



**TUGAS AKHIR - DP 141530**

## **DESAIN POWER-GRIP EXOSKELETON SEBAGAI ALAT BANTU REHABILITASI PASIEN PASCA-STROKE**

**PANJI SATRIO MAHARDHIKA  
3413100160**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Bambang Iskandriawan, M.Eng  
Djoko Kuswanto S.T., M.Biotech**

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



TUGAS AKHIR – RD141530

**DESAIN *POWER-GRIP* EKSOSKELETON SEBAGAI  
ALAT BANTU REHABILITASI PASIEN PASCA-  
STROK**

**Mahasiswa:**

Panji Satrio Mahardhika  
NRP. 3413100160

**Dosen Pembimbing:**

Dr. Ir. Bambang Iskandriawan, M.Eng  
NIP. 196011221990021001

Djoko Kuswanto, S.T., M.Biotech  
NIP. 197009121997021002

**DEPARTEMEN DESAIN PRODUK**

Fakultas Arsitektur Desain dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017

**LEMBAR PENGESAHAN**

**DESAIN *POWER-GRIP* EKSOSKELETON SEBAGAI ALAT BANTU  
REHABILITASI PASIEN PASCA-STROK**

**TUGAS AKHIR / RD 141530**

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

Pada

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

Oleh :

**Panji Satrio Mahardhika**

**NRP. 3413100160**

Surabaya, 16 Agustus 2018

Periode Wisuda: 118 (September 2018)



Mengetahui  
Kepala Departemen Desain Produk

**Elva Zulaiha, S.T., M.Sn., Ph.D.**  
**NIP. 19751014 200312 2001**

Dosen Pembimbing

**Dr. Ir. Bambang Iskandriawan, M.Eng**  
**NIP. 19601122 199002 1001**

## PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya mahasiswa Bidang Studi Desain Produk Industri, Department Desain Produk Industri, Fakultas Arsitektur Desain dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya,

Nama Mahasiswa : Panji Satrio Mahardhika

NRP : 3413100160

Dengan ini menyatakan bahwa karya tulis Tugas Akhir yang saya buat dengan judul "**Desain Power-Grip Eksoskeleton sebagai Alat Bantu Rehabilitasi Pasien Pasca-Strok**" adalah:

- 1) Orisinal dan bukan merupakan duplikasi karya tulis maupun karya gambar atau sketsa yang pernah dibuat atau dipublikasikan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan atau tugas tugas kuliah lain baik dilingkungan ITS, Universitas lain ataupun lembaga-lembaga lain, kecuali pada bagian sumber-sumber informasi yang dicantumkan sebagai kutipan atau referensi atau acuan dengan cara yang 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 terbukti tidak memenuhi apa yang telah dinyatakan diatas, maka saya bersedia laporan Tugas Akhir ini dibatalkan.

Surabaya, 16 Agustus 2018

Yang membuat pernyataan,



Panji Satrio Mahardhika

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa atas segala limpahan rahmat, taufik dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul Desain *Power-Grip* Eksoskeleton sebagai Alat Bantu Rehabilitasi Pasien Pasca-Strok ini tepat pada waktunya.

Laporan ini disusun dalam rangka memenuhi persyaratan matakuliah Tugas Akhir dalam program studi Desain Produk Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Adapun topik yang diangkat dalam laporan ini berkaitan tentang rehabilitasi pasca-strok dan alat bantu untuk proses rehabilitasi.

Penulis menyadari bahwa laporan ini masih sangat jauh dari kata sempurna, oleh sebab itu kritik dan masukan yang bersifat membangun sangat penulis harapkan agar laporan ini kedepannya dapat diperbaiki. Akhir kata, semoga laporan ini dapat menambah ilmu dan memberikan manfaat nyata bagi masyarakat yang membutuhkan.

Surabaya, 16 Agustus 2018

Penulis

## **DESAIN POWER GRIP EKSOSKELETON SEBAGAI ALAT BANTU REHABILITASI PASIEN PASCA STROK**

Nama Mahasiswa : Panji Satrio Mahardhika  
NRP : 3413100160  
Departemen : Desain Produk - Fakultas Arsitektur Desain dan Perencanaan, ITS  
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Bambang Iskandriawan, M.Eng  
NIP : NIP: 196011221990021001

### **ABSTRAKSI**

Strok merupakan penyakit yang sering ditemui, umumnya pada umur 65 tahun keatas. Data Riskesdas tahun 2013 menunjukkan adanya kecenderungan kenaikan prevalensi strok setiap tahunnya di Indonesia. Hal ini berakibat terus bertambahnya penderita strok yang mengalami gangguan pasca-strok pada tubuh mereka. Proses rehabilitasi dapat membantu tubuh penderita mendapatkan fungsi otot mereka kembali. Namun dalam proses rehabilitasi otot tangan, adakalanya penderita memiliki tingkat kepulihan yang berbeda-beda dan membutuhkan terapi yang teratur. Penggunaan eksoskeleton rehabilitasi untuk digunakan menjadi alternatif penderita untuk melakukan terapi secara mandiri dan teratur tanpa perlu bergantung pada terapis. Analisis mekanisme dari eksoskeleton yang sudah beredar dan sistem penggerak (aktuator) perlu dilakukan dalam mengembangkan eksoskeleton yang sesuai dengan standar dan kebutuhan terapi. Di samping itu, mengingat mayoritas penderita strok adalah lansia, maka diperlukan pula desain yang sesuai dengan preferensi dan kebutuhan lansia agar dapat digunakan secara optimal. Perlunya studi bentuk dan ergonomi merupakan bagian penting agar lansia dapat menggunakan eksoskeleton secara teratur setiap harinya. Dengan perancangan eksoskeleton yang memenuhi kriteria ringan, *adjustable* dan menggunakan penggerak (*powered*), melalui analisis mekanisme, penggerak, berat dan bentuk ergonomis, maka kebutuhan proses rehabilitasi diatas dapat diatasi.

***Keyword: Rehabilitasi, Eksoskeleton, Mandiri, Standar, Pasca-Strok***

# **POWER-GRIP EKSOSKELETON DESIGN AS REHABILITATION DEVICES FOR POST-STROK PATIENTS**

Name : Panji Satrio Mahardhika  
NRP : 3413100160  
Department : Desain Produk - Fakultas Arsitektur Desain dan Perencanaan, ITS  
Lecturer : Dr. Ir. Bambang Iskandriawan, M.Eng  
NIP : NIP: 196011221990021001

## **ABSTRACT**

Stroke is a disease that is often encountered, generally at age 65 years and over. Basic Health Research from 2013 shows a tendency of increasing prevalence of stroke every year in Indonesia. This results in an increasing number of stroke patients who experience post-stroke problems in their bodies. The rehabilitation process can help the patient's body get their muscle function back. However, in the process of hand muscle rehabilitation, sometimes the patient has different levels of recovery and requires regular therapy. The use of exoskeleton rehabilitation to be used as an alternative patient to perform therapy independently and regularly without the need to rely on the therapist. Analysis of the mechanisms of exoskeleton already in circulation and drive system (actuator) needs to be done in developing exoskeleton in accordance with standard and therapeutic needs. In addition, since the majority of stroke sufferers are elderly, it is also necessary to design according to the preferences and needs of the elderly in order to be used optimally. The need for form and ergonomics studies is an important part of the elderly being able to use the exoskeleton regularly every day. With the design of exoskeleton that meets the criteria of light, adjustable and powered, through the analysis of mechanism, actuator, weight and ergonomical shape, the need for rehabilitation process above can be overcome.

***Keyword: Rehabilitation Exoskeleton, Independent, Standard, Post-Stroke***

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT.....	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAKSI.....	v
ABSTRACT .....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I.....	1
1.1 Latar belakang .....	1
1.1.1 Strok dan Penyebabnya .....	1
1.1.2 Rehabilitasi Otot Tangan Pasca Strok .....	3
1.1.3 Eksoskeleton .....	4
1.2 Rumusan Masalah.....	6
1.3 Batasan Masalah .....	7
1.4 Tujuan .....	8
1.5 Manfaat .....	8
BAB II .....	9
2.1 Strok .....	9
2.1.1 Pengertian Strok.....	9
2.1.2 Jenis Strok.....	9
2.1.3 Pemulihan Fungsi Tangan Pasca Strok.....	10
2.2 Eksoskeleton .....	11
2.2.1 Definisi Eksoskeleton .....	11
2.2.2 Penggunaan Eksoskeleton untuk Rehabilitasi.....	11
2.3 Ergonomi.....	12
2.3.1 <i>Custom Fitting</i> .....	12
2.3.2 Ergonomi Kognitif.....	13
2.3.3 Studi Visual.....	14
2.3.4 <i>Range of Motion</i> .....	15
2.4 Regulasi/Standarisasi Alat Kesehatan.....	16
2.5 Tinjauan Mekanik Gerakan Jari.....	17
2.5.1 Sistem Mekanis.....	17

2.5.2	Sistem Kontrol .....	21
2.5.3	3D-Printing .....	22
2.6	Tinjauan Desain Alat Bantu Rehabilitasi .....	24
<b>BAB III</b>	.....	<b>27</b>
3.1	Judul Perancangan.....	27
3.2	Subjek dan Objek Perancangan .....	27
3.3	Metode Penelitian.....	28
3.4	Metode Pengumpulan Data .....	30
3.4.1	Data <i>Stakeholder</i> .....	30
3.4.2	Referensi desain.....	31
3.4.3	Pengukuran antropometri.....	33
3.4.4	<i>Usability test</i> .....	33
3.4.5	Kebutuhan.....	33
<b>BAB IV</b>	.....	<b>35</b>
4.1	Analisis Kebutuhan .....	35
4.1.1	Analisis Proses Rehabilitasi .....	35
4.2	Studi Material dan Alat .....	39
4.3	Analisis Sistem Mekanis .....	41
4.4	Analisis Sistem Gerak .....	47
4.5	Analisis Berat.....	51
4.6	Penerapan Sistem Mekanis .....	53
4.7	Konfigurasi servo dengan sistem <i>reel</i> .....	63
4.8	Perbandingan Berat .....	69
<b>BAB V</b>	.....	<b>71</b>
5.1	Positioning.....	72
5.2	Square Idea Board .....	72
5.3	Sketsa Alternatif.....	74
5.4	3D Model .....	76
5.5	<i>Usability Test</i> .....	78
<b>BAB VI</b>	.....	<b>81</b>
6.1	Kesimpulan .....	81
6.2	Saran.....	81
<b>LAMPIRAN</b>	.....	<b>85</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	.....	<b>91</b>
<b>BIOGRAFI PENULIS</b>	.....	<b>95</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kategori penyakit strok.....	1
Gambar 1.2 Kecenderungan prevalensi strok.....	2
Gambar 1.3 Penggunaan bola terapi untuk rehabilitasi aktif.....	3
Gambar 1.4 <i>Power Grip</i> Eksoskeleton.....	5
Gambar 1.5 <i>Precision Grip</i> Exokeleton.....	5
Gambar 1.6 Eksoskeleton pasif menggunakan sensor EMG.....	6
Gambar 1.7 Eksoskeleton aktif menggunakan otot pengguna untuk menutup jari.....	6
Gambar 2.1 Jenis StroK.....	9
Gambar 2.2 Latihan peregangan otot dengan bantuan terapis.....	10
Gambar 2.3 Prosedur peregangan jari dengan menggunakan gerakan pergelangan.....	10
Gambar 2.4 Melatih kekuatan genggam dengan bantuan bola peras.....	11
Gambar 2.5 Hasil pengumpulan data menggunakan CAD.....	13
Gambar 2.6 Macam warna.....	15
Gambar 2.7 Range of Motion tangan manusia.....	15
Gambar 2.8 Pelatihan Gerak Telapak dan Jari.....	16
Gambar 2.9 Motor servo.....	18
Gambar 2.10 Sistem <i>reel</i> untuk penyimpanan benang pancing.....	20
Gambar 2.11 <i>Bearing</i> standar dan <i>bearing custom</i> .....	20
Gambar 2.12 Rangkaian mikrokontroler Arduino UNO.....	21
Gambar 3.1 Metode Penelitian.....	28
Gambar 4.1 Filamen PLA yang digunakan.....	39
Gambar 4.2 Pencetakan the Spiderhand untuk selanjutnya diuji coba.....	42
Gambar 4.3 Letak Titik Kritis.....	47
Gambar 4.4 Servo SG90.....	48
Gambar 4.5 Aplikasi sistem gerak dalam desain.....	48
Gambar 4.6 Roda gigi dan servo dalam casing dasar.....	49
Gambar 4.7 Pengukuran panjang maksimum rack.....	50
Gambar 4.8 Beban yang dapat ditarik servo.....	50
Gambar 4.9 Beban telapak.....	51
Gambar 4.10 Berat eksoskeleton.....	52
Gambar 4.11 Berat mekanisme gerak.....	52
Gambar 4.12 Rancangan dasar versi 1.....	53
Gambar 4.13 Rancangan dasar versi 2.....	58
Gambar 4.14 Rancangan dasar untuk diujicoba.....	61
Gambar 4.15 Servo MG946R.....	63
Gambar 4.16 Servo MG946R terpasang dalam dudukan.....	64
Gambar 4.17 <i>Bearing custom</i> dan penempatannya pada bar penahan.....	65
Gambar 4.18 Perbaikan rancangan akhir.....	65
Gambar 4.19 Perbaikan letak sistem servo.....	66
Gambar 4.20 Rancangan akhir eksoskeleton.....	66
Gambar 4.21 Perbandingan tahapan eksoskeleton.....	67

Gambar 4.22 Eksoskeleton tersambung dengan powerbank .....	68
Gambar 4.23 Eksoskeleton terpasang pada pergelangan tangan .....	68
Gambar 4.24 Pengukuran bobot eksoskeleton .....	69
Gambar 4.25 Pengukuran bobot rancangan akhir .....	69
Gambar 5.1 Konsep Desain .....	71
Gambar 5.2 Positioning produk.....	72
Gambar 5.3 Square Idea Board .....	72
Gambar 5.4 Sketsa Gerakan .....	74
Gambar 5.5 Sketsa 1 .....	74
Gambar 5.6 Sketsa 2 .....	75
Gambar 5.7 Sketsa 3 .....	75
Gambar 5.8 3D Model 1 .....	76
Gambar 5.9 3D Model 2 .....	76
Gambar 5.10 3D Model 3 .....	77
Gambar 5.11 3D Model 4 .....	77

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Preferensi visual lansia .....	14
Tabel 2.2 Perbandingan antara motor servo dengan motor stepper .....	18
Tabel 2.3 Tinjauan material untuk rangka eksoskeleton .....	22
Tabel 2.4 Tinjauan Alat Bantu Rehabilitasi .....	24
Tabel 3.1 Narasumber.....	30
Tabel 4.1 Tahapan Rehabilitasi .....	36
Tabel 4.2 Alat dan perkakas dalam pengujian.....	40
Tabel 4.3 Pengujian Mekanisme .....	42
Tabel 4.4 Titik Kritis .....	46
Tabel 4.5 Pengujian rancangan dasar 1 .....	54
Tabel 4.6 Pengujian rancangan dasar 2 .....	58
Tabel 4.7 Pengujian mekanisme eksoskeleton .....	62
Tabel 5.1 <i>Usability test</i> .....	78

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

# BAB I

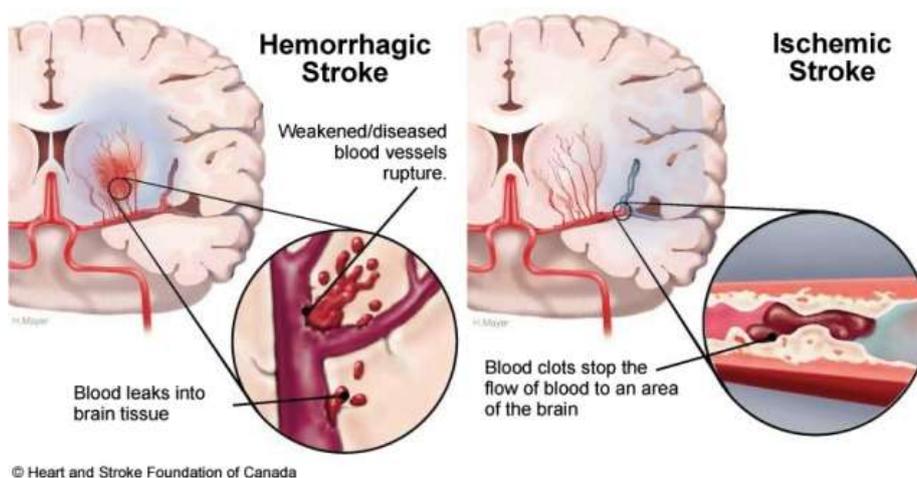
## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

#### 1.1.1 Strok dan Penyebabnya

Strok, atau juga disebut *cerebral vascular accident (CVA)*, adalah sebuah kondisi dimana kebutuhan suplai darah menuju otak terganggu. Terputusnya aliran darah menuju otak mengakibatkan kurangnya suplai oksigen sehingga mengakibatkan sel-sel otak rusak dan akhirnya mati (World Heart Federation, 2007). Dampak dari strok terhadap penderita antara lain dapat merusak tubuh, pergerakan dan kemampuan bicara, dipengaruhi oleh bagian otak yang rusak dan perawatan yang diterima penderita (World Stroke Campaign, 2017). Penyakit strok dapat membunuh penderitanya atau mengakibatkan kelumpuhan, baik permanen maupun sementara.

Berdasarkan patologi anatomi dan penyebabnya, strok dapat dibagi menjadi 2 kategori, yaitu strok iskemik dan strok hemoragik (Marshall, 1992). Strok iskemik terjadi ketika pembuluh arteri besar menuju otak tersumbat oleh bekuan/gumpalan darah atau terjadinya penyempitan arteri (*carotid stenosis*) sehingga menghalangi aliran darah. Sekitar 80% sampai 85 % kasus strok merupakan strok iskemik (Price dan Wilson, 2002). Sedangkan strok hemoragik terjadi karena pembuluh arteri didalam otak pecah. *National Stroke Association* menyatakan bahwa strok jenis ini memiliki resiko fatal 40% lebih besar. Strok hemoragik dapat mengakibatkan kerusakan serius pada otak dan merupakan jenis strok yang paling mematikan.



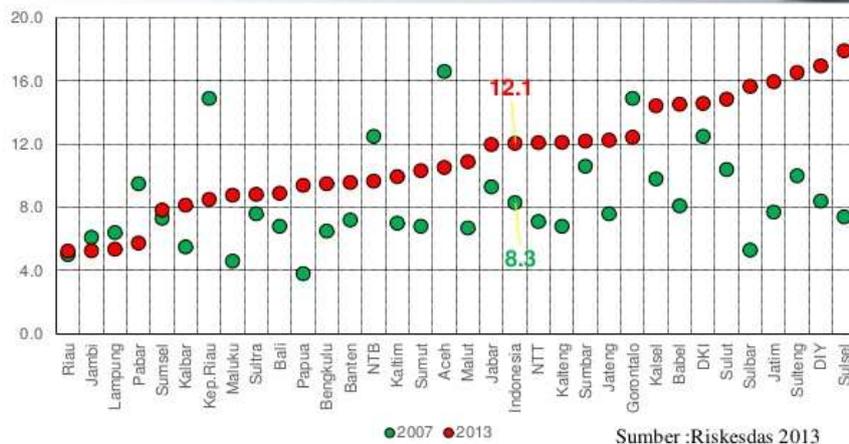
Gambar 1.1 Kategori penyakit strok

(Sumber: Heart and Stroke Foundation of Canada)

Gejala yang dialami oleh penderita bergantung terhadap bagian otak yang terganggu dan dampaknya bagi anggota tubuh. Dampak yang muncul antar lain antara lain kelumpuhan salah satu sisi tubuh (hemiparesis / hemiplegia), terganggunya kemampuan bicara (pelo), tidak dapat bicara (afasia), penurunan kesadaran, hilangnya rasa dan nyeri kepala. Sedangkan jika sistem keseimbangan di otak kecil (*cerebellum*) terganggu maka akan timbul gejala pusing berputar (vertigo) (Pinzon dan Laksmi, 2010).

Menurut data Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) 2013, prevalensi stroke di Indonesia sebesar 12.1 per 1000 orang penduduk. Data ini mengalami kenaikan dibandingkan Riskesdas tahun 2007 yang berkisar pada angka 8.3. Hal ini didukung pula dengan data statistik Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan RI tahun 2014 yang menyatakan bahwa dengan persentase 21,1 persen, stroke adalah penyebab utama kematian di Indonesia, diikuti dengan jantung koroner.

### Kecenderungan Prevalensi Stroke per 1000\*) menurut Provinsi 2007-2013



\*) Ditentukan menurut jawaban responden yang pernah didiagnosis oleh nakes dan gejala

Gambar 1.2 Kecenderungan prevalensi stroke (Sumber: Riset Kesehatan Dasar Kementerian Kesehatan 2013)

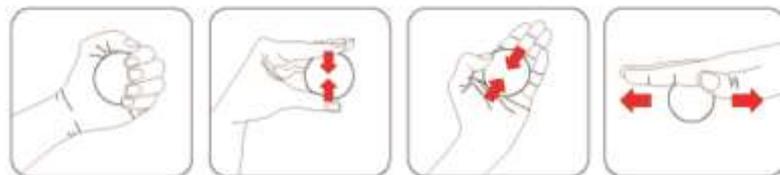
Usia merupakan salah satu faktor resiko stroke, semakin tua maka resiko terkena stroke akan semakin tinggi. Penelitian WHO MONICA menunjukkan kasus stroke bervariasi antara 48 sampai 240 per10000 per tahunnya pada populasi usia 45 sampai 54 tahun.

### 1.1.2 Rehabilitasi Otot Tangan Pasca Strok

*World Health Organization* (WHO) dalam risetnya tahun 2015 mengeluarkan data yang menunjukkan bahwa strok tetap menjadi penyumbang angka kematian yang cukup besar tidak hanya di Indonesia, namun juga di seluruh dunia. Namun, dengan kemajuan teknologi diagnostik serta tindakan terapi yang tepat, angka kematian akibat strok dapat ditekan. Pasien yang selamat melewati fase kritis seringkali mengalami kecacatan akibat terganggunya fungsi otak, baik itu cacat ringan maupun berat.

Menurut *Stroke Connect*, para ahli memperkirakan bahwa 20%-50% dari penderita strok mengalami ketegangan dan kekakuan otot tidak terkendali yang membuat gerakan sulit (*spastis*), namun hal ini dapat diminimalisir dengan rehabilitasi secara rutin. Rehabilitasi bagi pasien pasca strok bertujuan untuk memulihkan dan mengoptimalkan kapasitas fisik dan kemampuan fungsional pasien, sehingga mereka mampu mandiri dalam menjalani kegiatan sehari-hari. Dengan rehabilitasi, otak penderita dapat mempelajari kembali kemampuan yang hilang ketika strok menyerang. Rehabilitasi strok harus disegerakan setelah kondisi pasien stabil untuk meningkatkan kesempatan pulih. Dalam perlakuannya dikenal 2 jenis rehabilitasi; rehabilitasi aktif, yang dilakukan pasien dengan menggunakan energi sendiri, dan rehabilitasi pasif, dimana fisioterapis atau alat mekanik membantu pergerakan pasien (Suratun dkk, 2008).

