



**RANCANG BANGUN *PROTOTYPE* ROBOT TANGAN UNTUK  
TERAPI PENYANDANG DISABILITAS PASCA STROKE  
BERBASIS EMG MENGGUNAKAN ALGORITMA  
*EXTREME LEARNING MACHINE***

**SKRIPSI**

Oleh

**Iqbal Gilang Wildana  
NIM 161910201121**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2018**



**RANCANG BANGUN *PROTOTYPE* ROBOT TANGAN UNTUK  
TERAPI PENYANDANG DISABILITAS PASCA STROKE  
BERBASIS EMG MENGGUNAKAN ALGORITMA  
*EXTREME LEARNING MACHINE***

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Strata 1 Jurusan Teknik Elektro  
dan mencapai gelar sarjana teknik

Oleh

**Iqbal Gilang Wildana  
NIM 161910201121**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS JEMBER  
2018**

**PERSEMBAHAN**

*Skripsi ini merupakan sebuah awal, langkah kecil menuju lompatan besar guna menggapai kesuksesan yang lebih baik lagi. Untuk itu saya ucapkan rasa syukur dan terima kasih sebesar-besarnya kepada...*

*Allah SWT, dengan segala Keagungan dan Kuasa-Nya yang senantiasa mendengar do'a ku, membimbingku dalam segala hal, serta senantiasa menaungiku dengan rahmat dan hidayah-Nya dan junjunganku Nabi Besar Muhammad SAW yang telah menjadi penerang di dunia dan suri tauladan bagi kita semua;*

*Ibunda Yuni Nurhayati, Ayahanda Moh. Arif, dan Adik-adikku Tasya Unzila dan Bintang Taftazani, terima kasih atas segala kasih sayang, dukungan, semangat, dan doa selama ini;*

*Seluruh teman dan sahabat seperjuangan Teknik Elektro angkatan 2013, kalian sebagai tempat berbagi suka dan duka yang tidak akan terlupakan. Aku menjadikan kalian semua bagian dari diriku dan aku sangat menyayangi kalian semua;*

*Buat semua teman-teman Jurusan Elektro angkatan 2013, 2014, dan 2015. Semua pihak yang tidak bisa disebutkan yang ikut dalam membantu dan berdoa;*

*Guru-guruku sejak TK sampai Perguruan Tinggi yang terhormat, terima kasih telah memberikan ilmu dan mendidik dengan penuh kesabaran;*

***Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember.***

## MOTTO

“ Waktu itu bagaikan pedang, jika kamu tidak  
memanfaatkannya untuk memotong, ia akan memotongmu  
(menggilasmu) ”  
(H.R. Muslim)

“Niscaya Allah akan meninggikan derajat orang-orang yg  
beriman di antara kamu dan orang-orang yg diberi ilmu  
pengetahuan beberapa derajat”  
(QS.Mujadalah: 11)

“Learn from yesterday, Live for today and Hope for  
tomorrow”  
(Albert Einstein)

“Selama Kamu memiliki Tuhan, Kamu akan selalu lebih besar  
dari masalahmu, lebih baik dari masa lalumu, lebih kuat  
dari sakitmu dan lebih hebat dari impianmu”  
(Iqbal Gilang Wildana)

“Hidup itu harus hebat, hidup itu harus luar biasa, hidup  
itu harus istimewa yang sederhana itu sikapnya”  
(Iqbal Gilang Wildana)

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Iqbal Gilang Wildana

NIM : 161910201121

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: “*Rancang Bangun Prototype Robot Tangan Untuk Terapi Penyandang Disabilitas Pasca Stroke Berbasis EMG Menggunakan Algoritma Extreme Learning Machine*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Juli 2018

Yang menyatakan,

Iqbal Gilang Wildana  
NIM 161910201121

**SKRIPSI**

**RANCANG BANGUN *PROTOTYPE* ROBOT TANGAN UNTUK  
TERAPI PENYANDANG DISABILITAS PASCA STROKE  
BERBASIS EMG MENGGUNAKAN ALGORITMA  
*EXTREME LEARNING MACHINE***

Oleh

Iqbal Gilang Wildana

NIM 161910201121

Pembimbing :

DosenPembimbingUtama : Widya Cahyadi, S.T., M.T.

DosenPembimbingAnggota : Khairul Anam, ST., MT., Ph.D.

## LEMBAR PENGESAHAN

Laporan Skripsi berjudul “*RANCANG BANGUN PROTOTYPE ROBOT TANGAN UNTUK TERAPI PENYANDANG DISABILITAS PASCA STROKE BERBASIS EMG MENGGUNAKAN ALGORITMA EXTREME LEARNING MACHINE*” oleh Iqbal Gilang Wildana NIM: 161910201121 telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Jember pada;

Hari : Rabu  
Tanggal : 4 Juli 2018  
Tempat : Fakultas Teknik, Universitas Jember

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Widya Cahyadi S.T.M.T  
NIP. 19851110 2014041 001

Khairul Anam, ST.,MT., Ph.D  
NIP. 197804052005011002

Penguji I,

Penguji II,

Dodi Setiabudi, S.T.,M.T..  
NIP. 19840531 200812 1 004

Sumardi, S.T.,M.T.  
NIP. 196701131998021001

Mengesahkan  
Dekan,

Dr.Ir. Entin Hidayah M.U.M  
NIP. 19661215 199503 2 001

**RANCANG BANGUN *PROTOTYPE* ROBOT TANGAN UNTUK TERAPI  
PENYANDANG DISABILITAS PASCA STROKE MENGGUNAKAN  
ALGORITMA *EXTREME LEARNING MACHINE***

