com)

### 2.7.2 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.



**Gambar 2. 8** Sistem Pengontrol Berupa *Button*  
(sumber: sinotimer.com)

Penggunaan tombol-tombol untuk menggerakkan robot juga dapat diplikasikan. Tombol dan tampilan yang simpel dapat mempermudah pasien untuk menggerakkan perangkat disisi lain keuntungan yang didapat dari pengontrol ini hampir sama dengan *joystick* yang mana konstruksi tidak rumit dan cenderung lebih mudah digunakan daripada kontroler lainnya. Pemakaina tombol tersebut dipasangkan pada tangan pasien atau pada kasus eksoskeleton gerak kaki, kontroler terseut dapat disatukan/dipasangkan pada alat penunjang berjalan misalnya tongkat jalan.

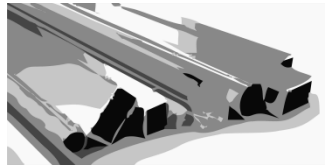
### 2.7.3 Material

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

#### a. Rangka Exsoskeleton

Pada rangka exsoskeleton, dibutuhkan material yang kuat dengan pertimbangan lain berupa ringan sehingga meringankan beban motor.

Alumunium menjadi pertimbangan dalam pembuatan exsoskeleton karena aspek ringan dengan harga yang terjangkau sehingga memudahkan produksi dan penggunaan.



**Gambar 2. 9** Alumunium

(sumber : <http://byjus.com/chemistry/occurrence-and-extraction-of-aluminium/>)

#### b. Material Casing Exsoskeleton

Casing exsoskeleton juga memerlukan material kuat dan ringan serta dengan harga yang terjangkau. Filamen menjadi pertimbangan dalam pembuatan exsoskeleton dikarenakan harga yang relatif murah dan proses produksinya mudah.



**Gambar 2. 10** Filamen

(sumber : <http://www.metalonmarketing.in/3d-printing-filament.html>)

## **BAB III**

### **METODOLOGI**

#### **3.1 Judul Perancangan**

Desain *Lower-Limb Exoskeleton* sebagai *Home Exercise* pada Penderita Disabilitas Pasca Strok.

Judul tersebut diajukan dengan maksud:

1. Merancang alat bantu rehabilitasi berupa mobile exoskeleton untuk penderita disabilitas pasca strok pada bagian anggota gerak bawah (*Lower Limb*).
2. Melakukan pengembangan sehingga dapat digunakan sebagai *Home exercise* pada penderita disabilitas pasca strok.

#### **3.2 Subjek dan Objek**

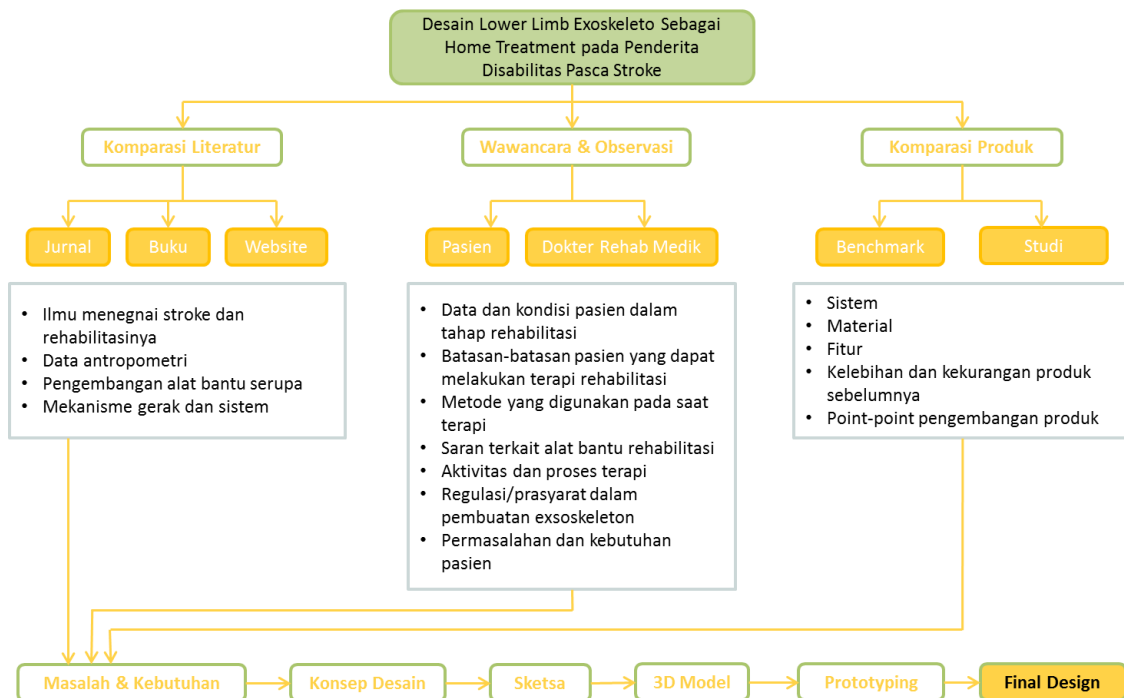
Subjek Perancangan : *lower limb exoskeleton*

Objek Perancangan :

- a. Interchangeable
- b. Desain Case
- c. Variasi gerakan

#### **3.3 Skema Penelitian**

Dalam perancangan ini, penulis menggunakan metode melalui pendekatan kualitatif karena data yang digunakan harus valid dan konkrit untuk mempelajari secara spesifik terkait masalah yang ada pada proses rehabilitasi pasca strok. Metode yang digunakan dalam pengumpulan data yaitu dengan wawancara dan observasi, studi dan komparasi literatur, serta studi produk eksisting.



Gambar 3. 1 Skema Penelitian

### 3.4 Metode Desain yang Digunakan

#### 3.4.1 Studi Literatur

Studi Literatur disini dimaksudkan untuk mengumpulkan informasi dan data-data dasar terkait perancangan yang akan dibuat. Referensi diambil dari data riset yang sudah ada, buku-buku penunjang, serta jurnal-jurnal yang ada baik online maupun offline. Data yang diambil diantaranya pengetahuan dasar mengenai stroke, rehabilitasi pasca-stroke, riset pengembangan alat rehabilitasi *lower-limb*, antropometri tungkai bawah, mekanisme, sistem dan lain- lain. Dari data-data yang diperoleh di berbagai sumber literatur, akan dikomparasikan sesuai kebutuhan. Data yang didapatkan berupa:

1. Ilmu mengenai stroke dan rehabilitasinya
2. Data antropometri
3. Pengembangan alat bantu serupa
4. Mekanisme gerak dan sistem

#### 3.4.2 Wawancara

Metode wawancara digunakan untuk mengumpulkan data berupa

kebutuhan akan alat rehabilitasi bagi pasien pasca stroke dan juga menurut ahli. Untuk itu, wawancara ditujukan kepada pasien penderita disabilitas pasca stroke untuk mengumpulkan data terkait alat yang diharapkan secara bentuk fisik dan ergonomi. Selain kepada pasien, wawancara juga dilakukan kepada stakeholder terkait yaitu dokter rehab medis dan juga terapis. Dari wawancara tersebut diketahui jenis stroke yang memungkinkan untuk dilakukan terapi menggunakan produk yang akan dirancang.

Dalam wawancara ini, terdapat beberapa narasumber yaitu 2 orang dokter rehab medis, 1 orang terapis, dan 3 pasien pasca stroke yang melakukan rehabilitasi. Wawancara dilakukan beberapa kali pada 13 November 2018 di RS Umum Haji Surabaya, 19 dan 28 Desember 2018 di RSUD Sidoarjo, 15 Maret, 5 April, dan 11 April 2019 di RS Dr. Soetomo Surabaya. Berdasarkan wawancara yang dilakukan, didapatkan hasil berupa :

1. Data dan kondisi pasien dalam tahap rehabilitasi
2. Batasan-batasan pasien yang dapat melakukan terapi rehabilitasi
3. Metode yang digunakan pada saat terapi
4. Prasyarat pembuatan exoskeleton
5. Saran terkait alat bantu rehabilitasi

### **3.4.3 Observasi**

Dalam buku *Universal Methods of Design* disebutkan bahwa, observasi merupakan sebuah keterampilan penelitian secara fundamental, yang membutuhkan perhatian penuh saat pencarian dan pencatatan secara sistematis fenomena yang diteliti termasuk orang, artefak, lingkungan, peristiwa, perilaku dan interaksi.

#### **a. Tempat Terapi**

Metode ini dilakukan dengan mengunjungi tempat terapi baik di klinik maupun mengunjungi pasien yang melakukan terapi di rumah dengan memanggil terapis. Tujuan dari metode ini yaitu untuk mengetahui aktifitas dan kebutuhan yang dilakukan pada saat dilakukan terapi,

mengetahui kondisi pasien dalam tahap rehabilitasi, metode yang digunakan pada saat melakukan terapi, keluhan yang diderita pasien, permasalahan dan kebutuhan pasien. Observasi tempat terapi dilakukan di beberapa rumah sakit bagian rehabilitasi daerah Surabaya dan Sidoarjo. Berdasarkan hasil observasi didapatkan hasil berupa :

1. Aktivitas dan proses terapi
2. Regulasi/prasyarat dalam pembuatan exoskeleton
3. Permasalahan dan kebutuhan pasien

**b. Eksisting**

Metode ini dilakukan dengan mengamati desain eksisting dari penelitian sebelumnya terkait alat bantu rehabilitasi pasca stroke sehingga diketahui bagian-bagian dari produk serupa sehingga dapat dijadikan sebagai desain acuan dan pengembangannya. Hasil dari eksisting tersebut berupa data terkait sistem dan mekanisme yang digunakan dalam merancang alat bantu, komparasi alat bantu serupa yang telah digunakan dan dikembangkan.

**3.4.4 Persona**

Merupakan metode yang digunakan untuk menjelaskan target user yang dapat menjadi calon pengguna. Dalam kasus ini, target user yang berperan ialah persona pasien penderita disabilitas pasca stroke. Target dari metode ini adalah pasien pasca stroke dengan keterangan :

- a. Penderita disabilitas pasca stroke (dewasa)
- b. Usia  $\geq 35$  tahun
- c. Perempuan atau laki-laki
- d. Mengalami disabilitas pada salah satu sisi anggota gerak bagian bawah

**3.4.5 Affinity Diagram**

*Affinity Diagram* merupakan metode dalam mengelompokkan data hasil dari olahan dan metode lain yang telah dilakukan sebelumnya dengan cara mengkotak-kotakan data sehingga dapat diketahui prioritas kebutuhan user. Metode ini digunakan sebagai acuan dalam mengklasifikasikan masalah

sehingga ditemukan poin-poin serta konsep ide. Berdasarkan metode tersebut didapatkan hasil berupa beberapa permasalahan yang dikelompokkan dalam 3 permasalahan yang berbeda.



**Gambar 3. 2** Afinity Diagram

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

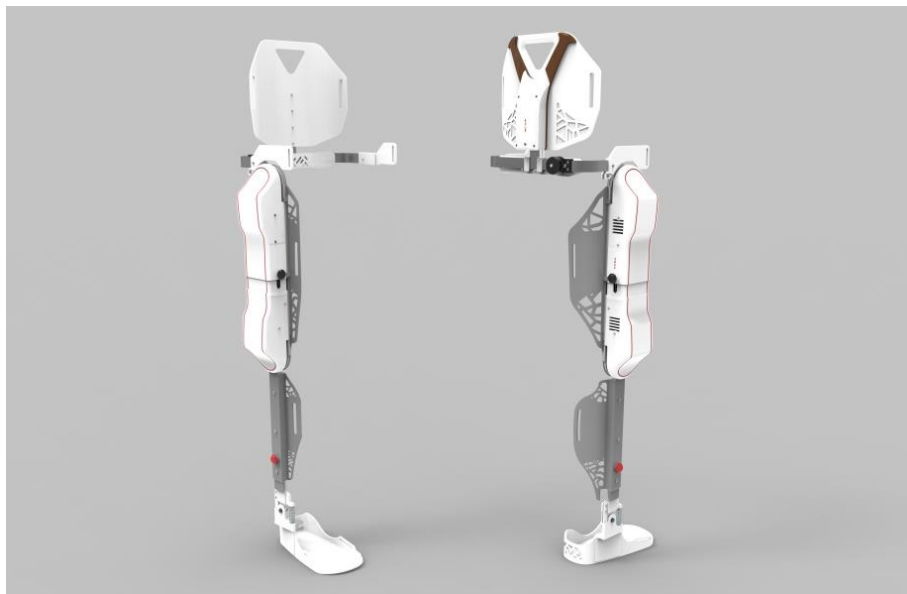


## **BAB IV**

### **STUDI DAN ANALISIS**

#### **4.1 Studi Produk Sebelumnya**

Produk exsoskeleton beberapa kali telah dikembangkan di Indonesia khususnya di Desain Produk sendiri dengan perbaikan-perbaikan dari produk sebelumnya. Analisis pada produk sebelumnya diperlukan sebagai pertimbangan dalam melakukan pembaruan dan pengembangan dari produk yang sama.



**Gambar 4. 1** XO Lower Limb Exsoskeleton  
(sumber: Wicaksono, 2018)

Pada produk XO Lower Limb Exsoskeleton (yang sudah pernah dilakukan oleh Wicaksono Arif, 2018) telah dilakukan penerapan-penerapan sistem yang baru diantaranya adjustable, penambahan fitur back support serta interchangeable. Berikut hasil analisis dari produk XO Lower Limb Exsoskeleton (Wicaksono, 2018):

##### **4.1.1 Sistem Mekanik**

Sistem mekanik pada XO Lower Limb menggunakan roda gigi bevel-pinion dan ditransmisikan pada epicyclic gear yang diteruskan pada tungkai. Menggunakan straight bevel (gear) 30 gigi, pinion gear 20 gigi, spur gear 8

gigi, dan internal spur gear 32 gigi. *Spur gear* dan *Internal Spur Gear* bergerak meneruskan gerakan *straigh bevel* dan *pinion* sehingga dibutuhkan 1,5 kali putaran servo untuk memutar satu putaran spur gear.

#### 4.1.2 Aktuator

Aktuator yang digunakan pada XO Lower Limb yaitu servomotor dengan spesifikasi sebagai berikut :

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

#### 4.1.3 Adjustable

Adjustable diperlukan untuk mengatur ketinggian sesuai dengan ketinggian masing-masing user sehingga produk tidak perlu dirancang secara custom. Penerapan adjustable sudah dilakukan pada XO Lower Limb yaitu diletakkan pada tungkai paha dan tungkai tibia dengan menggunakan adjustable sistem *slide* dan dikunci menggunakan pin yang diterapkan pada tungkai tibia, serta *knob tight adjustable* dengan pegas pada tungkai paha.

Pada tungkai paha, XO Lower Limb mengacu pada antropometri Henry Dreyfuss 5%tile-95%tile sehingga XO dapat digunakan oleh pasien dengan panjang tungkai paha 380mm-435mm, serta pada tungkai tibia, panjang

yang diperlukan sesuai dengan antropometri Henry Dreyfuss sepanjang 380mm-455mm.

#### 4.1.4 Back Support


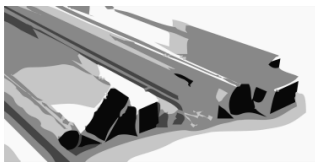
Penggunaan back support bertujuan menahan punggung pasien agar tetap berada di posisi normal. Selain itu, back support pada XO Lower Limb digunakan juga sebagai tempat letak baterai yang mana menjadi sumber tenaga pada produk exsoskeleton.

#### 4.1.5 Alas Kaki

XO Lower limb dilengkapi dengan alas kaki yang bertujuan menahan telapak kaki pasien agar berada pada posisi normal serta mengurangi *footdrop* pada kaki. Material alas kaki terbuat dari filamen yang mana bentuknya menyerupai bentuk telapak kaki.

#### 4.1.6 Material

XO Lower Limb menggunakan aluminium sebagai rangka dan material filamen ABS sebagai case exsoskeleton sehingga produk yang dihasilkan lebih ringan.

Material	Strength		Density (kg/m <sup>3</sup> )
	$\delta y$ (mpa)	$\delta ts$ (mpa)	
<p><b>Filamen</b></p>  <p><a href="http://www.metalonmarketing.in/3d-printing-filament.html">http://www.metalonmarketing.in/3d-printing-filament.html</a> (2018)</p>	40 - 65	68-97	1040-1240
<p><b>Aluminium</b></p> 	500	600	2950

http://byjus.com/chemistry/occurrence-and-extraction-of-aluminium/ (2018)			
---	--	--	--

#### 4.1.7 Kekuatan Rangka Eksoskeleton

Berdasarkan uji beban yang telah dilakukan, diketahui bahwa struktur rangka plat aluminium memiliki kekuatan atau *yield strength* sebesar 505000003.1 N/m<sup>2</sup> atau sekitar 5,05E+008.

##### a. Beban kebawah

Simulasi dilakukan dengan cara pemberian gaya dari atas hal ini dikarenakan menyesuaikan gaya yang terjadi pada saat produk dikenakan oleh pasien. Pada pengujian didapati beban paling besar terjadi pada engsel pergelangan kaki. Berdasarkan pemberian beban secara berurut mulai dari beban 500N, 600N, 700N dan 800N diketahui bahwa puncak *yield strength* ABS berada pada beban sekitar 700N yang artinya kekuatan maksimal eksoskeleton berkisar 67-70kg.

##### b. Beban kesamping

Simulasi dilakukan dengan cara memberikan gaya kesamping eksoskeleton, gerak melangkah pasien cenderung melakukan gerakan membuang sehingga gaya tekan kesamping kemungkinan terjadi. Pada pengujian, beban paling besar terjadi pada pinggul yang menggunakan material aluminium. Berdasarkan pemberian beban secara berurut mulai dari beban 300N, 400N, 500N dan 600N, , puncak *yield strength* aluminium berada pada beban sekitar 500N yang artinya kekuatan maksimal eksoskeleton menahan gaya samping sekitar 48-52kg.

**Kesimpulan:** Berdasarkan studi produk sebelumnya disimpulkan bahwa sistem dan mekanik dalam eksoskeleton yang akan dirancang disesuaikan dengan XO Lower Limb dengan perbaikan dan penambahan beberapa aspek yang menjadi kebutuhan pasien berupa :


1. Perbaikan ukuran adjustable karena pada produk XO Lower limb tidak bisa digunakan oleh persentile kecil orang Indonesia.


2. Perbaiki desain yang lebih humanis.
3. Pengoptimalan fungsi eksoskeleton dengan menambahkan gerakan-gerakan yang dibutuhkan pasien.
4. Perbaiki bagian alas kaki untuk menyeimbangkan posisi kaki kanan dan kaki kiri serta melindungi kaki dari bersentuhan langsung dengan material utama.