Kekakuan gerakan tangan (*spastisitas*) merupakan salah satu sistem motorik yang dapat terjadi pada penderita strok. Gerakan tangan pasien cenderung kaku dan kurang dapat dikontrol, utamanya pada bagian pergelangan tangan (*wrist*) hingga jari. Dalam tahap pemulihan, pasien diminta untuk melatih kelenturan jari, pergerakan pergelangan tangan serta kekuatan genggam (*power grip*). Pemulihan ini dapat dilakukan secara mandiri menggunakan alat bantu (rehabilitasi aktif), maupun secara pasif dengan bantuan fisioterapis.



Gambar 1.3 Penggunaan bola terapi untuk rehabilitasi aktif

(Sumber: <https://www.flintrehab.com/2015/hand-therapy-exercises-after-stroke/>)

Namun pada pasien dengan spastisitas (kekakuan otot) yang masih tinggi, lebih membutuhkan bantuan untuk menggerakkan tangan serta jarinya. Rehabilitasi pasif menjadi pilihan untuk memulihkan fungsi gerak otot, namun memerlukan bantuan fisioterapis, dimana proses rehabilitasi ini lebih sering dilakukan diruang khusus / rumah sakit. Hal ini menjadi kendala karena pasien tidak bisa setiap waktu melakukan terapi. Oleh karena itu dibutuhkan alat bantu gerak agar pasien dapat melakukan rehabilitasi secara mandiri dan dimana saja, tanpa bantuan fisioterapis. Rehabilitasi dengan menggunakan alat mekanik dapat membantu pasien sebagai alternatif terapi tanpa perlu bergantung pada orang lain.

### 1.1.3 Eksoskeleton

Sejak tahun 80-an, ilmuwan sudah berupaya untuk mengembangkan alat robotik yang bertujuan untuk meniru fungsi dari tangan manusia dibidang industri, *tele-manipulation*, dan prostetik. Salah satu jenis dari tangan robotik adalah *hand eksoskeleton* (HE), atau yang dikenal pula dengan orthosis aktif (Biagotti L, dkk, 2004). Sebagai pembeda dengan alat robotik lainnya, *hand exoskeleton* merupakan mesin mekanis yang dipasang langsung pada tangan manusia, sehingga gerakan antara sistem anatomis dan robotik dapat saling tersambung (Marco Troncossi, 2016). *Hand exoskeleton* dapat digunakan sebagai alat rehabilitasi fisik yang efektif, namun sayangnya, masih jarang jarang dikembangkan di Indonesia, dibandingkan beberapa negara lain.

Dalam penggunaannya, *hand exoskeleton* berupaya untuk meniru gerakan tangan manusia. Untuk rehabilitasi, *hand exoskeleton* terbagi menjadi 2 jenis, *power grip* dan *precision grip*. *Power grip* eksoskeleton dapat membantu pengguna melatih kekuatan genggam mereka, umumnya memiliki gerak terbatas namun dapat membantu pengguna menggenggam suatu objek. Namun gerakan jari umumnya tidak bisa diatur secara presisi. Sebaliknya, *precision grip* dapat membantu pengguna menggerakkan masing-masing jari mereka dengan gerakan tertentu. Akan tetapi, konstruksi mekanis dari *precision grip* lebih rumit daripada *power grip*, serta umumnya kekuatan genggam jari tidak menjadi fokus utama. (Jonas Vinstrup, Joaquin Calatayud, Markus D. Jakobsen, dkk. 2017).

Dalam fungsinya sebagai alat rehabilitasi, pasien pasca-strok di Indonesia membutuhkan hand eksoskeleton yang tidak hanya mampu digunakan secara mandiri, namun juga membantu kemampuan fungsional tangan mereka. Namun selain eksoskeleton belum umum digunakan di Indonesia, konstruksi mekanisnya cenderung rumit, sehingga memerlukan perawatan khusus dan biaya yang cukup tinggi. Sehingga penggunaan eksoskeleton umumnya terbatas pada rumah sakit dan terapis tertentu saja. Hal ini terutama sekali ditemukan pada tipe *precision grip*, dimana konstruksi mekanis yang rumit, meskipun sangat membantu, membuatnya kurang praktis untuk digunakan. Sebaliknya, *power grip* memiliki konstruksi yang lebih sederhana, cenderung mudah digunakan, serta selain dapat digunakan untuk rehabilitasi, dapat pula membantu pengguna menggenggam objek untuk menunjang kegiatan sehari – hari mereka.



Gambar 1.4 *Power Grip* Eksoskeleton

(sumber: [www.dextarobotics.com](http://www.dextarobotics.com))

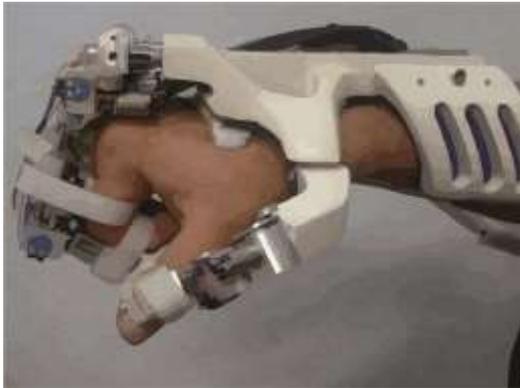


Gambar 1.5 *Precision Grip* Eksoskeleton

(sumber: *Design and Development of a Hand Exoskeleton Robot for Active and Passive Rehabilitation*).

*Hand exoskeleton* yang umum berada di pasaran, memiliki 2 jenis pengontrol: otot pengguna dan penggunaan sistem kontrol. Eksoskeleton dengan pengontrol otot pengguna merupakan alat bantu terapi yang menggunakan kekuatan otot pengguna sendiri untuk menggerakkan fisik mereka, dengan konstruksi mekanis membantu pergerakan selanjutnya. Eksoskeleton jenis ini cenderung terbatas penggunaannya sebagai alat rehabilitasi aktif. Sedangkan eksoskeleton dengan penggunaan sistem kontrol menggunakan sensor elektrik untuk membaca kondisi otot sehingga sistem mekanis dapat menggerakkan jari. Kelemahan dari sistem ini adalah harganya yang

cenderung lebih mahal, namun kelebihanannya adalah sensor dapat membaca kondisi otot yang lemah, sehingga meskipun pengguna tidak cukup kuat untuk menggerakkan otot, sensor dapat membaca tegangan listrik otot dan meneruskannya ke sistem mekanis. Jenis eksoskeleton ini dapat digunakan sebagai alat terapi aktif maupun pasif.



Gambar 1.6 Eksoskeleton pasif menggunakan sensor EMG

(sumber: *Design and Development of a Hand Exoskeleton Robot for Active and Passive Rehabilitation*).



Gambar 1.7 Eksoskeleton aktif menggunakan otot pengguna untuk menutup jari

(sumber: <http://www.damngeeky.com/2015/07/29/33696/3d-printed-eksoskeleton-lets-stroke-patients-regain-hand-movement.html>).

Berdasarkan latar belakang yang sudah diurai, pasien pasca-strok membutuhkan alat bantu rehabilitasi tangan yang berguna untuk melatih otot serta kemampuan genggam mereka. Penggunaan alat bantu rehabilitasi juga dapat menolong pengguna untuk melakukan kegiatan fungsi mereka secara mandiri, tidak harus bergantung kepada terapis dan orang lain.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Ukuran dan mekanisme eksoskeleton berpengerak yang cenderung statis

Produk *hand* eksoskeleton yang sudah ada, kebanyakan memiliki konstruksi yang kompleks dalam mekanismenya, baik itu mekanisme buka-tutup jari maupun mekanisme sensor otot. Hal ini tentu saja berimbas pada harganya yang mahal, serta rumitnya perawatan dan penggunaan yang membuat hand eksoskeleton cenderung susah digunakan oleh lansia dan hanya dipakai di tempat-tempat tertentu saja.

2. Eksoskeleton tangan untuk rehabilitasi yang dapat membantu gerakan otot pengguna Kegiatan fungsional seperti pelatihan pergelangan tangan dan melatih jari saat sesi terapi untuk kekuatan genggam, umumnya kurang diperhatikan dalam alat rehabilitasi pasien pasca stroke. Alat yang beredar umumnya hanya difokuskan pada proses rehabilitasi jari saja.
3. Pelatihan jari dan pergelangan tangan sebagai salah satu latihan rehabilitasi *Power grip* eksoskeleton merupakan latihan rehabilitasi jari yang efektif dengan pelatihan terbatas pada proses buka-tutup jari. Namun eksoskeleton *power grip* yang umum beredar kebanyakan terbatas pada penggunaan otot untuk menutup jari, sehingga apabila otot jari pasien masih kaku, latihan genggam secara pasif menjadi kurang efektif.
4. Penggunaan penggerak untuk rehabilitasi secara aktif maupun pasif Penggunaan penggerak membuat eksoskeleton tangan dapat digunakan baik oleh pasien dengan spastisitas (kekakuan) otot yang masih tinggi, maupun pasien dengan kelenturan otot yang sudah baik. Hal ini membuat eksoskeleton dapat digunakan oleh pasien untuk melakukan rehabilitasi pasif, dengan menggunakan penggerak untuk menggerakkan mekanisme, maupun rehabilitasi aktif, dengan menggunakan otot pengguna untuk menutup jari.

### **1.3 Batasan Masalah**

1. *Hand exoskeleton* digunakan untuk rehabilitasi pasca-strok.
2. *Hand exoskeleton* yang dirancang untuk melatih dan menambah kemampuan genggam 4 jari utama pasien (*power grip*).
3. Didesain untuk dapat digunakan pasien secara mandiri di rumah.
4. *Hand exoskeleton* digunakan untuk salah satu sisi tubuh penderita yang terserang penyakit stroke (hemiparesis / hemiplegia).
5. Menggunakan sistem kontrol sederhana untuk membantu menggerakkan mekanisme.
6. Studi penderita stroke sebagian besar ditemui pada lansia pada kisaran umur 55 tahun keatas.

#### **1.4 Tujuan**

1. Merancang eksoskeleton untuk membantu kemampuan genggam (*power grip*) bagi pasien pasca-strok.
2. Merancang eksoskeleton sebagai alat bantu rehabilitasi gerak jari pergelangan tangan pasien.
3. Merancang eksoskeleton dengan komponen mekanik dan menggunakan kontroller sehingga dapat digunakan secara mandiri oleh pasien.
4. Merancang eksoskeleton yang dapat dibawa dan digunakan kemana saja (*mobile*).

#### **1.5 Manfaat**

1. Memberikan hasil rehabilitasi otot tangan yang lebih baik dengan penggunaan *hand exoskeleton* secara teratur.
2. Membantu kemampuan genggam (*power grip*) pada pasien.
3. Mempercepat lajunya penyembuhan dan pengembalian kelenturan jari yang hilang.
4. Memberikan kemudahan pasien untuk melakukan sesi rehabilitasi secara mandiri.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Strok

##### 2.1.1 Pengertian Strok

Strok, atau yang disebut juga cedera serebrovaskuler (*cerebrovaskuler accident*, CVA) adalah kerusakan fungsi dan jaringan otak yang disebabkan karena berkurangnya atau terhentinya suplai darah ke otak secara tiba-tiba (Smeltzer dan Bare, 2002). Penderita strok memiliki statistik jumlah paling banyak pada usia diatas 65 tahun, dengan resiko untuk terkena strok berlipat ganda setiap 10 tahun diatas umur 55 ([www.strokecenter.org](http://www.strokecenter.org)).

##### 2.1.2 Jenis Strok

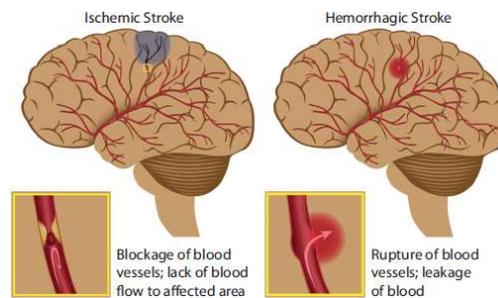
Menurut Marshall (1992), strok dapat dibedakan menjadi 2 jenis berdasarkan patologi anatominya, yaitu :

###### 1. Strok Iskemik

Strok iskemik (infark) terjadi karena adanya penyumbatan pada pembuluh darah otak. Penyumbatnya adalah plak atau timbunan lemak mengandung kolesterol yang dibawa oleh darah. Sekitar 85 % kasus strok disebabkan oleh strok iskemik atau infark.

###### 2. Strok Hemoragik

Strok hemoragik terjadi pada otak yang mengalami kebocoran atau pecahnya pembuluh darah pada otak, sehingga darah menggenangi ruang pada jaringan sel otak (Heart and Stroke Foundation, 2003). Strok hemoragik pada umumnya terjadi pada lansia, karena penyumbatan terjadi pada dinding pembuluh darah yang sudah rapuh (aneurisma). Strok jenis ini merupakan strok yang paling fatal, dengan tingkat kematian 40 % lebih besar.



Gambar 2.1. Jenis strok  
(sumber : [jems.com](http://jems.com))

### 2.1.3 Pemulihan Fungsi Tangan Pasca Strok

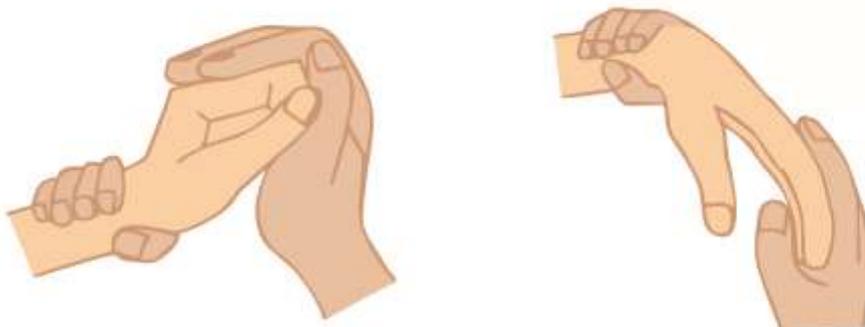
Kelumpuhan atau kekakuan fungsi tubuh pasca strok terjadi pada sekitar 80% penderita. Bagian tubuh yang mengalami kekakuan seringkali terjadi hanya pada salah satu sisi saja. Untuk itu proses pemulihan harus dilakukan dalam 24-48 jam setelah strok. Menurut Brunilda Nazario (2012), ada beberapa rehabilitasi yang bisa dilakukan untuk mendapatkan kembali fungsi lengan penderita, antara lain:

a. Latihan Peregangan

Latihan peregangan melancarkan aliran darah sehingga lengan akan lebih mudah untuk digerakkan. Terapis akan membantu peregangan pada tangan, lengan dan bahu dengan berbagai gerakan.



Gambar 2.2. Latihan peregangan otot dengan bantuan terapis  
(Sumber: <http://gunemanmedis.blogspot.co.id/2014/04/mengembalikan-fungsi-lengan-dan-tangan.html>)



Gambar 2.3. Prosedur peregangan jari dengan menggunakan gerakan pergelangan tangan  
(Sumber: [www.saebo.com](http://www.saebo.com))

b. Latihan Otot

Latihan ini dimaksudkan untuk menguatkan otot-otot di tangan dan lengan sehingga akan meningkatkan kekuatan genggam, buka tutup jari (fleksi dan ekstensi) dan kemampuan menggunakan anggota tubuh.



Gambar 2.4. Melatih kekuatan genggam dengan bantuan bola peras  
(Sumber: <http://gunemanmedis.blogspot.co.id/2014/04/mengembalikan-fungsi-lengan-dan-tangan.html>)

Tiga bulan pertama merupakan saat yang krusial dalam terapi pemulihan. Seluruh latihan rehabilitasi membutuhkan pengulangan yang teratur untuk membantu melatih otak. Pelatihan yang teratur membantu bagian rusak dari otak untuk mempelajari kembali fungsi yang telah hilang.

## 2.2 Eksoskeleton

### 2.2.1 Definisi Eksoskeleton

Eksoskeleton merupakan sistem robotik mekanis yang dapat dipasang di tubuh, serta mempunyai sistem sendi dan sambungan yang sesuai dengan tubuh manusia (Jacob Rosen dan Joel C. Perry, 2007). Eksoskeleton menawarkan fungsi yang dapat digunakan oleh pengguna yang sehat maupun pengguna dengan disabilitas tertentu.

### 2.2.2 Penggunaan Eksoskeleton untuk Rehabilitasi

Eksoskeleton medis pada dasarnya digunakan untuk meringankan beban otot seseorang, sehingga gerakan anggota tubuh dapat dipermudah. Eksoskeleton medis

umumnya terdiri dari 2 jenis; *lower limb* eksoskeleton, yang membantu fungsi tubuh bagian bawah, serta *upper limb* eksoskeleton, yang menunjang fungsi tubuh bagian atas.

Secara garis besar, terdapat 2 jenis eksoskeleton *upper limb*, yaitu:

#### 1. *Active Exoskeleton*

Disebut juga dengan *powered* eksoskeleton, jenis ini menggunakan catu daya dan listrik untuk menggerakkan sistem mekanisnya. *Active eksoskeleton* membutuhkan aktuator sebagai alat penggerak dan sistem kontrol sebagai pengatur aktuator. Eksoskeleton ini dapat digolongkan sebagai alat terapi aktif (dapat digunakan secara mandiri).

#### 2. *Passive Exoskeleton*

Eksoskeleton jenis ini masih memerlukan gerakan otot pengguna untuk dapat dioperasionalkan. Konstruksi eksoskeleton ini cenderung lebih sederhana dibandingkan *active* eksoskeleton. Namun, karena otot pengguna masih diperlukan untuk menggerakkan mekanisme, eksoskeleton ini cenderung hanya dapat digunakan oleh pasien dengan tingkat kesembuhan tertentu.

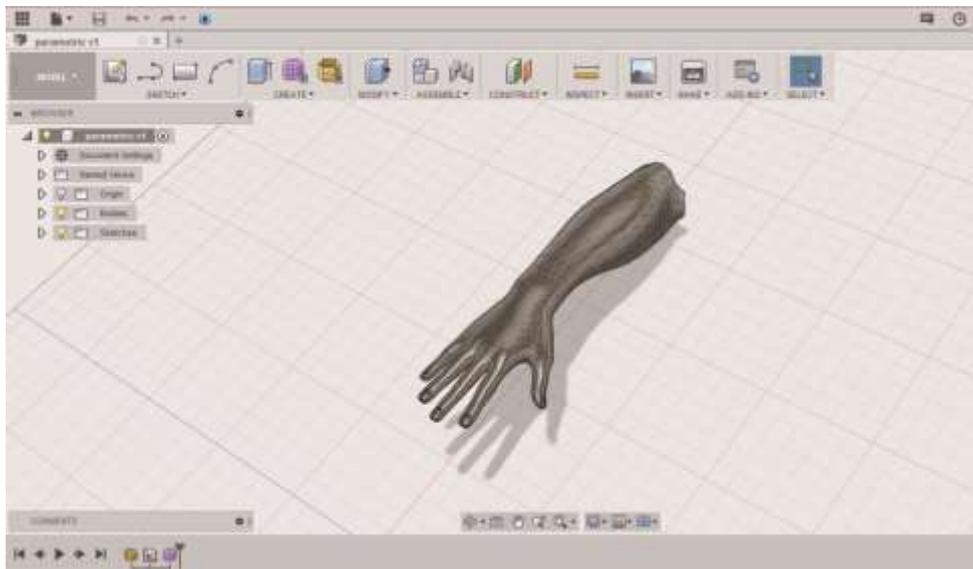
Latihan terapi secara rutin dengan eksoskeleton menunjukkan kemajuan kondisi otot, seperti turunnya tonus (kontraksi/ketegangan otot pasif) otot, membaiknya proses buka-tutup jari, serta membaiknya proses ekstensi pergelangan tangan (Carol Giuliani dan Richard Bohannon, 2007).

## 2.3 Ergonomi

### 2.3.1 *Custom Fitting*

*Custom fit* memiliki arti pengaturan suatu produk secara individual dengan memperhitungkan bentuk serta ukuran pengguna. Dikarenakan ukuran dan bentuk tangan manusia yang berbeda-beda, *custom fit* dapat menghasilkan eksoskeleton yang sesuai dengan bentuk tangan pengguna. Proses ini dilakukan melalui beberapa langkah teknis, antara lain: pengumpulan data, yakni mendapatkan data dari pengguna secara langsung baik dengan bantuan komputer (*computer aided design / CAD*) maupun pengukuran manual. Data ini diperoleh guna mengetahui batasan-batasan dalam proses desain dan validasi produk yang akan dibuat, untuk selanjutnya dilakukan

proses *additive manufacturing* untuk mencetak produk yang telah disesuaikan dengan ukuran pengguna.



Gambar 2.5 Hasil pengumpulan data menggunakan CAD  
Sumber: Dokumen pribadi

### 2.3.2 Ergonomi Kognitif

Resiko untuk terkena stroke berlipat ganda setiap 10 tahun diatas umur 55. Penderita stroke memiliki statistik jumlah paling banyak pada usia diatas 65 tahun (<http://www.strokecenter.org>). Hal ini menunjukkan kebutuhan akan bentuk dan desain eksoskeleton yang dapat digunakan utamanya oleh lansia, namun juga dapat digunakan untuk penderita seluruh umur.

Digunakan studi literatur untuk mengetahui pertimbangan ergonomis dalam desain produk untuk lansia. Literatur sebagai acuan berjudul "*Ergonomics Consideration in the Design of Products for the Elderly Population*" oleh Zahari Taha and Ruhaizin Sulaiman (2008). Literatur ini meneliti tentang analisis perbedaan preferensi manula terhadap suatu produk. Analisis dilakukan dengan metode survey evaluasi produk terhadap 15 manula dengan umur 60 – 74 tahun. Survey dilakukan di Nusa Dua, Bali, 3 – 5 Desember 2008.

Studi ini memiliki kesimpulan bahwa evaluasi produk dapat digunakan untuk menentukan kriteria desain produk untuk lansia. Skor tinggi pada produk tertentu menunjukkan lansia memiliki preferensi dan persepsi tertentu pada produk. Preferensi

tersebut adalah: *Design / appearance, Ease of Use, Size, Weight, Material* dan *Colour*. Preferensi ini merupakan kriteria yang sebaiknya ada dalam merumuskan desain ergonomis bagi lansia.