**Iqbal Gilang Wildana**

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

**ABSTRAK**

Stroke merupakan salah satu penyakit mematikan dengan jumlah penderita yang cukup besar khususnya di Indonesia. Bagi penderita pasca stroke biasanya mengalami kelumpuhan di salah satu anggota badannya. Oleh karena itu perlu adanya proses terapi untuk memulihkan kondisi kelumpuhan tersebut. Rancang bangun robot tangan ini dimaksudkan untuk menawarkan metode baru untuk terapi bagi penyandang disabilitas atau kelumpuhan pasca stroke khususnya di bagian tangan. Robot tangan yang dirancang ini menggunakan Arduino Uno pada mikrikontrolernya dan menggunakan motor linear dari *Actuonix* sebagai penggerakannya. Robot tangan ini bekerja berdasarkan hasil olah data sinyal EMG yang diidentifikasi dengan dua buah sensor otot *Myoware* yang ditempel pada otot *extensor digitorum* dan *flexor carpi ulnaris*. Seluruh data sinyal EMG yang terakuisisi diolah menggunakan algoritma *extreme learning machine* atau ELM. Alasan menggunakan ELM untuk olah data EMG ini karena ELM memiliki *learning speed* yang lebih baik dari metode lain. Pengujian sistem dilakukan pada lima orang sehat dengan melakukan tiga jenis gerakan yaitu genggam ringan, sedang dan kuat. Hasil pengujian menunjukkan tingkat akurasi rata-rata yaitu pada gerakan genggam ringan (*low force*) sebesar  $61,9 \pm 2,63$ . Kemudian pada gerakan genggam sedang (*medium force*) sebesar  $78,63 \pm 1,69$  dan pada gerakan genggam kuat (*strong force*) sebesar  $91,95 \pm 0,78$

**Kata Kunci :** *Electromyograph (EMG), Myoware Muscle Sensor, Extreme Learning Machine.*



***DESIGN HAND ROBOT PROTOTYPE FOR THERAPY  
DISABLED POST-STROKE BASED EMG USING  
EXTREME LEARNING MACHINE ALGORITHM***

**Iqbal Gilang Wildana**

*Department of Electrical Engineering, Engineering Faculty, University of Jember*

***ABSTRACT***

*Stroke is one of the deadly disease with a sufficiently large number of patients, especially in Indonesia. For patients post-stroke usually experience paralysis in one of his limbs. Therefore, the need for a therapeutic process to restore the condition of paralysis. The design of this hand robot is intended to offer new methods of therapy for people with disabilities or post-stroke paralysis, especially in the hands. This hand-designed robot uses Arduino Uno on its microcontroller and uses a linear motor from Actuonix as its driver. This hand robot works based on the results of the EMG signal data identified by two Myoware muscle sensors attached to the extensor digitorum muscle and flexor carpi urnalalis. All acquired EMG signal data is processed using extreme learning machine or ELM algorithm. The reason for using ELM for EMG data is because ELM has better learning speed than other methods. System testing is performed on five healthy people by performing three types of movement that is handheld light, medium and strong. The test results show the average accuracy level that is on the handheld light (low force) of  $61.9 \pm 2.63$ . Then the medium force of  $78.63 \pm 1.69$  and on the powerful hand movement (strong force) of  $91.95 \pm 0.78$ .*

***Keywords :*** *Electromyograph (EMG), Myoware Muscle Sensor, Extreme Learning Machine*

## RINGKASAN

**“Rancang Bangun *Prototype* Robot Tangan Untuk Terapi Penyandang Disabilitas Pasca Stroke Berbasis EMG Menggunakan Algoritma *Extreme Learning Machine*”**; Iqbal Gilang Wildana 161910201121; 2018: 69 halaman; Program Studi Strata 1 (S1) Teknik , Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Jember.

Teknologi robot dalam dunia medis telah banyak digunakan dalam beberapa negara maju. Robot tangan sebagai alat terapi bagi penderita disabilitas pasca stroke tergolong teknologi yang masih baru digunakan. Salah satu negara yang aktif melakukan riset dalam teknologi ini yaitu China. Penggunaan robot sebagai terapi menawarkan solusi baru bagi penderita stroke. Namun teknologi ini masih jarang digunakan khususnya dalam dunia medis di Indonesia dikarenakan biaya yang dibutuhkan cukup mahal sehingga tidak terjangkau oleh sebagian besar masyarakat Indonesia.

Robot tangan yang akan dirancang ini menggunakan bahan dan komponen yang terjangkau dengan cara kerja yang tidak jauh berbeda dengan robot terapi lainnya. Pada robot tangan ini menggunakan lima buah motor linear dari *Actuonix* sebagai aktuator. Untuk mikrokontroler menggunakan Arduino Uno sedangkan untuk komponen sensor menggunakan *Myoware Muscle Sensor*. *Myoware Muscle Sensor* merupakan sensor otot yang bekerja dengan mendeteksi aktivitas sinyal EMG pada otot. Sensor otot berperan sebagai pengendali robot. Hasil pembacaan sensor akan diproses pada PC menggunakan Matlab.

Pengolahan data sinyal EMG menggunakan algoritma *extreme learning machine* (ELM). Seluruh data hasil akuisisi sensor akan diproses mulai dari tahap ekstraksi, filtrasi hingga klasifikasi dengan algoritma ELM. Saat tangan melakukan gerakan menggenggam, maka sistem akan mengidentifikasi dan robot akan bergerak menggenggam.

## SUMMARY

***“Design Hand Robot Prototype For Therapy Disabled Post-Stroke Based EMG Using Extreme Learning Machine Algorithm”***; Iqbal Gilang Wildana 161910201121; 2018: 69 pages; Bachelor Degree (S1) Engineering, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering University of Jember.

*Robot technology in the medical world has been widely used in several developed countries. Hand robot as a therapeutic tool for patients with post-stroke disability pertained newly used technology. One of the countries that are actively doing research in this technology is China. The use of robot as a therapy offers a new solution for stroke patients. However, this technology is still rarely used especially in the medical world in Indonesia because the cost is quite expensive so it is not affordable by most people of Indonesia.*

*This hand robot will be designed using materials and components that are affordable in a way that is not much different from other robot therapy. In this hand robot uses five linear motors from Actuonix as actuators. For microcontroller use Arduino Uno while for sensor component use Myoware Muscle Sensor. Myoware Muscle Sensor is a muscle sensor that works by detecting the EMG signal activity in the muscle. The muscle sensor acts as the controller of the robot. The sensor readings will be processed on the PC using Matlab.*

*Processing of EMG signal data using extreme learning machine (ELM) algorithm. All data obtained from the acquisition of the sensor will be processed from the extraction stage, filtration to classification with ELM algorithm. When the hands do grip motion, then the system will identify and the robot will move grasping.*

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL .....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	iii
HALAMAN MOTTO .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN.....	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
ABSTRAK .....	viii
PRAKATA.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xii
RINGKASAN .....	xiii
<b>BAB I. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Batasan Masalah .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Tujuan Penelitian.....</b>	<b>3</b>
<b>1.5 Manfaat Penelitian.....</b>	<b>3</b>
<b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 <i>Electromyography</i> .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.1 <i>Resting Membrane Potential</i> .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.2 <i>Action Potential (Potensial Aksi)</i> .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 <i>Extreme Learning Machine</i> .....</b>	<b>8</b>