#### 4.2 Studi dan analisis Aktifitas

Studi aktifitas dilakukan untuk mengetahui skenario gerakan yang mungkin dilakukan oleh pasien pada saat menggunakan alat bantu rehabilitasi maupun pada saat terapi untuk diterapkan dalam produk eksoskeleton. Dalam melakukan studi aktifitas, kegiatan pasien diamati dan diidentifikasi untuk mengetahui aktivitas dan kebutuhan yang perlu dipertimbangkan pada saat mengoperasikan eksoskeleton, berupa skenario berikut :

**Tabel 4.1** Tipe terapi pasien pasca strok

Skenario	Keterangan	Kendala
 <p>rumah sakit</p> <p>Pasien hanya melakukan terapi di rumah sakit</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pasien berkunjung ke rumah sakit untuk melakukan terapi dengan intensitas terapi umumnya 1 kali dalam satu minggu</li> <li>- Durasi terapi tiap kali kunjungan yaitu selama 2 jam</li> <li>- Terapi yang dilakukan yaitu berupa pelepasan otot-otot kaki dan latihan berjalan pada pasien</li> <li>- Latihan berjalan dilakukan dengan bantuan terapis diatas pararel bar</li> </ul>	<p>Kendala</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tidak ada pendampingan intens untuk melakukan terapi mandiri di rumah</li> <li>- Tidak adanya alat bantu khusus untuk melakukan terapi mandiri di rumah</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pasien tidak melakukan terapi mandiri di rumah karena tidak ada pendamping</li> </ul>	
 <p>rumah</p> <p>Pasien hanya melakukan terapi di rumah</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pasien terapi dengan memanggil terapis ke rumah dengan intensitas kunjungan sebanyak 1 kali dalam satu minggu</li> <li>- Durasi terapi tiap kunjungan yaitu selama 2 jam</li> <li>- Terapi yang dilakukan yaitu pelepasan otot kaki dan juga latihan berjalan</li> <li>- Latihan berjalan dilakukan dengan bantuan terapis tanpa alat bantu pendukung</li> </ul>	<p>Kendala</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Terbatasnya durasi terapis untuk melakukan pendampingan pada pasien</li> <li>- Tidak adanya waktu untuk ke rumah sakit karena kendala pribadi (kendaraan, biaya, pendampingan)</li> <li>- Tidak adanya alat bantu khusus untuk melakukan terapi mandiri di rumah</li> </ul>

<p>Pasien melakukan terapi dirumah dan di rumah sakit</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pasien melakukan terapi dengan melakukan kunjungan ke rumah sakit/ klinik rehabilitasi dengan durasi 1 kali kunjungan dalam satu minggu</li> <li>- Selain aktifitas terapi di rumah sakit/ klinik, pasien juga aktif elakukan terapi mandiri di rumah dengan didampingi kerabat</li> </ul>	<p>Kendala</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tidak adanya alat bantu khusus untuk melakukan terapi mandiri di rumah</li> </ul>
--	---	---

**Kesimpulan :** Dari ketiga skenario diatas, terdapat poin-poin penting berikut

1. Pasien tidak memiliki pendampingan intens dirumah.
2. Untuk melakukan terapi mandiri di rumah, pasien disabilitas pasca stroke masih terkendala oleh tidak tersedianya alat bantu rehabilitasi pasca stroke yang dapat digunakan sebagai terapi mandiri dirumah.
3. Proses rehabilitasi berjalan lebih lama.
4. Diperlukan alat bantu bagi penderita disabilitas pasca stroke yang dapat digunakan secara mandiri di rumah.

Kegiatan	Aktifitas	Kebutuhan
- Bangun	- Berpindah posisi dari terlentang ke posisi duduk	- Menggerakkan tubuh bagian kaki dan mengangkat badan

- Berdiri	- berpindah posisi dari duduk ke berdiri	- Menggerakkan tubuh dari posisi duduk ke posisi berdiri
- Berjalan	- berpindah posisi dengan gerakan lambat	- Adanya bantuan penyangga tubuh tambahan  - Penyangga punggung pada posisi normal
- Melatih pergelangan kaki	- Menggerakkan kaki keatas dan kebawah	- Sistem gerakan kaki
- Duduk	- berpindah dari posisi berdiri ke posisi duduk	- pegangan tangan untuk membantu menyangga tubuh
- Tidur	- berpindah posisi dari duduk ke posisi berbaring	- penyangga tubuh bagian (pinggul hingga kepala) pada saat berpindah posisi

**Keterangan :**

**Hijau :** gerakan yang diakomodasi

**Merah :** gerakan yang tidak diakomodasi

**Kesimpulan :** Terdapat kebutuhan-kebutuhan pada kegiatan keseharian yang umumnya dilakukan oleh pasien dengan melibatkan anggota gerak bawah. Sebagian besar kebutuhan daripada pasien digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam rancangan exsoskeleton. Kebutuhan-kebutuhan yang dapat sejalan dengan perancangan exsoskeleton berupa :



1. Gerakan yang dibutuhkan. Meliputi gerak berjalan, gerak latihan ringan, jalan ditempat, serta gerak perpindahan posisi dari duduk ke berdiri dan sebaliknya.
2. *Back support*. Dibutuhkan back support sebagai penopang punggung pasien agar tetap berada pada posisi normal.
3. *Walker*. Sebagai alat bantu keseimbangan untuk pasien pada penggunaan tahap awal.
4. Kontroler. Meliputi tombol-tombol yang mengarahkan pada gerakan yang dibutuhkan.
5. Dudukan alas kaki. Sebagai penopang telapak kaki yang mencegah kondisi footdrop pada pasien.
6. Alas kaki tambahan. Melindungi kaki dari kontak langsung terhadap alat dan sebagai penyeimbang ukuran ketinggian antara kaki kanan dan kiri pasien.

#### 4.3 Studi dan Analisis Gerak

Gerak berjalan pasien yang mengalami stroke dan memiliki pola berbeda dari yang diamati pada orang sehat. Gaya berjalan normal cenderung simetris, baik secara spasial dan temporal, dengan perbedaan interlimb dari kekuatan vertikal tubuh. Menurut beberapa literatur dan juga pengamatan yang dilakukan terhadap beberapa penderita disabilitas dalam berjalan pasca stroke, terdapat perbedaan antara kaki normal dan *footdrop* saat berjalan.

**Tabel 4. 1** Gaya berjalan pasien pasca stroke dan orang normal

No	Normal foot	Drop foot
1.	Kaki bergerak ke depan (fase ayunan)	Fase ayunan mungkin melibatkan menekuk kaki di lutut untuk mengangkat kaki, seperti naik tangga
2.	Kaki menyentuh tanah. Ini biasanya diawali sentuhan tanah dengan tumit (kontak awal, kadang-kadang	Kontak awal bukan dengan kaki tetapi dengan seluruh kaki yang 'menampar' atau meletakkan ke lantai sekaligus

	disebut <i>heel strike</i> atau <i>foot strike</i> ) dan kemudian meneruskan ke mata kaki	
3.	Kaki mendorong dan meninggalkan tanah lagi (kontak terminal, atau 'kaki lepas')	Gerakan 'kaki lepas' tidak berfungsi dengan baik sama sekali dan mungkin diperlukan tongkat untuk membantu mengangkat kaki

Studi gerak berjalan disini dilakukan untuk mengetahui siklus berjalan pada manusia serta mengetahui derajat tiap sendi pada masing-masing fase berjalan. Dalam melakukan studi ini, sangat diperlukan pula ketelitian dalam melihat titik kritis yang nantinya digunakan sebagai acuan dalam pembuatan produk ini. Untuk mengetahui aktivitas dan kebutuhan akan derajat pada masing-masing sendi, diperlukan studi mengenai gerakan berjalan atau *gait cycle* sebagaimana uraian berikut:





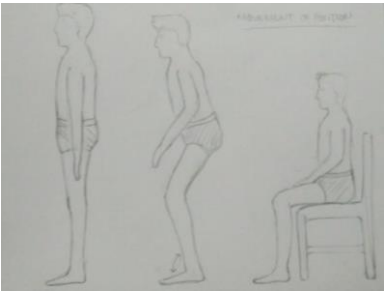
**Tabel 4. 2** *Gait Cycle*

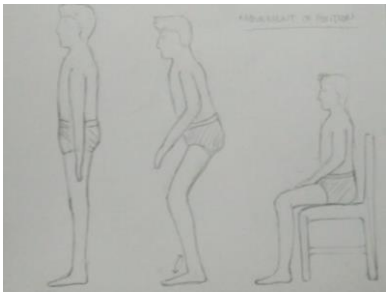
Gait Phase	Gait Cycle (%)	Hip	Knee (°flexion)	Ankle Joint
IC (Initial Contact)	0	20° flexion	0-5	0°
LR (Loading Response)	0-12	20° flexion	20	5°-10° plantar flexion
MST (Mid Stance)	12-31	0° flexion	0-5	5° dorsal flexion

TST (Terminal Stance)	31-50	-20° hyperextention	0-5	10° dorsal flexion
PSW (Pre Swing)	50-62	-10° hyperextention	40	15° plantar flexion
ISW (Initial Swing)	62-75	15° flexion	60-70	5° plantar flexion
MSW (Mid Swing)	75-87	25° flexion	25	0°
TSW (Terminal Swing)	87-100	20° flexion	0-5	0°

Gerakan pada eksoskeleton dibuat berdasarkan kebutuhan user. Disini gerakan berkaitan dengan aktifitas pengguna sehingga gerakan yang ditimbulkan sesuai dengan kebutuhan. Pada sistem gerak, dimana selain gerakan berjalan, diperlukan juga gerak berpindah dari posisi duduk ke posisi berdiri dan sebaliknya, serta beberapa gerakan latihan ringan yang diperlukan dan disarankan oleh tenaga ahli. Gerakan tambahan ini berfungsi menunjang dan memudahkan pasien dalam menggunakan alat dan juga mengoptimalkan fungsi dari produk eksoskeleton yang akan dirancang.

No	Gambar	Keterangan
----	--------	------------

1.		Gerakan mengangkat lutut ke depan dengan sudut 90 derajat
2.		Gerakan mengangkat lutut ke depan dengan derajat antara kedua tungkai kaki sebesar 45 derajat
3		Gerakan menendang kedepan sebesar 45 derajat
4		Gerakan jalan ditempat (gerakan mengangkat lutut yang berulang)
5		Gerakan berdiri mulai dari 90 derajat ke posisi tegak 180 derajat

6		Gerakan duduk dimulai dari posisi tegak 180 derajat ke posisi duduk 90 derajat
---	---	--

#### 4.4 Studi Antropometri

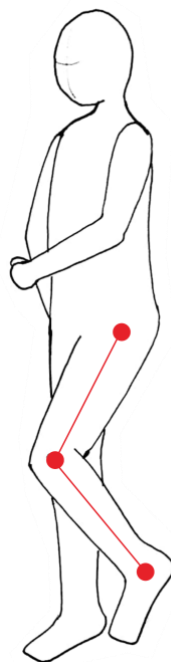
Studi antropometri sangat penting untuk dilakukan dengan tujuan mengetahui ukuran tubuh manusia serta untuk memperhatikan faktor kenyamanan bagi pengguna. Dalam hal ini studi ergonomi dan antropometri lebih di khususkan pada bagian kaki sehingga data ukuran yang didapat akan mempengaruhi bentukan dan dimensi dari alat bantu rehabilitasi itu sendiri.

**Tabel 4. 3** Dimensi Tubuh Menurut Henry Dreyfus dan Antropometri Indonesia

<b>Jenis</b>	<b>5%</b> (Henry dreyfus)	(Antropometri Indonesia. org)	<b>50%</b> (Henry dreyfus)	(Antropometri Indonesia. org)	<b>95%</b> (Henry dreyfus)	(Antropometri Indonesia. org)
Lebar pinggul	299,7	360,2	335,28	394,5	375,92	428,8
Lebar paha	154,94	175,6	180,34	198,4	208,28	221,2
Lebar telapak kaki	88,9	82	96,52	89	106,68	96
Tebal pinggul	185,42	180	223,52	220	269,24	260
Panjang telapak kaki	243,84	232,6	266,7	258,1	289,56	283,6
Panjang telapak-pinggul	861,06	710,6	929,64	838,4	998,22	966,3

Panjang punggung	416,56	298,2	457,2	415,2	500,38	532,6
Tinggi lutut-pinggul	398,78	350,0	426,72	398,2	457,2	456,2
Tebal betis	10,16		11,9		13,2	
Lebar betis	9,14		10,16		11,68	
Tinggi <i>ankle</i> -lutut	386,08		414,0		444,5	
Tinggi telapak kaki- <i>ankle</i>	76,3	61	88,9	66	96,52	71

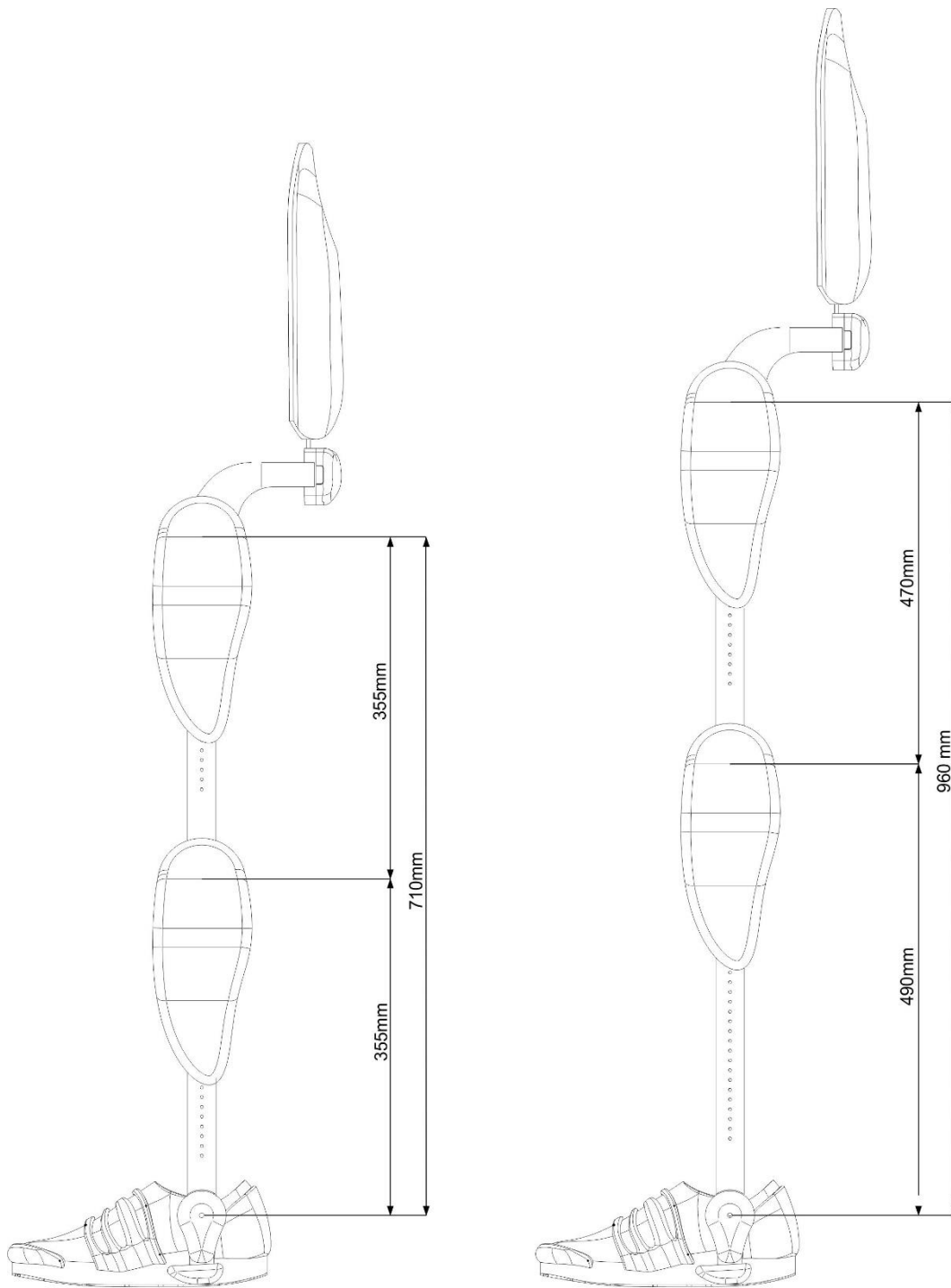
Dalam merancang exoskeleton untuk pasien pasca stroke, ada beberapa titik kritis dari bagian kaki yang perlu dipertimbangkan. Pengukuran yang benar pada titik kritis akan memengaruhi fasilitas exoskeleton. Data antropometri diatas digunakan sebagai acuan dalam mendesain exsoskeleton.



**Gambar 4. 2** Titik Kritis

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



panjang minimal eksoskeleton

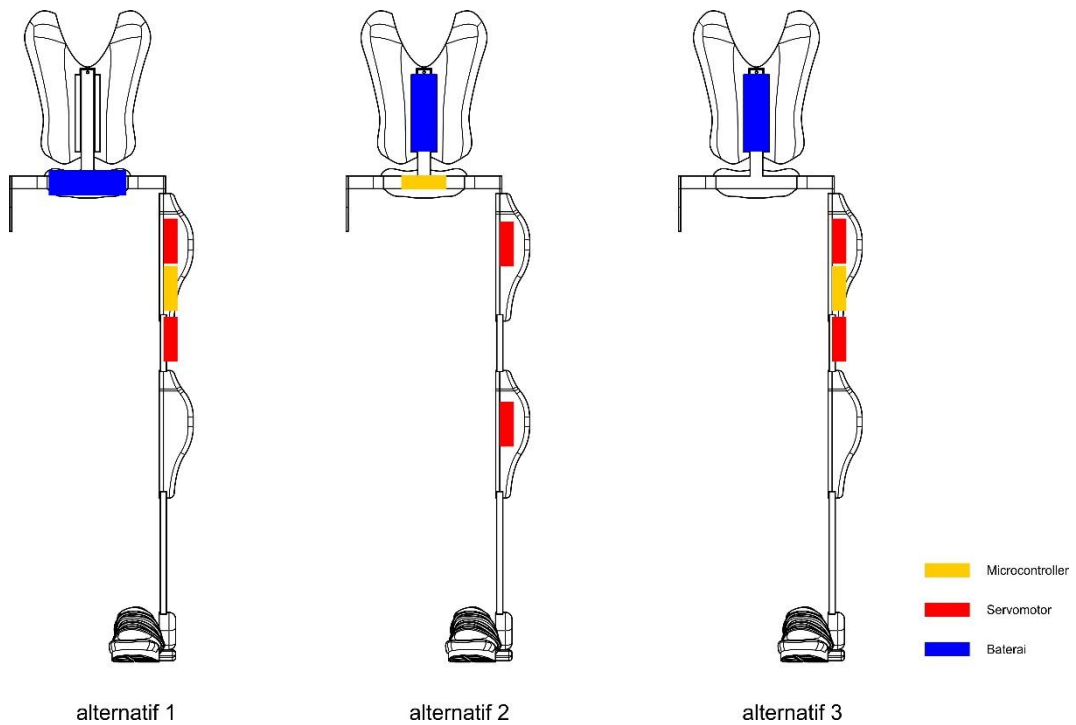
panjang maksimal eksoskeleton

**Gambar 4. 3** Dimensi minimal dan maksimal eksoskeleton



#### 4.5 Studi dan Analisis Tata Letak

Studi tata letak digunakan untuk menentukan peletakan sistem dan mekanisme yang digunakan dalam pembuatan eksoskeleton. Beberapa peletakan komponen dalam perancangan dibuat untuk diketahui kelebihan dan kekurangannya.