### 2.3.3 Studi Visual

Dalam studi diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa manula memiliki preferensi terhadap suatu produk dari design / appearance tertentu. Berdasarkan studi literatur yang berjudul *Design Principles to Accommodate Older Adults* (Firage, Miranda A, dkk. 2012), didapatkan data bahwa lansia memiliki preferensi dalam aspek visual / penampilan, antara lain:

Tabel 2.1 Preferensi visual lansia  
(Sumber: *Design Principles to Accommodate Older Adults* (Firage, Miranda A, dkk. 2012))

Variabel	Preferensi	Pilihan / Saran
Glare / Permukaan benda	Baik	Menggunakan permukaan <i>matte</i> .
	Buruk	Teks atau gambar pada kertas / permukaan <i>glossy</i> .
Komposisi	Baik	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bagian yang membutuhkan stimuli / kontak dengan pengguna haruslah besar, sederhana, tidak ramai dan terletak di tengah sudut pandang pengguna.</li> <li>- Buat bagian tertentu mencolok / berbeda melalui ukuran, warna atau kontras.</li> <li>- Letakkan informasi penggunaan pada '<i>depth of plane</i>' yang konstan.</li> </ul>
<b>Kontras</b>		
Warna	Baik	- Teks hitam pada background putih, atau sebaliknya.
	Baik	- Warna – warna hangat ( <i>Warm Colors</i> ). ( <i>Use larger contrast steps if short wavelength discrimination needed.</i> )
	Buruk	- Memberikan informasi dengan warna <i>Violet-Blue-Green</i> (cenderung susah untuk dimengerti lansia )

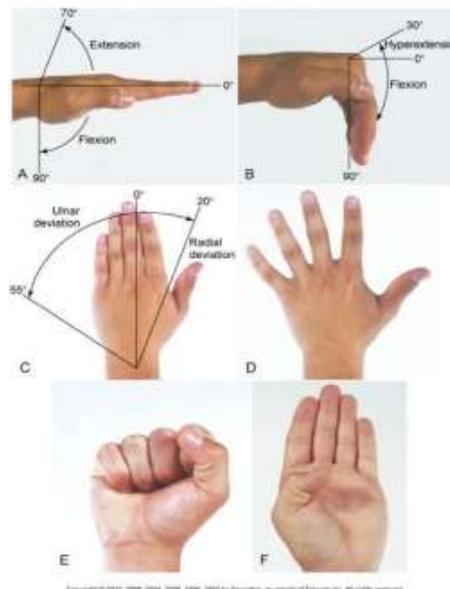


Gambar 2.6 Macam warna  
(Sumber: [www.cenphotography.com](http://www.cenphotography.com))

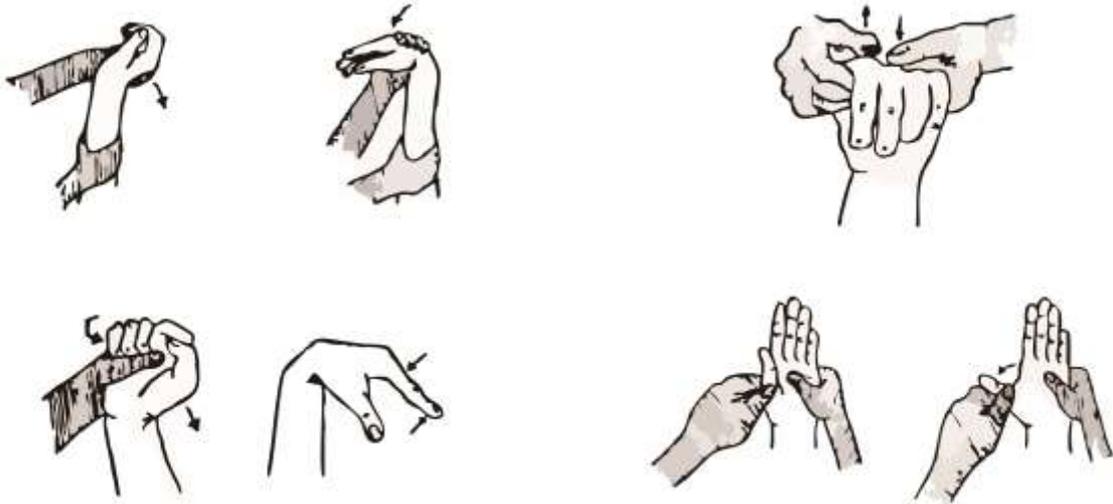
Aspek ergonomi ini menggunakan teori ergonomi kognitif (*Cognitive Ergonomics, CE*), dimana ergonomi ini berkaitan dengan proses mental manusia, termasuk di dalamnya; persepsi, ingatan, dan reaksi, sebagai akibat dari interaksi manusia terhadap pemakaian elemen pada suatu sistem (*International Ergonomics Association*).

### 2.3.4 Range of Motion

*Range of Motion* (ROM) adalah gerakan yang dalam keadaan normal dapat dilakukan oleh sendi yang bersangkutan (Suratun, dkk, 2008). ROM dapat dilatih untuk mempertahankan atau memperkuat tingkat kemampuan menggerakkan persendian secara normal untuk meningkatkan massa dan tonus otot (Potter & Perry, 2005). *Range of motion* biasa dimanfaatkan dalam gerakan terapi untuk otot.



Gambar 2.7. *Range of Motion* tangan manusia  
(Sumber: [www.eatonhand.com](http://www.eatonhand.com))



Gambar 2.8. Pelatihan Gerak Telapak dan Jari  
(Sumber: <http://campaign99.tripod.com/beyondsci/sciguide/chapter5.html>)

#### 2.4 Regulasi/Standarisasi Alat Kesehatan

Keputusan Menteri Kesehatan RI. Nomor : 1189/MENKES/PER/VIII/2010. Tentang Produksi Alat Kesehatan dan Perbekalan Kesehatan Rumah Tangga (PKRT).

Pada Bab I Ketentuan Umum, (Pasal 1 Nomor 1) dijelaskan bahwa alat kesehatan yang dimaksud adalah instrumen, aparatus, mesin dan/implan yang tidak mengandung obat yang digunakan untuk mencegah, mendiagnosis, menyembuhkan dan meringankan penyakit, merawat orang sakit, memulihkan kesehatan pada manusia, dan/atau membentuk struktur dan memperbaiki fungsi tubuh.

Berdasarkan Menteri Kesehatan RI nomor : 1189/MENKES/PER/VII/2010 bagian II menjelaskan macam macam pelayanan rehabilitasi medik mencakup layanan terapi fisioterapi dan layanan okupasi yang mana memiliki fungsi mengembangkan, memulihkan gerak dan fungsi tubuh serta layanan ortotis-prostetis yang berfungsi untuk merancang, membuat dan mengepas alat bantu guna pemeliharaan dan pemulih fungsi, atau pengganti anggota gerak.

Pada Bab I pasal 3, dijelaskan bahwa alat kesehatan berdasarkan tujuan penggunaan sebagaimana dimaksud oleh produsen, dapat digunakan sendiri maupun kombinasi untuk manusia dengan satu atau beberapa tujuan sebagai berikut :

1. Diagnosa, pencegahan, pemantauan, perlakuan, atau pengurangan penyakit
2. Diagnosa, pemantauan, perlakuan, pengurangan, atau kompensasi kondisi sakit

3. Penyelidikan, penggantian, pemodifikasian, mendukung, anatomi atau proses fisiologis
4. Mendukung atau mempertahankan hidup
5. Menghalangi pembuahan
6. Desinfeksi alat kesehatan
7. Menyediakan informasi untuk tujuan medis atau diagnosa melalui pengujian *in vitro* terhadap spesimen dari tubuh manusia

Berdasarkan pernyataan Bab I pasal 3, nomor 1,2,3 dan 4 merupakan kategori yang dicakup oleh eksoskeleton dan termasuk dalam syarat alat kesehatan pemerintah Indonesia karena menurut Putusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor : 378/Menkes/SK/IV/2008 dijelaskan bahwa macam-macam tujuan rehabilitasi medik diantaranya :

1. Mengatasi keadaan/kondisi sakit melalui paduan intervensi medik, keterampilan fisik, keteknisian medik dan tenaga lain yang terkait
2. Mencegah komplikasi akibat tirah baring dan atau penyakit yang mungkin membawa dampak kecacatan
3. Memaksimalkan kemampuan fungsi, meningkatkan aktivitas dan partisipasi pada difabel
4. Mempertahankan kualitas hidup atau mengupayakan kehidupan yang berkualitas

## **2.5 Tinjauan Mekanik Gerakan Jari**

Penggunaan sistem mekanis disesuaikan dengan derajat kebebasan gerak (*DoF; Degree of Freedom*) pada jari manusia.

### **2.5.1 Sistem Mekanis**

#### **a. Sistem Penggerak (aktuator)**

Dunia robotika umumnya menggunakan circular actuator dalam bentuk motor DC. Motor DC adalah motor listrik yang memerlukan suplai tegangan arus untuk diubah menjadi gerak mekanik. Motor DC telah digunakan luas, alasan utamanya adalah arah putaran serta kecepatan putarannya yang mudah diatur. Motor ini membutuhkan *driver* yang berfungsi untuk menjalankan motor, baik mengatur arah putaran motor maupun kecepatan putar motor. Jenis motor yang umum digunakan adalah motor servo.

- **Motor Servo**

Motor servo (gambar 2.9) adalah sebuah aktuator yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik *loop* tertutup (*servo*), sehingga dapat di atur untuk menentukan dan memastikan posisi sudut dari poros output motor.



Gambar 2.9. Motor servo  
Sumber: Dokumen pribadi

Perbandingan keunggulan antara motor servo dengan motor *stepper* disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 2.2. Perbandingan antara motor servo dengan motor stepper  
(sumber : <http://www.maxtronpersada.com/news/perbedaan-motor-stepper-dan-motor-servo/>)

Parameter	Motor Stepper	Motor Servo
Driver	Sederhana. <i>Driver</i> dapat dibuat sendiri.	Desainnya sangat kompleks. Biasanya motor servo dijual bersama dengan <i>driver</i> -nya.
Tingkat kebisingan/vibrasi	Cukup signifikan	Sangat kecil
Kecepatan	Lambat (1000-2000 rpm maksimal)	Cepat (3000 sampai 5000 rpm maksimal)
Kondisi out-of-step	Sangat mungkin (motor tidak akan berputar jika beban terlalu berat).	Tidak mungkin (motor tetap berputar meskipun beban terlalu berat)

<b>Parameter</b>	<b>Motor Stepper</b>	<b>Motor Servo</b>
Metode kontrol	<i>Open loop</i> (tidak memakai <i>encoder</i> )	<i>Closed loop</i> (memakai <i>encoder</i> )
Resolusi	<p>Model PM 2 phase: <math>7,5^\circ</math> (48 <i>pulse per revolution - ppr</i>)</p> <p>Model HB 2 phase: <math>1,8^\circ</math> (200 ppr) atau <math>0,9^\circ</math> (400 ppr)</p> <p>Model HB 5 phase: <math>0,72^\circ</math> (500 ppr) atau <math>0,36^\circ</math> (1.000 ppr)</p>	Tergantung dari resolusi <i>encoder</i> . Umumnya, $0,36^\circ$ (1000 ppr) sampai $0,036^\circ$ (10.000 ppr)

Aktuator sejatinya digunakan untuk mempermudah serta memperingan gerakan normal pada mekanisme mesin dan robotika, namun dewasa ini aktuator kerap digunakan dalam dunia medis untuk diaplikasikan pada eksoskeleton khusus untuk rehabilitasi penyakit, seperti stroke dan *cerebral palsy*.

#### **b. Baterai**

Baterai merupakan sumber energi utama yang digunakan untuk menggerakkan aktuator, mengaktifkan *driver* dan sistem kontrol, dan lainnya. Kapasitas baterai yang dipilih dipengaruhi oleh lama penggunaan eksoskeleton dan komponen pendukungnya. Baterai terdiri dari 2 jenis utama yakni: baterai primer, merupakan jenis baterai yang hanya dapat dipakai sekali (*single use battery*), dan baterai sekunder, yang merupakan jenis baterai yang dapat diisi ulang (*rechargeable battery*). Jenis jenis baterai sekunder antara lain adalah baterai Ni-Cd (*Nickel Cadmium*), baterai Ni-MH (*Nickel-Metal Hydride*), dan baterai Li-Ion (*Lithium Ion*).

**c. *Reel system* (Sistem gulung)**

Sistem *reel* atau sistem gulung pada dasarnya adalah sebuah silinder dimana film, kawat, benang maupun material fleksibel lainnya dapat digulung mengitari bagian intinya. Beberapa silinder inti memiliki pegangan atau penggerak untuk menggulung bahan secara mekanis. Ukuran dari silinder inti bergantung pada beberapa faktor, antara lain kecepatan putar, kekuatan mekanis silinder serta ukuran bahan yang akan digulung. Contoh penggunaan sistem *reel* adalah gulungan pancing untuk menyimpan benang, kaset untuk menyimpan *magnetic tape*, dan gulungan selang untuk irigasi.



Gambar 2.10. Sistem *reel* untuk penyimpanan benang pancing  
Sumber: Dokumen pribadi

**d. Bantalan (*Bearing*)**

Sistem bantalan atau yang umum disebut *bearing* adalah suatu komponen yang bertujuan untuk mengurangi gesekan pada komponen yang bergerak dan saling menekan antara satu dan yang lain. Gesekan yang terus menerus dapat menyebabkan panas yang berujung pada keausan komponen.



Gambar 2.11. *Bearing* standar dan *bearing custom*.  
Sumber: Dokumen pribadi

## 2.5.2 Sistem Kontrol

### a. Mikrokontroler

Mikrokontroler atau pengendali mikro adalah sebuah chip yang berfungsi sebagai pengatur rangkaian elektronik dan umumnya dapat menyimpan sebuah program. Kelebihan utama dari mikrokontroler adalah terdapat RAM dan peralatan I/O pendukung sehingga ukurannya menjadi sangat ringkas.

Kelebihan sistem dengan menggunakan mikrokontroler antara lain:

- Penggerak pada mikrokontroler menggunakan bahasa pemrograman assembly dengan berpatokan pada kaidah digital dasar sehingga pengoperasian sistem menjadi sangat mudah dikerjakan sesuai dengan logika sistem.
- Mikrokontroler tersusun dalam satu chip dimana prosesor, memori, dan I/O terintegrasi menjadi satu kesatuan kontrol sistem sehingga mikrokontroler dapat dikatakan sebagai komputer mini yang dapat bekerja secara inovatif sesuai dengan kebutuhan sistem.
- Sistem running bersifat berdiri sendiri tanpa tergantung dengan komputer, sedangkan parameter komputer hanya digunakan untuk download perintah instruksi atau program. Langkah-langkah untuk download perintah dari komputer dengan mikrokontroler sangat mudah digunakan karena tidak menggunakan banyak perintah.
- Pada mikrokontroler tersedia fasilitas tambahan untuk pengembangan memori dan I/O yang disesuaikan dengan kebutuhan sistem.
- Harga dan alat yang lebih mudah didapat.

(Sumber: <http://elektronika-dasar.web.id/pengertian-dan-kelebihan-mikrokontroler/>)



Gambar 2.12. Rangkaian mikrokontroler Arduino UNO  
Sumber: Dokumen pribadi

Penggunaan mikrokontroller dalam dunia elektronik umum digunakan untuk menggerakkan komponen, seperti aktuator, yang membutuhkan aksi mekanik dengan perintah tertentu. Perintah ini merupakan sebuah rangsangan yang memicu servo (aktuator) untuk bergerak.

### 2.5.3 3D-Printing

3D-Printing, atau yang dikenal juga dengan *Additive Manufacturing (AM)*, adalah proses untuk mencetak objek 3-dimensi dimana lapisan materialnya diatur melalui sistem komputer. Prinsip utama 3D-printing adalah membuat lapisan cetakan warna menggunakan plastik *molten wax* dan material lainnya sehingga menjadi bentuk yang diinginkan. 3D-Print merupakan proses cetak yang lebih cepat dibandingkan sistem molding, dimana teknik molding masih membutuhkan master model yang kemudian digunakan untuk membuat cetakan. Keunggulan lainnya adalah bahan atau filamen yang memiliki karakter yang berbeda-beda. Perancangan eksoskeleton membutuhkan pilihan filamen yang sesuai dengan kebutuhan rehabilitasi.

Berikut adalah beberapa jenis filamen yang umum ditemui serta penggunaannya dalam printing:

Tabel 2.3. Tinjauan material untuk rangka eksoskeleton  
(sumber : <https://rigid.ink/pages/filament-comparison-guide>)

No	Jenis Filamen	Saran Penggunaan	Harga (Rp/kg)
1	ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene)	Bagian yang membutuhkan integritas struktural,detail, dan kekakuan.	350.000
2	PLA (Polylactic Acid)	Bagian yang memiliki detail yang tinggi, dan part dengan kebutuhan estetika	370.000

No	Jenis Filamen	Saran Penggunaan	Harga (Rp/kg)
3	HIPS (High Impact Polistyrene)	High quality prints, Bagian filamen support. Mudah di urai dengan limonene. Memiliki kekuatan sama dengan ABS, durabilitas tinggi	500.000
4	Flexi	Lentur, untuk membuat snap-fit parts, high resolution text, dan sistem persendian aktif.	600.000
5	PVA (Polyvinyl Alkohol)	Sebagai bahan support filamen, larut dalam air.	640.000
6	PETG (Glycol-modified PET)	Sedikit transparan, fleksibel	475.000

Penggunaan sistem 3D-Print sesuai digunakan dalam perancangan rangka dan sendi eksoskeleton yang membutuhkan presisi yang tinggi serta proses cetak yang cepat. Pemilihan bahan yang digunakan haruslah kuat sehingga bisa menahan tekanan mekanis ketika digunakan. Pemilihan bahan filamen yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan juga menjadi keuntungan bagi sistem produksi masal eksoskeleton.

## 2.6 Tinjauan Desain Alat Bantu Rehabilitasi

Tabel 2.4 Tinjauan Alat Bantu Rehabilitasi

Paramater	Acuan 1	Acuan 2	Acuan 3	Acuan 4
	 SaebFlex oleh Saebro	 The Spiderhand oleh Daniel Levy	 Robowrist oleh Dirkenzie Technopedist	 Exo oleh UNDIP
<b>Tipe Rehabilitasi</b>	Rehabilitasi Aktif	Rehabilitasi Aktif	Rehabilitasi Aktif	Rehabilitasi Pasif
<b>Fungsi</b>	Power-Grip	Power-Grip	Power-Grip dan kekuatan genggam	Precision Grip dan kekuatan genggam
<b>Pembuatan</b>	Cetak Plastik	3D Printing	3D Printing	3D Printing
<b>Kegunaan</b>	Membantu rehabilitasi pengguna membuka jari (ekstensi)	Membantu rehabilitasi menutup dan membuka jari serta pergelangan (fleksi-ekstensi)	Membantu pengguna membuka jari dan pergelangan serta menggenggam objek	Membantu pengguna untuk membuka dan menutup per jarinya secara presisi
<b>Target</b>	Pasien pasca-strok dengan rehabilitasi tingkat otot	Pasien pasca-strok dengan rehabilitasi tingkat otot	Pasien pasca-strok dengan rehabilitasi tingkat otot	Pasien pasca-strok dengan rehabilitasi tingkat motorik
<b>Penggerak</b>	Otot jari dan pegas	Otot pergelangan dan bar penahan	Kabel dan servo (torsi 110kg), baterai 24v.	Linear Aktuator
<b>Ketersediaan</b>	Produksi massal	Tahap pengembangan lab	Produksi	Tahap pengembangan lab
<b>Mekanisme</b>	Menggunakan sistem pegas untuk membantu pengguna membuka jari. Pengguna harus dapat menutup jari terlebih dahulu.	Menggunakan gerakan pergelangan tangan pengguna untuk menekuk jari. Sistem cincin jari akan menahan jari dalam posisi normal.	Menggunakan sistem glove (sarung tangan) untuk membungkus jari dan pergelangan. Jari dan pergelangan akan ditarik membuka menggunakan kabel dan servo.	Menggunakan servo motor untuk menggerakkan jari per jari secara presisi. Sistem engsel digunakan untuk menyalurkan energi servo dan menggerakkan jari.

Paramater	Acuan 1	Acuan 2	Acuan 3	Acuan 4
<b>Kemudahan Penggunaan</b>	Menggunakan sistem strap pada pergelangan tangan untuk memasang alat, dan memasukkan jari ke dalam wadah jari.	Menggunakan velcro untuk memasang base ke pergelangan tangan. Cincin jari dimasukkan ke dalam masing masing jari.	Menggunakan sistem glove untuk menahan pergelangan tangan. Penggunaan dilakukan dengan menyalakan servo.	Menggunakan sistem cincin jari yang tersambung dengan servo. Pangkal alat dipasang di pergelangan dan jari dimasukkan ke dalam cincin.
<b>Tempat Rehabilitasi</b>	Pribadi, dapat dilakukan di rumah.	Pribadi, dapat dilakukan di rumah.	Pribadi, dapat dilakukan di rumah.	Cenderung terdapat dalam 1 tempat mengingat konstruksi mekanis dan ukurannya yang besar.
<b>Sistem Gerak</b>	Pengguna perlu menutup jari (fleks) sehingga pegas akan membantu membukanya kembali.	Pengguna perlu menekuk pergelangan tangan ke arah atas (ekstensi) untuk menahan jari dalam posisi tertutup.	Motor servo akan menarik kabel yang terhubung di pergelangan tangan. Selanjutnya gerakan engsel akan menutup jari	Servo akan menggerakkan jari per jari dalam gerakan maju-mundur. Engsel jari membantu pengguna dalam mengatur posisi jarinya.
<b>Sistem Kontrol</b>	Otot pengguna	Otot pengguna	Mikrokontroller	Mikrokontroller
<b>Paramater</b>	<b>Acuan 5</b>		<b>Acuan 6</b>	
	 <p>3D Printed Rehabilitation Orhtosis oleh Eliza Wrobel</p>		 <p>The Exohand Project (<a href="http://www.youtube.com/watch?v=v5TpR5g0ZpY">www.youtube.com/watch?v=v5TpR5g0ZpY</a>)</p>	
<b>Tipe Rehabilitasi</b>	Rehabilitasi Pasif		Rehabilitasi Pasif	
<b>Fungsi</b>	Power-Grip		Power-Grip	
<b>Pembuatan</b>	3D Printing		3D Printing	

<b>Paramater</b>	<b>Acuan 5</b>	<b>Acuan 6</b>
<b>Kegunaan</b>	Membantu pengguna menggenggam objek (power grip)	Membantu pengguna menutup dan membuka jari (fleksi-ekstensi)
<b>Target</b>	Pasien kelumpuhan tangan, dengan rehabilitasi tingkat otot	Pasien pasca-strok dengan rehabilitasi tingkat otot
<b>Penggerak</b>	Engkol dan engsel jari	Motor Listrik
<b>Ketersediaan</b>	Tahap pengembangan	Tahap pengembangan
<b>Mekanisme</b>	Engkol (lever) digunakan untuk 'mengunci' posisi jari. Jari ditahan oleh mekanisme engsel jari.	Mekanisme engsel jari yang digerakkan oleh servo motor. Gerakan servo motor diatur oleh tombol mikrokontroler.
<b>Kemudahan Penggunaan</b>	Digunakan dengan cara dipakai langsung seperti sarung tangan (glove). Ukuran jari tidak dapat disesuaikan.	Cincin jari dimasukkan ke dalam masing masing jari. Derajat pengenggaman dapat diatur dengan memutar tombol pada mikrokontroler.
<b>Tempat Rehabilitasi</b>	Pribadi, dapat dilakukan di rumah.	Pribadi, dapat dilakukan di rumah.
<b>Sistem Gerak</b>	Pengguna perlu memutar engsel untuk mengunci posisi jari untuk mendapatkan kekuatan genggam.	Jari dapat ditekek dalam derajat tertentu bergantung pada putaran tombol pada kontroler.
<b>Sistem Kontrol</b>	Manual, menggunakan engsel	Mikrokontroler

## BAB III

### METODOLOGI DAN KERANGKA ANALISIS

#### 3.1 Judul Perancangan

Judul perancangan ini adalah : *Desain Power-Grip Eksoskeleton sebagai Alat Bantu Rehabilitasi Pasien Pasca-Strok*. Dalam proposal perancangan konseptual ini, penulis mendesain eksoskeleton dengan kemampuan power-grip pada jari sebagai sarana bantu pasien dalam menjalani rehabilitasi otot tangan, khususnya jari, sehingga diharapkan pasien dapat melakukan kegiatan rehabilitasinya secara mandiri.