2.3	Sensor MyoWare™ .....	10
2.3.1	Spesifikasi Sensor MyoWare™ .....	10
2.3.2	Instruksi Penggunaan Sensor MyoWare™ .....	13
2.4	<i>Genuino 101</i> .....	15
2.5	Motor Linear L12 .....	17
<b>BAB III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>18</b>
3.1	Tempat dan Waktu .....	18
3.2	Alat dan Bahan .....	19
3.3	Tahap Penelitian .....	19
3.4	Rancangan Sistem .....	20
3.4.1	Diagram Blok Sistem .....	20
3.4.2	Desain Mekanik Sistem .....	21
3.4.3	Desain Elektronika .....	27
3.4.4	Desain Sistem Kendali .....	37
3.5	<i>Flowchart</i> Sistem .....	31
3.6	Prosedur Akuisisi Data Sinyal EMG .....	34
3.7	Prosedur <i>Running</i> Program Olah Data EMG Pada Matlab .....	37
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>32</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Kondisi pada Membran Plasma Sel .....	6
2.2 Struktur Otot .....	7
2.3 Struktur ELM .....	8
2.4 Bentuk Fisik Sensor Otot MyoWare™ .....	11
2.5 Dimensi Sensor Otot MyoWare™ .....	12
2.6 <i>Layout</i> Sensor Otot MyoWare™ .....	12
2.7 Sensor Otot MyoWare™ terhubung langsung ke Arduino.....	13
2.8 Sensor Otot MyoWare™ dengan Komponen Penguat .....	13
2.9 Contoh Peletakan Sensor MyoWare™ pada Otot Bisep.....	14
2.10 Pengaruh Peletakan Sensor MyoWare™ terhadap Kekuatan Sinyal..	15
2.11 Bentuk Fisik Genuino 101 .....	16
2.11 Bentuk Fisik Motor Linear L12 .....	17
3.1 Tahapan Penelitian .....	20
3.2 Diagram Blok Sistem .....	20
3.3 Desain Jari-jari Robot Tangan .....	21
3.4 Rancangan Robot Tangan Secara Keseluruhan .....	22
3.5 Desain Mekanik Robot Tampak Atas Menggunakan Aplikasi <i>Solidworks</i> .....	22
3.6 Desain Mekanik Robot Tampak Belakang Menggunakan Aplikasi <i>Solidworks</i> .....	23
3.7 Desain Mekanik Robot Tampak Depan Menggunakan Aplikasi <i>Solidworks</i> .....	23
3.8 Desain Mekanik Robot Tampak Samping Menggunakan Aplikasi <i>Solidworks</i> .....	24
3.9 Desain Mekanik Bagian Telapak Tangan .....	24

3.10. Desain Mekanik Bagian Ibu Jari .....	25
3.11. Desain Mekanik Bagian Jari Telunjuk .....	25
3.12. Desain Mekanik Bagian Jari Tengah .....	26
3.13. Desain Mekanik Bagian Jari Manis .....	26
3.14. Desain Mekanik Bagian Jari Kelingking .....	27
3.15. Diagram Blok Desain Elektronika .....	27
3.16. Genuino 101 sebagai pengendali robot tangan .....	28
3.17. Genuino 101 sebagai pengendali robot tangan .....	28
3.18. Desain Sistem Kendali .....	29
3.19. <i>MyoWare<sup>TM</sup> Muscle Sensor</i> untuk akuisisi sinyal EMG .....	29
3.20. <i>Flowchart</i> Sistem .....	31
3.21. Elektroda dan <i>Myoware Sensor</i> yang sudah terpasang .....	34
3.22. Posisi sensor pada otot <i>extensor digitorum</i> .....	35
3.23. Sikap Badan saat Proses Akuisisi Data Sinyal EMG .....	36
3.24. Tampilan <i>Main Window</i> .....	37
3.25. Tampilan Menu <i>Data Acquisition</i> .....	38
3.26. Tampilan Menu <i>Offline Classification</i> .....	39
3.27. Tampilan Menu <i>Online Classification</i> .....	41
4.1. Grafik Sinyal EMG Percobaan 1 .....	47
4.2. Grafik Sinyal EMG Percobaan 2 .....	47
4.3. Grafik Sinyal EMG Percobaan 3 .....	48
4.4. Grafik Sinyal EMG Percobaan 4 .....	48
4.5. Grafik Sinyal EMG Percobaan 5 .....	49
4.6. Grafik Sinyal EMG Percobaan 6 .....	49
4.7. Grafik saat genggam ringan dari subjek uji 1,4 dan 5 .....	60
4.8. Grafik Hasil Rekam Sensor 1 dan 2 .....	62

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
2.1 Spesifikasi dan Fitur Sensor otot MyoWare™ .....	10
2.2 Spesifikasi dan Fitur Genuino 101 .....	16
2.3 Spesifikasi Motor Linier L12 .....	17
3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian .....	19
4.1 Pengujian Tegangan Keluaran Driver Motor L298 .....	42
4.2 Pengujian Kecepatan Motor Linear L12 Berdasarkan Input PWM ....	44
4.3 Pengujian Respon Motor Linear L12 Actuonix .....	44
4.4 Keterangan Subjek Uji .....	51
4.5 Grafik Hasil Uji Sensor Myoware dari Subjek Uji 1 .....	52
4.6 Grafik Hasil Uji Sensor Myoware dari Subjek Uji 2 .....	54
4.7 Grafik Hasil Uji Sensor Myoware dari Subjek Uji 3 .....	55
4.8 Grafik Hasil Uji Sensor Myoware dari Subjek Uji 4 .....	57
4.9 Grafik Hasil Uji Sensor Myoware dari Subjek Uji 5 .....	58
4.10 Hasil Pengujian Tingkat Akurasi .....	63
4.11 Hasil Pengujian Tingkat Akurasi Berdasarkan Jumlah <i>Node</i> .....	65
4.12 Hasil Pengujian Tingkat Akurasi pada Subjek 1 .....	67
4.13 Hasil Pengujian Tingkat Akurasi pada Subjek 2 .....	67
4.14 Hasil Pengujian Tingkat Akurasi pada Subjek 3 .....	68
4.15 Hasil Pengujian Tingkat Akurasi pada Subjek 4 .....	68
4.16 Hasil Pengujian Tingkat Akurasi pada Subjek 5 .....	68



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan teknologi robot di era sekarang telah mencakup berbagai bidang, salah satunya yaitu di bidang kesehatan. Dalam dunia medis, teknologi robot mampu membantu kinerja petugas medis dalam menangani pasien mulai dari membantu proses operasi hingga proses pemulihan atau rehabilitasi. Di beberapa rumah sakit di belahan dunia bahkan di Indonesia telah memanfaatkan robot sebagai salah satu solusi untuk membantu petugas medis khususnya dokter dalam melakukan tindakan medis, seperti operasi bedah jantung, operasi mata dan lain-lain. Namun dalam praktiknya, robot tetap bekerja dalam kendali dokter.