**Gambar 4. 4** Alternatif tata letak komponen eksoskeleton

Alternatif	Kelebihan	Kekurangan
1	Jarak antar komponen berdekatan sehingga tidak memerlukan kabel penyambung yang panjang	Berpotensi mengganggu kinerja sistem didalamnya, menyulitkan sistem adjustable, ukuran pinggang jadi lebih besar karena menyesuaikan ukuran baterai

2	Tidak mengganggu kinerja sistem didalamnya, mempermudah sistem adjustable	Jarak antar komponen lebih jauh sehingga memerlukan kabel yang lebih panjang
3	Jarak antar komponen berdekatan sehingga tidak memerlukan kabel penyambung yang panjang	Berpotensi mengganggu kinerja sistem didalamnya, menyulitkan dalam pengaturan sistem adjustable

Berdasarkan studi dan analisis peletakan komponen, dipilih alternatif kedua karena peletakan tidak berpotensi mengganggu sistem kerja motor didalamnya dan mempermudah sistem adjustable pada case kaki.

#### 4.6 Analisis Material

Analisis material digunakan sebagai acuan dalam penggunaan material produk eksoskeleton ini. Material yang digunakan pada produk ini adalah:

1. **Alumunium.** Digunakan sebagai rangka utama dalam pembuatan produk eksoskeleton. Material alumunium digunakan karena memiliki berat yang ringan yang mana sesuai dengan prasyarat pembatan eksoskeleton berupa produk yang dirancang seringan mungkin sehingga meringankan beban kerja motor.
2. **Filamen.** Digunakan sebagai case eksoskeleton dengan proses 3d printing. Hal ini dipilih karena proses ini dinilai cepat dan praktis sehingga memudahkan proses produksi. Filamen yang dipilih ialah filamen berjenis PLA yang mana lebih kuat ketika digunakan.
3. **Kain scuba/neoprene.** Digunakan sebagai pelapis dan pelindung yang melindungi tubuh user dari bersentuhan langsung dengan alat. Penggunaan kain juga didasari pada kenyamanan user dalam menggunakan alat. Kain scuba/ neoprene digunakan karena termasuk jenis kain yang memiliki

tekstur yang halus, tahan terhadap noda, cepat kering, terasa empuk, serta tidak mudah sobek.



**Gambar 4. 5** Kain Scuba/ Neoprene

4. **Gesper pengikat.** Digunakan sebagai sistem joining pada material kain. Gesper pengikat dipilih karena faktor mudahnya bahan untuk ditemui di sekitar sehingga memudahkan proses produksi serta kemudahan dalam operasional oleh user karena sistemnya sudah banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

#### **4.7 Studi Sistem Gerak/ Mekanisme**

Perancangan kali ini menggunakan sistem gerak/ mekanisme yang telah diterapkan pada perancangan sebelumnya yaitu produk XO Lower Limb, berupa penggunaan gear, servomotor, *microcontroller*, baterai, dan tombol button.

##### **4.7.1 Gear Penggerak**

Menggunakan ring gear dan pinion gear dimana pinion gear diletakkan pada servomotor dan ring gear diletakkan pada titik kritis di masing-masing rangka kaki. Gerakan pinion gear yang berasal dari servomotor disalurkan ke ring gear yang melekat pada rangka kaki sehingga gerakan dapat dihasilkan.

#### 4.7.2 Servomotor

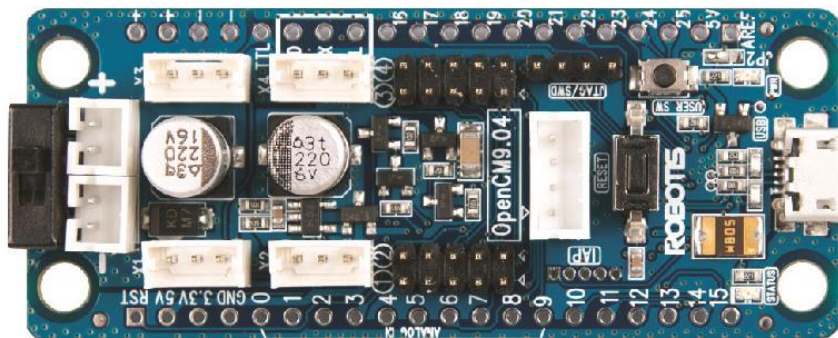


**Gambar 4. 6** Dynamixel MX-106

Servomotor digunakan sebagai penggerak yang memutar gear sehingga menyebabkan adanya gerakan pada eksoskeleton. Servomotor yang digunakan berjenis dynamixel dengan tipe sebagai berikut:

Gear Ratio	225:1 (Metal)
Network Interface	TTL
Operating Voltage	11.1 V to 14.8 V
Stall Torque	8.4N.m
Stall Current	5.2A

#### 4.7.3 Microcontroller



**Gambar 4. 7** Mikrokontroler berjenis OpenCM 9.04

Microcontroller digunakan sebagai otak yang mengatur dan menyimpan program gerakan yang menjadi output dari eksoskeleton yang

digunakan dalam perancangan ini adalah OpenCM dengan spesifikasi sebagai berikut :

CPU	STM32F103CB (ARM Cortex-M3)
Operating Voltage	5V ~ 16V (USB 5V, DYNAMIXEL 7~12V)
Recommended Voltage	5V for USB, 7.4V for DYNAMIXEL XL series(LB-040 3.7V x 2) 485 Expansion Board is recommended to control DYNAMIXELs requiring over 12V.
Size	27 mm X 66.5 mm
Weight	13g
External Sensor(5 Pin)	4 (Compatible with ROBOTIS Sensors)

#### 4.7.4 Baterai



**Gambar 4. 8** Baterai Li-Po

Baterai digunakan sebagai sumber energi utama dalam eksoskeleton. Baterai yang digunakan yaitu Li-Po baterai dengan spesifikasi sebagai berikut:

Kapasitas	3300MAH
<i>Continuous Discharge Rate</i>	35C
<i>Max Burst Discharge</i>	70C
Berat	255g
<i>Connector</i>	Dean/TPlug
Dimensi	Panjang 13.5cm, Lebar 4cm, Tinggi 2cm

#### **4.7.5 Tombol/ *Button***

Tombol/*button* digunakan sebagai *controlling* terhadap gerakan eksoskeleton. Dalam perancangan kali ini terdapat 4 tombol yang masing-masing berfungsi sebagai kontrol gerak berjalan, kontrol gerakan berdiri, kontrol gerakan duduk, serta kontrol gerakan latihan sederhana. Nantinya tombol tersebut dibedakan berdasarkan warna dan tanda pada desain *remote*-nya sehingga memudahkan user dalam menggunakannya.

## 4.8 Benchmark

Tabel 2 Benchmark

	 EKSOGT	 ReWalk	 ARKE	 XO LowerLimb
Jenis	Mobile Exoskeleton	Mobile Exoskeleton	Mobile Exoskeleton	Mobile Exoskeleton
Adjustable	Tinggi dan tebal	Tinggi dan tebal	Tinggi dan tebal	Tinggi dan tebal
Sumbu yang digerakkan	Sagital dan coronal plane	Sagital plane	Sagital plane	Sagital dan coronal plane
Dof per sisi	Dof 4 titik per sisi	Dof 2 titik per sisi	Dof 3 titik per sisi	Dof 4 titik per sisi
Kontroler	Button	Button	Voice	Button
Balancing Support	Crutch/ walker	-	Crutch/ walker	Crutch/ walker
Purpose	Berjalan	Berjalan dan latihan	Berjalan	Rehabilitasi
Back Support	Ada	-	Ada	Ada
Innovative point	Terdapat DoF 4 titik per sisi, dilengkapi fitur back support, sistem controller sederhana	Memiliki variasi gerakan lebih yang dapat digunakan sebagai latihan di luar aktifitas berjalan	Menggunakan voice command sebagai kontroler, menggunakan sistem adjustable sederhana pada ketebalan tubuh	Harga terjangkau dan dilengkapi back support

Gambar 4. 9 Benchmark

Berdasarkan benchmark yang telah dibuat diatas, diketahui spesifikasi pada setiap eksoskeleton yang kemudian akan dikomparasi dan diterapkan pada produk yang akan dirancang. Fitur yang wajib ada pada eksoskeleton yang akan dirancang ialah :

- Bergerak pada sumbu *sagittal plane*
- Dapat menggerakkan sendi pnggul dan lutut serta pergelangan kaki
- Terdapat *balancing support* sebagai alat penyeimbang
- Terdapat fitur *back support* untuk menahan batang tubuh pasien agar tetap tegap
- Memiliki fitur *adjustable* sehingga bisa dikustom sesuai dengan antropometri ukuran pasien

## 4.9 Analisis Kebutuhan



**Gambar 4. 10** Permasalahan dan Kebutuhan

Berdasarkan permasalahan diatas didapatkan kebutuhan mendasar mengenai exoskeleton yang dapat dikerucutkan lagi menjadi beberapa permasalahan umum mengenai Eksplorasi bentuk, *Adjustable*, dan Variasi gerakan.

### 4.9.1 Eksplorasi Bentuk (*Shape*)

Shape atau bentuk menentukan image dari exoskeleto. Eksplorasi bentuk juga menentukan berat dari exoskeleton itu sendiri, sehingga bentuk dari exoskeleton perlu dirancang sedemikian rupa sehingga dapat meminimalisir berat. Disini, exoskeleton diharapkan menghasilkan bentuk yang lebih menarik sehingga tidak terkesan kaku yang membuat minat berlatih berkurang.

### 4.9.2 Variasi gerakan

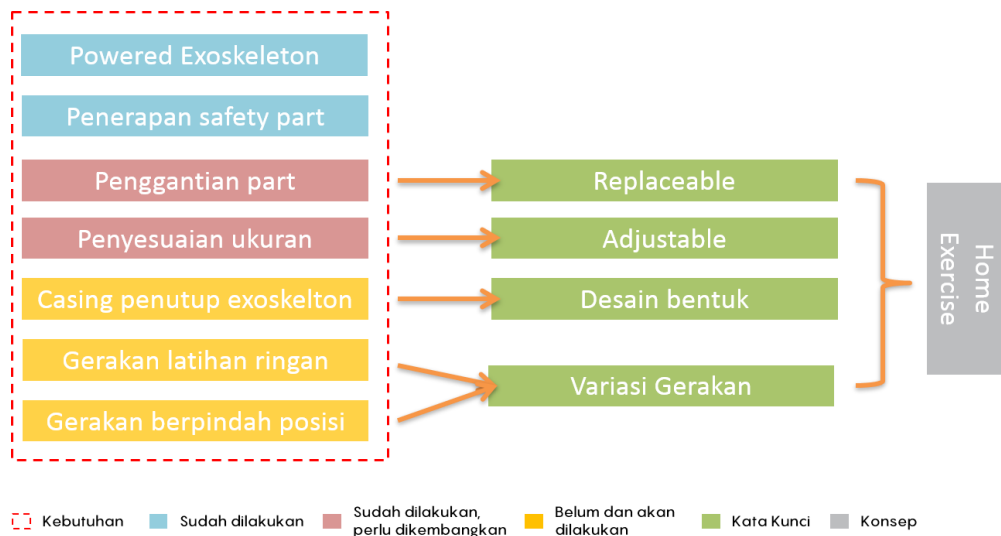
Variasi gerakan disini dimaksudkan selain adanya latihan berjalan, exoskeleton juga berperan untuk melatih gerakan-gerakan sederhana lain yaitu gerakan berpindah dari posisi duduk ke berdiri dan sebaliknya, gerakan latihan pada pergelangan kaki untuk mengurangi footdrop, serta gerakan mengangkat lutut sebagai latihan sederhana.



### 4.9.3 Adjustable

Adjustable berarti kemampuan dalam menyesuaikan ukuran sehingga alat yang dihasilkan dapat digunakan pada berbagai ukuran tubuh manusia khususnya orang Indonesia. Berdasarkan sumber dari berbagai literatur yang ada, terdapat beberapa perbedaan antara antropometri dari Henry Dreyfuss dengan antropometri orang Indonesia berdasarkan Antropometriindonesia.org. Perbedaan tersebut karena kecenderungan orang Indonesia yang memiliki tubuh lebih pendek. Pada Exoskeleton yang akan dirancang, adjustable diharapkan mampu digunakan oleh orang Indonesia dengan persentil kecil hingga besar sesuai dengan data dari antropometri.

Dari pengerucutan terhadap kebutuhan tersebut, terdapat poin kata kunci yang selanjutnya menghasilkan konsep desain.



**Gambar 4. 11** Kata Kunci dan Konsep Desain

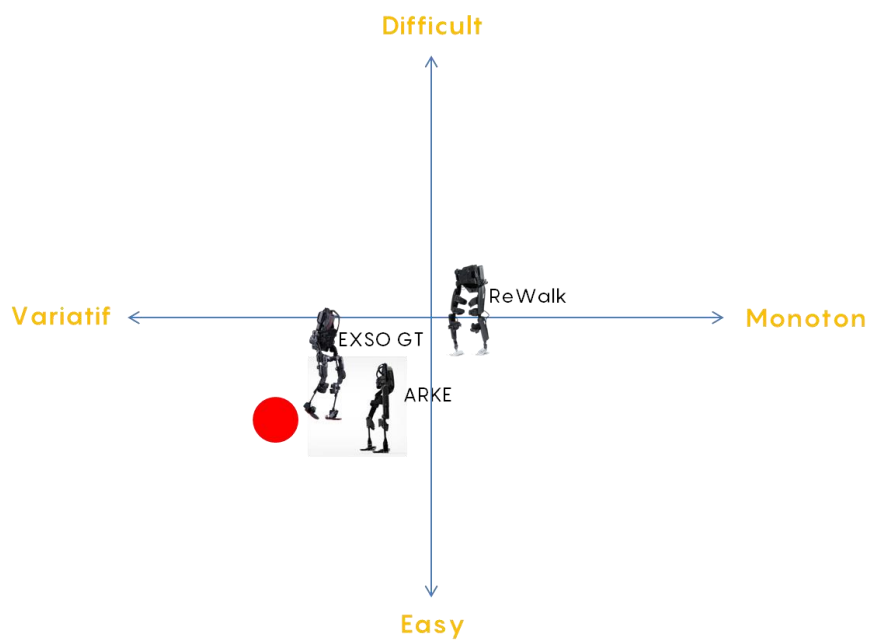
### 4.10 Proses Produksi

Proses produksi dipaparkan untuk mengetahui proses produksi yang digunakan pada pembuatan eksoskeleton.

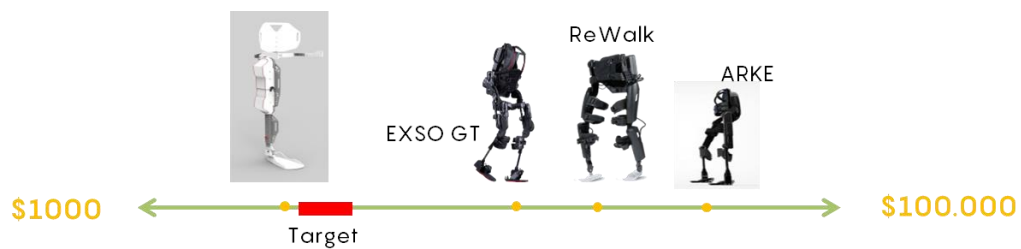
Bagian	Material	Proses
--------	----------	--------

Rangka	Alumunium	Cutting Laser
Case	PLA	3D Printing
Safety Part	Kain Scuba/ Neoprene	Sewing
Adjustable	Gesper helm plastik	-

#### 4.11 Positioning Produk



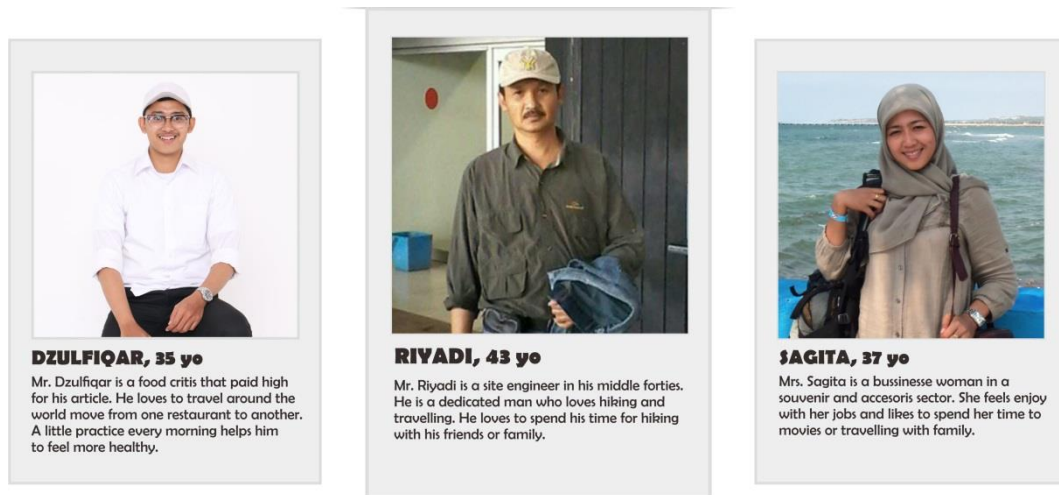
**Gambar 4.3** Positioning Produk Berdasarkan Variasi dan Kemudahan pemakaian  
 Produk exoskeleton diposisikan diantara point variatif dan easy,hal ini karena produk diharuskan mudah dalam pemakaian dan pengoperasian serta memiliki variasi gerakan tambahan selain gerak berjalan.



**Gambar 4.4** Positioning Produk Berdasarkan Harga

Berdasarkan harga yang ditawarkan, exoskeleton yang akan dirancang pada penelitian kali ini diposisikan lebih tinggi dari produk XO Lower Limb dari penelitian sebelumnya, hal ini dikarenakan produk yang akan dirancang memiliki pengembangan berupa sistem gerak dan adjustable yang lebih kompleks. Namun produk masih jauh lebih terjangkau dibanding dengan produk yang beredar dipasaran, dengan harapan masih terjangkau bagi kalangan menengah keatas orang Indonesia.