Definisi judul:

Desain <i>Power-Grip</i> Eksoskeleton	: Perancangan sistem robotik mekanis untuk tubuh bagian atas dengan kemampuan genggam pada jari
Alat Bantu Rehabilitasi	: Sarana untuk membantu memudahkan pengguna dalam melakukan kegiatan terapi
Pasien Pasca-Strok	: Penderita stroke yang telah melewati masa kritis, berada dalam tahap penyembuhan dengan kisaran skor NIHSS ( <i>National Institute of Health Stroke Scale</i> ) antara 5-20 (strok menengah – parah)

#### 3.2 Subjek dan Objek Perancangan

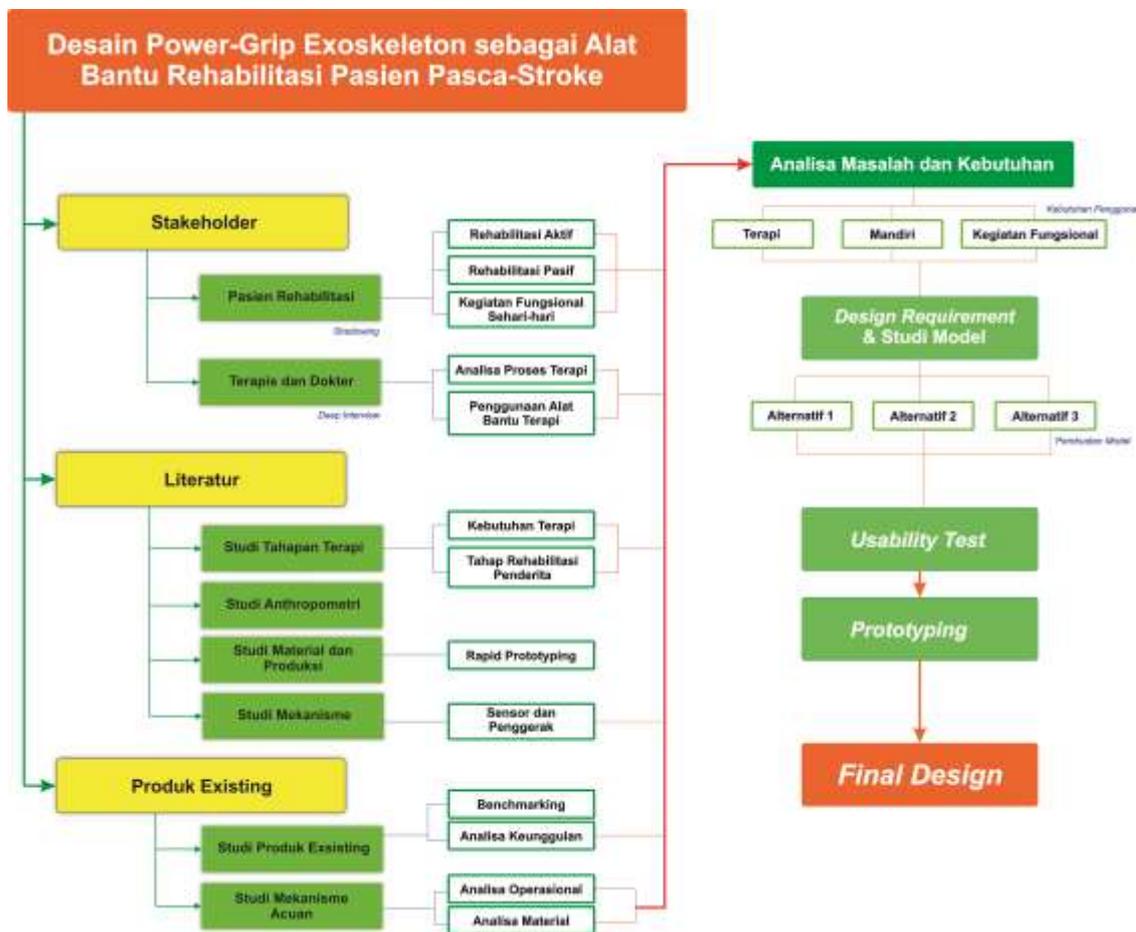
Subjek Perancangan : *Power-grip* eksoskeleton.

Objek Perancangan

- a. Finger Ring: sebagai cincin jari agar jari pengguna dapat ikut digerakkan.
- b. Extension Mechanism: sebagai mekanisme bantu untuk memperingan tugas jari dan pergelangan pengguna dalam gerakan membuka (ekstensi).
- c. Flexion Mechanism : sebagai mekanisme bantu untuk memperingan tugas jari dan pergelangan pengguna dalam gerakan menutup (fleksi).
- d. Casing Gear: sebagai tempat reel dan mekanisme pendorong menggunakan servo motor.

### 3.3 Metode Penelitian

Penelitian yang digunakan dalam perancangan ini adalah pendekatan kuantitatif. Pendekatan ini dipilih karena rumusan masalah yang dibahas dalam penelitian ini membutuhkan data-data pendukung untuk memahami secara spesifik masalah-masalah yang ada pada penderita stroke tahap rehabilitasi. Pengumpulan data dan informasi terkait dilakukan dengan cara *deep interview* dan *shadowing* kepada beberapa narasumber yang terlibat dan membantu dalam perancangan, sebagai contoh: metode observasi terapi, wawancara, studi produk existing serta mendokumentasikan data yang didapat. Metode penelitian akan mempengaruhi skema alur pikir dalam perancangan, yang pada akhirnya menghasilkan suatu desain produk yang tepat guna.



Gambar 3.1 Metode Penelitian

#### Penjelasan Skema

Skema diatas dapat dikelompokkan menjadi 4 kategori utama:

## 1. Studi literatur

Analisis ini dilakukan guna mempelajari dasar ilmu yang akan digunakan, regulasi serta sistem mekanis dari sumber tertulis. Analisis ini diperoleh melalui 3 sumber utama:

- a. *Stakeholder*, sebagai penyedia informasi tentang strok, dasar-dasar terapi strok dan pengaruhnya bagi pasien.
- b. Literatur, sebagai rujukan utama terkait regulasi, sistematika terapi yang sesuai standar, gerakan tangan (antropometri), sistem produksi dan mekanisme
- c. Produk *Existing*, sebagai rujukan akan alat rehabilitasi yang sudah lebih dulu ada. Studi ini dilakukan secara umum, untuk mengetahui keunggulan yang dapat diacu dari suatu produk.

## 2. Design requirement

Dilakukan dengan memulai analisis masalah dan kebutuhan yang ada dalam sesi terapi. Data didapatkan dari analisis langsung (shadowing dan deep interview untuk kebutuhan), maupun pengujian langsung terhadap acuan desain. Pada tahap ini berbagai desain alat rehabilitasi yang sesuai dengan kebutuhan akan dianalisis sistem kerjanya dan dipilih 1 desain rujukan utama yang paling unggul.

## 3. Desain acuan

Pengujian ini dilakukan dengan melakukan studi model desain rujukan terpilih untuk diteliti kelebihan dan kekurangan yang dapat diperbaiki. Dalam pengujian desain acuan ini juga dilakukan pengujian sistem yang dirasa perlu untuk membantu proses rehabilitasi, misalnya aktuator. Pengujian ini meliputi 4 tahap utama sesuai kebutuhan yang dihadapi; mekanisme jari, sistem gerak (aktuator), analisis berat dan analisis bentuk.

## 4. Testing & Sketsa Ide

Dengan pengujian menggunakan desain rujukan terpilih akan didapatkan kelebihan dan kekurangan yang dapat diperbaiki dari desain tersebut. Sketsa selanjutnya dilakukan untuk mengajukan solusi dari kekurangan yang dihadapi, namun menggunakan prinsip mekanisme rujukan yang sudah diuji dalam tahap testing. Selanjutnya dilakukan seleksi alternatif dari desain dan dilanjutkan dengan pencetakan (*prototyping*), untuk kemudian diujikan kepada pengguna (*usability test*).

### 3.4 Metode Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data dibagi dalam 3 tahap sebagaimana tercantum dalam gambar 3.1. Proses yang pertama merupakan tahap observasi serta wawancara kepada *stakeholder* untuk mendapatkan data di lapangan. Proses kedua adalah analisis data yang didapat dari studi literatur. Proses ketiga merupakan studi keunggulan serta acuan yang dimiliki dari produk *existing*. Data-data ini akan digunakan untuk proses perancangan lebih lanjut, sehingga menghasilkan kesimpulan dan solusi yang diharapkan.

#### 3.4.1 Data Stakeholder

Data primer sebagai basis perancangan ini didapatkan dari *stakeholder* yang akan digunakan untuk mengidentifikasi kebutuhan pengguna serta masalah yang mungkin dihadapi. Kebutuhan serta masalah yang ada akan mempengaruhi konsep dan bentuk akhir dari desain produk. *Stakeholder* sebagai sumber data tersebut adalah pasien pasca-strok dalam tahap rehabilitasi tangan, terapis serta dokter dari pihak rumah sakit.

Berikut adalah narasumber yang berpartisipasi dalam metode pengumpulan data:

Tabel 3.1 Narasumber

Pasien Rehabilitasi Tangan	Terapis
 <p data-bbox="240 1787 743 1861">Pasien rehabilitasi dengan hemiparetik (kelemahan otot) sebelah kiri.</p>	 <p data-bbox="767 1749 1394 1823">Penulis bersama terapis yang menangani proses rehabilitasi pasien.</p>

a) *Deep Interview*

Metode ini digunakan untuk terapis serta dokter dari pihak rumah sakit guna mendapatkan data pokok berupa:

1. Data pasien pasca-strok dalam tahap rehabilitasi bagian tangan.
2. Data kebutuhan alat bantu untuk rehabilitasi tangan.
3. Metode terbaik dalam penerapan tahap terapi bagi pasien pasca-strok, serta perkembangannya.
4. Saran dari terapis terkait alat bantu untuk menunjang kegiatan terapi.
5. Solusi yang diperlukan.

b) *Shadowing*

Metode ini digunakan untuk mengamati aktivitas pasien pasca-strok dalam menjalani terapi serta kegiatan sehari-hari mereka. *Shadowing* dilaksanakan pada tanggal 3 November 2017 pukul 18.00 – 19.00 dan 10 November pukul 17.00 – 18.30 dengan cara mengamati kegiatan rehabilitasi tangan pasien yang bertempat di Klinik Fisioterapi Niniek Soetini. Metode riset dilakukan dengan cara observasi secara seksama tahapan rehabilitasi dan proses terapi yang berlangsung.

Dari pengamatan ini didapatkan data pokok berupa:

1. Aktivitas terapi
2. Tahapan gerakan terapi pada jari
3. Aktivitas interaksi
4. Pola gerak jari serta tahapan yang dilalui selama proses rehabilitasi
5. Kegiatan fungsional yang dilakukan oleh pasien
6. Analisis permasalahan dan kebutuhan.

### **3.4.2 Referensi desain**

Referensi untuk perancangan desain didapatkan dari berbagai sumber, baik sumber non-akademis maupun akademis terpercaya yang meliputi buku, jurnal ilmiah dan artikel. Data pokok yang diambil antara lain mencakup jenis strok, tahapan utama rehabilitasi anggota gerak, paten untuk alat bantu terapi strok, mekanisme gerakan jari, jenis hand eksoskeleton, antropometri tangan, mekanika sensor serta sistem joint. Data-data ini selanjutnya digunakan sebagai data primer dan acuan dalam mendesain power-grip eksoskeleton, serta

dikembangkan lebih lanjut bersama studi produk existing untuk mendapatkan desain akhir. Studi referensi ini meliputi:

1. Studi produk *existing* alat bantu rehabilitasi tangan pasca-strok
2. Jurnal dengan bahasan tahapan rehabilitasi serta pengaruhnya dalam pemulihan fungsi otot pasien
3. Jurnal dengan bahasan utama tentang *hand* eksoskeleton serta penerapannya dalam rehabilitasi
4. Paten tentang mekanisme penggerak jari dan sambungan antar jari
5. Jurnal tentang mekanisme sensor otot dan penggunaanya
6. Jurnal pembuatan *hand* eksoskeleton dengan metode 3D-Printing.

Sebagai pembanding, dilakukan pula observasi produk terdahulu dari *open source*. Penelitian ini dimulai dengan mencetak produk open source yang akan diamati. Produk yang dicetak adalah *The Spiderhand*, yang memiliki mekanisme penahan jari dan ditujukan kepada penderita lemah otot. Produk ini disediakan melalui *website* Thingiverse oleh pengembang. Setelah tahap 3D Print selesai dilakukanlah perakitan guna menguji kinerja alat tersebut.

Observasi mekanisme ini dilakukan dengan menguji bagian dan desain yang diperlukan untuk dapat menahan jari, sehingga jari pengguna dapat dibuka-tutup sesuai keinginan. Sistem mekanis ini terdiri dari engsel, cincin jari, ball joint serta batang sekrup yang memungkinkan alat ini untuk diatur sesuai panjang jari pengguna. Kekuatan genggam yang didapat dari alat ini bergantung pada gerakan fleksi-ekstensi pergelangan tangan (*wrist movement*) dari pengguna. Mekanisme penahan jari dilakukan oleh engsel, cincin jari dan *ball joint*, dimana komponen tersebut menahan jari dalam posisi rileksnya bahkan ketika pergelangan tangan digerakkan. Jari yang tertahan dalam posisi rileks membuat gerakan menggenggam ketika pergelangan tangan dinaikkan (ekstensi). Observasi pada material yang dicantumkan di web menunjukkan bahan yang terjangkau (PLA), namun cukup rigid untuk dijadikan eksoskeleton. Metode yang digunakan dalam mengobservasi *The Spiderhand* ini menggunakan data primer dan uji kekuatan menggenggam.

Sebagai mekanisme tambahan, diuji pula sistem gear dari motor servo. Sistem gear ini mengubah gerakan memutar (sirkular) dari motor menjadi

gerakan maju-mundur (linear). Mekanisme ini bertujuan untuk membantu otot pengguna dalam menggerakkan tangannya. Pengujian yang dilakukan meliputi cetak menggunakan 3D Print dari sumber *opensource* dan test rangkaian. Metode yang digunakan dalam studi ini adalah data primer serta beban yang dapat ditarik dan didorong oleh servo motor.

### **3.4.3 Pengukuran antropometri**

Pengukuran antropometri dilakukan untuk mendapatkan data dimensi tubuh yang akan dijadikan acuan dimensi untuk desain eksoskeleton. Pengukuran dilakukan pada bagian tubuh pengguna yang akan bersinggungan dengan produk, antara lain ukuran jari, lebar tangan, panjang tangan serta panjang genggamannya. Hasil pengukuran ini diharapkan dapat membantu pengukuran desain eksoskeleton sehingga dapat digunakan oleh pengguna secara luas. Berdasarkan hal tersebut, maka ada beberapa aspek yang ditekankan dalam pengukuran antropometri:

1. Pengguna dengan umur 45 tahun keatas.
2. Pengukuran eksoskeleton akan berbeda setiap pengguna karena mengikuti ukuran tangan (*custom fit*).
3. Tidak mengalami kelumpuhan yang mengakibatkan penyusutan otot gerak.

### **3.4.4 Usability test**

*Usability Test* dilakukan dengan melaksanakan tes produk secara langsung kepada pengguna untuk mengevaluasi bagaimana kinerja produk ketika digunakan langsung, guna mendapatkan *feedback* yang mampu menunjang pengembangan produk kearah yang lebih baik.

### **3.4.5 Kebutuhan**

Analisis kebutuhan akan didapatkan setelah melakukan tes pengguna dan mekanisme. Kebutuhan akan difokuskan kepada proses gerakan terapi, pemasangan eksoskeleton pada pasien dan desain mekanisme.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB IV**

### **STUDI DAN ANALISIS**

#### **4.1 Analisis Kebutuhan**

Analisis ini dilakukan guna mengetahui kebutuhan mekanisme yang diperlukan dalam rancangan eksoskeleton. Dalam proses rehabilitasi, terdapat gerakan tertentu yang dilakukan oleh tangan agar otot terlatih dengan baik. Gerakan ini nantinya akan dibantu oleh eksoskeleton untuk mempermudah proses rehabilitasi. Analisis dilakukan dengan metode *shadowing* pada tanggal 3 November 2017 pukul 18.00 – 19.00 dan 10 November pukul 17.00 – 18.30 bertempat di Klinik Fisioterapi Niniek Soetini. Dilakukan pula *deep interview* kepada terapis serta acuan literatur yang berkaitan dengan rehabilitasi tangan. Hasil analisis tersebut akan dibandingkan dengan *range of motion* terapi dalam Bab 2, dan dapat dirangkum sebagai berikut:

##### **4.1.1 Analisis Proses Rehabilitasi**

Analisis ini dilakukan guna mengetahui tahapan-tahapan rehabilitasi serta gerakan-gerakan khusus yang dilakukan oleh terapis selama sesi berlangsung. Data ini nantinya akan dijadikan landasan gerakan eksoskeleton terhadap tangan pasien.

Analisis dilakukan melalui proses *deep interview* dan *shadowing*. Berikut hasil analisis tahapan sesi terapi yang diperoleh:

Tabel 4.1 Tahapan Rehabilitasi

No	Gambar	Keterangan
1		<p>Kondisi tangan pasien posisi normal. Pasien mengalami gangguan di bagian otak kanan yang menyebabkan terganggunya otot di sisi kiri tubuh. Pasien berada dalam tahap hemiparesis (otot lemah), adanya kemajuan dari kondisi lumpuh otot (<i>paralyzed</i>). Fungsi otot yang terganggu adalah otot tangan, lengan dan kaki kiri.</p>
2		<p>Dilakukan proses stimulus / rangsangan pada otot pasien. Dalam pengamatan ini ditunjukkan bahwa dengan pemberian rangsangan pada otot tangan, jari dan pergelangan tangan pasien akan bergerak dengan sendirinya. Dari hasil <i>interview</i> didapatkan data bahwa otot pasien dalam tahapan ini sudah bisa menerima rangsangan stimulus sehingga dimanfaatkan dalam proses terapi. Gerakan pelatihan ibu jari berbeda dengan keempat jari lainnya (abduksi-aduksi).</p>

No	Gambar	Keterangan
3		<p>Terapis melakukan gerakan pasif (gerakan otot yang dibantu) untuk melatih otot tangan. Gerakan ini terdiri dari 2 tahap, gerakan pergelangan (<i>wrist</i>) dan jari. Gerakan wrist dilakukan dengan menggerakkan pergelangan ke posisi fleksi-ekstensi dalam kondisi jari rileks. Hal ini akan mendorong jari untuk bergerak dengan sendirinya. Tahap ini dapat melatih gerakan 2 otot sekaligus.</p>
4		<p>Terapis melakukan gerakan untuk melatih otot jari dan genggaman. Jari pasien akan diarahkan dalam gerakan membuka dan menggenggam untuk melatih kekuatan otot. Terapis akan menahan jari dalam posisi menggenggam selama beberapa detik untuk mendapatkan kekuatan genggaman. Selanjutnya pasien diminta untuk mengulangi gerakan diatas tanpa bantuan terapis.</p>

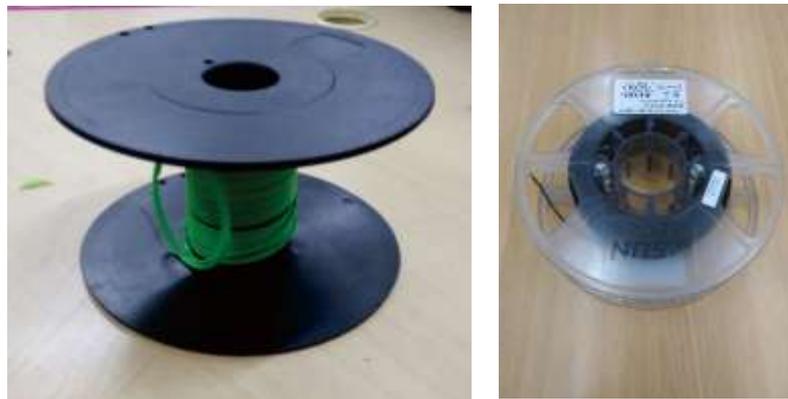
No	Gambar	Keterangan
5		<p>Pasien melatih kekuatan genggam jarinya. Pasien menggenggam obyek (handuk) dan memindahkannya ke tangan terapis. Gerakan ini dilakukan berulang-ulang, obyek ditahan oleh genggaman selama beberapa detik lalu dilepaskan perlahan. Gerakan yang berperan penting adalah gerakan 4 jari, ibu jari cenderung diam pada tempatnya. Gerakan ini juga melatih otot lengan dan bahu.</p> <p>Terapi dilakukan dengan menggenggam obyek dari meja dan memindahkannya ke tempat tertentu.</p>
6		<p>Gerakan-gerakan ini dilakukan berulang-ulang selama sesi terapi. Pasien dianjurkan untuk mengulangi gerakan ini secara berkala di rumah. Selanjutnya sesi terapi dilanjutkan dengan rehabilitasi lengan dan kaki kiri.</p>
<p>Lama proses terapi 1-1.5 jam. Gerakan terapi jari dan tangan sesuai dengan <i>range of motion</i> dari gerakan terapi standar dalam bab 2. Satu sesi ini mencakup latihan tangan, lengan dan kaki. Rehabilitasi sesi tangan berlangsung <math>\pm 35</math> menit.</p>		

Didapatkan pula hasil analisis lain baik melalui *deep interview* maupun *shadowing* lebih lanjut. Data tersebut antara lain:

1. Proses rehabilitasi dilakukan secara mandiri setiap hari selama kurang lebih 1 jam. Pasien melakukan gerakan rehabilitasi secara teratur, selama durasi atau sampai pasien merasa lelah.
2. Pasien melakukan proses rehabilitasi dibantu oleh terapis secara teratur. Pasien melakukan kunjungan ke terapis setidaknya seminggu sekali untuk mendapatkan sesi terapi.
3. Pasien yang mengalami kelumpuhan otot (*paralyzed*) harus terus dilatih untuk mendapatkan gerakannya kembali. Pasien dengan kondisi hemiparesis (kelemahan otot) dapat diberi stimulus pada otot untuk menggerakkan tangannya secara refleks.