Pemanfaatan teknologi robot juga digunakan dalam proses pemulihan pasien. Robot dapat menjadi salah satu alat bantu terapi, contohnya bagi penyandang disabilitas akibat stroke. Bukan rahasia lagi bahwa penyakit stroke merupakan salah satu penyakit yang banyak diderita oleh masyarakat Indonesia, bahkan jumlah penderita stroke di Indonesia menduduki peringkat dua di Asia (Yastroki, 2007). Stroke adalah manifestasi dari rusaknya struktur jaringan otak sebagai akibat rusaknya pembuluh darah yang menyuplai darah ke otak dengan berbagai sebab. Penyebabnya bisa berasal dari pembuluh darah di otak ataupun darah yang mengalir di dalamnya (Mahendra dkk, 2007). Stroke dapat berujung pada kematian bagi penderitanya. Penderita yang mampu bertahan biasanya mereka mengalami kelumpuhan pada bagian anggota tubuhnya seperti pada tangan atau kaki.

Salah satu contoh teknologi robot yang telah digunakan untuk terapi pasca stroke yang dikembangkan di Shanghai, China yaitu Robot “Hand of Hope” (Rehab,-robotics, 2016). Robot tangan ini bekerja dengan menggunakan sensor otot dengan mendeteksi sinyal otot atau electromyography (EMG). Electromyography (EMG) merupakan teknik yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja otot berdasarkan aktivitas elektrik yang terjadi pada otot (Gamet &

Fokapu, 2008). Aktivitas elektrik pada otot terjadi sebelum otot berkontraksi dan aktivitas tersebut dapat dideteksi secara sederhana menggunakan elektroda.

Robot “Hand of Hope” yang dikembangkan di China telah dibekali fitur-fitur yang kompleks, seperti berbagai macam games sehingga proses terapi pada pasien dapat berjalan efisien dan tidak membosankan. Di Indonesia sendiri untuk robot terapi bagi penyandang disabilitas pasca stroke telah diciptakan oleh mahasiswa UGM yang diberi nama “I-Rebot” yang merupakan kepanjangan dari Rehabilitation Robot for Foot (Daulay dkk, 2015). Sesuai dengan namanya, robot ini berfokus pada pengobatan fisioterapis bagian engkel kaki. Robot “I-Rebot” telah dilengkapi teknologi yang cukup mumpuni dan fitur-fitur yang menarik, contohnya pada robot ini telah dibekali aplikasi medical reminder yang bisa membantu proses pengobatan dengan catatan rekam medis hingga jadwal lanjutan terapi yang terintegrasi langsung dengan smartphone.

Berdasarkan uraian yang telah disebutkan, dapat dilihat bahwa perancangan robot tangan untuk penyandang disabilitas pasca stroke cukup dibutuhkan mengingat jumlah penderita stroke di Indonesia yang tinggi dan teknologi robot yang sudah dikembangkan masih belum dapat dijangkau oleh mayoritas penduduk Indonesia. Penelitian ini mengusulkan desain robot tangan dengan bahan baku yang terjangkau dan dibekali fitur-fitur yang tidak jauh berbeda dengan yang ada di pasaran, sehingga dengan begitu dapat dijangkau oleh mayoritas masyarakat Indonesia.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang robot tangan yang dikendalikan menggunakan sensor otot yang berdasarkan aktivitas sinyal otot (EMG).
2. Bagaimana cara mengolah dan mengklasifikasi sinyal EMG menggunakan algoritma *extreme learning machine*.

### 1.3 Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah yang diangkat dalam skripsi adalah sebagai berikut:

1. Robot tangan dikendalikan oleh sinyal EMG menggunakan sensor MyoWare™.
2. Menggunakan metode *extreme learning machine*.
3. Mikrokontroler yang digunakan adalah Genuino 101
4. Untuk pergerakan robot, menggunakan lima buah motor linear L12.
5. Target pencapaian dari perancangan robot tangan ini adalah gerakan tangan dasar yaitu membuka dan menutup tangan.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari pembuatan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang robot tangan yang dikendalikan menggunakan sensor otot yang berdasarkan aktivitas sinyal otot (EMG).
2. Merancang robot tangan yang mampu mengakuisisi, mengolah dan mengklasifikasi sinyal EMG menggunakan algoritma *extreme learning machine* sehingga robot mampu bekerja sesuai dengan keinginan.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat pembuatan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil dari penelitian ini diharapkan bermanfaat untuk menjadi langkah awal dalam merancang robot tangan yang digunakan sebagai alat bantu terapi bagi penyandang disabilitas pasca stroke dengan biaya yang murah sehingga dapat menjangkau seluruh masyarakat Indonesia.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dijelaskan beberapa bagian yang menjadi dasar dalam pembuatan robot tangan bagi penyandang disabilitas pasca stroke. Hal pertama yang menjadi bahasan pada bab ini yaitu deskripsi dari *electromyography* atau EMG serta proses biologis munculnya sinyal EMG saat otot beraktifitas. Terdapat beberapa tahapan biologis bagaimana otot mampu menghasilkan sinyal elektrik yang disebut EMG yaitu diantaranya tahap potensial membran kemudian dilanjutkan dengan tahap potensial aksi. Seperti diketahui robot tangan ini dirancang dengan sistem kendali yang mampu memproses sinyal EMG melalui sensor otot yang digunakan.

Dalam penelitian ini menggunakan beberapa metode untuk memproses sinyal EMG agar sistem mampu bekerja sesuai dengan harapan. Metode yang digunakan yaitu ELM (*Extreme Learning Machine*) yang merupakan varian dari jaringan saraf tiruan. Metode ELM digunakan saat memasuki tahap klasifikasi fitur sinyal EMG agar sistem mampu mengenali pola gerakan jari yang dimaksud. Proses ini akan dijelaskan secara detail pada bab selanjutnya. Kemudian pada bab ini juga menjelaskan komponen-komponen utama yang digunakan seperti, *Myoware muscle sensor*, Genuino 101 dan motor linear L12. Setiap komponen-komponen tersebut akan dijelaskan karakteristik, cara kerja serta perannya dalam sistem.