#### 4.12 Persona



Gambar 4. 12 Persona

Tabel 4. 4 Psikografis

Usia	>35 tahun	>50 tahun
<i>Activity</i>	Semangat menjalani terapi yang cukup tinggi, pekerjaan yang tertunda/ terhambat	Terapi dengan semangat tinggi, berkumpul dengan keluarga, <i>quality time</i>
<i>Interest</i>	Tidak mengeluarkan banyak biaya, memiliki fungsi maksimal, tidak terlalu menarik perhatian	Alat dapat digunakan lebih lama dan sewaktu-waktu/ fleksibel, alat yang mudah dan nyaman digunakan, bentuk sederhana dan tidak kaku
<i>Opinion</i>	Lebih mengutamakan	Lebih mengutamakan

	performa produk, lebih tertarik dengan produk yang mudah dalam pemakaian, produk harus terjangkau	kepercayaan diri, lebih tertarik dengan alat yang memiliki sistem yang mudah dikontrol, membutuhkan bantuan/ fitur keseimbangan
Kebutuhan	Proses pemulihan yang lebih cepat, pemakaian alat bantu yang mudah digunakan dan lebih lama intensitasnya, terapi yang bisa dilakukan fleksibel	Proses pemulihan yang cepat, pemakaian alat bantu yang mudah digunakan dan lebih lama intensitasnya, terapi yang bisa dilakukan fleksibel, alat yang dapat menunjang kepercayaan diri

**Kesimpulan:** Berdasarkan analisis mengenai persona dan psikografis konsumen, dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Penderita disabilitas pasca stroke rata-rata berada di kisaran usia 35 tahun keatas.
2. Adanya kesamaan kebutuhan pada produk eksoskeleton yang berupa kemudahan dalam pemakaian.
3. Faktor kenyamanan dan faktor bentuk perlu dipertimbangkan dalam merancang alat.

### 4.13 Square Board



**Gambar 4. 13** Square Board

Berdasarkan *Square Board* diatas diuraikan menjadi kriteria desain sebagai berikut :

1. Strok : User merupakan penderita disabilitas pasca strok pada salah satu anggota gerak bawah dengan nilai motorik miniml 2 dan dalam fase rehabilitasi akut dan sub akut.
2. Replaceable : Penggantian part yang rusak dapat dilakukan dengan mudah pada part case tungkai paha, case tungkai tibia, case exoskeleton, dan alas kaki.
3. Exoskeleton : Produk berupa exoskeleton satu sisi (untuk monoplegia/ kelumpuhan pada salah satu anggota gerak kaki pasca strok)



#### 4.14.2 Bentuk

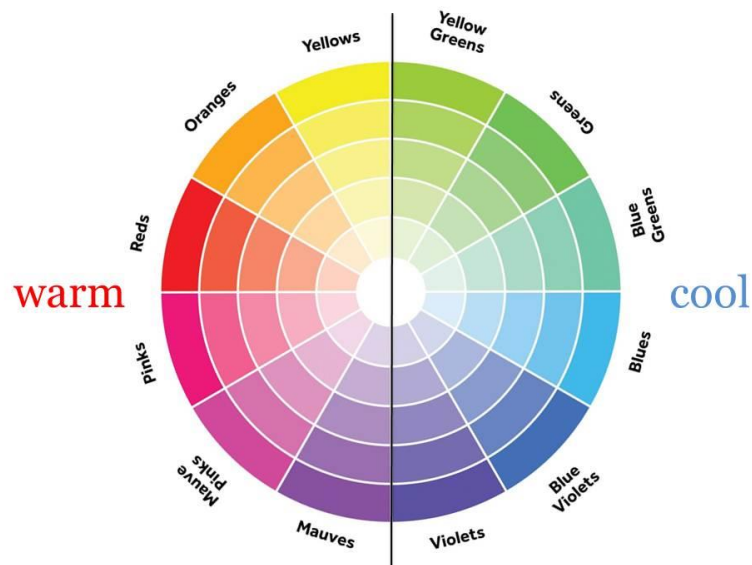


**Gambar 4. 15** Image board sebagai acuan desain bentuk produk eksoskeleton (Penulis, 2019)

Dalam analisis untuk menentukan output bentuk pada produk eksoskeleton dalam perancangan kali ini, kesan pada produk menjadi hal yang diutamakan untuk menyelaraskan sisi psikografis user dengan produk eksoskeleton sehingga user nyaman menggunakan produk tanpa rasa takut. Bentuk-bentuk yang ditampilkan harus memiliki kesan humanis dan menghindari lekukan-lekukan tajam dan kaku. Dari *image board* yang telah dilampirkan, menunjukkan garis-garis lengkung dan garis meliuk pada objek pasir, glaze, air, dan juga objek arsitektur dan eksterior sebuah kapal. Objek yang terdapat pada image board tersebut memiliki kesan dinamis dan humanis. Hal tersebut menjadi acuan dalam mendesain bentuk produk.

#### 4.14.3 Warna

Analisis warna dilakukan sebagai sarana penyampaian kesan terhadap produk. Pengaruh warna terhadap sebuah produk sangat kuat. Selain memberi kesan terhadap produk, warna juga mempengaruhi psikografis, keadaan mental, dan keadaan fisik pasien. Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, warna dapat dibedakan menjadi 2 kategori, yaitu warna dingin dan warna hangat.



**Gambar 4. 16** Skema warna dan pembagian warna hangat dan warna dingin

Dalam menentukan warna, dilakukan analisis mengenai sifat warna yang mempengaruhi perilaku manusia. Hijau, biru, dan ungu tergolong dalam kategori warna dingin yang mana sifatnya memberi efek tenang, rileks, serta memperkuat konsentrasi, namun warna dingin juga menunjukkan rasa dingin dan kurangnya emosi. Sedangkan warna hangat seperti kuning, jingga, dan merah lebih memberikan kesan hangat, emosi yang intens dan berani. Namun, warna hangat juga merupakan deretan warna kontras dan mudah menarik perhatian yang mana hal ini dihindari oleh sebagian besar pasien karena pasien strok sendiri menolak untuk menjadi pusat perhatian oleh sekitar.

Berdasarkan perbandingan terhadap 2 kategori warna tersebut, disimpulkan bahwa pemilihan warna tidak bisa diambil hanya dari satu kategori warna saja. Produk eksoskeleton akan lebih tepat guna ketika menerapkan kedua kategori warna dalam produk agar balance terhadap pengaruh psikologis user dengan mempertimbangkan komposisi yang tepat, yaitu porsi penerapan warna hangat tidak boleh terlalu banyak dan menonjol sehingga produk eksoskeleton tetap nyaman dipandang dan digunakan oleh user.

Penggabungan antara warna hangat dan dingin yang terpilih ialah penggabungan antara tipikal warna earth tone dan tren casual-formal dress yang mana warna-warna lebih sering diterapkan untuk menghindari kesan mencolok



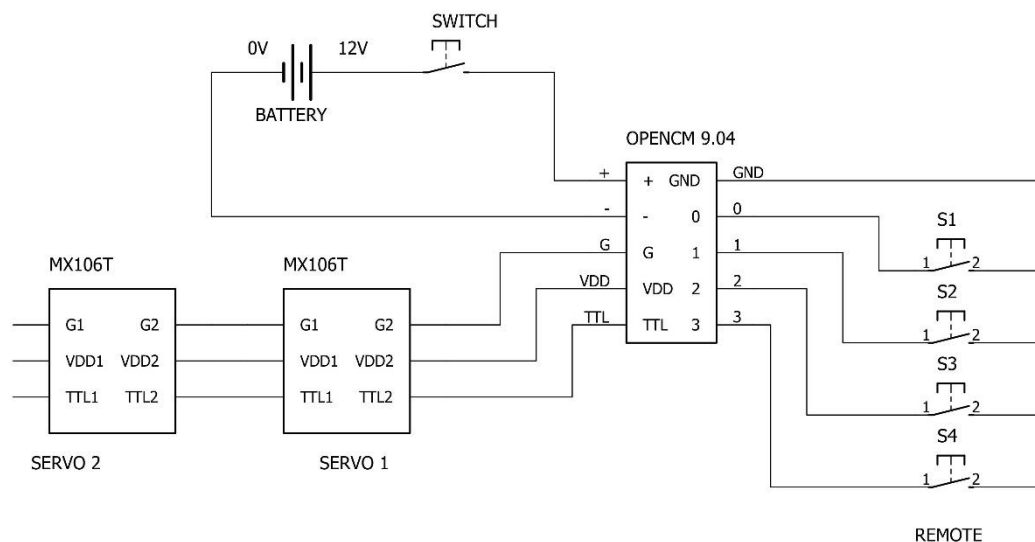
namun tetap nyaman dipandang. Dengan pemilihan warna tersebut juga diharapkan penggunaan eksoskeleton sedikit tersamarkan sehingga tidak menarik perhatian sekitar yang menimbulkan rasa tidaknyaman oleh si pengguna.



**Gambar 4. 17** Image board sebagai acuan penentuan warna produk

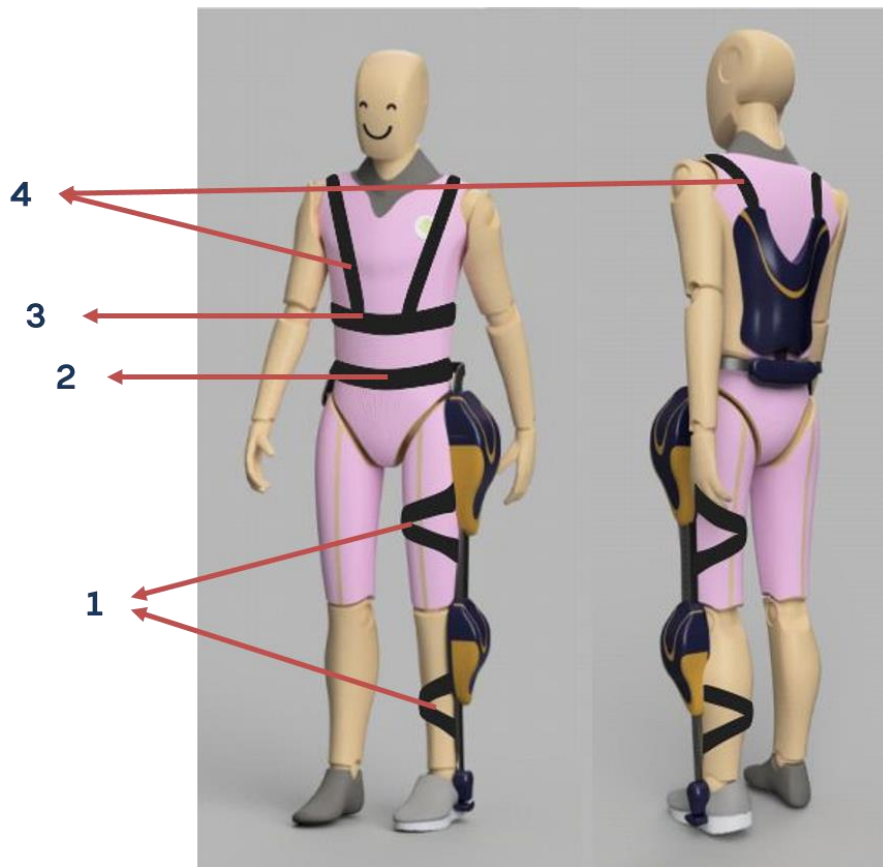
Berdasarkan imageboard diatas maka didapatkan warna-warna yang akan menjadi acuan dalam pembuatan produk eksoskeleton. Warna-warna tersebut merupakan penggabungan antara warna hangat, warna dingin, dan juga earth tone.

#### 4.15 Wiring Diagram



#### 4.16 Analisis Jalur Belt

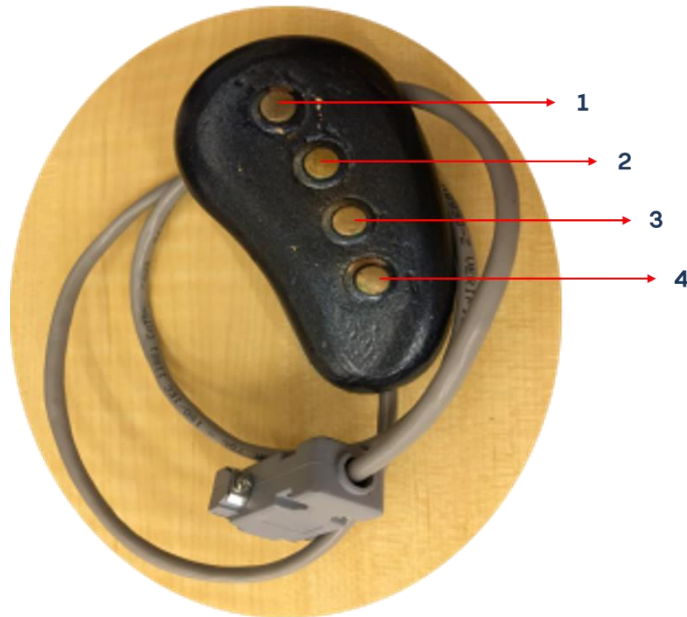
*Belt/* sabuk dipasang sebagai pengikat alat ke tubuh pasien. Pemasangan belt disesuaikan dengan kebutuhan dimana harus menyokong bagian-bagian pada titik tertentu di tubuh pasien.



1. *Belt* sebagai pengikat pada bagian paha dan betis, dimana fungsinya sebagai perekat antara eksoskeleton dan tubuh pasien, sehingga eksoskeleton dapat mengangkat tubuh bagian kaki pasien dengan baik.
2. *Belt* berfungsi sebagai ikatan perekat pada pinggang yang menyokong bagian rangka pinggang dengan tubuh pasien. Rangka tersebut berfungsi untuk menahan beban kebawah dan kesamping sehingga harus terletak pada posisi yang stabil. *Belt* berfungsi menstabilkan posisi rangka pinggang sehingga fit di tubuh dan tidak terjadi pergeseran.
3. *Belt* berperan sebagai ikatan perekat antara *back support* dan punggung pasien. menyokong bagian punggung sehingga posisinya tetap berada pada posisi normal.
4. *Belt* sebagai perekat pendukung pada bagian punggung dan *back support* yang berfungsi menyetabilkan posisi *back support* agar posisi tidak geser ke bawah, sehingga juga membantu mengangkat beban eksoskeleton.

#### 4.17 Controller Button

*Controller button/* tombol kontroler berfungsi mengaktifkan gerakan yang telah disetting pada mikrokontroler menjadi gerakan pada eksoskeleton. Tombol dibagi menjadi 4 fungsi yang berbeda yang telah disesuaikan dengan kebutuhan gerak pasien.



1. Gerakan transisi dari posisi berdiri ke posisi duduk.
2. Gerakan transisi dari posisi duduk ke posisi berdiri
3. Gerakan berjalan sesuai gait cycle
4. Gerakan latihan sederhana

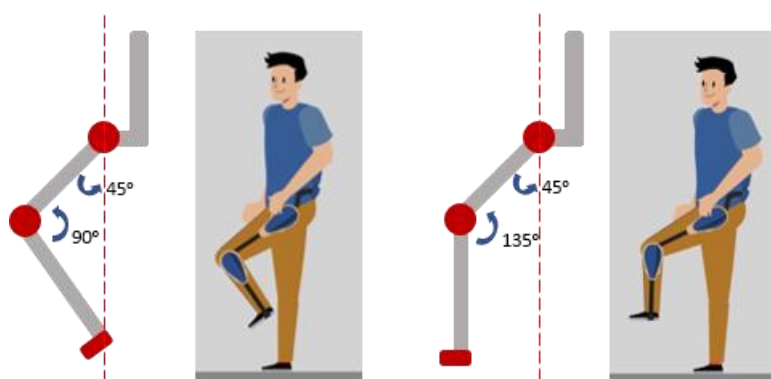
Dari tiap fungsi yang ada, penggunaan tombol dalam menggerakkan eksoskeleton harus diselesaikan tiap gerakan, sehingga menekan tombol berturut-turut ketika eksoskeleton belum menyelesaikan gerakannya, tidak akan mempengaruhi gerakan yang sedang berlangsung.

#### 4.18 Levelling Gerakan Eksoskeleton

Eksoskeleton dirancang untuk dapat digunakan pada penderita disabilitas pasca stroke dengan nilai motorik minimal 2 yang artinya dalam penerapannya nanti, gerakan yang dibuat harus disesuaikan dengan kondisi pasien yang berbeda-beda. Dilihat dari kondisi pasien yang kemampuan gerakanya berbeda tersebut, maka

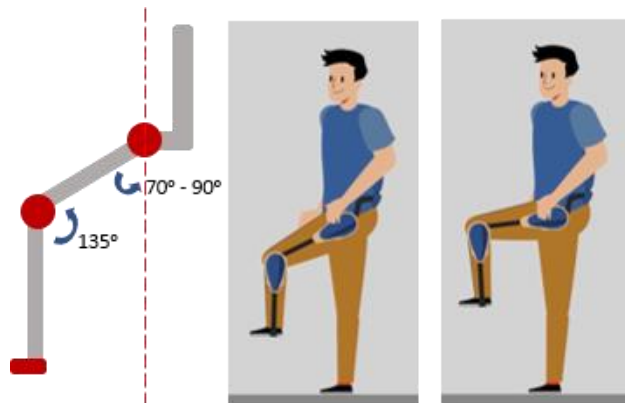
dilakukan *levelling* terhadap gerakan yang ada pada eksoskeleton. *Levelling* dilakukan pada gerakan latihan sederhana yang mana memang diperlukan adanya perbedaan sudut pada gerakan. Pengaturan *levelling* nantinya hanya dapat dilakukan oleh pihak medis karena disesuaikan dengan nilai motorik pasien pasca stroke.

**Level 1** : Diperuntukkan bagi pasien dengan nilai motorik 2, dengan kondisi pasien minim gerakan serta belum dapat melawan arah gravitasi. Pada level ini, eksoskeleton akan membantu pasien dalam mengangkat dan melatih anggota gerak bawahnya yang masih dalam tahapan nilai paling kecil. Sudut maksimum yang diterapkan pada level satu yaitu sebesar  $45^\circ$  dari sumbu vertikal (pada titik kritis pinggul), dan  $90^\circ$ - $135^\circ$  yang dibentuk oleh masing-masing tungkai (titik kritis lutut) hal ini dilakukan untuk menghindari cedera pada pasien jika menerapkan sudut-sudut ekstrim. *Speed/* kecepatan pada level 1 merupakan *speed* paling rendah karena menyesuaikan kondisi pasien yang masih lemah.