#### 4.2 Studi Material dan Alat

Analisis material dalam perancangan ini menggunakan filamen PLA dengan pertimbangan kemudahan pencetakan. Dalam pengujian eksoskeleton acuan, material PLA adalah material yang digunakan dalam pembuatan dikarenakan eksoskeleton membutuhkan struktur kuat untuk menahan tekanan dan banyaknya bagian yang bergerak (*moving parts*).



Gambar 4.1 Filamen PLA yang digunakan

Material	: PLA
Diameter	: 1.75 mm
Warna	: Sesuai kebutuhan
Berat Bersih	: 1000 gram
Temperatur Print	: 190°C-230°C

Material PLA memiliki kemudahan dalam proses cetaknya, kelebihan dari sisi visual dan dapat menahan tekanan yang cukup kuat. Namun kelemahannya dibandingkan dengan ABS adalah kurang tahan terhadap panas dan benturan.

Adapun alat dan perkakas yang digunakan dalam pengujian eksoskeleton ini antara lain:

Tabel 4.2 Alat dan perkakas dalam pengujian

No	Gambar	Nama	Keterangan
1		Wanhao Duplicator 4	Mesin cetak 3D
2		Obeng plus dan minus	Untuk mengatur baut dan mur komponen
3		Tang potong	Alat potong dan <i>finishing</i> 3D model

No	Gambar	Nama	Keterangan
4		Meteran gulung	Untuk mengukur panjang komponen
5		Kabuto EK6001 Digital Scale	Untuk mengukur bobot eksoskeleton dan mekanisme
6		Neraca pegas 1000 gram	Untuk mengukur tenaga tarik servo dan beban telapak
7		Arduino UNO	Sebagai papan kontrol untuk pengujian program gerakan servo

#### 4.3 Analisis Sistem Mekanis

Acuan yang digunakan dalam pengujian mekanisme adalah acuan 2 yang bernama *The Spiderhand*. Produk ini merupakan alat bantu rehabilitasi yang memanfaatkan gerakan fleksi-ekstensi otot pergelangan tangan sebagai penggerak jari. Produk ini memiliki keunggulan dibagian penahan jari yang dapat diatur sesuai panjang dan renggangan jari pengguna.

Pengujian dilakukan dengan mencetak 3d model *opensource* yang sudah didapat menggunakan 3d printer, kemudian dilakukan perakitan dengan seksama sesuai dengan instruksi yang diberikan. Uji mekanik dan gerak kemudian dilakukan dengan memasang alat dibagian jari dan pergelangan tangan.

Pengujian sistem *adjustable* dan gerak jari dilakukan dengan cara sebagai berikut:



Gambar 4.2 Pencetakan *The Spiderhand* untuk selanjutnya diuji coba  
Sumber: Dokumen pribadi

Tabel 4.3 Pengujian Mekanisme

No	Kegiatan	Deskripsi
1		<p>User 1 memasang alat dalam kondisi pergelangan tangan normal. Dilakukan pengaturan pada bar penahan terlebih dahulu agar sesuai dengan ukuran dan arah jari user. User 1 tidak mengalami masalah dengan ukuran cincin jari eksoskeleton; cincin jari tidak longgar dan tergelincir keluar dari jari.</p>

No	Kegiatan	Deskripsi
2		<p>User 1 menekuk pergelangan tangan ke arah atas (fleksi) menggunakan kekuatan otot pergelangan. Jari ikut tertekuk berkat adanya bar penahan yang tersambung dengan <i>ball joint</i> di pergelangan tangan.</p>
3		<p>User 1 mengembalikan posisi pergelangan tangan ke posisi normal menggunakan gerakan ekstensi. Jari ikut bergerak menjadi lurus kembali berkat bar penahan serta sistem engsel di atas ruas ruas jari.</p>
4		<p>User 1 menekuk pergelangan tangan ke arah atas (fleksi) dengan bantuan tenaga dari luar. Jari ikut tertekuk berkat adanya bar penahan yang tersambung dengan <i>ball joint</i> di pergelangan tangan. Bagian yang mendapat bantuan gaya agar jari tertekuk adalah punggung dan telapak tangan.</p>

No	Kegiatan	Deskripsi
5		<p>User 2 memasang alat dalam kondisi pergelangan tangan normal. Dilakukan kalibrasi bar penahan agar sesuai dengan panjang dan arah jari pengguna. User 2 mengalami masalah dengan ukuran cincin jari eksoskeleton; cincin jari lebih besar daripada ukuran jari kelingking dan jari manis sehingga longgar terhadap jari.</p>
6		<p>User 2 menekuk pergelangan tangan ke arah atas (fleksi) menggunakan kekuatan otot pergelangan. Jari telunjuk dan tengah ikut tertekuk karena ukuran cincin yang pas, namun jari kelingking dan manis tidak tertekuk sempurna karena cincin jari tergelincir keluar.</p>

No	Kegiatan	Deskripsi
7		<p>User 2 mengalami masalah dengan cincin bagian jari manis dan kelingking; jari cenderung tidak membuka lagi saat pergelangan tangan diluruskan (ekstensi) karena cincin jarinya longgar dan tergelincir keluar.</p>

Dari pengujian diatas dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- a. Produk ini memiliki beberapa keunggulan; antara lain:
  1. Gerakannya sesuai dengan *range of motion* rehabilitasi jari
  2. Mekanisme penggeraknya hanya membutuhkan 1 gerakan utama
  3. Sistem *joint* (sendi) dan panjang jari yang *adjustable*
  4. Sistem terbagi dalam beberapa bagian, dan dapat dibuat dengan menggunakan 3D Printing.
  
- b. Adapun kelemahannya antara lain:
  1. Merupakan eksoskeleton aktif (membutuhkan gerakan otot untuk dipakai)
  2. Jika pergelangan tidak ditahan pada posisi ekstensi maka gengaman jari akan melemah.
  3. Konstruksi cenderung mudah goyah dan tidak stabil dikarenakan bagian cincin jari tidak mempunyai dudukan kuat untuk mempertahankan posisi selain tersambung dengan baut.
  4. Tidak adanya *cover* (pelindung) untuk pergelangan tangan.

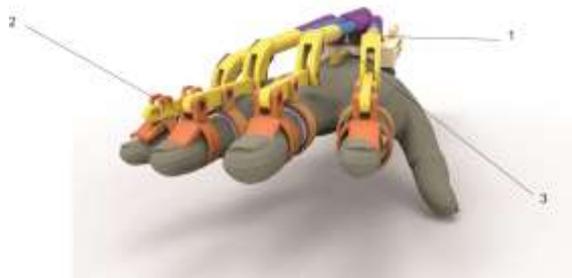
5. Adanya titik kritis tertentu dalam eksoskeleton yang mempengaruhi kinerja gerak otot jari dan pergelangan. Apabila titik kritis ini terganggu, maka fungsi gerak jari juga akan terhambat atau tidak akan sesuai dengan kontur jari.

Titik kritis ini antara lain:

Tabel 4.4 Titik Kritis

Titik Kritis	Penjelasan
 <p data-bbox="405 1317 799 1352">(1) Ball Joint dan bar penahan</p>	<p data-bbox="863 797 1348 1491"><i>Ball joint</i> merupakan ujung dari bar penahan yang dipasang diatas pergelangan. <i>Joint</i> jenis ini memungkinkan jari untuk leluasa diregangkan ke 4 arah yang berbeda; apabila tidak menggunakan joint, maka jarilah yang dipaksa untuk mengikuti bentuk eksoskeleton, bukan sebaliknya. Sedangkan bar penahan merupakan bagian <i>adjustable</i> yang dapat dikalibrasi mengikuti panjang jari masing-masing.</p>
 <p data-bbox="507 1888 699 1924">(2) Cincin jari</p>	<p data-bbox="863 1514 1348 1928">Cincin jari dan sistem engselnya berfungsi untuk menekuk jari. Apabila cincin jari tidak pas dengan diameter jari, maka cincin akan selip dari jari ketika jari ditekuk. Penahan jari dibagian atas untuk mencegah jari agar tidak membuka terlalu lebar (hiperekstensi).</p>

Titik Kritis	Penjelasan
 <p data-bbox="496 763 708 797">(3) Pergelangan</p>	<p data-bbox="868 365 1343 725">Bagian pergelangan tangan haruslah tidak terganggu ketika digunakan, karena jika pergelangan tangan tidak bisa ekstensi, maka jari tidak akan bisa bergerak. Penahan <i>ball joint</i> harus bisa menahan gerak joint agar dapat leluasa mengikuti kontur jari.</p>



Gambar 4.3 Letak Titik Kritis

Sumber: Dokumen pribadi

#### 4.4 Analisis Sistem Gerak

Pergelangan tangan dengan otot yang masih lemah tidak dapat menggerakkan mekanisme eksoskeleton dan masih tetap harus dilatih agar kekuatan otot dapat kembali. Oleh karena itu diperlukan suatu sistem penggerak untuk membantu menggerakkan tangan secara otomatis. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui kinerja servo sebagai penggerak.

Sistem gerak dapat dibagi menjadi 2 bagian: Motor servo dan komponen gear. Servo motor merupakan aktuator yang digunakan dalam perancangan ini. Servo dipilih karena gerakan memutar yang dimiliki dapat diubah menjadi gerakan linear dengan sistem roda gigi sederhana dibandingkan dengan linear aktuator. Selain itu motor servo memiliki beberapa keunggulan:

- a. Bobot cenderung ringan dibandingkan linear aktuator
- b. Adanya pilihan torsi
- c. Arah gerak dapat diatur dengan gear
- d. Harga murah, tidak berisik.

Dalam pengujian sistem roda gigi ini digunakan servo TowerPro SG90 sebagai penggerak:



Gambar 4.4 Servo SG90

Sumber: Dokumen pribadi

#### **TowerPro SG90**

Berat: 9 gram

Dimensi: 23mm × 12.2mm x 29mm

Torsi *stall*: 1.8kg/cm (4.8v)

*Gear type*: POM gear set

Kecepatan: 0.1sec/60degree (4.8v)

*Operating voltage*: 4.8v

*Rotation*: 180 degree

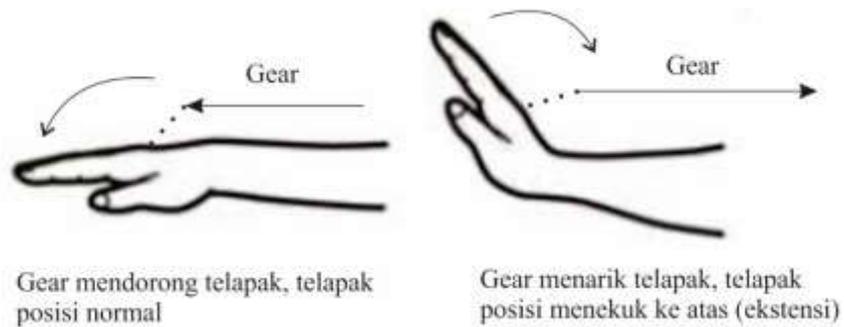
*Temperature range*: 0°C-55°C

*Power Supply*: Adapter Eksternal

Panjang kabel: 25 cm

Servo ini memiliki torsi sebesar 1.8kg/cm yang akan digunakan untuk menarik beban telapak tangan.

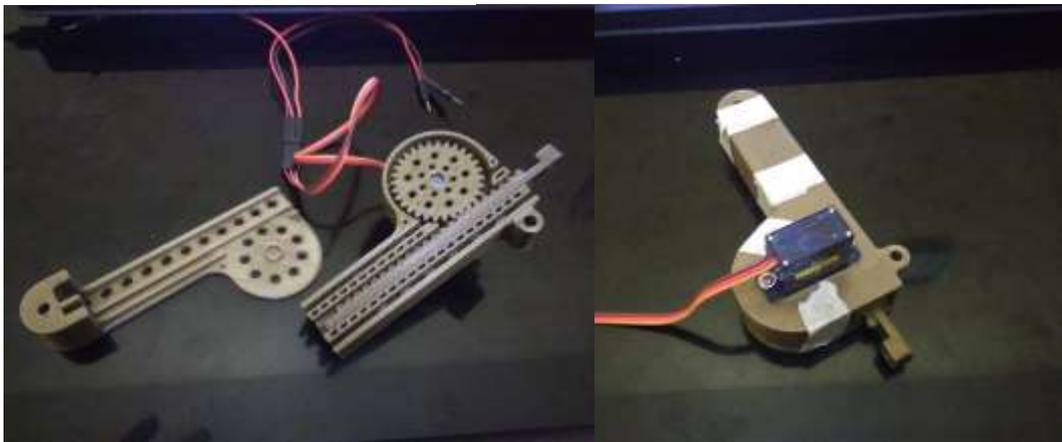
Gear dalam pengujian ini memiliki fungsi utama untuk mengubah gerakan sirkular servo menjadi gerakan yang akan digunakan untuk menarik dan mendorong pergelangan tangan ke dalam posisi fleksi dan ekstensi. Pengujian dilakukan untuk menentukan konstruksi gear yang paling efektif dalam menarik beban pergelangan.



Gambar 4.5 Aplikasi sistem gerak dalam desain

Sumber: Dokumen pribadi

Konfigurasi yang digunakan dalam perancangan ini adalah konfigurasi *rack and pinion*. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan servo ke mikrokontroler dan memprogram servo untuk mengulangi rotasinya ( $180^\circ$ ) berulang-ulang.

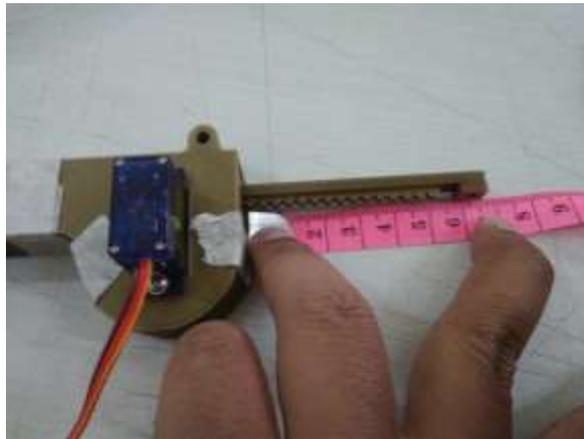


Gambar 4.6 Roda gigi dan servo dalam casing dasar

Sumber: Dokumen pribadi

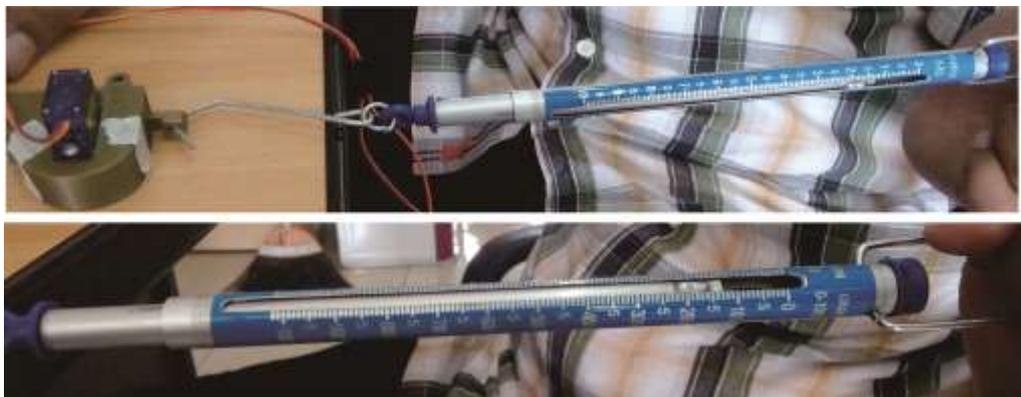
Pengujian dilakukan dalam 2 kategori; Panjang lengan gear (*rack*) yang dapat bergerak maju-mundur, serta beban yang dapat ditarik oleh lengan gear.

1. Pengujian panjang lengan digunakan untuk mengetahui kemampuan gear ketika berputar dalam mengatur panjang lengan rack untuk menarik dan mendorong telapak tangan. Pengujian panjang lengan menunjukkan bahwa lengan gear dapat dipanjangkan  $\pm 65$  mm dari *casing*. Hal ini utamanya dipengaruhi oleh kemampuan rotasi servo; dengan kemampuan rotasi sebesar  $180^\circ$  maka panjang lengan gear (*rack*) yang dapat diputar akan terbatas.



Gambar 4.7 Pengukuran panjang maksimum rack  
Sumber: Dokumen pribadi

2. Pengujian beban dilakukan dengan neraca pegas. Analisis dilakukan dengan memasang neraca pada ujung lengan *rack*, dan kemudian servo dinyalakan. Ketika lengan mencapai panjang minimum, dilakukan pengukuran beban yang dapat ditarik.



Gambar 4.8 Beban yang dapat ditarik servo  
Sumber: Dokumen pribadi

Dari pengujian ini didapatkan bahwa servo dengan torsi 1.80 kg/cm dapat menarik beban seberat  $\pm 200$  gram dalam tegangan 5 volt. Selanjutnya dilakukan pengukuran beban telapak sebagai obyek yang akan ditarik oleh lengan gear.



Gambar 4.9 Beban telapak

Sumber: Dokumen pribadi

Dari analisis sistem gerak ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

3. Beban telapak berkisar antara 500 – 650 gram. Hal ini menunjukkan servo dengan torsi 1.80 kg/cm masih kurang kuat dalam menarik beban telapak tangan. Untuk itu diperlukan suatu servo dengan torsi yang lebih besar, sehingga lengan rack dapat menarik beban telapan secara keseluruhan.
4. Konstruksi rack and pinion membutuhkan konstruksi casing (dudukan) gear sepanjang  $\pm 65$  mm. Hal ini mengakibatkan panjang ukuran casing yang cenderung lebih panjang dan berat untuk mengakomodasi panjang maksimum rack.
5. Adanya energi yang hilang dalam pengoperasian mekanisme jenis rack and pinion sehingga servo hanya mampu mengangkat beban sebesar 200 gram. Diperlukan mekanisme alternatif yang mampu meminimalisir kehilangan energi.

#### **4.5 Analisis Berat**

Analisis berat dilakukan untuk mengetahui bobot eksoskeleton dan mekanisme ketika dipasang diatas tangan. Bobot yang terlalu berat akan membuat eksoskeleton cenderung statis dan hanya digunakan di satu tempat tertentu saja, sehingga akan merepotkan ketika melakukan rehabilitasi rutin.

Oleh karena itu bobot eksoskeleton dan mekanisme diusahakan seminimal mungkin agar dapat dipasang dengan baik dan dapat digunakan dimana saja selama proses terapi.

1. Pengukuran berat eksoskeleton:



Gambar 4.10 Berat eksoskeleton

Sumber: Dokumen pribadi

Beban eksoskeleton 4 jari: **131 gram** (termasuk sekrup dan baut)

2. Pengukuran berat mekanisme gerak:



Gambar 4.11 Berat mekanisme gerak

Sumber: Dokumen pribadi

Beban total mekanisme gerak: 45 gram

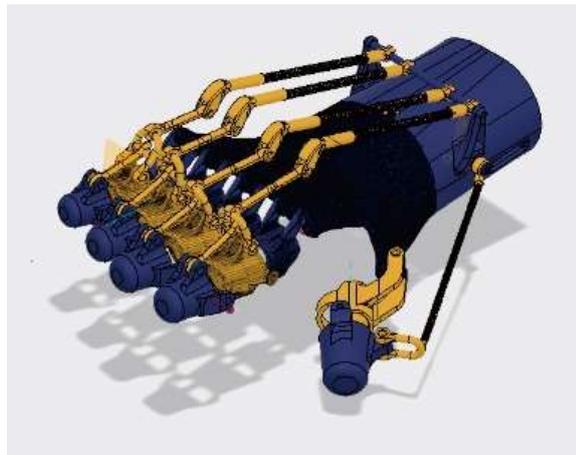
Beban servo SG90: 9 gram, Beban kosong mekanisme: **36 gram**.

Berat total dari eksoskeleton adalah sekitar **167 gram**. Apabila servo menggunakan jenis MG946R beban bertambah 55 gram menjadi **222 gram**.

Berat ini merupakan berat yang ditanggung langsung oleh tangan pengguna dan dibuat seringan mungkin karena membebani otot tangan.

#### 4.6 Penerapan Sistem Mekanis

Berdasarkan analisis sistem mekanis yang sudah dilakukan, dilakukan penerapan mekanisme penggerak jari pada desain yang akan dirancang. Desain baru ini nantinya akan dicetak dan diuji coba langsung sebagai pembandingan dengan mekanisme yang sudah ada.



Gambar 4.12 Rancangan dasar versi 1

Sumber: Dokumen pribadi

Eksoskeleton dirancang sedemikian rupa dengan pertimbangan sebagai berikut:

- a. Memiliki mekanisme dasar yang sesuai dengan The Spiderhand yang telah melalui analisis mekanis sebelumnya, dengan penyesuaian mekanis pada bagian cincin jari.
- b. Dikarenakan proses rehabilitasi rutin per hari oleh pasien membutuhkan waktu kurang lebih 1 jam, maka ditambahkan bagian telapak serta

pergelangan yang dibentuk menyerupai kontur tangan (*form-fitting*) agar dapat digunakan dengan nyaman selama proses rehabilitasi.

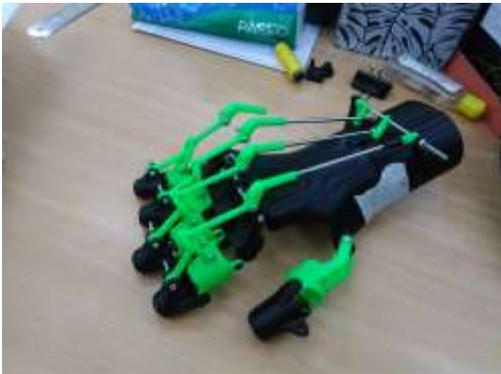
- c. Konstruksi cincin jari dan mekanisme yang lebih kokoh karena memilikiudukan *mounting* pada cover telapak dan pergelangan.
- d. Adanya cincin *cover* untuk ibu jari
- e. Menggunakan beberapa komponen logam sehingga lebih kuat meskipun ukuran dikurangi
- f. Adanya *cover* pergelangan untuk menempatkan servo motor, serta pemisahan eksoskeleton menjadi beberapa bagian untuk menghindari kemungkinan gagal dalam proses cetak.