### 2.1 *Electromyography*

*Electromyography* atau EMG merupakan sebuah proses deteksi, perekaman, analisis dan pemanfaatan aktivitas elektrik yang terjadi ketika otot melakukan kontraksi dan relaksasi (C. De Luca, 2006). Aktivitas elektrik yang terekam berbentuk sinyal listrik yang disebut dengan elektromiogram atau sinyal mioelektrik (Khusaba, 2010). Sinyal mioelektrik yang dikeluarkan otot bergantung pada aktivitas otot itu sendiri, semakin banyak tenaga yang dikeluarkan maka frekuensi sinyal akan semakin besar. Frekuensi dari sinyal mioelektrik

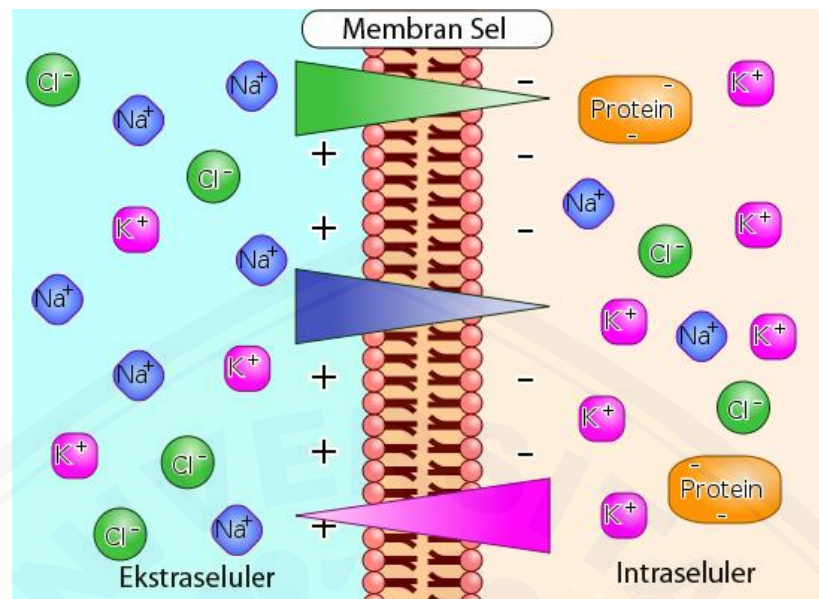
berada di kisaran 20-500Hz, dengan nilai amplitudo antara 0-10mV (Nomiyasari dkk, 2011). Dalam prosesnya, terdapat beberapa tahapan untuk menghasilkan sebuah sinyal mioelektrik, yaitu *resting membrane potential*, *muscle fiber action potential*, perekaman potensial aksi dan potensial aksi dari motor unit (Arifin, 2013).

### 2.1.1 *Resting Membrane Potential*

Potensial membran merupakan aktivitas elektrik yang timbul karena adanya perbedaan muatan di bagian dalam dan luar sel otot. Serat otot memiliki membran tipis yang bersifat semipermeabel yang tersusun atas *lipid bilayer* atau *lipid* berlapis ganda. Oleh karena bersifat semipermeabel, memungkinkan terjadinya perpindahan ion-ion tertentu pada cairan sel yang terdapat di dalam dan di luar badan sel, proses ini disebut dengan difusi (Arifin, 2013). *Resting membrane potential* dipengaruhi oleh tiga aktivitas ion. Pertama, protein bermuatan negatif yang tidak mampu berdifusi menembus membran *lipid bilayer*. Kedua, ion kalium bermuatan positif ( $K^+$ ) dan ketiga ion natrium yang bermuatan positif ( $Na^+$ ). Ion  $K^+$  dan ion  $Na^+$  aktif berdifusi keluar masuk membran dengan bantuan transpor ion aktif (Starr dkk, 2009)

Ion  $K^+$  dan ion  $Na^+$  berdifusi menggunakan transpor ion aktif atau yang disebut dengan pompa kalium-natrium. Pompa kalium-natrium menggunakan energi dari molekul ATP (*Adenosinetriphospat*) untuk menarik dua ion  $K^+$  untuk masuk sel dan mendorong tiga ion  $Na^+$  untuk keluar sel. Namun, transpor pasif memungkinkan ion  $K^+$  untuk menembus membran mengikuti gradien konsentrasinya dan hampir semua ion  $Na^+$  tetap berada di luar sel selama sel dalam kondisi istirahat. Hal ini mengakibatkan jumlah ion positif lebih banyak berada diluar sel dengan kata lain kondisi di dalam sel jauh lebih negatif dibanding di luar sel (Starr dkk, 2009).

Dalam proses ini, ion  $K^+$  sangat mendominasi dalam melakukan difusi melalui membran sel. Aktivitas difusi ion  $K^+$  mencapai 90%, sedangkan ion  $Ca^{2+}$  dan  $Na^+$  hanya 1% sisanya ion  $Cl^-$  sebesar 8%. Beda potensial yang terukur pada kondisi ini sebesar -86mV (Osmosis, 2016).



Gambar 2.1 Kondisi pada Membran Plasma Sel

(Sumber : Osmosis, 2016)

### 2.1.2 *Action Potential* (Potensial Aksi)

Potensial aksi merupakan perubahan mendadak seperti denyutan yang terjadi dalam potensial membran yang berlangsung seperseribu detik. Potensial aksi dibagi dalam dua tahap kondisi yaitu depolarisasi membran dan repolarisasi membran. Depolarisasi kondisi dimana permeabilitas membran bagi ion  $\text{Na}^+$  meningkat secara mendadak yang mengakibatkan ion  $\text{Na}^+$  bergerak ke dalam sel membawa banyak muatan positif. Akibatnya, keadaan di dalam sel yang semula potensial negatif berangsur menjadi potensial positif. Sedangkan repolarisasi adalah keadaan dimana kembalinya potensial dalam sel menjadi negatif yang diakibatkan ion  $\text{K}^+$  yang aktif bergerak ke luar sel (Guyton, 1995).

Potensial aksi pada serabut-serabut otot merupakan awal dari proses kontraksi pada otot rangka. Dalam perambatannya, potensial aksi harus menembus ke sekitar miofibril yang terpisah melalui suatu transmisi yang disebut *transverse tubule* (T tubule). Melalui transmisi ini, potensial aksi dapat menyebar ke seluruh struktur bagian dalam serat otot. Selama proses perambatan potensial aksi di sepanjang T tubule, menyebabkan aliran listrik juga merambat di sepanjang serat otot (Guyton, 1995).