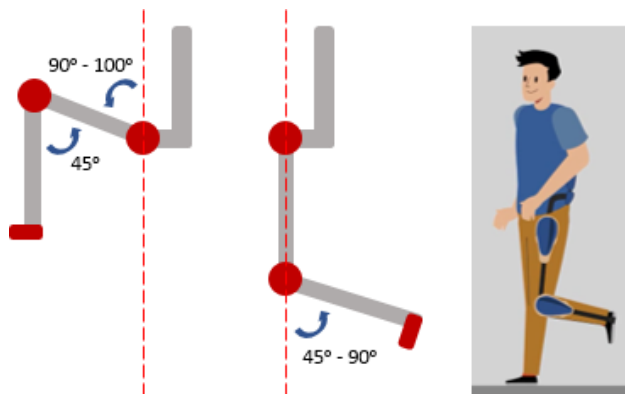
**Gambar 4. 18** Sudut maksimum pada gerakan level 1

**Level 2** : Diperuntukkan bagi pasien dengan nilai motorik 3, dengan kondisi pasien masih lemah dalam melawan arah gravitasi. Gerakan latihan yang diterapkan memiliki sudut maksimum yang diterapkan pada level 2 merupakan sudut medium dimana sudut yang dihasilkan yaitu sebesar  $70^\circ$ - $90^\circ$  dari sumbu vertikal (titik kritis pinggul), dan  $135^\circ$  yang dibentuk oleh masing-masing tungkai (titik kritis lutut). Kecepatan (*speed*) pada level 2 merupakan *speed* paling medium dimana kondisi pasien sedikit lebih stabil.



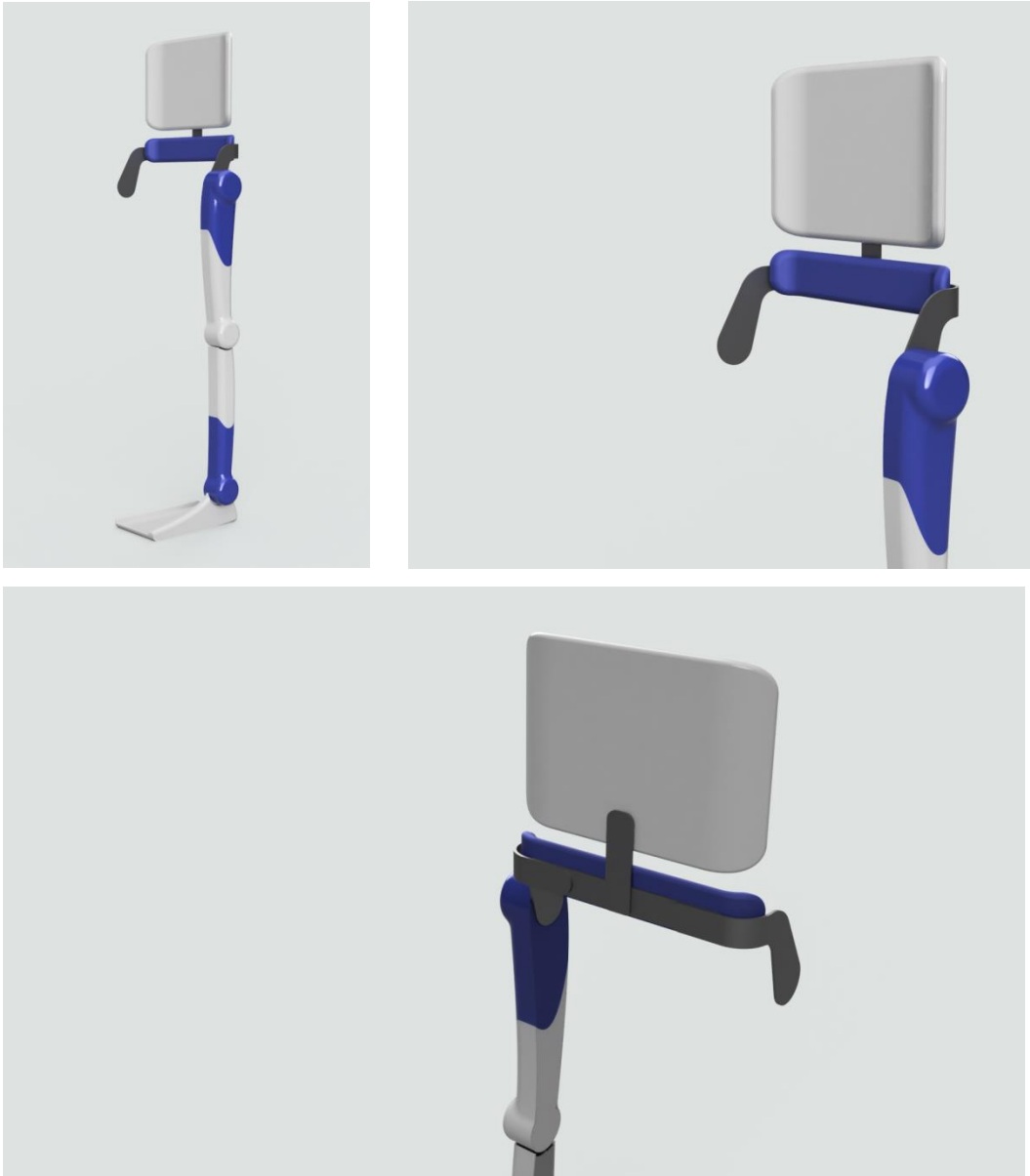
**Gambar 4. 19** Sudut maksimum pada gerakan level 2

**Level 3** : Diperuntukkan bagi pasien dengan nilai motorik 4, dengan kondisi pasien yang sudah jauh lebih baik dalam melakukan gerakan. Pada level ini, eksoskeleton berfungsi mengoptimal pasien untuk melakukan latihan yang rutin dan kontinyu sehingga hasil yang didapatkan lebih maksimal. Sudut yang diterapkan pada level 3 merupakan sudut maksimal yang dapat dilakukan untuk mendapatkan gerakan normal di setiap mode gerakan, serta gerakan ekstrim yang memaksimalkan gerak terapi pasien. *Speed/* kecepatan pada level 3 merupakan speed normal karena kondisi pada pasien dengan nilai motorik 4 kondisinya sudah jauh lebih baik.

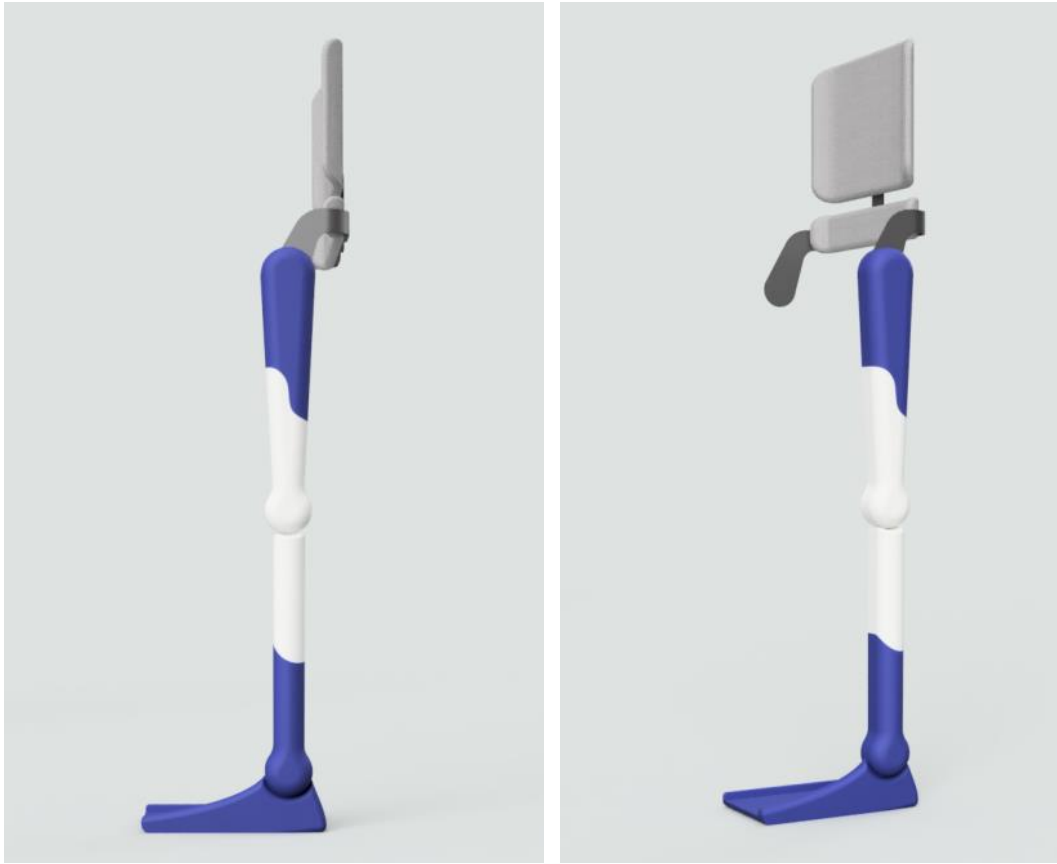


**Gambar 4. 20** Sudut maksimum pada gerakan level 3

#### 4.17 Desain Awal



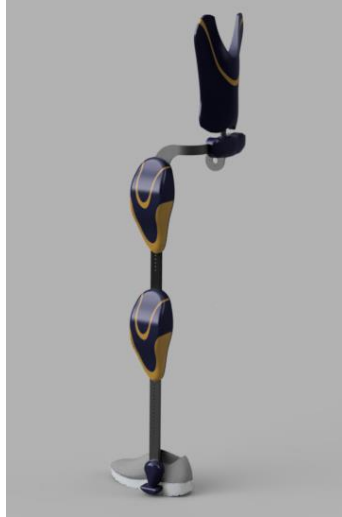
**Gambar 4. 21** Alternatif Desain 1



**Gambar 4. 22** Alternatif Desain 2

## BAB V

### KONSEP DESAIN



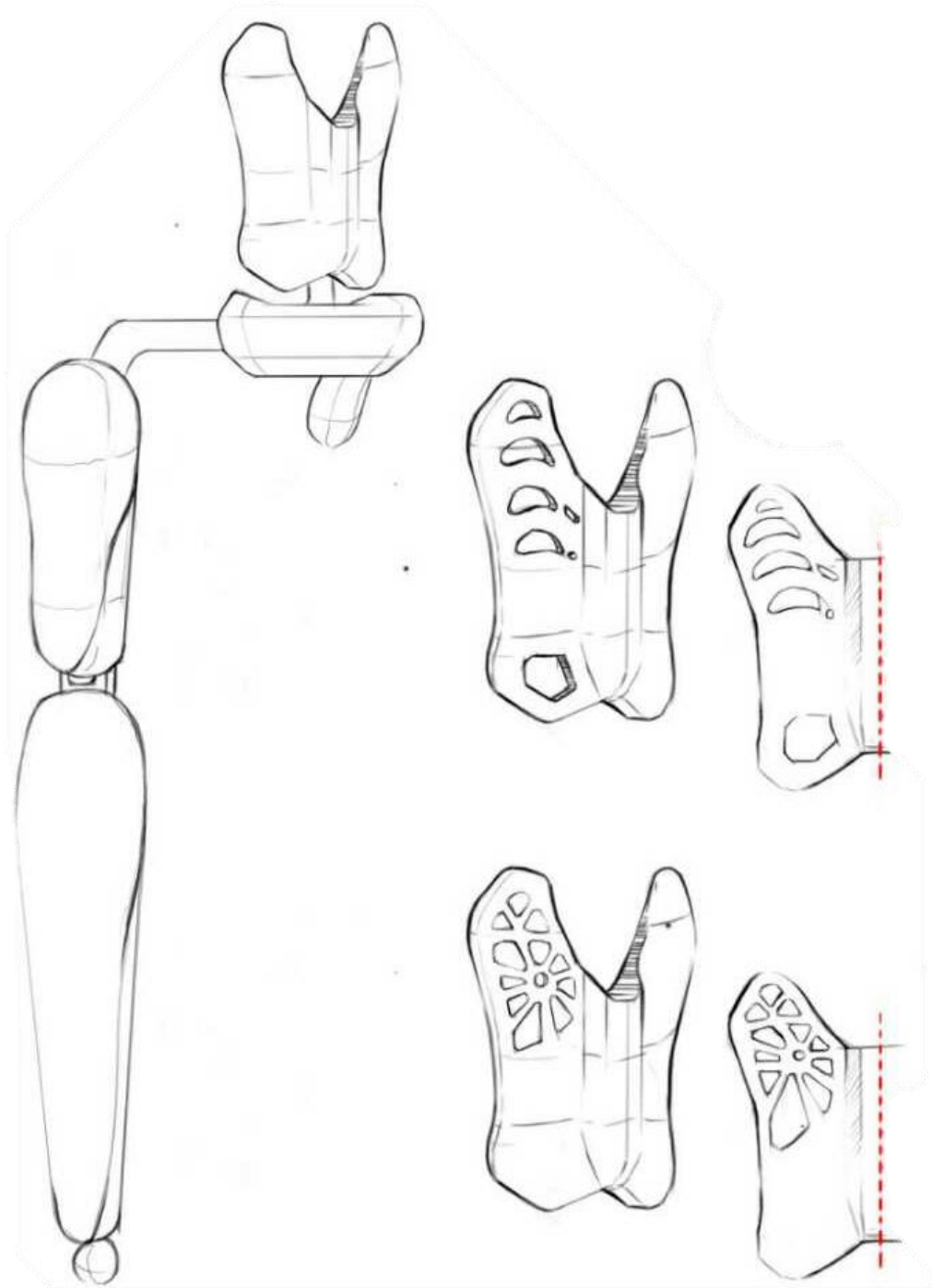
#### 5.1 Implementasi Konsep Desain

Berdasarkan proses desain yang telah dilakukan diatas, dapat disimpulkan menjadi konsep desain ‘Home Exercise’ yang dapat diuraikan sebagai berikut:

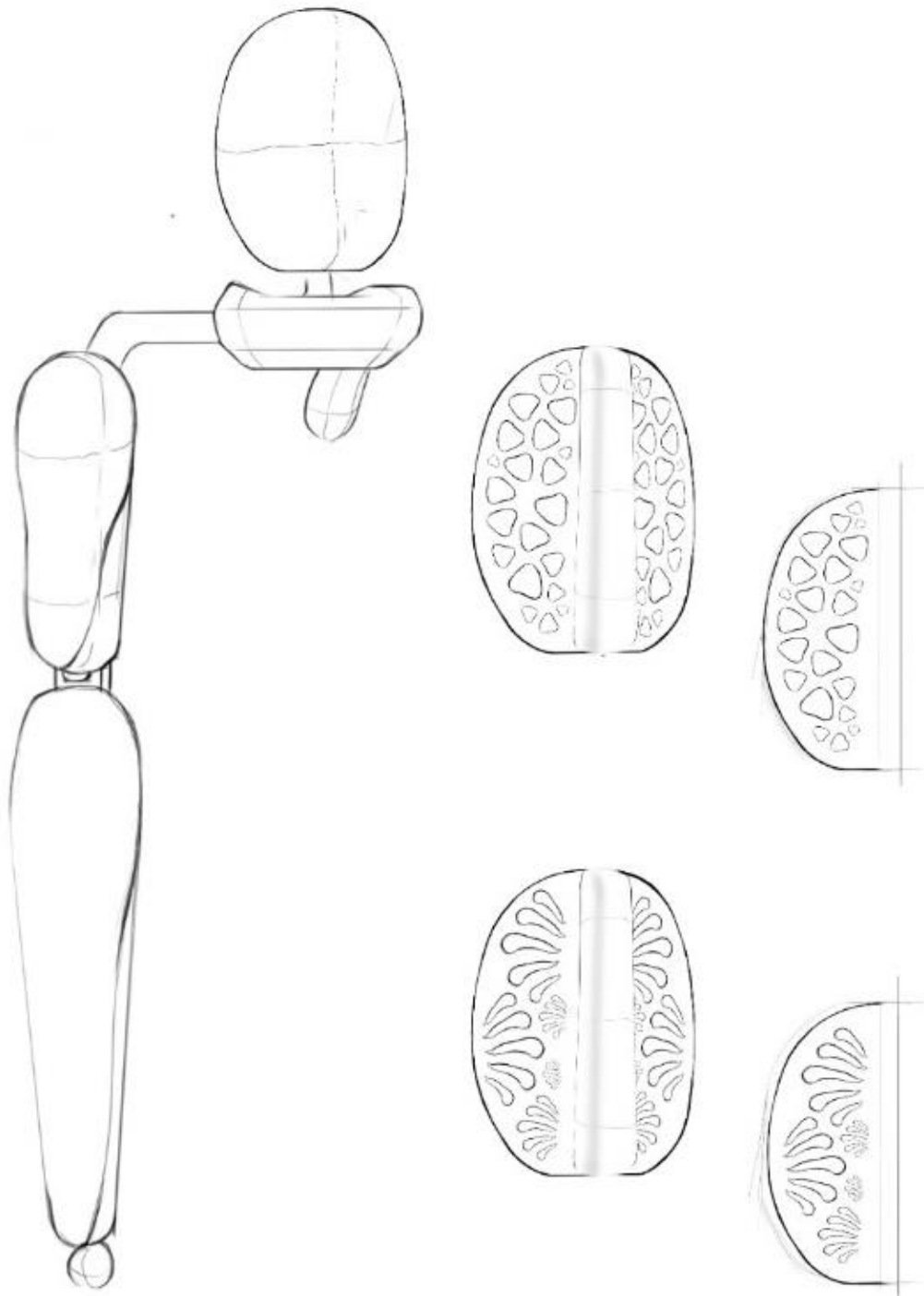
- a. *Replaceable* : Produk perancangan bersifat *replaceable* yang memudahkan dalam penggantian part.
- b. *Adjustable* : Produk perancangan memiliki fitur *adjustable* yang dapat menyesuaikan kebutuhan akan ketinggian dan ketebalan tubuh user pada bagian tungkai paha dan tungkai tibia.
9. *Dynamic* : Produk perancangan menghasilkan gerak berjalan, gerakan transisi dari posisi duduk ke posisi berdiri dan sebaliknya, serta gerakan latihan sederhana pada sumbu sagittal dapat bergerak dan berpindah sesuai kebutuhan user.
- c. *Safety* : Produk perancangan dibuat senyaman mungkin dengan mempertimbangkan aspek kenyamanan berupa adanya *back support* dan juga *walker*, serta adanya fabric yang melindungi bagian kulit user dari bersentuhan langsung dengan alat.
- d. *Easy to use* : Produk perancangan dibuat sesederhana mungkin sehingga mudah digunakan oleh user karena menggunakan sistem pengontrol berupa tombol-tombol yang disematkan pada *remote control*.