Selanjutnya dilakukan proses cetak 3D print untuk kemudian dilakukan proses pengujian lebih lanjut pada pengguna. Pada proses cetak ini ditemukan beberapa kendala dan solusi dalam rancangan dasar ini sehingga mempengaruhi desain purwarupa kedepannya.

Tabel 4.5 Pengujian rancangan dasar 1

No	Gambar	Keterangan
1		<p>Metode cetak dilakukan dengan sistem <i>oneshot</i>, yakni mencetak beberapa bagian sekaligus dengan sistem engsel jari yang diharapkan dapat berfungsi. Hal ini dilakukan untuk mempersingkat waktu cetak dan <i>assembly</i>. Namun sistem <i>oneshot</i> tidak berjalan baik dikarenakan desain engsel yang berukuran kecil dan tersembunyi sehingga cenderung patah ketika digunakan.</p> <p>Solusi: Mencetak bagian per bagian dari komponen dan memasang seluruh sistem engsel secara manual.</p>

No	Gambar	Keterangan
2		<p>Pencetakan dilakukan per bagian komponen. Dengan metode ini kemungkinan gagal dapat ditekan, namun masih adanya kendala pada bagian bagian tertentu, antara lain bagian lubang yang tidak tembus dan pinggiran komponen yang bergerigi dikarenakan ukuran yang kecil.</p> <p>Solusi: Pengurangan kecepatan cetak dapat memperhalus hasil print akhir, namun memerlukan waktu yang lebih lama</p>
3		<p>Hasil seluruh komponen yang telah dicetak. Selanjutnya dilakukan proses assembly per bagian komponen untuk dinilai kekurangan serta perbaikan yang dapat dilakukan. Proses penggabungan engsel menggunakan sekrup dan baut diameter 3mm.</p>

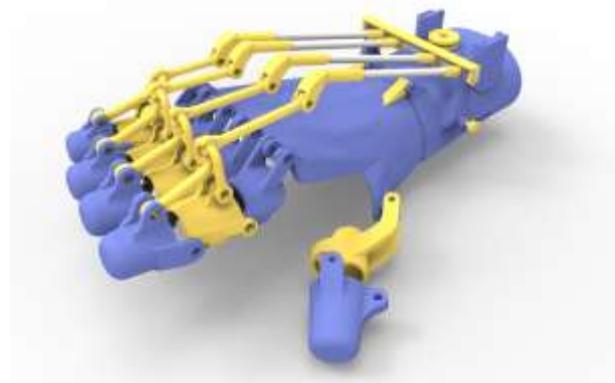
No	Gambar	Keterangan
4		<p>Ditemukan kendala pada bagian sambungan telapak. Sambungan telapak menggunakan 1 engsel dengan 3 cengkaman untuk menggerakkan pergelangan. Sambungan ini cenderung goyah ketika pergelangan tangan digerakkan, dan tidak cukup rigid ketika diangkat.</p> <p>Solusi: Menggunakan 2 engsel paralel dibagian pergelangan untuk menambah kekuatan serta kestabilan telapak ketika digunakan.</p>
5		<p>Proses assembly secara lengkap terkendala pada bagian sekrup jari. Sekrup jari membutuhkan ukuran diameter ISO 4mm sepanjang 15 cm. Sekrup ini harus mampu disatukan dengan rumah ulir L-Joint. Bagian sekrup yang didapat hanya berulir pada salah satu sisinya.</p> <p>Solusi: Menggunakan sekrup custom dengan teknik bubut, atau penyesuaian L-Joint sesuai dengan sekrup yang sudah didapat.</p>

No	Gambar	Keterangan
6		<p>Komponen yang sudah dirakit selanjutnya dilakukan percobaan penggunaan pada tangan manusia. Dari analisis ini ditarik kesimpulan bahwa jari dan telapak memiliki jangkauan yang berbeda setiap orangnya, sehingga diperlukan pula ukuran yang berbeda – beda.</p> <p>Solusi: Penggunaan ukuran dan bentuk telapak maupun jari yang disesuaikan dengan ukuran tangan per pasien (<i>custom fit / form fitting</i>).</p>

Dari analisis rancangan dasar diatas ditemukan beberapa kendala dan solusi dalam proses cetak dan pengujian. Kendala tersebut antara lain:

1. Pencetakan satu per satu untuk setiap bagian komponen. Metode *oneshot* cenderung gagal ketika digunakan.
2. Hasil cetak yang kurang halus, diatasi dengan pengurangan kecepatan printing pada proses cetak.
3. Adanya bagian yang masih goyah dalam penggunaan, terutama bagian sambungan pergelangan. Diatasi dengan membuat 2 engsel pada kedua sisi
4. Sekrup yang tidak sesuai dengan L-Joint yang sudah dicetak.
5. Ukuran, bentuk dan jangkauan per jari pengguna yang berbeda-beda. Ukuran cincin jari dan renggangan telapak sebaiknya diskala menurut ukuran tangan pasien.
6. Belum adanya *mounting* (dudukan) untuk servo pada pergelangan.

Dari kendala diatas dilakukan perombakan desain pada rancangan dasar. Perombakan dilakukan dengan penggantian desain dan pencetakan ulang pada bagian yang bermasalah. Perombakan ini menghasilkan desain baru pada bagian tertentu yang kemudian dirakit ulang untuk selanjutnya dilakukan pengujian.

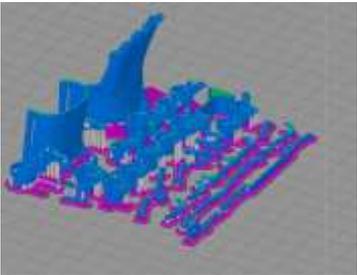


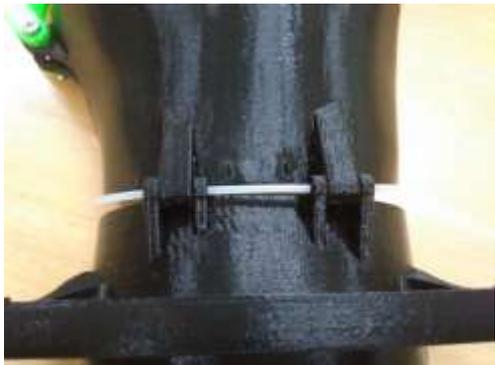
Gambar 4.13 Rancangan dasar versi 2

Sumber: Dokumen pribadi

Perombakan yang dilakukan dalam desain versi 2 ini antara lain adalah penambahan engsel pergelangan, *mounting* (dudukan) untuk servo serta *stopper* untuk L-Joint. Selanjutnya dilakukan proses cetak untuk kemudian diuji coba.

Tabel 4.6 Pengujian rancangan dasar 2

No	Gambar	Keterangan
1	 <p data-bbox="496 1738 842 1771">Sumber: Dokumen pribadi</p> <div data-bbox="485 1776 884 1930" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p data-bbox="496 1787 788 1816">Build time: 53 hours 40 minutes</p> <p data-bbox="496 1816 767 1845">Filament length: 87528.2 mm</p> <p data-bbox="496 1845 807 1874">Plastic weight: 263.16 g (0.58 lb)</p> <p data-bbox="496 1874 687 1904">Material cost: 12.11</p> </div>	<p data-bbox="979 1469 1348 1926">Pencetakan dimulai dengan proses pengaturan model 3 dimensi menjadi bagian yang dapat dicetak oleh mesin 3D Print. Proses cetak memakan waktu 53 jam 40 menit dengan pertimbangan kehalusan hasil cetak. Hasil cetak menunjukkan estimasi bobot sekitar 263 gram termasuk <i>support</i>.</p>

No	Gambar	Keterangan
2		<p>Eksoskeleton yang telah dicetak selanjutnya dirakit menggunakan sekrup dan baut untuk kemudian diuji coba. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kekuatan konstruksi eksoskeleton dan ukuran jari pada tangan pengguna.</p>
3		<p>Perbaikan pada bagian engsel pergelangan yang menggunakan sistem 2 engsel paralel. Engsel ini akan dihubungkan oleh 1 pasak panjang yang dapat memberi kekuatan serta kestabilan ketika telapak sedang digerakkan kearah atas.</p>
4		<p>Dilakukan pengujian penggunaan pada tangan pengguna. Dari analisis ini didapatkan data gerakan engsel jari dapat bekerja dengan baik. Jari eksoskeleton dapat ditebuk dan menggerakkan jari pengguna yang terpasang di dalam. Pengguna memberi masukan untuk bagian yang bersentuhan dengan kulit; penggunaan padding atau glove untuk penggunaan yang lebih nyaman.</p>

No	Gambar	Keterangan
5		<p>Dilakukan pengujian pergerakan pergelangan tangan. Dengan sistem 2 engsel pergelangan tangan dapat ditekuk dengan baik, konstruksi sambungan kokoh dan tidak goyah. Lebih lanjut pada proses pengujian diterima <i>feedback</i> perihal tampilan pada bagian sekrup dan baut sambungan agar tidak terlalu menonjol, supaya pasien tidak merasa terintimidasi</p>
6		<p>Pengujian mekanisme jari serta pergelangan mendapatkan data serta <i>feedback</i> dari pengguna. Bagian pergelangan dan jari dapat berfungsi dengan baik, penerapan mekanisme The Spiderhand lebih lanjut diharapkan dapat membuat eksoskeleton beroperasi secara penuh.</p>

Pengujian diatas mendapatkan *feedback* serta data pengamatan perihal mekanisme utamanya mekanisme engsel jari dan pergelangan. Mekanisme ini nantinya akan digabungkan dengan mekanisme sekrup dan L-Joint lebih lanjut agar dapat berfungsi dengan baik. Adapun masukan yang didapat antara lain:

- a. Penambahan *padding* (pelapis) agar kulit pasien dan eksoskeleton tidak bersentuhan langsung. Terdapat 2 alternatif pilihan, yakni menggunakan

busa sebagai pelapis telapak dan cincin jari, dan penggunaan sarung tangan (*glove*) untuk melapisi tangan pengguna sebelum menggunakan eksoskeleton.

- b. Perbaikan pada fungsi estetika, penggunaan baut dan sekrup penyambung yang dinilai terlalu menonjol dalam konstruksi.

Tahap selanjutnya adalah perombakan akhir dan pengujian mekanisme eksoskeleton dengan sistem yang telah terpasang lengkap. Pengujian dilakukan dengan mencetak bagian *mounting* servo serta pemasangan sekrup dengan diameter 4 mm sebagai bar penahan jari. Servo, mekanisme jari serta sistem *reel* selanjutnya dirangkai untuk kemudian dilakukan pengujian gerakan menggunakan mikrokontroler.



Gambar 4.14 Rancangan dasar untuk diujicoba

Sumber: Dokumen pribadi

Pengujian gerakan yang dilakukan meliputi 3 tahap: pengujian mekanisme penggerak jari dasar tanpa sistem servo, pengujian dengan sistem servo terpasang, serta pengujian gerakan dengan sistem servo terpasang lengkap untuk menggerakkan tangan pengguna. *Feedback* yang didapat serta hasil dari pengujian akan diolah untuk mendapatkan desain akhir. Penyederhanaan bentuk serta pengaturan letak (konfigurasi) mekanisme akan menjadi fokus utama untuk perbaikan desain eksoskeleton kedepannya.

Tabel 4.7 Pengujian mekanisme eksoskeleton

No	Gambar	Keterangan
1		<p>Dilakukan perangkaian mekanisme dasar jari terhadap pergelangan. Dalam tahap ini, mekanisme sudah bisa digunakan untuk menggerakkan jari, namun masih menggunakan tenaga otot pergelangan untuk menekuk telapak ke arah atas. Penambahan servo selanjutnya dilakukan untuk menggantikan fungsi otot pergelangan tangan.</p>
2		<p>Selanjutnya dilakukan pemasangan servo dan sistem penggerak pada eksoskeleton. Sistem penggerak menggunakan sistem reel dengan senar gitar sebagai penarik, sistem ini terbukti cukup kuat untuk menggerakkan mekanisme jari hingga menekuk.</p>

No	Gambar	Keterangan
3		<p>Dalam pengujian selanjutnya sistem servo terbukti dapat menggerakkan mekanisme serta jari pengguna untuk mendapatkan rangkaian gerakan yang direncanakan. Hal ini membuktikan sistem servo dan reel cukup kuat dalam menggerakkan eksoskeleton.</p>

#### 4.7 Konfigurasi servo dengan sistem reel

Servo yang digunakan dalam rancangan dasar ini menggunakan torsi sebesar 10.5 kg. Hal ini didasari pada pertimbangan yakni torsi yang besar dapat menarik beban yang lebih berat. Servo yang digunakan merupakan servo pengganti dari analisis sistem gerak yang hanya memiliki torsi 5 kg. Servo pengganti:



Gambar 4.15 Servo MG946R

Sumber: Dokumen pribadi

#### **TowerPro MG946R**

Berat: 55g

Dimensi: 40.7×19.7×42.9mm

Torsi Stall: 10.5kg/cm (4.8v)

Operating speed: 0.20sec/60degree (4.8v)

Operating voltage: 4.8-6.6v

Temperature range: 0- 55deg

Gear Type: Metal gear

Power Supply: Adapter eksternal

Panjang kabel: 32cm

Selanjutnya dilakukan pemasangan mekanisme *reel* pada servo. Penggunaan material untuk sistem *reel* yang digunakan adalah senar gitar sebagai penarik telapak. Mekanisme ini dapat dilepas dari pergelangan eksoskeleton agar memudahkan dalam proses perakitan. Fokus perbaikan dari desain mounting ini kedepannya adalah kesatuan bentuk antara eksoskeleton dan mounting, serta sedapat mungkin servo diatur agar tidak terlalu menonjol.

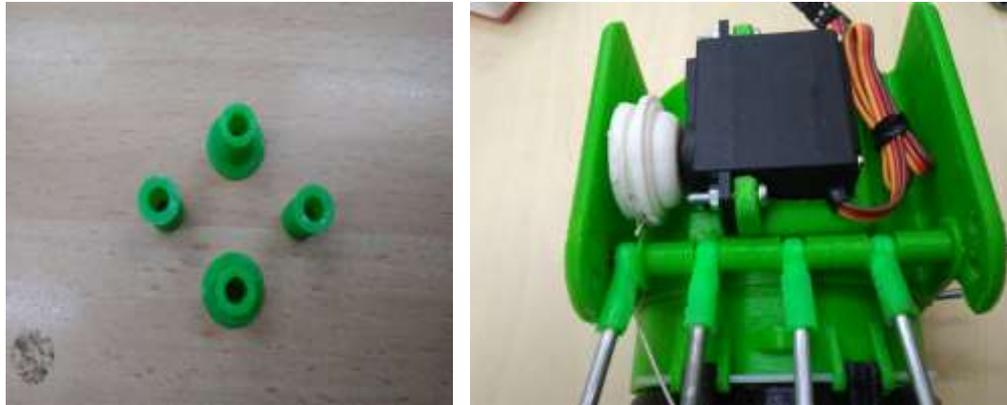


Gambar 4.16 Servo MG946R dan sistem reel menggunakan senar gitar

Sumber: Dokumen pribadi

Dengan menggunakan servo yang memiliki torsi 10.5kg/cm maka beban tangan seberat 600 gram serta mekanisme jari dapat ditarik. Namun servo ini memiliki beban dan ukuran yang lebih besar daripada pengujian servo sebelumnya. Hal ini dapat diatasi dengan menempatkan servo dalam posisi mendatar, sehingga tidak terlalu menonjol keatas. Senar yang digunakan dalam sistem *reel* juga memiliki kendala ketika bergesekan dengan bar penahan jari, senar seringkali terjepit antara dinding mounting dan bar penahan sehingga memperberat kerja servo. Untuk mengatasinya digunakan *bearing custom* dengan penahan dibagian

pinggirnya untuk mencegah agar senar tidak terjepit, serta membantu senar berputar ketika bergesekan dengan bar penahan.



Gambar 4.17 *Bearing custom* serta penempatannya pada bar penahan

Sumber: Dokumen pribadi

Penempatan serta ukuran servo dan sistem *reel* yang berukuran besar kemudian perlu disembunyikan dari jangkauan pengguna menggunakan *casing* yang dipasang pada mounting servo. Pada bagian casing ini juga terdapat instrumen mekanis, antara lain tombol on/off, serta lubang *jack* untuk dihubungkan dengan baterai.



Gambar 4.18 Perbaikan rancangan akhir

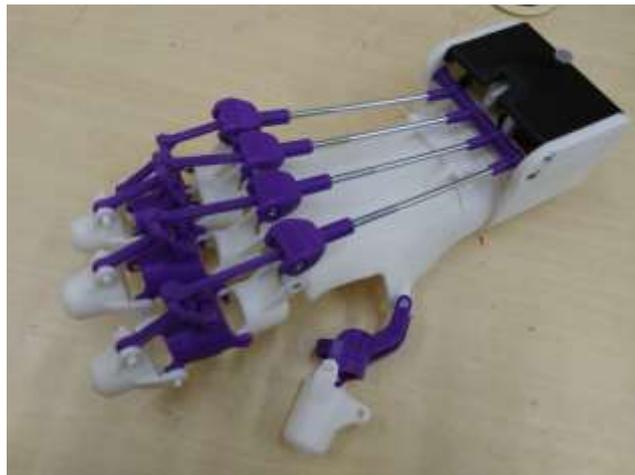
Sumber: Dokumen pribadi

Perbaikan desain selanjutnya dilakukan dengan mencetak seluruh komponen dengan warna yang sesuai dengan studi visual. Warna dasar yang digunakan ada 3 jenis, yakni warna putih sebagai dasar, warna hitam sebagai kotak tutup servo dan warna bagian mekanisme bergerak (*moving parts*). Pemilihan warna *moving parts* didasarkan pada studi visual serta studi warna yang umum dipilih pada alat kesehatan. Perbaikan disisi desain juga dilakukan terutama pada bagian penempatan servo, yakni dengan menempatkan sistem reel servo pada tengah kotak servo agar penempatan kabel *reel* tidak miring.



Gambar 4.19 Perbaikan letak sistem servo

Sumber: Dokumen pribadi



Gambar 4.20 Rancangan akhir eksoskeleton

Sumber: Dokumen pribadi

Seluruh bagian rancangan akhir kemudian dirangkai untuk mendapatkan bentuk eksoskeleton utuh. Pemasangan komponen elektronik seperti mikrokontroller serta tombol dilakukan untuk kemudian dilakukan perbandingan desain dan usability test.



Gambar 4.21 Perbandingan tahapan eksoskeleton

Sumber: Dokumen pribadi

Eksoskeleton digunakan diatas material pelindung sehingga tidak bersentuhan langsung dengan kulit. Sarung tangan neoprene digunakan sebagai pelindung dengan pertimbangan bahan yang lentur, tahan air serta kuat. Penggunaan sarung tangan juga mempermudah pengguna ketika akan membersihkan eksoskeleton serta sarung tangan itu sendiri.

Eksoskeleton selanjutnya disambungkan dengan catu daya melalui kabel USB, untuk kemudian dikenakan dengan sarung tangan neoprene yang telah terpasang di tangan kanan. Tombol on/off kemudian ditekan untuk melakukan gerakan proses rehabilitasi. Dari pengujian rancangan akhir exoskeleton didapatkan beberapa masukan / *feedback* untuk pengembangan desain kedepannya.



Gambar 4.22 Eksoskeleton tersambung dengan *powerbank*

Sumber: Dokumen pribadi



Gambar 4.23 Eksoskeleton terpasang pada pergelangan tangan

Sumber: Dokumen pribadi

Masukan yang didapat dalam pengujian rancangan akhir ini antara lain:

1. Kemudahan pemasangan exoskeleton pada tangan, dimana membutuhkan waktu kurang lebih 1 menit (60 detik) untuk dipasang.
2. Penggunaan sarung tangan terpisah dinilai menguntungkan karena mudah dilepas dan dibersihkan, serta bahan neoprene yang menyerap keringat.
3. Bagian jari dan mekanisme yang harus disesuaikan dengan ukuran tangan pengguna, dikarenakan gerakan tidak maksimal jika ukuran tangan tidak pas.

#### 4.8 Perbandingan Berat

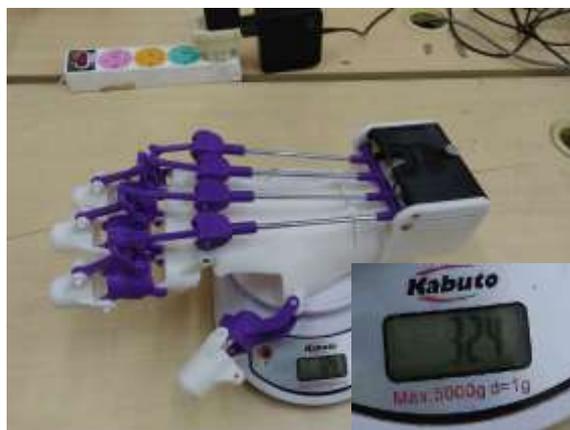
Perbandingan berat dilakukan untuk membandingkan berat hasil rancangan dasar eksoskeleton dengan mekanisme *The Spiderhand* yang telah diuji sebelumnya. Pengukuran berat eksoskeleton beserta mekanisme:



Gambar 4.24 Pengukuran bobot eksoskeleton

Sumber: Dokumen pribadi

Bobot akhir dari eksoskeleton adalah sekitar **348 gram**. Rancangan dasar memiliki bobot 126 gram lebih berat dibandingkan *The Spiderhand*.