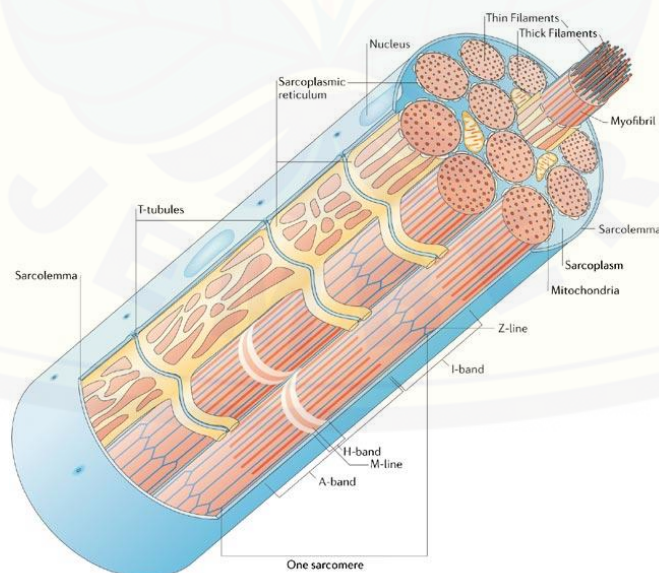
Aktivitas potensial aksi inilah merupakan awal dari pendeteksian sinyal EMG. Secara sederhana, untuk merekam ptoensial aksi yang terjadi di sepanjang serat otot dapat menggunakan dua buah elektroda eksternal yang dutempelkan pada serat otot kemudian keluaran dari elektroda tersebut dihubungkan ke osiloskop untuk merekam dan memahami sinyal yang dihasilkan saat otot berkontraksi (Arifin, 2016). Menurut Quach, Jee Hong dalam bukunya yang berjudul *Surface Electromyography: Use, Design and Technological Overview* menyebutkan bahwa dalam *electromyography* terdapat beberapa cara untuk mengukur sinyal mioelektrik tersebut yaitu diantaranya,

1. *Surface Electromyography* (sEMG)

Merupakan teknik pengukuran non-invasive untuk merekam sinyal mioelektrik saat otot melakukan kontraksi atau relaksasi. Sinyal EMG dikenal memiliki amplitudo yang bersiat acak. *Range* amplitudo sinyal antara 0,1 hingga 10mV (*peak-to-peak*). Dalam prosesnya, frekuensi yang digunakan dibatasi pada *range* 0 sampai 500Hz (Arifin 2013).

2. *Fire Wire Electromyography* (Intramuscular EMG)

Teknik ini merupakan teknik invasive untuk mengukur sinyal mioelektrik yang dihasilkan saat otot berkontraksi dan relaksasi.



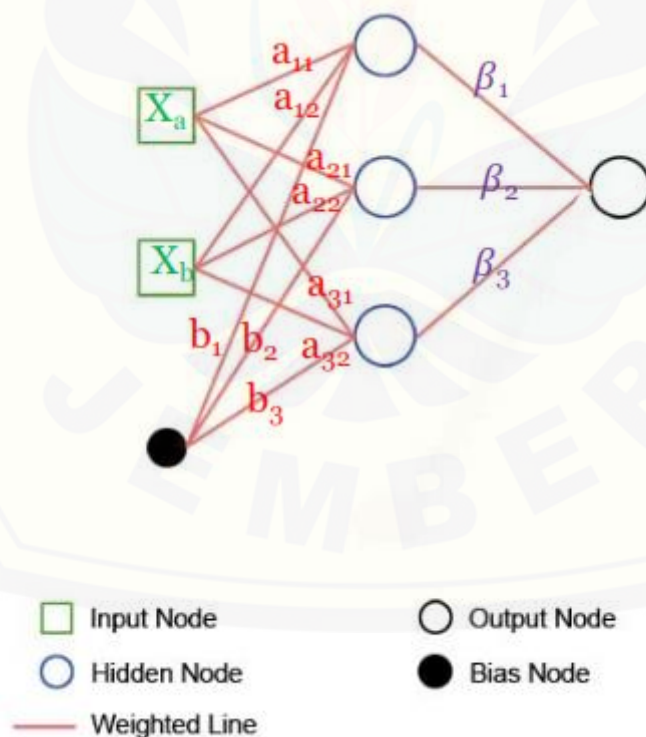
Gambar 2.2 Struktur Otot

(Sumber : Arifin, 2013)

## 2.2 Extreme Learning Machine

ELM (*Extreme Learning Machine*) merupakan varian baru dari metode algoritma jaringan saraf tiruan atau *artificial neural network*. Salah satu kelebihan ELM dibandingkan dengan jaringan saraf tiruan yaitu proses belajar atau *learning speed* yang lebih cepat dan menghindari *training* yang berulang-ulang seperti pada jaringan saraf tiruan (Huang, 2012).

Secara struktur, metode ELM merupakan jaringan saraf tiruan *feedforward* dengan satu *hidden layer* atau biasa disebut dengan *Single Hidden Layer Feedforward neural Network* (SLFNs). Pada ELM terdapat parameter-parameter antara lain, *input node*, *hidden node*, *weight node* (bobot), *weight bias* (bias), *output node* dan *bias node*. Nilai bobot (*weight node*) dan bias ditentukan secara acak. Selain itu salah satu kelebihan lain dari ELM dibandingkan dengan jaringan saraf tiruan yaitu model matematis yang lebih sederhana (Bain, 2010). Struktur ELM dapat dilihat pada gambar 2.3 di bawah ini,



Gambar 2.3 Struktur ELM

(Sumber : Bain, 2010)



Dimana :

$a$  = bobot

$b$  = bias

$\beta$  = bobot output

Secara umum, model matematis ELM dengan jumlah *hidden nodes* sebanyak  $N$  yaitu,

$$\sum_{j=1}^N \beta_j g_i(x_j) = \sum_{i=1}^N \beta_i g(w_i, x_{bi}) = o_i$$

$$\beta = H * T$$

Dalam prosesnya, langkah awal dalam metode ELM ini adalah menentukan nilai bobot dan bias secara acak kemudian dilanjutkan dengan menentukan matriks *hidden layer* berdasarkan nilai bobot, bias dan nilai input. Untuk konfigurasi matriks H (*hidden layer*) dapat dilihat seperti di bawah ini

$$H(a_1, \dots, a_L, b_1, \dots, b_L, x_1, \dots, x_N)$$

$$= \begin{bmatrix} G(a_1, b_1, x_1) & \dots & G(a_L, b_L, x_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ G(a_1, b_1, x_N) & \dots & G(a_L, b_L, x_N) \end{bmatrix}_{N \times L}$$

Dimana,  $N$  = jumlah data ;  $L$  = jumlah *hidden unit*.