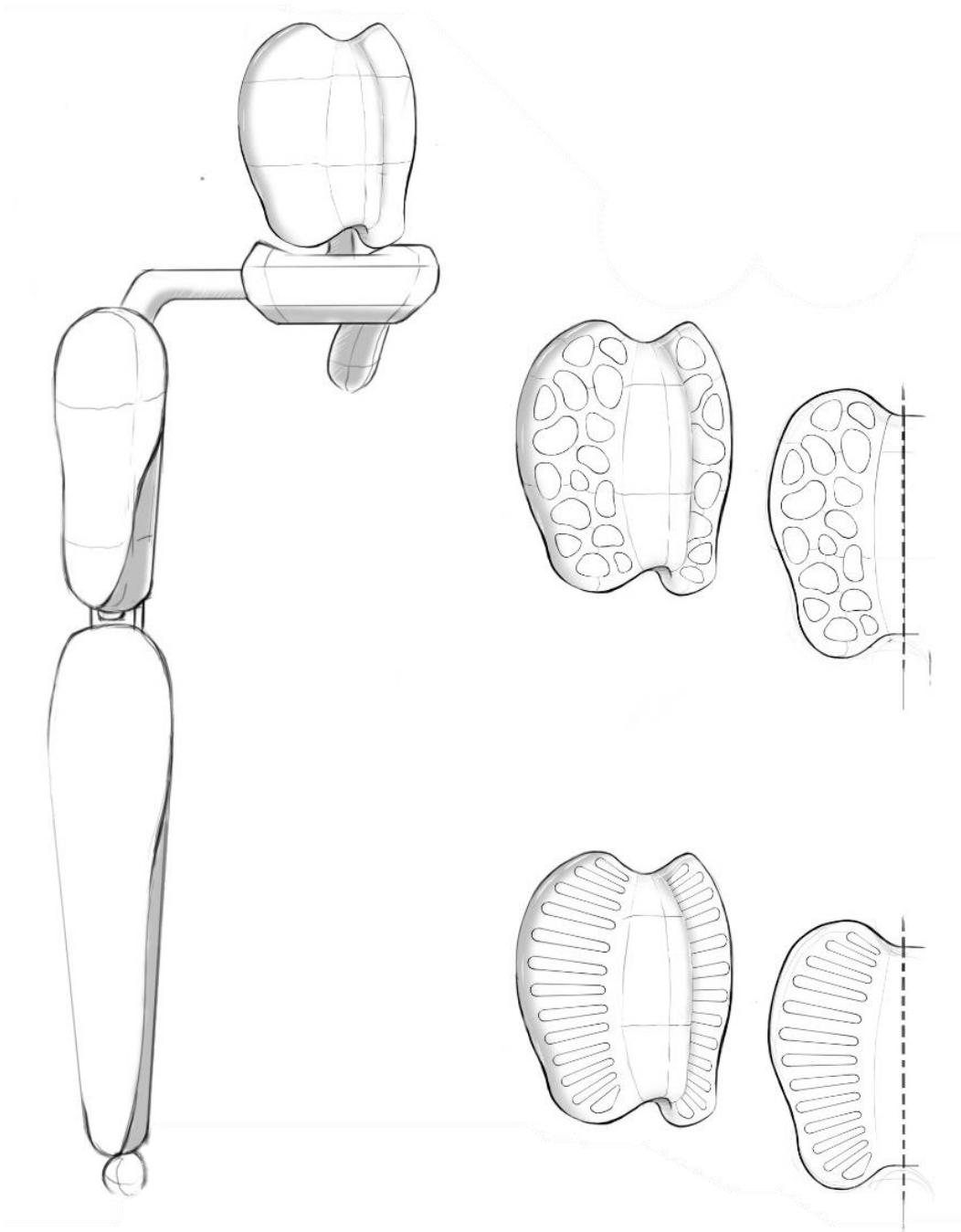
## 5.2 Sketsa Alternatif



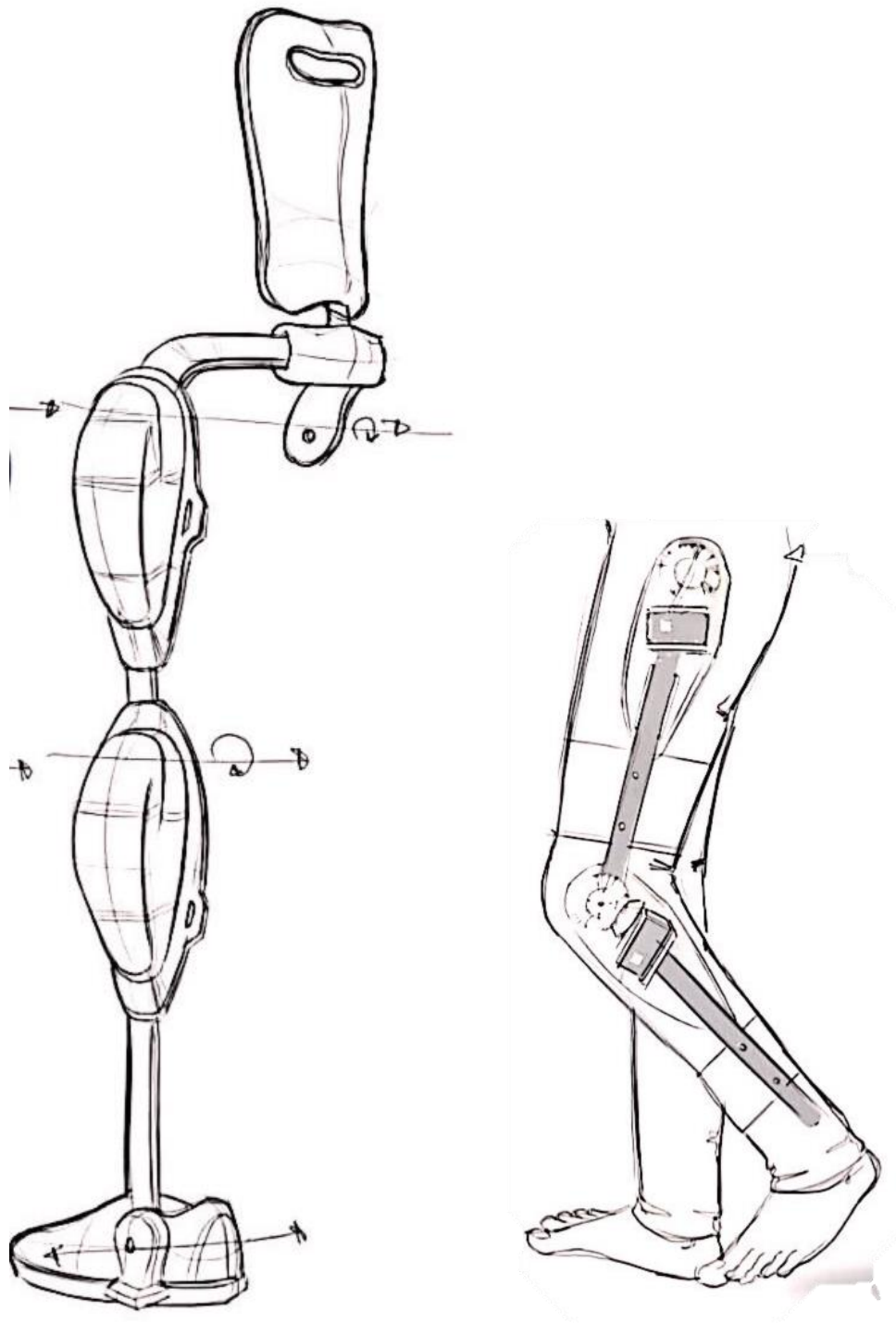
**Gambar 5. 1** Sketsa alternatif 1



**Gambar 5. 2** Sketsa alternatif 2

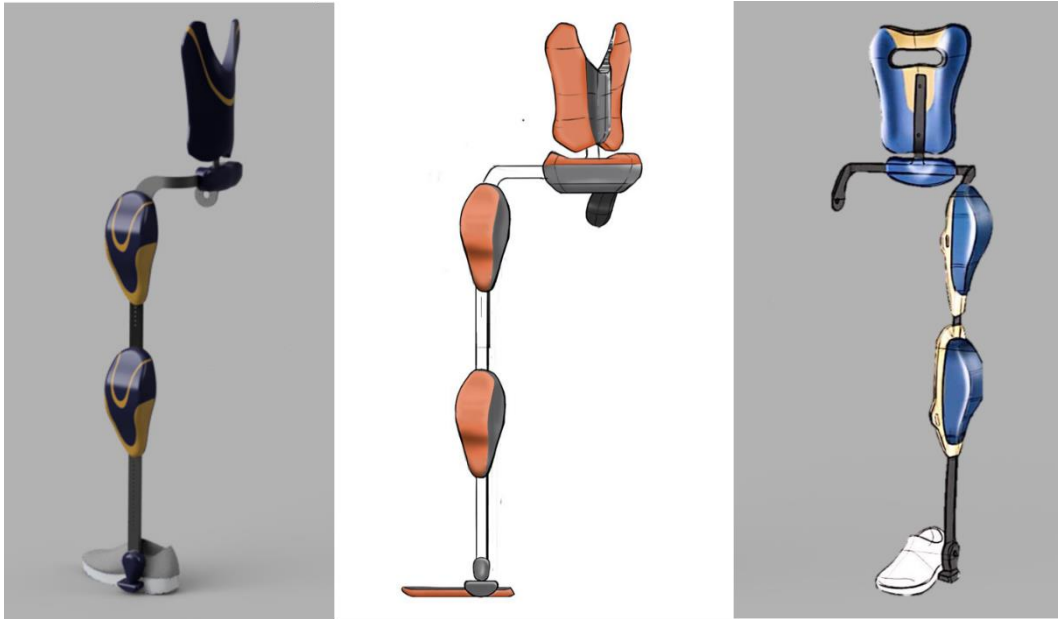


**Gambar 5.3** Sketsa alternatif 3



Gambar 5. 4 Sketsa alternatif 5

### 5.3 Alternatif Desain



#### 5.3.2 Alternatif Desain 1



Gambar 5. 5 Desain Alternatif 1

### 5.3.3 Alternatif Desain 2



Gambar 5. 6 Desain alternatif 2

### 5.4 Desain Final

3D model dikembangkan dari sketsa alternatif yang telah dibuat. Bentuk eksoskeleton cenderung pada bentuk organis yang mana bentukannya memiliki kesan lebih luwes sehingga membuat rancangan lebih humanis pada saat dikenakan oleh *user*.



Gambar 5. 7 Desain Terpilih

**a. Operasional**



Gambar 5. 8 Gambar Operasional

Pada eksoskeleton yang dirancang memiliki 3 derajat kebebasan (*degree of freedom*) yang terbagi pada bagian tertentu diantaranya:

1. Pinggul

Pada bagian pinggul terdapat 1 derajat kebebasan yaitu bergerak pada sumbu *sagittal* yang mana melakukan gerakan fleksi-ekstensi pada bagian pinggul.

2. Lutut

Pada bagian lutut terdapat 1 derajat kebebasan yang bersumbu pada poros *sagittal* yang mana berfungsi menggerakkan dan melatih gerakan fleksi

dan ekstensi pada lutut.

### 3. Pergelangan kaki

Pada bagian pergelangan kaki terdapat 1 derajat kebebasan yang bersumbu pada poros *sagittal* dengan fungsi menggerakkan dan melatih dorsifleksi dan plantarfleksi.

#### b. Varian Case

Bagian *case* pada eksoskeleton dapat diubah sesuai dengan keinginan *user* oleh karena itu dibuat beberapa varian *case* yang dapat digunakan sebagai alternatif pilihan untuk user dalam memilih *case* eksoskeleton:


Case punggung 1	Case punggung 2	Case punggung 3
		
Case kaki 1	Case kaki 2	Case kaki 3
		



### 5.5 Uji Coba Penggunaan Alat

Uji coba penggunaan alat dilakukan untuk mengetahui dan mengevaluasi hasil produk rancangan pada saat dioperasikan. Dari hasil percobaan pengoperasian alat, terdapat beberapa poin yang menjadi bahan evaluasi yaitu :

Gambar	Evaluasi	Solusi
	<p>Sistem <i>adjustable</i> pada <i>belt</i>/sabuk eksoskeleton hanya diterapkan satu sisi sehingga ukuran tidak bisa disesuaikan secara maksimal serta letak <i>belt</i> menjadi tidak simetri</p>	<p>Penggunaan <i>adjustable belt</i> pada dua sisi sehingga penyesuaian ukuran dapat lebih maksimal, dan produk menjadi lebih simetri</p>
	<p>Tidak adanya pengikat servo pada rumah servo/ frame servo, sehingga membuat servo seringkali bergeser keluar dan menyebabkan gear tidak berjalan sempurna</p>	<p>Memberikan lubang untuk baut pengikat pada dudukan servo supaya servo tidak terlepas</p>
	<p>Ukuran pada <i>belt</i> tungkai paha dan tibia terlalu besar sehingga tidak dapat digunakan pada orang dengan ukuran kaki kurus</p>	<p>Melakukan pembuatan ulang <i>belt</i> sehingga ukuran belt sesuai dengan dimensi tubuh</p>

	<p>Ukuran penutup <i>case</i> kaki sedikit kurang tinggi sehingga <i>case</i> sundul dengan servo yang mengakibatkan <i>case</i> tidak bisa menutup dengan sempurna</p>	<p>Penambahan ketinggian pada <i>case</i> sehingga <i>case</i> tidak sundul dengan</p>
---	---	--

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Kesimpulan dari perancangan eksoskeleton ditunjukkan untuk menjawab permasalahan yang telah dijabarkan.

1. Desain eksoskeleton dapat menunjang dan membantu menggerakkan salah satu sisi kaki yang lemah akibat stroke (monoplegia/hemiplegia).
2. Eksoskeleton dilengkapi fitur gerak latihan sederhana dan gerak berpindah posisi yang menunjang kebutuhan terapi pasien.
3. Desain eksoskeleton dibuat dengan meletakkan sistem adjustable yang dapat disesuaikan oleh user.
4. Eksoskeleton dibuat dengan pertimbangan nilai *replaceable* yang memudahkan dalam melakukan penggantian part.
5. Dimensi eksoskeleton dibuat cukup ringkas dan disesuaikan dengan komponen dan atribut yang ada pada eksoskeleton.
6. Adanya penambahan alas kaki yang membantu pasien untuk tetap pada posisi kaki yang sejajar.
7. Penambahan part untuk *back support* sebagai komponen tambahan yang dapat membantu tubuh pasien agar lebih tegap, serta sebagai tempat meletakkan baterai sebagai daya utama penggerak eksoskeleton.

#### **6.2 Saran**

Berikut beberapa masukan untuk pengembangan desain selanjutnya :

- a. Artikulasi gerakan dapat disempurnakan sehingga dapat mendekati gerakan kaki normal.
- b. Eksoskeleton diharapkan dapat dibongkar pasang sehingga memudahkan penyimpanan dan pengemasan.
- c. Penerapan struktur rangka eksoskeleton masih bisa dibuat lebih *rigid* dan lebih kuat.
- d. Penggunaan motor dengan torsi yang lebih besar dapat dilakukan sehingga kekuatan eksoskeleton dalam menopang tubuh dapat lebih maksimal.

- e. Rangka bagian pinggul masih terekspos, dan belum dipasang *fabric*/ kain pelindung.

## DAFTAR PUSTAKA

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

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

Yayasan Strok Indonesia (Yastroki),  
[http://medicastore.com/strok/Strok\\_Pembunuh\\_No\\_3\\_di\\_Indonesia.php](http://medicastore.com/strok/Strok_Pembunuh_No_3_di_Indonesia.php)

Wicaksana, I. (2017). Desain *Lower-Limb* Eksoskeleton untuk Menunjang Rehabilitasi Pasien Pasca Strok dengan Menggunakan Konsep *Compact* dan *Afford*

Dreyfuss, H. (1966). *The Measure of Man : Human Factors in Design*. New York: Whitney Library of Design.

Baser, Osgur. 2016. *Mechanical Design of a Biomimetic Compliant Lower Limb Eksoskeleton (BioComEx)*

The Eight Phases of Human Gait Cycle.  
[https://www.streifeneder.com/downloads/o.p./400w43\\_e\\_poster\\_gangphasen\\_druck.pdf](https://www.streifeneder.com/downloads/o.p./400w43_e_poster_gangphasen_druck.pdf) (Diakses pada 30 November 2018)

Fisiotutor. Gait Cycle dan Gait Analysis. Tersedia di :  
<https://www.youtube.com/watch?v=1u6d1CX7o9c>

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

Rintala A, Päävärinne V, Hakala S, Paltamaa J, Heinonen A, Karvanen J, Sjögren T, Effectiveness of technology-based distance physical rehabilitation interventions for improving physical functioning in stroke: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials, ARCHIVES OF PHYSICAL MEDICINE AND REHABILITATION (2019), doi: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2018.11.007>.

Journal of Robotics, 2011. Lower-Limb Robotic Rehabilitation: Literature Review and Challenges

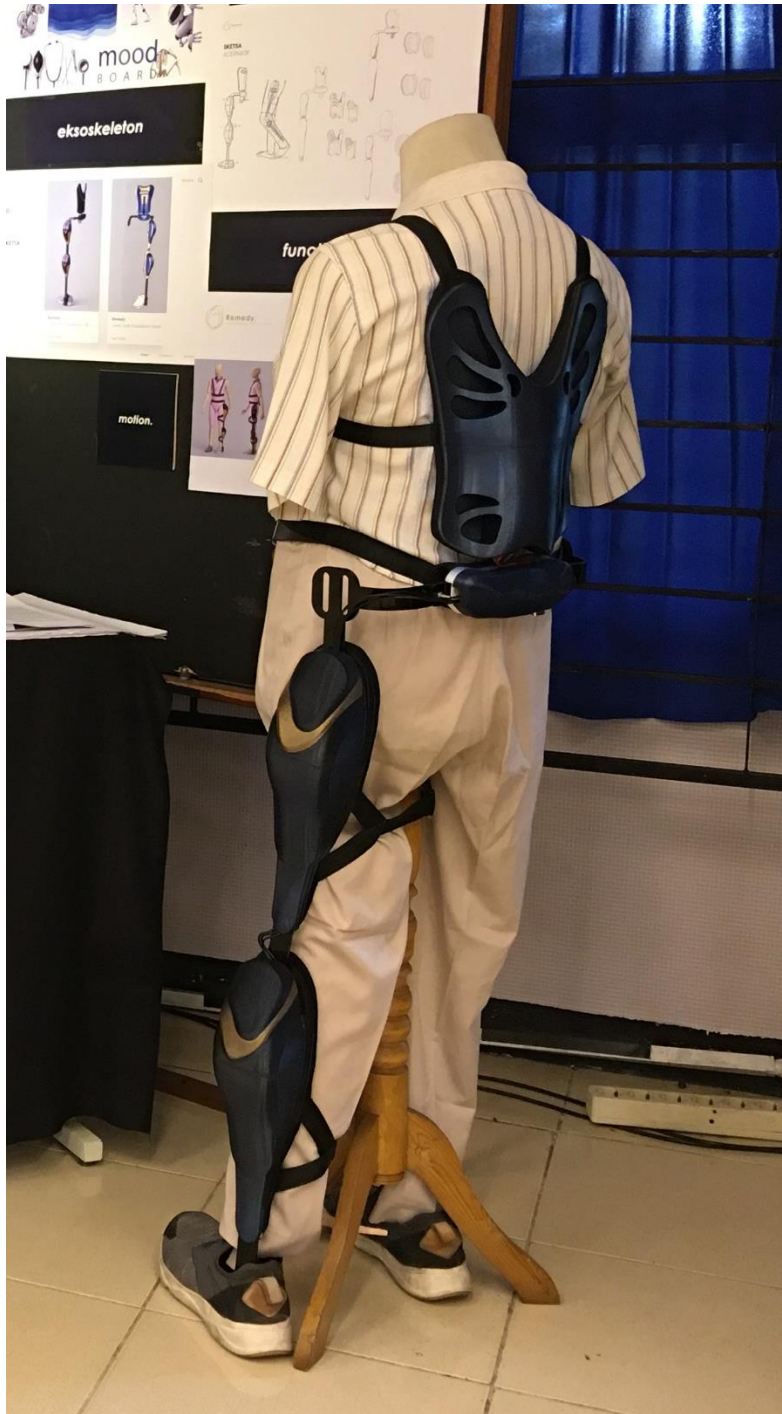
World Health Organization, dalam  
[https://www.who.int/topics/cerebrovascular\\_accident/en/](https://www.who.int/topics/cerebrovascular_accident/en/)

Pradanasari, Rosiana Wirawan. 2009. *Rehabilitasi Strok pada Pelayanan Kesehatan Primer*

Beyaert C., Vasa R., Frykberg G.E. (2015). *Gait post-strok: Pathophysiology and rehabilitation strategies*, 335-355

Adib M. (2009). Cara Mudah memahami dan menghindari hipertensi, jantung dan strok.