Gambar 4.25 Pengukuran bobot rancangan akhir

Sumber: Dokumen pribadi

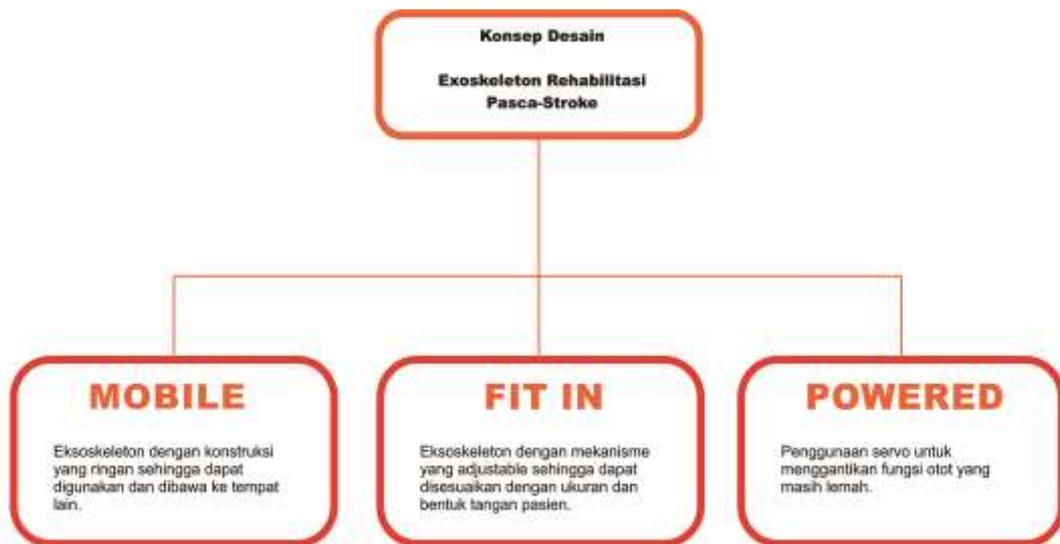
Didapatkan berat akhir dari eksoskeleton sebesar **324 gram**. Bobot rancangan akhir yang lebih ringan didapatkan dengan memangkas bagian yang tidak perlu, penggunaan material yang lebih ringan, pelubangan dinding kotak servo serta perombakan desain rancangan agar lebih ringan dan efisien.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB V

### KONSEP DESAIN

Konsep eksoskeleton ini didasarkan pada permasalahan dan kebutuhan yang muncul pada bab studi dan analisis. Berikut adalah konsep desain eksoskeleton untuk rehabilitasi:



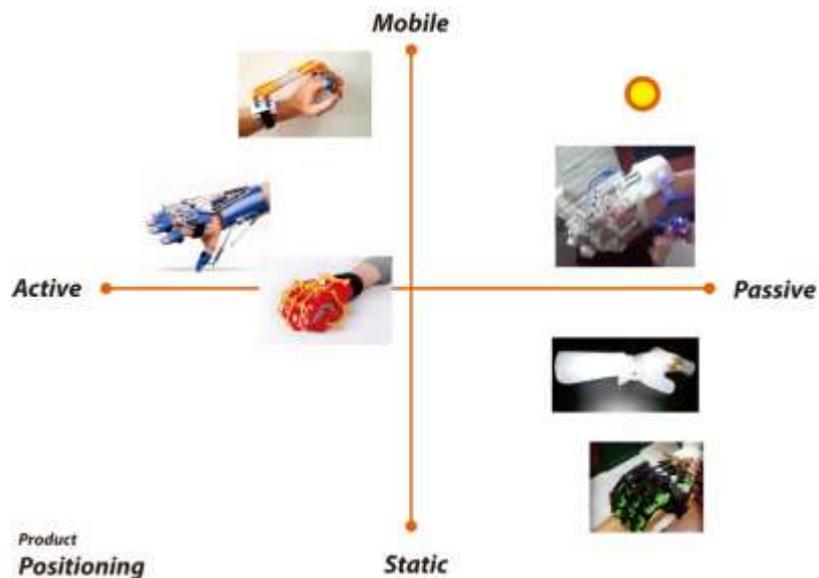
Gambar 5.1 Konsep Desain

Sumber: Dokumen pribadi

Untuk konsep desain, eksoskeleton rehabilitasi pasca stroke adalah alat bantu berpengerak mekanis yang digunakan sebagai alat bantu pasien dalam menjalani rehabilitasi. Eksoskeleton dibuat dengan menggunakan proses 3D printing.

Dalam perancangan eksoskeleton ini ditemui keadaan ketika eksoskeleton harus dipindahkan ke tempat lain, baik itu untuk proses distribusi maupun dibawa oleh pengguna. Mengingat konstruksi eksoskeleton yang dibuat dengan proses 3D print serta adanya *moving parts* dalam sistem mekanisnya, maka diperlukan pula konfigurasi eksoskeleton agar lebih rigid sehingga tidak patah dalam pemindahan.

## 5.1 Positioning



Gambar 5.2 Positioning produk

Sumber: Dokumen pribadi

Produk eksoskeleton merupakan alat rehabilitasi dengan konsep mobile (tidak statis), dan merupakan jenis alat rehabilitasi pasif.

## 5.2 Square Idea Board



Gambar 5.3 Square Idea Board

Sumber: Dokumen pribadi

Keterangan:

**a. *Rehabilitation:***

Rehabilitasi pasien pasca stroke dengan kelumpuhan sebelah tubuh sebagai fokus perancangan dan kegunaan eksoskeleton.

**b. *Independent:***

Eksoskeleton dapat dipasang dan digunakan secara mandiri oleh pasien tanpa perlu bantuan dari terapis.

**c. *Easy to use:***

Mudah digunakan oleh pasien dengan bagian – bagian yang mudah untuk dibongkar apabila diperlukan

**d. *User Friendly:***

Dapat digunakan oleh lansia dengan memanfaatkan prinsip warna dan bentuk. Lansia diatas 65 tahun merupakan penderita terbanyak dari penyakit stroke.

**e. *Powered:***

Menggunakan servo motor dan sistem *reel* sebagai sistem penggerak sehingga dapat digunakan oleh semua penderita stroke dengan tingkat kesembuhan yang berbeda.

**f. *Adjustable:***

Mekanisme penahan jari dan pergelangan yang dapat dikalibrasi sesuai ukuran, panjang dan arah jari pasien sehingga fleksibel dan dapat digunakan siapa saja.

**g. *Mobile:***

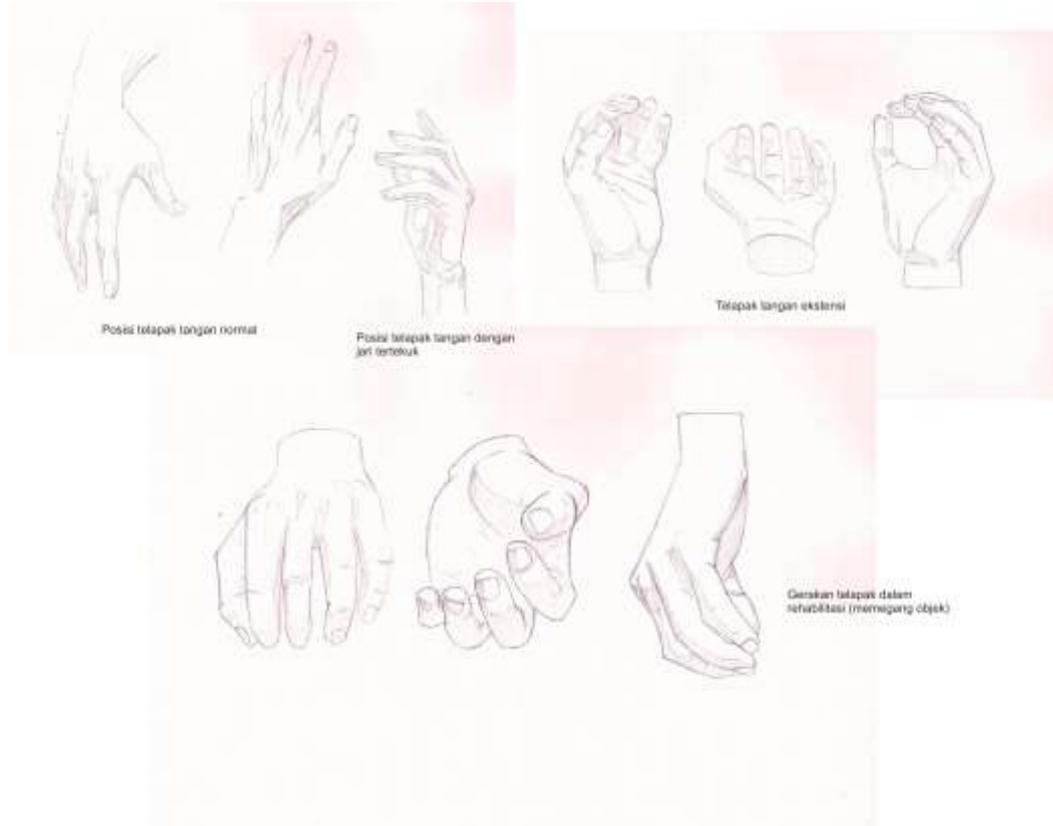
Konstruksi mekanisme dan eksoskeleton yang ringan sehingga dapat dipasang diatas tangan. Konstruksi yang ringan pada akhirnya memungkinkan eksoskeleton untuk dibawa melakukan terapi di mana saja.

**h. *Daily Basis:***

Eksoskeleton digunakan untuk rehabilitasi secara teratur untuk mendorong kesembuhan. Rehabilitasi dilakukan secara mandiri dengan durasi kurang lebih 1 jam perhari.

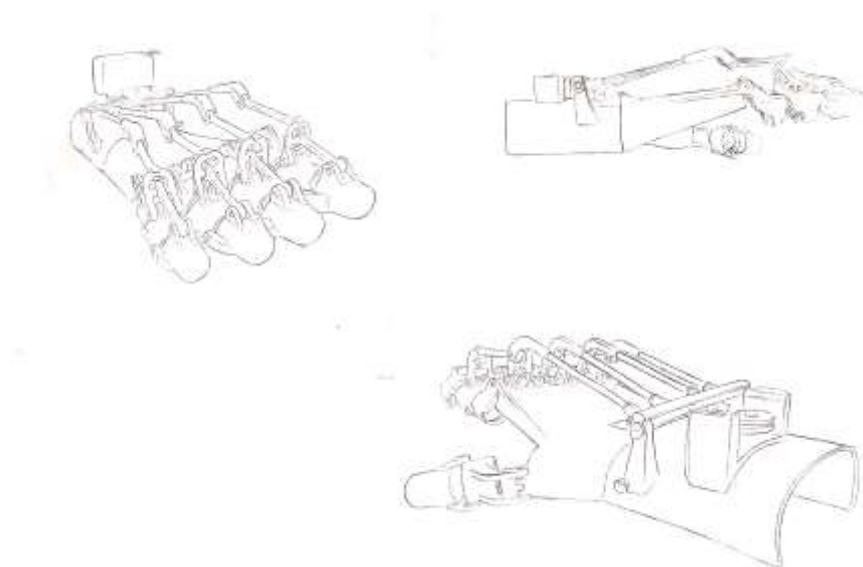
### 5.3 Sketsa Alternatif

#### 5.3.1 Sketsa range of motion dan gerakan tangan



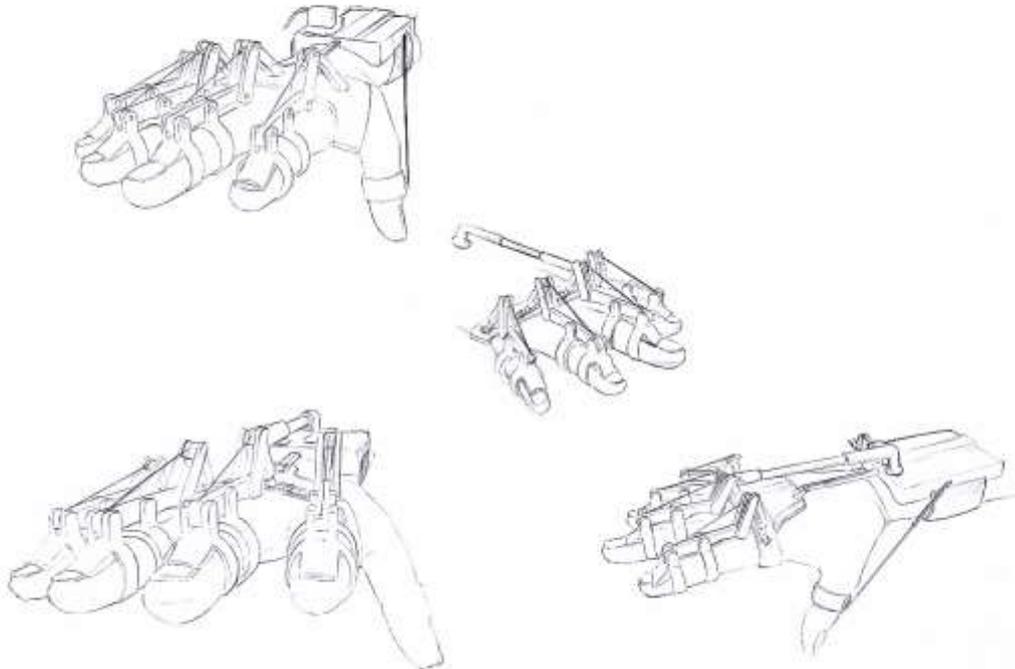
Gambar 5.4 Sketsa gerakan

#### 5.3.2 Sketsa 1: Mekanisme dasar rancangan exoskeleton



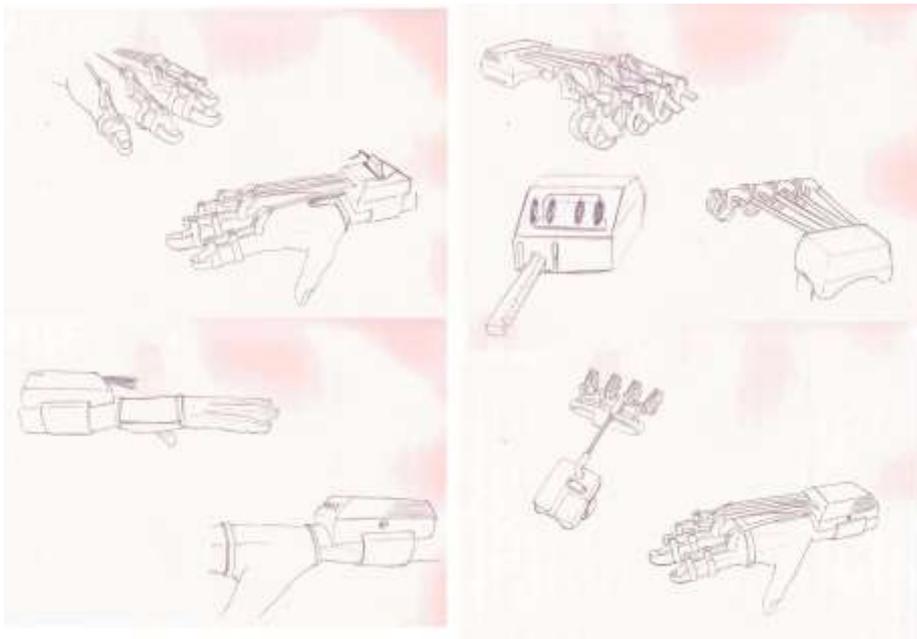
Gambar 5.5 Sketsa Alternatif 1

### 5.3.3 Sketsa 2: Alternatif rancangan exoskeleton



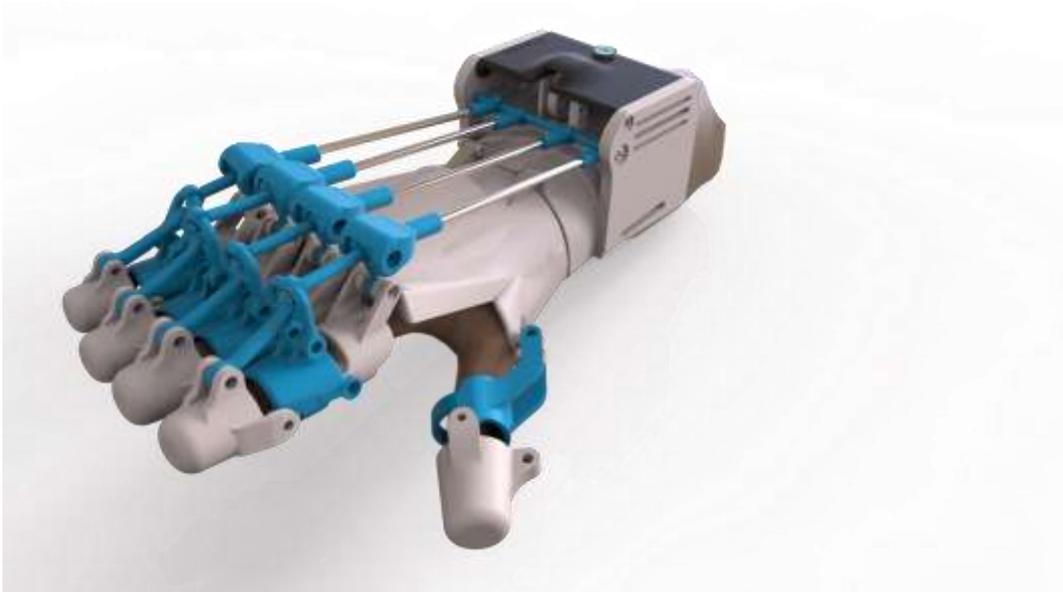
Gambar 5.6 Sketsa Alternatif 2

### 5.3.4 Sketsa 3: Alternatif sistem servo dan pergelangan

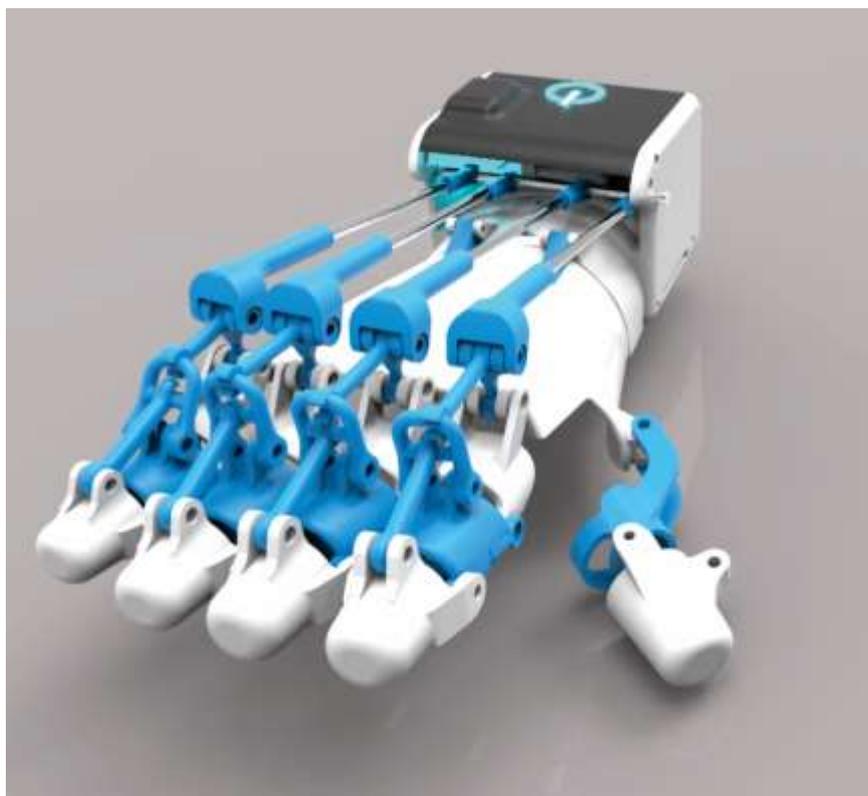


Gambar 5.7 Sketsa Alternatif 3

#### 5.4 3D Model



Gambar 5.8 3D Model 1

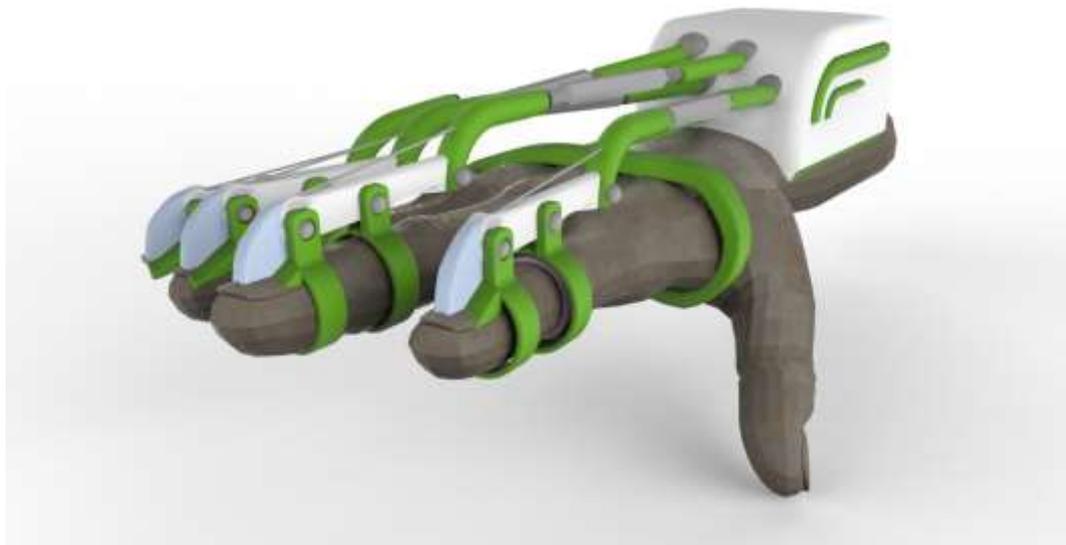


Gambar 5.9 3D Model 2

Model 3 dimensi merupakan bentuk rancangan akhir sebelum perbaikan (3D Model 2) dan setelah dilakukan perbaikan (3D Model 1) untuk kemudian dicetak dan dirakit.



Gambar 5.10 3D Model 3



Gambar 5.11 3D Model 4

Model 3 dimensi berikut merupakan rancangan awal (3D Model 3) serta alternatif dalam tahap pengembangan (3D Model 4). Keduanya menggunakan konsep gerakan yang sama.

### 5.5 Usability Test

*Usability test* dilakukan untuk menguji mekanisme eksoskeleton pada pengguna dan mendapatkan masukan yang dapat digunakan untuk memperbaiki kinerja eksoskeleton kedepannya. *Usability test* dilakukan oleh 3 pengguna dengan tahapan pemasangan dan penggunaan.