Setelah matriks H berhasil ditentukan, maka langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai bobot output ( $\beta$ ) dengan mengalikan inverse matriks H dengan target. Pada langkah terakhir setelah nilai bobot output ( $\beta$ ) diketahui maka dilanjutkan dengan proses peramalan dengan ELM atau *testing*. Data yang digunakan sebagai masukan harus dinormalisasi terlebih dahulu dengan rumus normalisasi yang sama pada proses training (bain, 2010).

## 2.3 Sensor MyoWare™

### 2.3.1 Spesifikasi Sensor MyoWare™

Sensor otot MyoWare™ merupakan komponen elektronika yang mampu mendeteksi aktivitas elektrik pada otot atau biasa disebut dengan *electromyography* (EMG). MyoWare™ ini merupakan versi terbaru dari sensor otot versi sebelumnya yaitu Muscle Sensor V3. Secara garis besar, sensor ini bekerja dengan mendeteksi kemudian menguatkan sinyal listrik yang ditangkap pada otot kemudian mengubahnya menjadi sinyal analog sederhana yang dapat dengan mudah dibaca oleh mikrokontroler dengan *analog to digital converter* (ADC). Untuk menggunakan sensor ini diperlukan piranti tambahan yaitu elektroda. Berikut karakteristik yang dimiliki oleh sensor otot MyoWare™. (Kaminski, 2015)

Tabel 2.1 Spesifikasi dan Fitur Sensor otot MyoWare™.

Spesifikasi	
• Dimensi	52,6 x 20,9 x 5,5 mm
• Tegangan Operasi	2,9V – 5,7V
• Massa	9 g
• Output Tegangan Sinyal	
EMG Envelope	Min : 0V ; Max : +Vs
Raw EMG	Min : 0V ; Max : +Vs
• Suplai Arus	9mA – 14mA
• Impedansi Input	110GΩ
• <i>Common Mode Rejection Ratio</i> (CMRR)	110

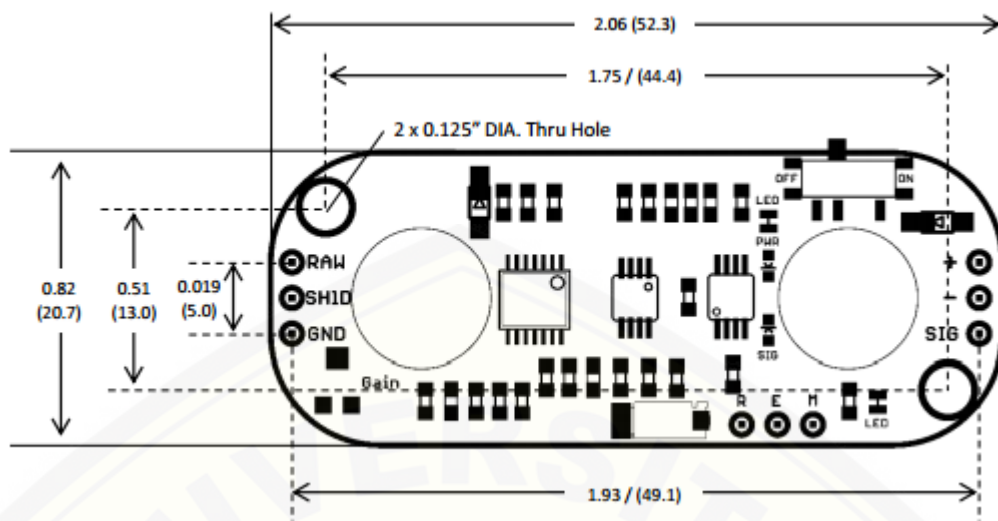
• Input Bias	1pA
• <i>3Adjustable Gain Potentiometer</i>	Min : 0,01 $\Omega$ ; Max : 100K $\Omega$
<b>Fitur</b>	
• Memiliki 2 Keluaran, <i>Raw EMG</i> dan <i>EMG Envelope</i>	
• Single Power Supply	
• Memiliki indikator LED	
• <i>Wearable Design</i>	
• <i>Polarity Reversal Protection</i>	
• Didesain khusus untuk Mikrokontroler	
• <i>Adjustable Gain</i>	

(Kaminski, 2015)



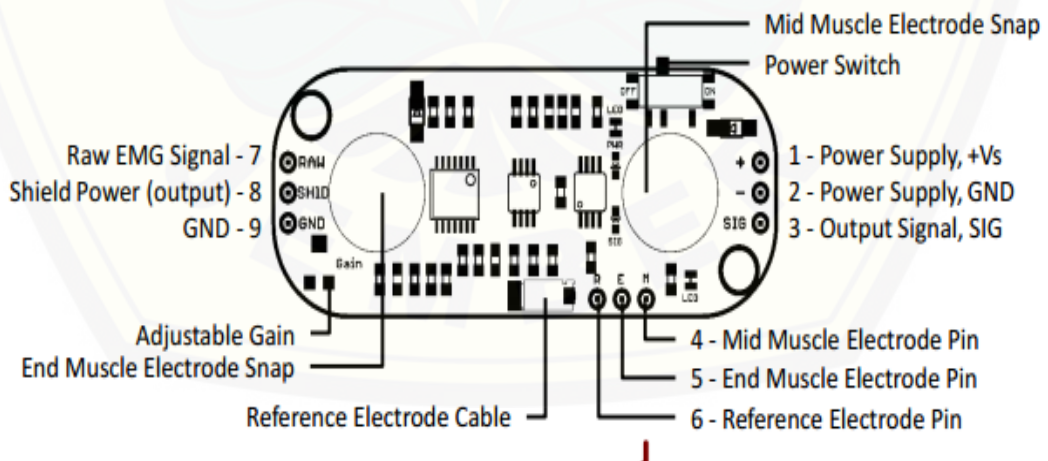
Gambar 2.4 Bentuk Fisik Sensor Otot MyoWare™.