## LAMPIRAN



Lampiran 1 Produk Final







**Lampiran 2.** Sistem *belt/ sabuk*





**Lampiran 3.** Tombol *On/Off* dan Konektor penghubung remote









**Lampiran 4.** Remote 4 tombol dengan masing-masing fungsi yang berbeda



MATA KULIAH : Riset Desain  
NAMA MHS : Rahma Kurnia Sari  
NRP : 0831154000011

No	TANGGAL	URAIAN KEGIATAN	CEK	TANDA TANGAN
1.	28 September 2018	- Briefing Riset Desain - Menentukan market yg di tuju - fiksasi judul		
2.	15 Oktober 2018	- Buat Researchgate.net - Abstrak, tujuan, rumusan masalah harus jelas		
3.	31 Oktober 2018	- Buat <del>Objective</del> tabel permasalahan, objective, indkato keberhasilan, konsep, output.		
4.	29 November 2018	- Asistensi tabel - Kalimat tidak efektif - Studi lagi ↳ jenis therapy stroke ↳ Rejabasi y/ terapi ↳ pengelompokan stroke ↳ kmp orang malas latihan di rumah.		

halaman ke : ...







DEPARTEMEN DESAIN PRODUK INDUSTRI  
 FAKULTAS ARSITEKTUR, DESAIN DAN PERENCANAAN

UNTUK MAHASISWA

**LOG BOOK**

MATA KULIAH : Riset Desain  
 NAMA MHS : Rahma Kurnia Sari  
 NRP : 08311540000131

No	TANGGAL	URAIAN KEGIATAN	CEK	TANDA TANGAN
5.	3 December 2018	- Revisi Laporan Bab 1 - Revisi Objective		
6.	5 Desember 2018	• Potong dan Rakit untuk membuat sistem dan mekanisme.		
7.	<del>7 Desember 2018</del> 4 Januari 2019	- Tambahi bab 2 tentang adjustable - Kurangi porsi yg tidak perlu terkait stroke. - Keterangan tentang adjustable.		
	8 Januari 2019	- Buat 3D model adjustable. - Adjustable ga cuma u/ tinggi tapi juga <del>ku</del> u/ ketebalan - Kalau perlu print 3D adjustable yg sudah dibuat.		

halaman ke : .....



Lampiran 6. Lembar Asistensi 2





DEPARTEMEN DESAIN PRODUK INDUSTRI  
FAKULTAS ARSITEKTUR, DESAIN DAN PERENCANAAN

UNTUK MAHASISWA

**LOG BOOK**

MATA KULIAH : Riset Desain  
NAMA MHS : Rahma Kurnia Sari  
NRP : 0831154000131

No	TANGGAL	URAIAN KEGIATAN	CEK	TANDA TANGAN
	7 Februari 2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Konsep desain</li> <li>- Buat alternatif adjustable sebanyak-banyaknya</li> <li>- Perancangan KI.</li> <li>- Print model adjustable untuk KI.</li> </ul>		
	21 Februari 2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abstrak B. Inggris</li> <li>- Gambar diganti punya sendiri</li> <li>- Kota B. Inggris di italic.</li> <li>- Gambar ulang yg perlu.</li> <li>- Portfolio</li> <li>- Metode diperjelas</li> </ul>		
	26 November 2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revisi Lembar berita acara</li> <li>- Konsultasi mekanisme gerakan</li> <li>- Analisis warna dan bentuk</li> </ul>		
	3 Oktober 2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sketsa ide dan 3D Modelling</li> <li>- Revisi Laporan</li> </ul>		

halaman ke : .....





DEPARTEMEN DESAIN PRODUK INDUSTRI  
 FAKULTAS ARSITEKTUR, DESAIN DAN PERENCANAAN

UNTUK MAHASISWA

**LOG BOOK**

MATA KULIAH : Tugas Akhir  
 NAMA MHS : Rahma Kurnia Sari  
 NRP : 0831154000131

No	TANGGAL	URAIAN KEGIATAN	CEK	TANDA TANGAN
	26 November 2019	- Revisi lembar Berita Acara - 3D Modelling		
	27 November 2019	- Menjelaskan kelebihan produk dengan gambar disertai gambar.		
	28 November 2019	- Revisi Bab 1 : Latar Belakang		

halaman ke : .....



Lampiran 8. Lembar Asistensi 4





**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

DEPARTEMEN DESAIN PRODUK INDUSTRI  
FAKULTAS ARSITEKTUR, DESAIN DAN PERENCANAAN

UNTUK MAHASISWA

**LOG BOOK**

MATA KULIAH : Tugas Akhir  
NAMA MHS : Rahma Kurnia Sari  
NRP : 0831154000131

No	TANGGAL	URAIAN KEGIATAN	CEK	TANDA TANGAN
	29 Desember 2019	- Analisis gerakan & gait cycle - 30 case baru		
	2 Januari 2020	- Menentukan sudut dan arah gerak - Titik kritis dan sudut diberi tanda - Penyediaan motor dengan spesifikasi yg lebih besar untuk kesimpulan (pengembangan) - Struktur flat dulu		

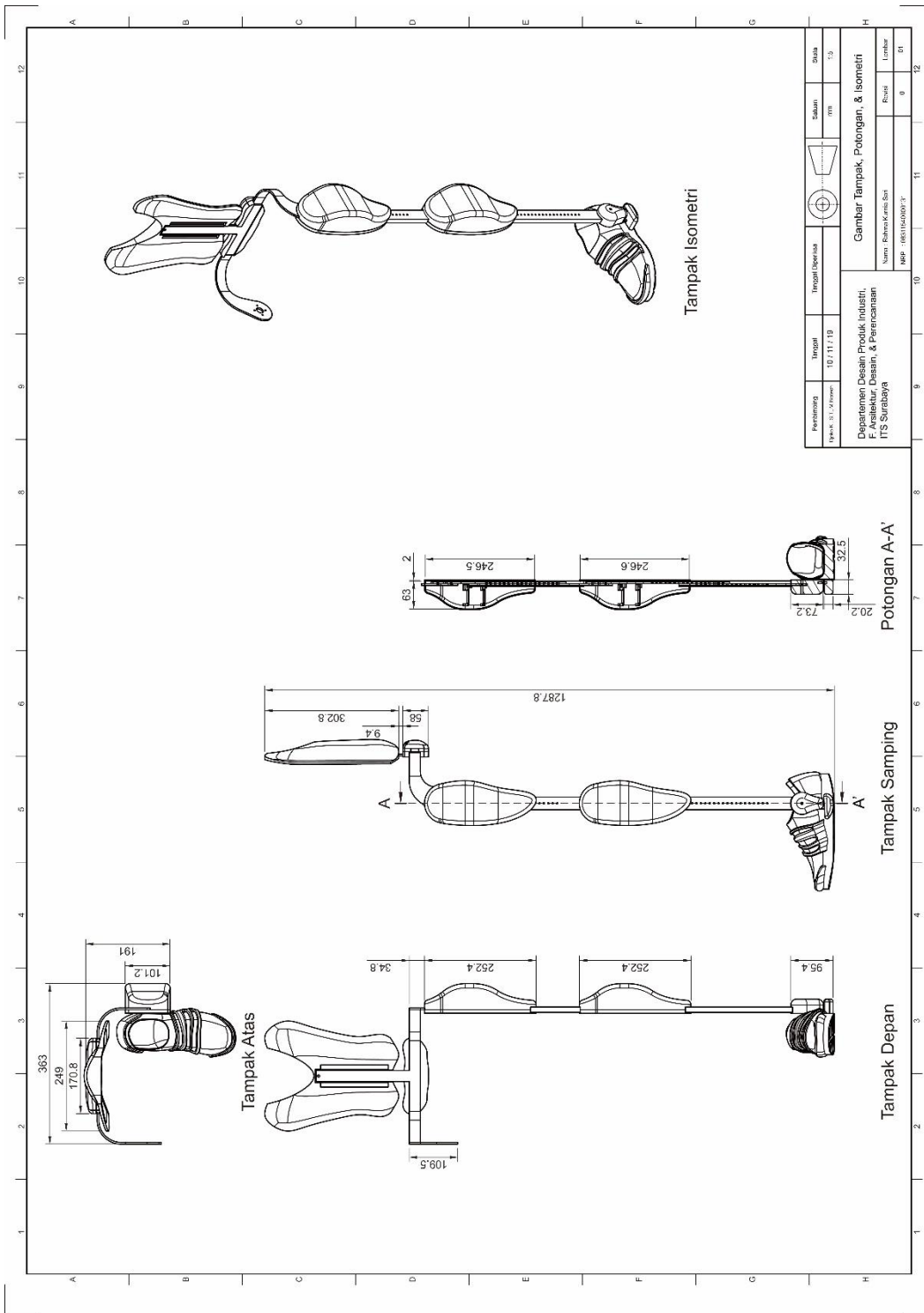
halaman ke : ....



Scanned with  
CamScanner

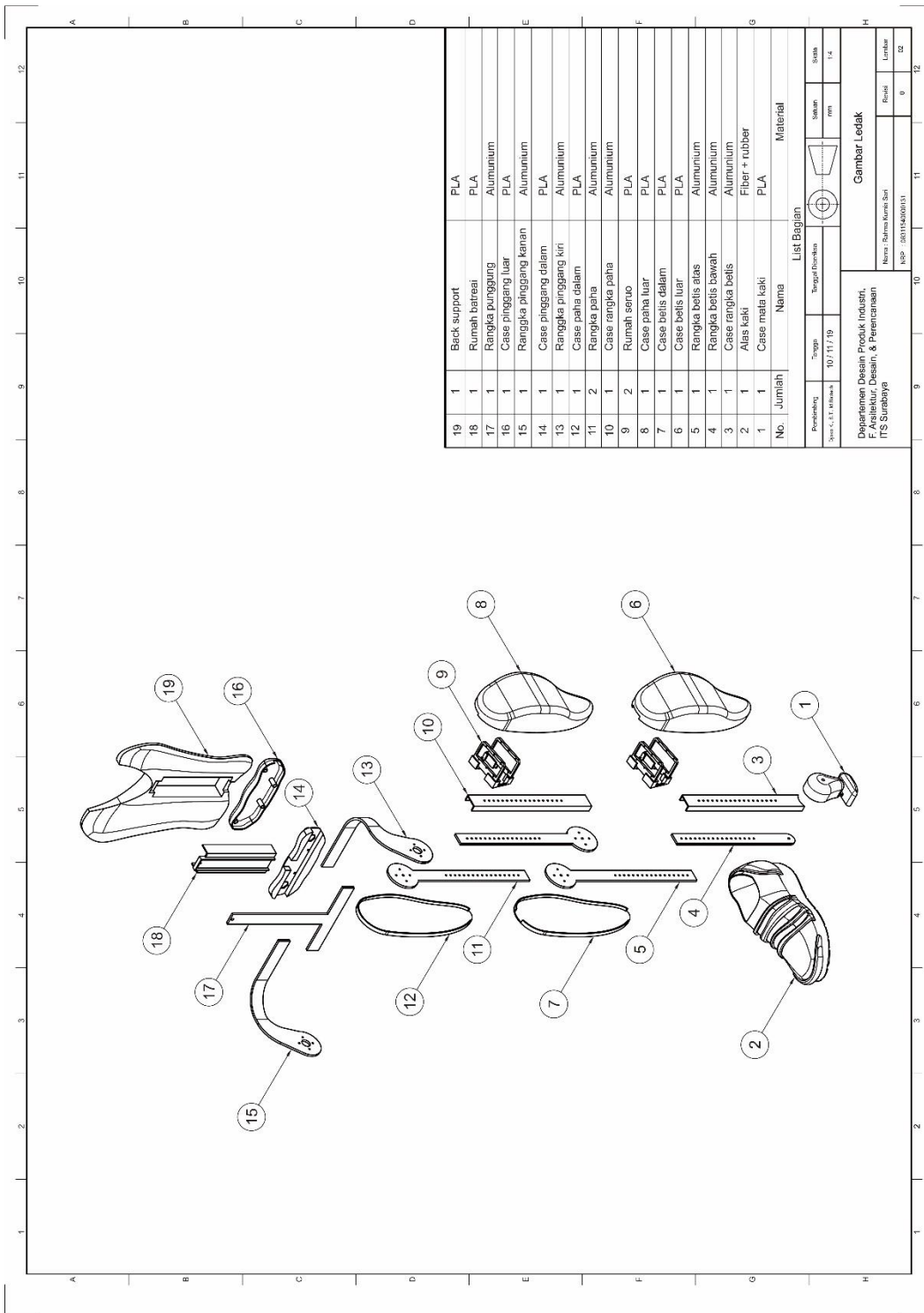






Lampiran 10. Gambar Tampak





No.	Jumlah	Nama	Materi
19	1	Back support	PLA
18	1	Rumahnya bantasi	PLA
17	1	Rangka punggung	Aluminium
16	1	Case pinggang luar	PLA
15	1	Rangka pinggang kanan	Aluminium
14	1	Case pinggang dalam	PLA
13	1	Rangka pinggang kiri	Aluminium
12	1	Case paha dalam	PLA
11	2	Rangka paha	Aluminium
10	1	Case rangka paha	Aluminium
9	2	Rumahnya serupo	PLA
8	1	Case paha luar	PLA
7	1	Case betis dalam	PLA
6	1	Case betis luar	PLA
5	1	Rangka betis atas	Aluminium
4	1	Rangka betis bawah	Aluminium
3	1	Case rangka betis	Aluminium
2	1	Alas kaki	Fiber + rubber
1	1	Case mata kaki	PLA

List Bagian	
Pemilihan	10 / 11 / 19
Desain	10 / 11 / 19
Skala	1:4

Departemen Desain Produk Industri,  
F. Analektur, Desain, & Perencanaan  
ITS Surabaya

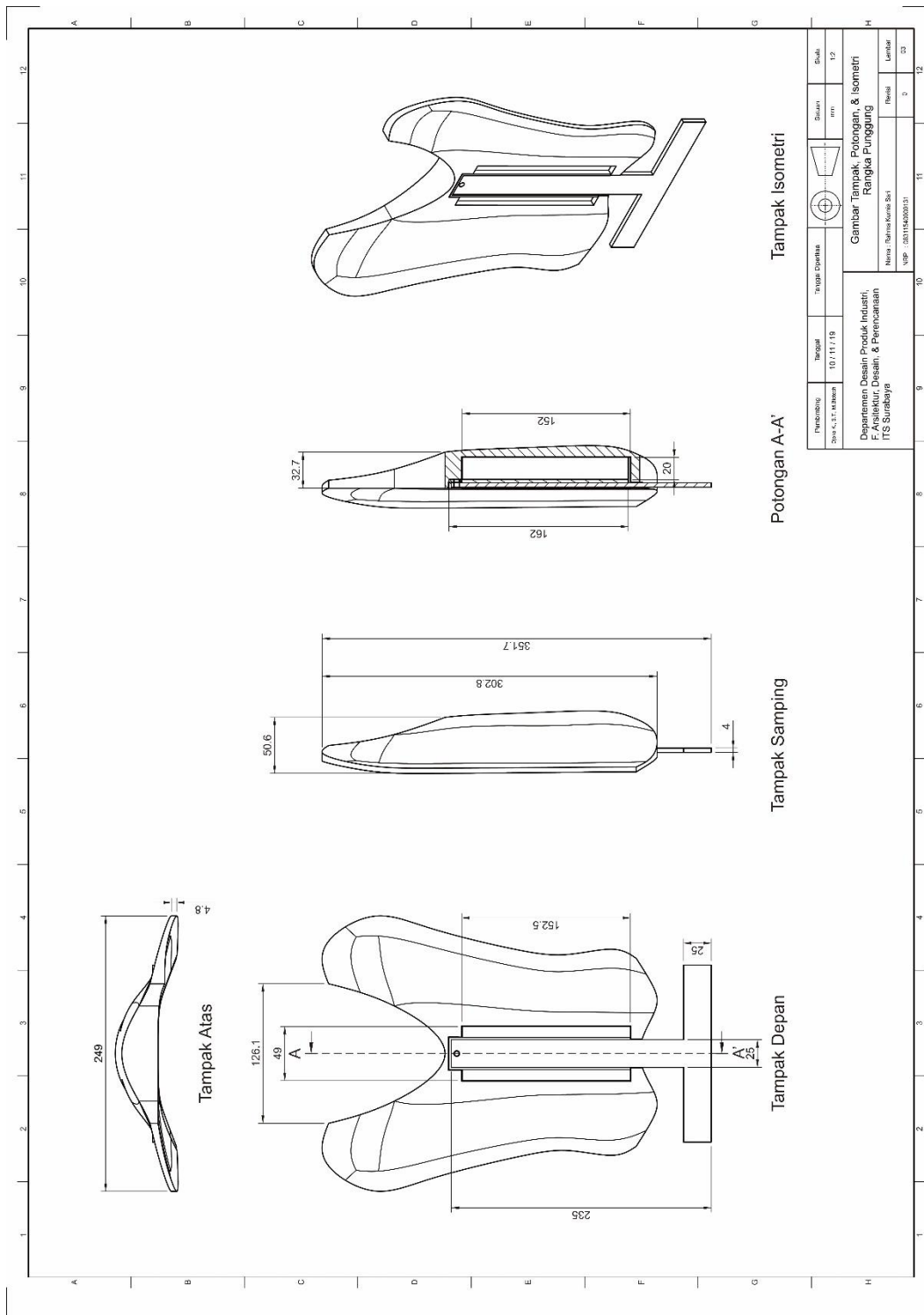
Nama: Balma Kurnia Sari  
NPM: 0831144200151