Tabel 5.1 *Usability test*

No.	Gambar Kegiatan	Keterangan	Solusi
1		<p>Dilakukan pengujian pemasangan eksoskeleton pada tangan. Pemasangan didahului dengan mengenakan sarung tangan <i>neoprene</i>. Proses ini rata-rata memakan waktu 60 detik (1 menit).</p>	<p>Penggunaan cincin jari yang pas dengan ukuran pengguna; Lubang catudaya yang sesuai agar mudah untuk disambungkan. Sarung tangan terlepas mempermudah pengguna untuk dibersihkan.</p>
2		<p>Dilakukan tes pergerakan eksoskeleton. Tombol ditekan setelah tahap <i>reset</i> servo selesai untuk menggerakkan mekanisme.</p>	<p>Penggunaan ukuran tangan yang pas, terutama pada bagian pergelangan yang merupakan titik kritis pergerakan.</p>

No.	Gambar Kegiatan	Keterangan	Solusi
3		<p>Tes lanjutan pergerakan eksoskeleton dengan pengguna berbeda. Sistem <i>reel</i> dan benang mampu menarik telapak tangan pengguna hingga posisi maksimal. Mekanisme berjalan normal.</p>	<p>Ukuran eksoskeleton harus sesuai dengan ukuran tangan pengguna, sehingga gerakan mekanisme dapat dimaksimalkan serta penekukan jari dapat berjalan maksimal.</p>

Kesimpulan yang diperoleh dalam pengujian rancangan akhir ini antara lain:

1. Kebutuhan akan kemudahan pemasangan exoskeleton pada tangan, dimana membutuhkan waktu kurang lebih 1 menit (60 detik) untuk dipasang.
2. Penggunaan sarung tangan terpisah dinilai menguntungkan karena mudah dilepas dan dibersihkan, serta bahan neoprene yang menyerap keringat.
3. Bagian mekanisme jari yang harus sesuai dengan ukuran tangan pengguna, dikarenakan gerakan kurang maksimal jika ukuran tangan tidak pas.
4. Pergelangan tangan utamanya harus sesuai antara exoskeleton dan pengguna, karena merupakan titik kritis yang utama dalam pergerakan mekanisme.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan**

Berdasarkan rumusan masalah pada riset perancangan, *Desain Power-Grip Eksoskeleton sebagai Alat Bantu Rehabilitasi Pasien Pasca-Strok*, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Eksoskeleton rehabilitasi dirancang sehingga mudah digunakan serta dipindah ke tempat lain (*mobile*). Proses rehabilitasi harus dilakukan secara teratur setiap harinya oleh pengguna. Untuk itu diperlukan suatu alat bantu terapi yang dapat dibawa dan digunakan dimana saja tanpa terpengaruh tempat. Alat bantu ini juga haruslah mengikuti gerakan latihan yang diberikan oleh terapis. Dengan alat bantu yang ringan dan *mobile*, sesi terapi dapat dilakukan dimana saja secara mandiri, tidak perlu bergantung pada terapis dan tempat-tempat tertentu.
2. Eksoskeleton dapat membantu pasien dalam melatih otot pengguna. Gerakan rehabilitasi dimaksudkan untuk melatih otot pengguna sehingga otot dapat mempelajari kembali gerakan yang sudah hilang. Namun Hal ini didasarkan pada salah satu gerakan terapi yang penting selama proses rehabilitasi. Dengan penggunaan eksoskeleton yang mampu melatih 2 gerakan sekaligus, maka gerakan rehabilitasi pasien dapat lebih bervariasi, tidak hanya terbatas pada buka-tutup jari saja.
3. Mekanisme eksoskeleton memungkinkan pengguna melatih 2 gerakan otot sekaligus, yaitu otot pergelangan tangan dan otot jari. Gerakan ini didasarkan pada gerakan rehabilitasi yang umum dilakukan oleh terapis. Kedua gerakan ini mampu didapatkan hanya dengan menggunakan 1 servo, sehingga dapat mengurangi berat eksoskeleton serta menyederhanakan mekanisme elektronik yang diperlukan.
4. *Power grip* dan penggunaan sistem penggerak menjadikan eksoskeleton dapat digunakan oleh pasien dengan tingkat kesembuhan berbeda.

*Power grip* merupakan gerakan latihan yang selalu ada, dilakukan dengan latihan buka-tutup jari untuk melemaskan kekakuan otot dan memperkuat genggaman. Sedangkan penggunaan sistem gerak dengan motor servo menjadikan eksoskeleton dapat digunakan pasien dengan kondisi hemiparesis ataupun hemiplegia. Servo dipilih dengan torsi tertentu ( $\pm 10$  kg/cm) agar kuat menarik beban telapak tangan.

## 6.2 Saran

Uji usability dan penelitian eksoskeleton ini menggunakan analisis dari produk acuan dan proses rehabilitasi. Dari analisis tersebut perlu diadakan pengembangan lebih lanjut terkait eksoskeleton dan proses rehabilitasi.

### 1. Eksoskeleton

- a. Adanya pilihan level gerakan sehingga pengguna dapat memilih level yang sesuai dengan tingkat rehabilitasi pengguna; level gerakan dapat dipisahkan berdasarkan derajat *Range of Motion* (RoM) telapak tangan.
- b. Ibu jari memiliki gerakan terapi yang berbeda dengan keempat jari lainnya. Ibu jari cenderung diam ditempat ketika digunakan menggenggam obyek, maka penambahan bar penahan jari ekstra pada ibu jari dapat dilakukan untuk memastikan ibu jari tidak bergerak.
- c. Pengurangan kulit pada bagian telapak dengan tujuan untuk mengurangi bobot total eksoskeleton secara signifikan
- d. Penggunaan sarung tangan berbahan *neoprene* yang lebih tipis sehingga menambah kenyamanan
- e. Pilihan servo motor yang bervariasi sehingga dapat dipilih berdasarkan torsi yang dibutuhkan untuk menggerakkan telapak tangan.
- f. Penggunaan benang pancing untuk sistem reel dengan beban tarikan yang besar sehingga kuat digunakan menggerakkan mekanisme.

- g. Perlunya konsep pengemasan mengingat eksoskeleton memiliki kegunaan yang *mobile*, baik itu untuk dibawa oleh pengguna dalam rehabilitasinya, maupun untuk proses distribusi produk.

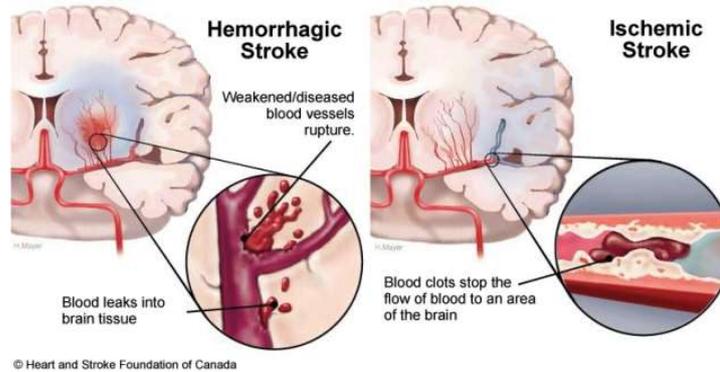
## 2. Proses Rehabilitasi

- a. Proses rehabilitasi menggunakan eksoskeleton diusahakan selalu dilakukan dengan teratur pada waktu yang sama.
- b. Untuk pemasangan eksoskeleton pada pertama kali perlu dilakukan pengukuran agar mekanisme dan ukuran eksoskeleton sesuai dengan kebutuhan pengguna
- c. Dikarenakan kondisi sosial pasien maka proses rehabilitasi umumnya dilakukan dirumah masing-masing secara mandiri. Eksoskeleton dapat digunakan di tempat umum, namun akan sangat jarang digunakan demikian karena berhubungan dengan kondisi mental pasien.

Saran dalam penelitian ini adalah penelitian ini masih memiliki kekurangan dari segi purwarupa, serta adanya beberapa riset yang masih dapat dilakukan dan ditingkatkan kembali demi tercapainya rancangan eksoskeleton untuk rehabilitasi pasca-strok. Kekurangan riset ini antara lain adalah pengukuran beban tarik senar yang lebih spesifik, *usability test* yang kurang bervariasi dikarenakan kondisi sosial dan mental pengguna, serta penggunaan servo motor dengan torsi yang lebih besar untuk menggerakkan telapak yang lebih berat.

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

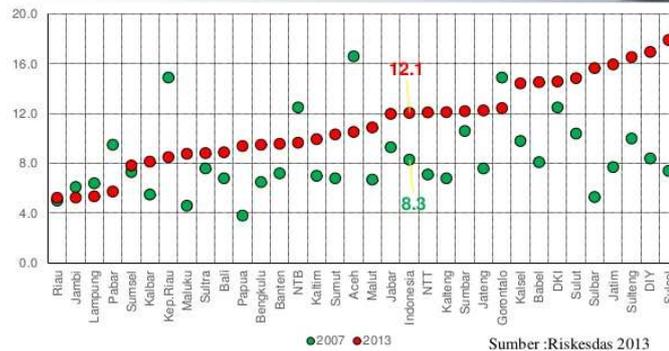
## LAMPIRAN



Gambar 1.1 Kategori penyakit strok

(Sumber: Heart and Strok Foundation of Canada)

### Kecenderungan Prevalensi Stroke per 1000\*) menurut Provinsi 2007-2013



\*) Ditentukan menurut jawaban responden yang pernah didiagnosis oleh nakes dan gejala

Gambar 1.2 Kecenderungan prevalensi strok

(Sumber: Riset Kesehatan Dasar Kementerian Kesehatan 2013)



Gambar 1.3 Penggunaan bola terapi untuk rehabilitasi aktif

(Sumber: <https://www.flintrehab.com/2015/hand-therapy-exercises-after-strok/>)



Gambar 1.4 Hard Grip Eksoskeleton

(sumber: [www.dexarobotics.com](http://www.dexarobotics.com))



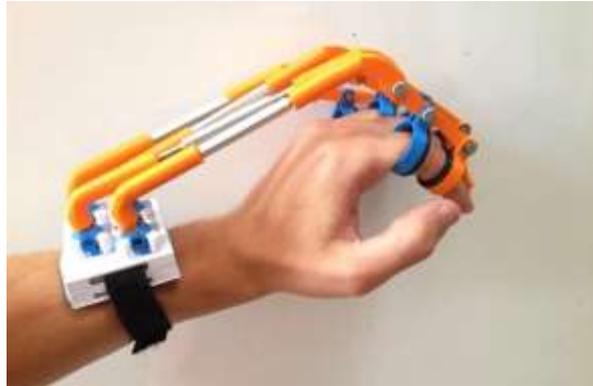
Gambar 1.5 Precision Grip Eksoskeleton

(sumber: *Design and Development of a Hand Eksoskeleton Robot for Active and Passive Rehabilitation*).

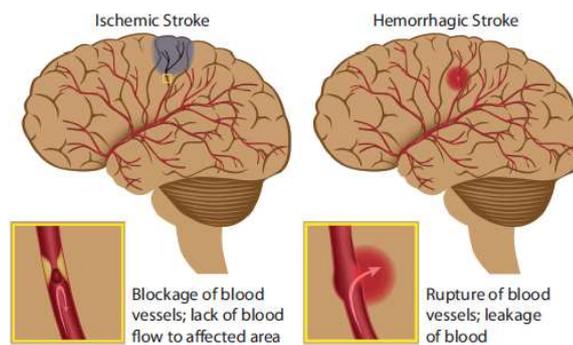


Gambar 1.6 Eksoskeleton pasif menggunakan sensor EMG

(sumber: *Design and Development of a Hand Eksoskeleton Robot for Active and Passive Rehabilitation*).



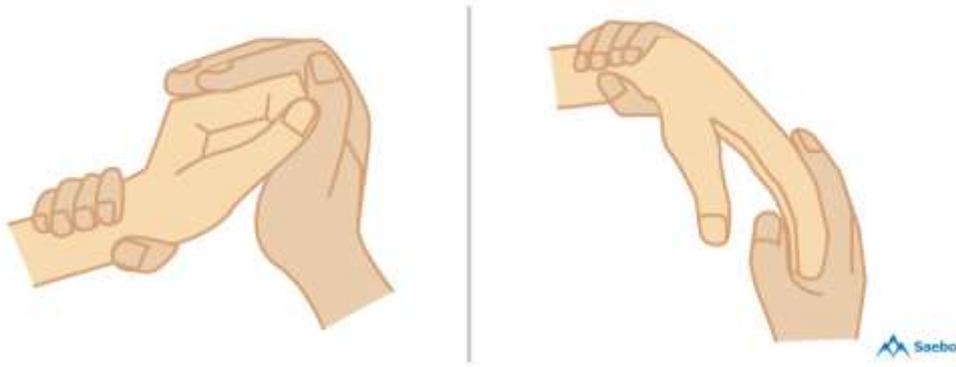
Gambar 1.7 Eksoskeleton aktif menggunakan otot pengguna untuk menutup jari  
(sumber: <http://www.damngeeky.com/2015/07/29/33696/3d-printed-eksoskeleton-lets-strok-patients-regain-hand-movement.html>).



Gambar 2.1. Jenis strok  
(sumber : [jems.com](http://jems.com))



Gambar 2.2. Latihan peregangan otot dengan bantuan terapis  
(Sumber: <http://gunemanmedis.blogspot.co.id/2014/04/mengembalikan-fungsi-lengan-dan-tangan.html>)



Gambar 2.3. Prosedur peregangan jari dengan menggunakan gerakan pergelangan tangan

(Sumber: [www.saebo.com](http://www.saebo.com))

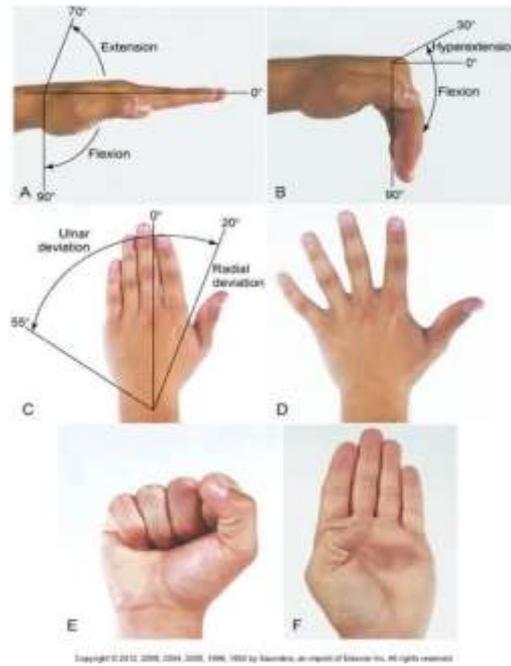


Gambar 2.4. Melatih kekuatan genggam dengan bantuan bola peras  
(Sumber: <http://gunemanmedis.blogspot.co.id/2014/04/mengembalikan-fungsi-lengan-dan-tangan.html>)

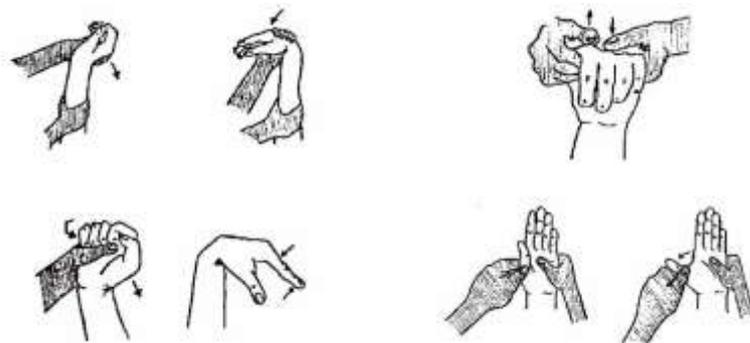


Gambar 2.6 Macam warna

(Sumber: [www.ceenphotography.com](http://www.ceenphotography.com))



Gambar 2.7. Range of Motion tangan manusia  
 (Sumber: [www.eatonhand.com](http://www.eatonhand.com))



Gambar 2.7. Range of Motion tangan manusia  
 (Sumber: [www.eatonhand.com](http://www.eatonhand.com))

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR PUSTAKA

Abdallah, Ismail., & Bouteraa, Yassine. 2017. *Design and Development of 3D Printed Myoelectric Robotic Exoskeleton for Hand Rehabilitation*. Diambil dari <https://www.researchgate.net>

Al-Jumaily, Adel dan MD Akhlaquor Rahman. 2012. *Design and Development of a Hand Exoskeleton for Rehabilitation Following Stroke*. Diambil dari: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812026793>

Baronio, Gabrielle, Sami Harran dan Alberto Signoroni. 2016. *A Critical Analysis of a Hand Orthosis Reverse Engineering and 3D Printing Process*. Diambil dari: [https://www.researchgate.net/publication/306022965\\_A\\_Critical\\_Analysis\\_of\\_a\\_Hand\\_Orthosis\\_Reverse\\_Engineering\\_and\\_3D\\_Printing\\_Process](https://www.researchgate.net/publication/306022965_A_Critical_Analysis_of_a_Hand_Orthosis_Reverse_Engineering_and_3D_Printing_Process)

Calire C. et al, 1988

Coco, Danielle. Lo., Lopez, Gianluca., & Corrao, Salvatore. 2016. *Cognitive Impairment and Stroke in Elderly Patients*. Diambil dari <https://www.ncbi.nlm.nih.gov>

Firage, Miranda A, dkk. 2012. *Design Principles to Accommodate Older Adults*. Diambil dari: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22980147>

Junaidi, Iskandar., 2011. *Stroke Waspada! Ancamannya*. Yogyakarta : ANDI.

Keputusan Menteri Kesehatan RI. Nomor : 1189/MENKES/PER/VIII/2010. Tentang Produksi Alat Kesehatan dan Perbekalan Kesehatan Rumah Tangga (PKRT).

Miller, Jim. 2006. Usability Testing: A Journey, not Destination. *IEEE Internet Computing*. 10(6)

Perry, Joel C, Jacob Rosen dan Stephen Burns.2007. *Upper-Limb Powered Exoskeleton Design*. Diambil dari <https://ieeexplore.ieee.org/document/4291584/>

Pearce, Joshua. 2014. *Open-Source Lab: How to Build Your Own Hardware and Reduce Research Costs*. Diambil dari <http://books.google.com>

Potter, Patricia A & Perry. 2011. *Fundamentals of Nursing*. Jakarta: Salemba Medik

Smeltzer, Suzanne C. dan Bare, Brenda G, 2002, *Buku Ajar Keperawatan Medikal Bedah Brunner dan Suddarth* (Ed.8, Vol. 1,2), EGC, Jakarta.

Suratun, Heryati. Dkk. (2008). *Klien Gangguan Sistem Muskuloskeletal: Seri Asuhan Keperawatan*. Jakarta: EGC

Sandoval-Gonzales, Oscar Osvaldo dkk. 2016. *Design and Development of a Hand Exoskeleton Robot for Active and Passive Rehabilitation*. Diambil dari <http://journals.sagepub.com/doi/full/10.5772/62404>

Shahid, Talba dan Umar Shahbaz Khan. 2014. *Design of a low cost multi degree of freedom hand exoskeleton*. Diambil dari [https://www.researchgate.net/publication/269303364\\_Design\\_of\\_a\\_low\\_cost\\_multi\\_degree\\_of\\_freedom\\_hand\\_exoskeleton](https://www.researchgate.net/publication/269303364_Design_of_a_low_cost_multi_degree_of_freedom_hand_exoskeleton)

Taha, Zahari dan Ruhaizin Sulaiman. 2008. *Ergonomics Consideration in the Design of Products for the Elderly Population*. Diambil dari [https://www.researchgate.net/publication/228602519\\_Ergonomics\\_Consideration\\_in\\_the\\_Design\\_of\\_Products\\_for\\_the\\_Elderly\\_Population](https://www.researchgate.net/publication/228602519_Ergonomics_Consideration_in_the_Design_of_Products_for_the_Elderly_Population)

Troncossi, Marco. 2016. *An Original Classification of Rehabilitation Hand Exoskeletons*. Diambil dari <https://www.semanticscholar.org/paper/An-Original-Classification-of-Rehabilitation-Hand-Troncossi-Mozaffari-Foumashi/3a93416b21228d5983cebdccd8aaaef5f7a1f24a>

Vinstrup, Jonas dan Joaquin Calatayud. 2017. *Hand strengthening exercises in chronic stroke patients: Dose-response evaluation using electromyography*. Diambil dari [https://www.researchgate.net/publication/317049742\\_Hand\\_strengthening\\_exercises\\_in\\_chronic\\_stroke\\_patients\\_Dose-response\\_evaluation\\_using\\_electromyography](https://www.researchgate.net/publication/317049742_Hand_strengthening_exercises_in_chronic_stroke_patients_Dose-response_evaluation_using_electromyography)

Internet

Beyond SCI. *Chapter 5: Range of Motion*. <http://campaign99.tripod.com/beyondsci/sciguide/chapter5.html>. Diakses pada 26 Maret 2018

dlevy11. *The Spiderhand*. <https://www.thingiverse.com/thing:930409>. Diakses pada 5 Desember 2017

Exoskeleton Report. *Hand of Hope*. <http://exoskeletonreport.com/product/hand-of-hope/>. Diakses pada 14 Maret 2018

Guneman Medis. *Mengembalikan fungsi lengan dan tangan*. <http://gunemanmedis.blogspot.co.id/2014/04/mengembalikan-fungsi-lengan-dan-tangan.html>, Brunilda Nazario, 2012. Diakses pada 26 Maret 2018

Heart and Stroke Foundation of Canada. *What is Stroke?* <http://www.heartandstroke.ca/stroke/what-is-stroke>. Diakses pada 27 Maret 2018

International Ergonomics Association. *Definitions and Domains of Ergonomics*. <http://www.iea.cc/whats/>. Diakses pada 14 Maret 2018

Saebo. *Saeboflex*. <https://www.saebo.com/shop/saeboflex/>. Diakses pada 3 Desember 2017

The Internet Stroke Center. *What is a stroke?* <http://www.strokecenter.org/patients/about-stroke/what-is-a-stroke/>. Diakses pada 1 Desember 2017

tscha70. *Mini Linear Servo V8*. <https://github.com/tscha70/3DPrinterSTLFiles/tree/master/MiniLinearServoV8>. Diakses pada 3 Desember 2017

[www.eatonhand.com](http://www.eatonhand.com). Diakses pada 5 Januari 2018

[www.printrbot.com](http://www.printrbot.com). Diakses pada 5 Januari 2018

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BIOGRAFI PENULIS



Panji Satrio Mahardhika, biasa disapa Panji, merupakan anak tunggal dari pasangan Sunarto dan M.Emy Irawati. Lahir di Surabaya, 17 Agustus 1995, penulis menghabiskan masa kecilnya berpindah-pindah mengikuti pekerjaan ayahnya sebelum akhirnya menetap di Probolinggo, Jawa Timur. Jenjang pendidikan formalnya dimulai di TKK Mater Dei Probolinggo, kemudian dilanjutkan di SDK Mater Dei dan SMPN 1 Probolinggo. Setelah lulus dari masa studi di SMAN 1 Probolinggo,

penulis melanjutkan pendidikan tingginya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Jurusan desain produk dipilih karena penulis memiliki minat dalam menggambar serta industri kreatif. Dalam masa studinya di Desain Produk Industri ITS, penulis berfokus pada bidang kesehatan, mekanika serta proses *additive manufacturing* menggunakan *3D print*. Atas dasar ini penulis memilih judul “Desain Eksoskeleton *Power-Grip* sebagai Alat Bantu Rehabilitasi Pasien Pasca-Strok” sebagai tema tugas akhir. Penulis berharap dengan proses cetak menggunakan *3D printing*, alat bantu rehabilitasi untuk pasien stroke, khususnya lansia, dapat diproduksi dengan mudah. Proses produksi dengan cara ini juga dapat menekan biaya secara signifikan sehingga diharapkan produk yang dihasilkan dapat terjangkau oleh masyarakat luas. Kedepannya, dalam laporan tugas akhir ini penulis berharap adanya pengembangan lebih lanjut pada aspek mekanika sehingga gerakan rehabilitasi bagi pengguna dapat lebih dimaksimalkan.

**Email** : psatrio9@gmail.com

**Kontak** : +6287754673414