Gambar Ledak

Revisi	Uraian
0	02

Lampiran 11. Gambar Ledak

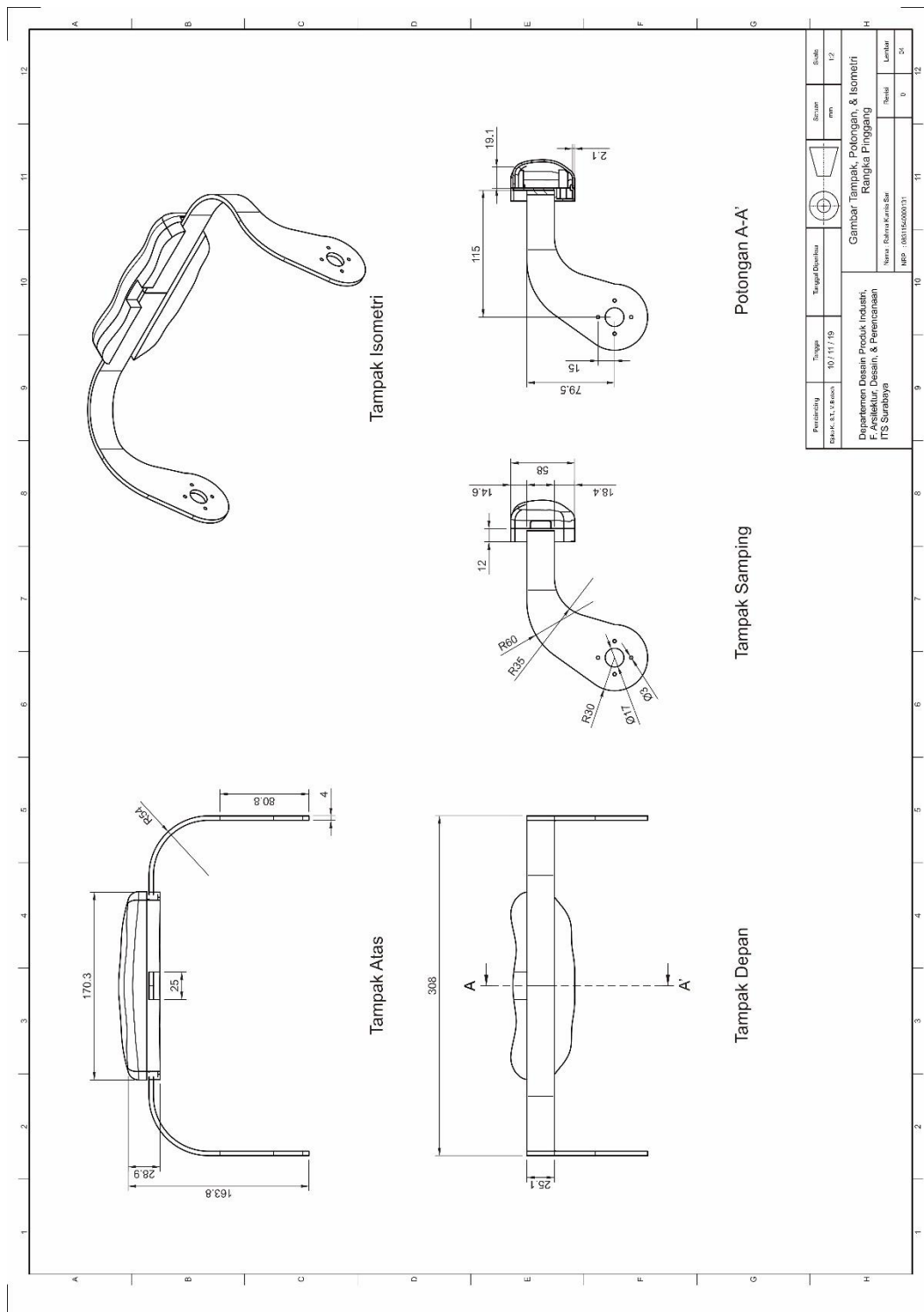




Perencanaan	Tanggal	Tingkat Disain	Skala	Duk.
Drafter: A.S.F. M. Arhan	10/11/19		1:1	1:2
<b>Gambar Tampak, Potongan, &amp; Isometri Rangka Punggung</b>				
Departemen Desain Produk Industri, F. Asitektur, Desain, & Perencanaan ITS Surabaya				
Nama: Nurme Kurnia Sari			Revisi	Lambar
VSP: 2031154200131			5	03

Lampiran 12. Gambar Tampak, Potongan, dan Isometri (Punggung)





Pembimbing	Tanggal	Tanggal Dibahas	Skala	Daerah
BHAKA, S.T., M.Sc.	10/7/17/19		mm	12

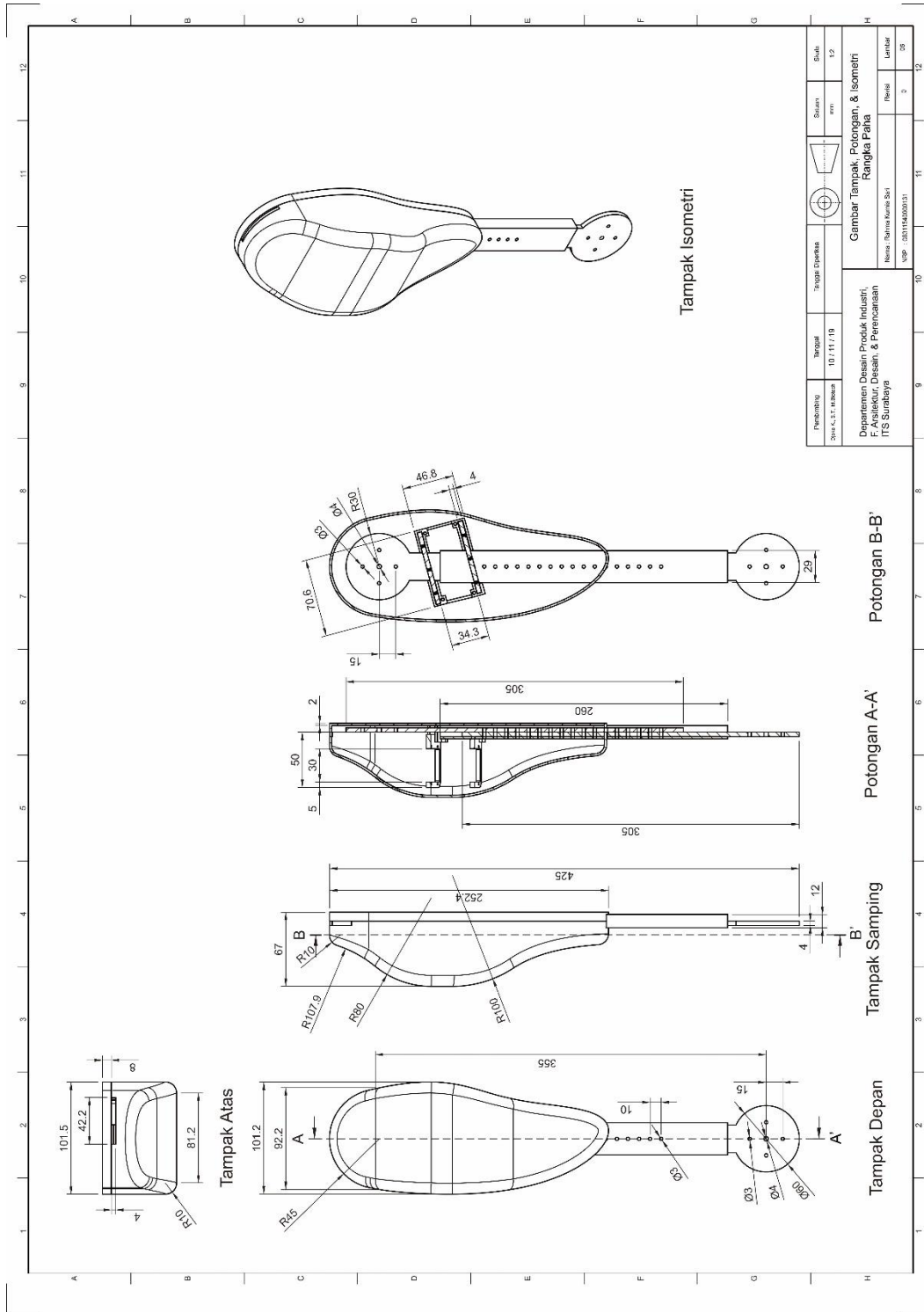
Gambar Tampak, Potongan, & Isometri  
Rangka Pinggang

Nama: Rohana Kurniasari	
NPM	083152400031
Revisi	0
Lembar	01

Lampiran 13. Gambar Tampak, Potongan, dan Isometri (Pinggang)



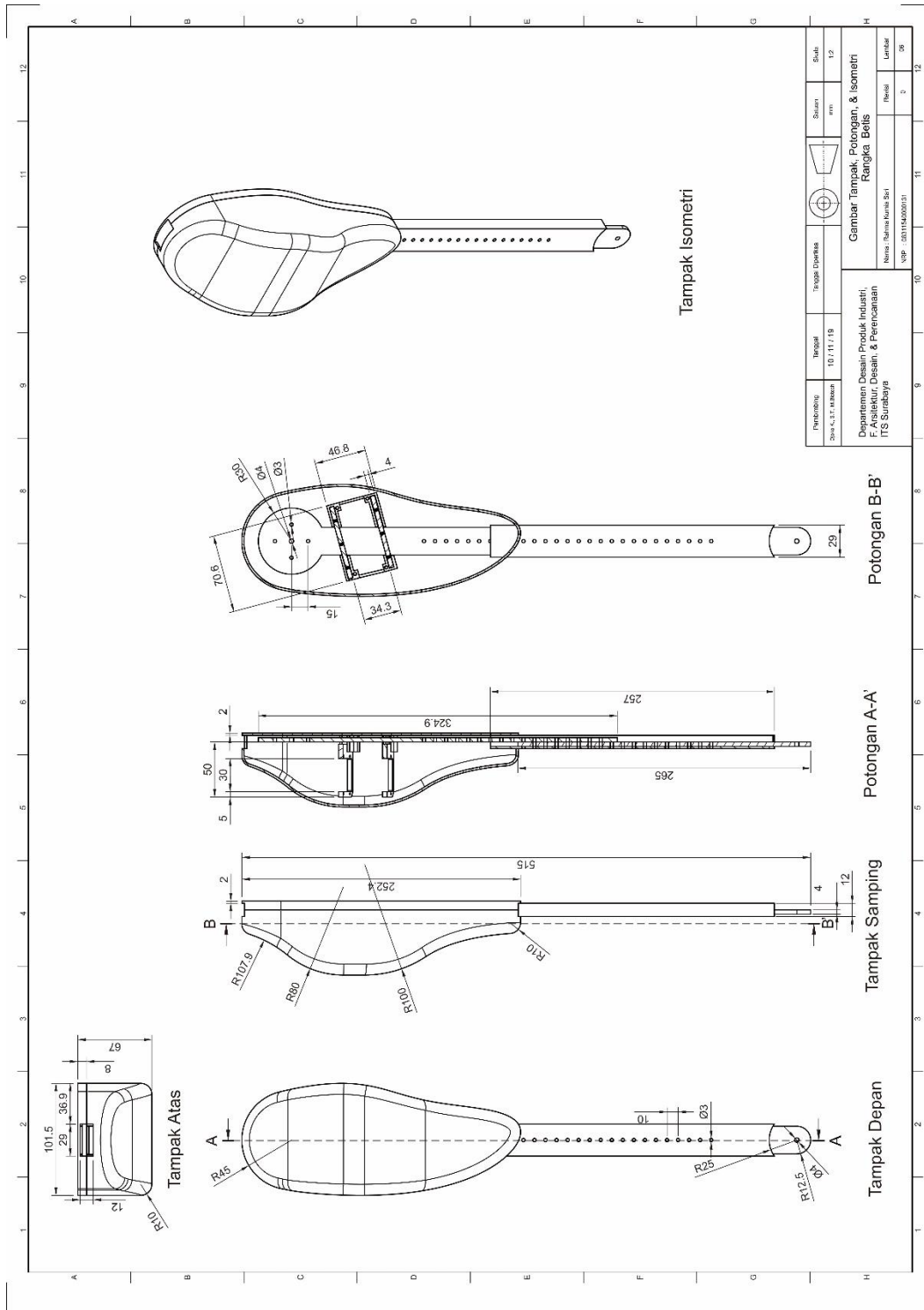




Penggambar	Tanggal	Tanggal Diserahkan	Skala
2024.A.S.T. H. H. H.	10/11/19		1:2
Departemen Desain Produk Industri, F. Aspek Kur. Desain & Perencanaan ITS Surabaya			Nama: <u>Bahma Kurnia Sari</u> NPM: <u>2023114400031</u>
Gambar Tampak, Potongan, & Isometri Rangka Paha			Lembar 5 29

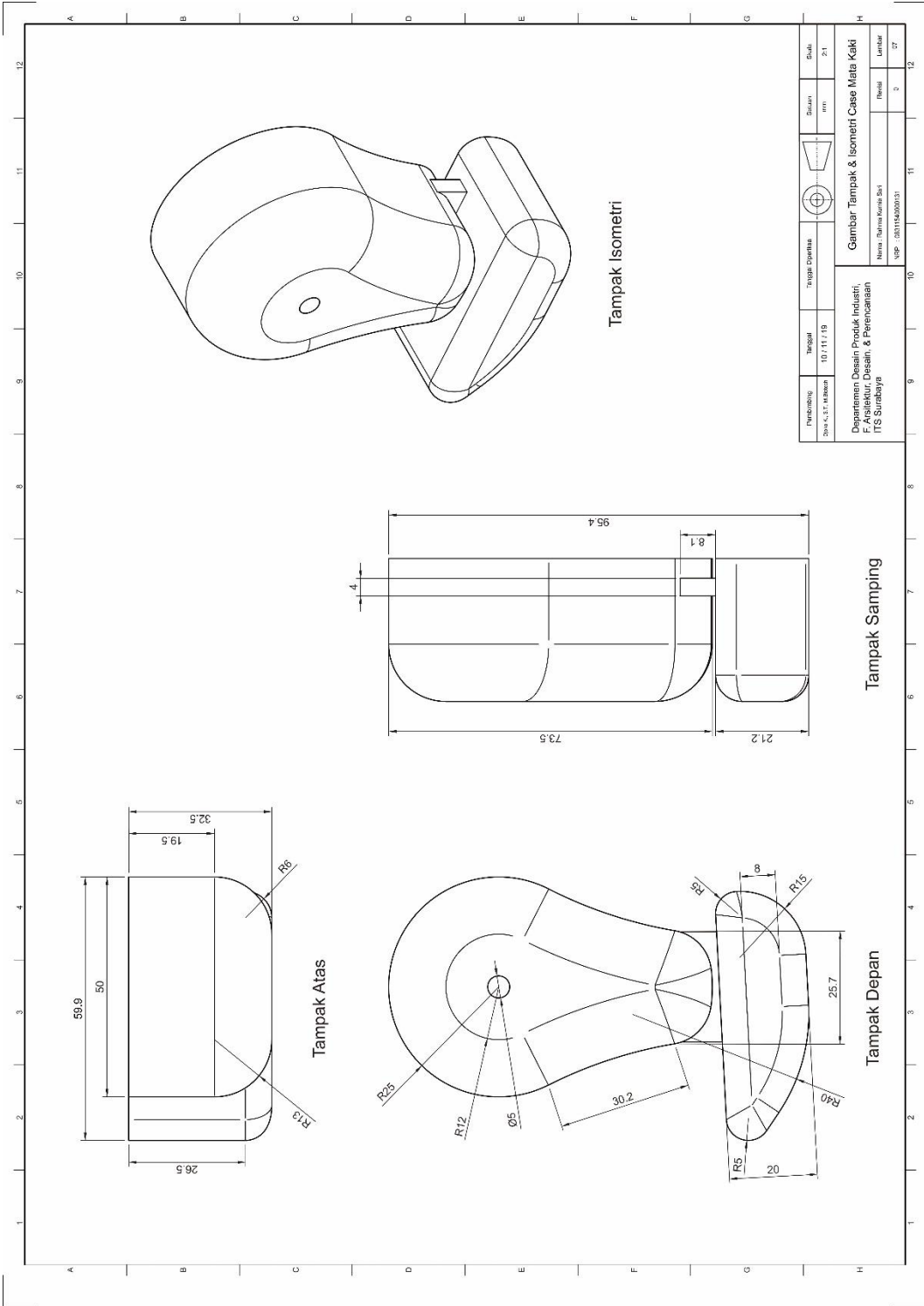
Lampiran 14. Gambar Tampak, Potongan, dan Isometri (Rangka Paha)





Lampiran 15. Gambar Tampak, Potongan, dan Isometri (Rangka Betis)





Lampiran 16. Gambar Tampak dan Isometri Case Mata Kaki



## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Rahma Kurnia Sari. Lahir pada tanggal 24 November 1997 di Kota Surabaya, adalah anak keenam dari 7 bersaudara. Setiap pendidikan formal penulis mulai dari SD hingga SMA ditamatkan di Sidoarjo. Semasa kecil penulis lebih condong untuk menyukai menggambar yang membuat penulis bertekad untuk memasuki Departemen Desain Produk di Institut Teknologi Sepuluh Nopember setelah tamat SMA di tahun 2015.

Selama menempuh mata kuliah di Desain ITS, penulis sadar bahwa bukan hanya kemampuan menggambar yang dibutuhkan oleh seorang desainer, namun kreatifitas, pengalaman, etos kerja, konsistensi, peka terhadap peluang, dan aspek teknis lainnya tidak kalah penting untuk dipelajari. Beberapa proyek desain telah dikerjakan oleh penulis selama berada di Desain ITS, yang semuanya meliputi Desain *Styling*, Desain *Appliance*, Desain *Furniture*, dan juga Desain transportasi. Pada proyek tugas akhir, penulis merancang *Lower Limb* Eksoskeleton sebagai penelitian lanjutan yang menunjang Rehabilitasi *Home Exercise* pada Pasien Pasca Strok yang tergolong baru dan berpotensi untuk dikembangkan. Dari perancangan ini penulis berharap kedepannya dapat dikembangkan dan berguna bagi masyarakat khususnya penderita strok.

Email : rkurniasr@gmail.com