(Sumber : Kaminski, 2015)



Gambar 2.5 Dimensi Sensor Otot MyoWare™  
(Sumber : Kaminski, 2015)

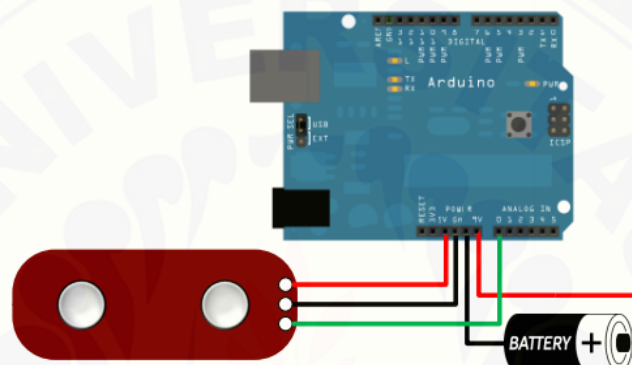
Pada konfigurasi Sensor Otot MyoWare™ terdapat sembilan kaki yang dapat dilihat pada gambar 2.5. Seperti yang terdapat pada tabel 2.1 mengenai fitur yang dimiliki oleh sensor ini, terdapat fitur *adjustable gain* yang memiliki fungsi mengubah nilai resistansi untuk menghasilkan sinyal yang diinginkan (Kaminski, 2015).



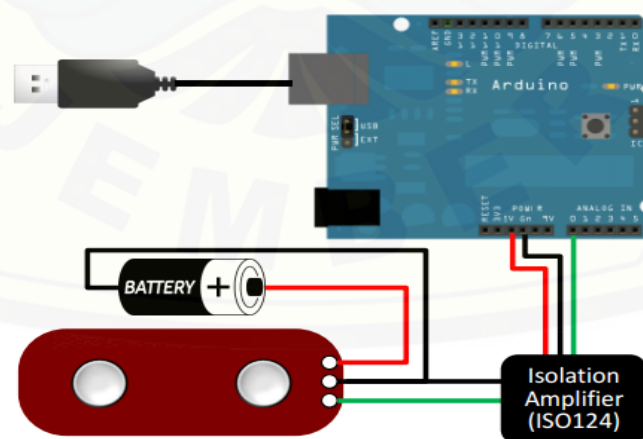
Gambar 2.6 Layout Sensor Otot MyoWare™  
(Sumber : Kaminski, 2015)

### 2.3.2 Instruksi Penggunaan Sensor MyoWare™

Seperti diketahui sebelumnya, sensor otot MyoWare™.didesain khusus agar dengan mudah terkoneksi dengan mikrokontroler contohnya Arduino. Untuk mengkoneksikan sensor otot MyoWare™ dengan Arduino terdapat dua cara, pertama sensor dihubungkan langsung dengan Arduino menggunakan catu daya eksternal contohnya baterai dan kedua sensor dihubungkan ke Arduino dengan komponen tambahan yaitu *Isolation Amplifier* (ISO124).



Gambar 2.7 Sensor Otot MyoWare™ terhubung langsung ke Arduino  
(Sumber : Kaminski, 2015)



Gambar 2.8 Sensor Otot MyoWare™ dengan Komponen Penguat  
(Sumber : Kaminski, 2015)

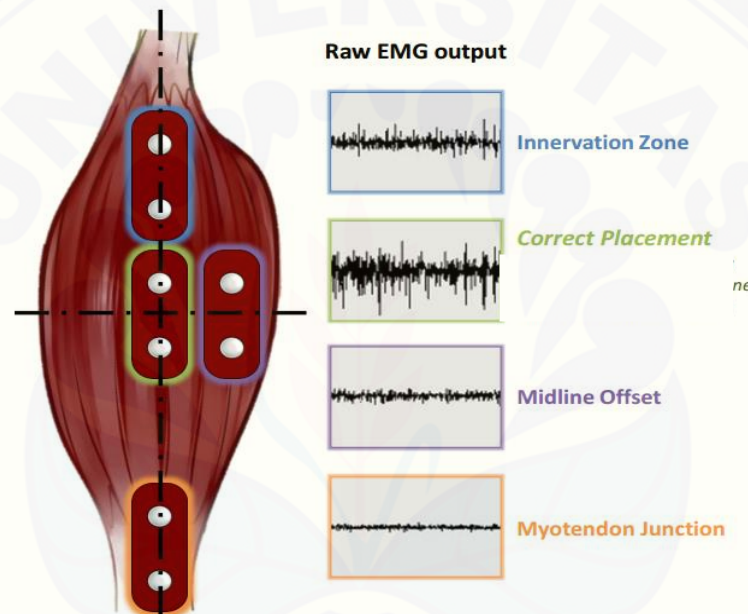
Untuk menggunakan sensor ini / menempelkannya pada otot, terdapat beberapa tahapan yang harus diperhatikan yaitu :

1. Bersihkan terlebih dahulu area yang akan dipasang sensor dengan sabun untuk menghilangkan kotoran dan minyak.
2. Hubungkan elektroda ke konektor sensor.
3. Tempatkan sensor pada area yang diinginkan
  - a. Setelah menentukan bagian otot yang akan dipasang sensor (misal: bicep, tricep dll) bersihkan area tersebut secara menyeluruh.
  - b. Tempatkan sensor dibagian tengah otot sehingga salah satu elektroda terhubung dengan badan otot. Elektroda lainnya ditempatkan sebaris dengan panjang otot.
  - c. Lepaskan pelindung elektroda agar dapat melekat sempurna pada kulit.
  - d. Tempatkan elektroda referensi pada bagian otot tulang atau yang tidak berdekatan dengan otot yang diukur.
4. Hubungkan sensor pada mikrokontroler (misal : Arduino, RaspberryPi dll) (Kaminski, 2015).



Gambar 2.9 Contoh Peletakan Sensor MyoWare™ pada Otot Bicep  
(Sumber : Kaminski 2015)

Posisi penempatan elektroda sensor pada badan otot memiliki efek yang besar terhadap sinyal yang dihasilkan. Elektroda harus ditempatkan tepat di tengah-tengah badan otot dan sejajar dengan orientasi serat otot. Penempatan yang salah dari elektroda sensor akan mengurangi kekuatan sinyal otot sehingga proses perekaman sinyal EMG kurang optimal (Advancer-Technologies, 2015).



Gambar 2.10 Pengaruh Peletakan Sensor MyoWare™ terhadap Kekuatan Sinyal  
(Sumber : Kaminski, 2015)

## 2.4 Genuino 101

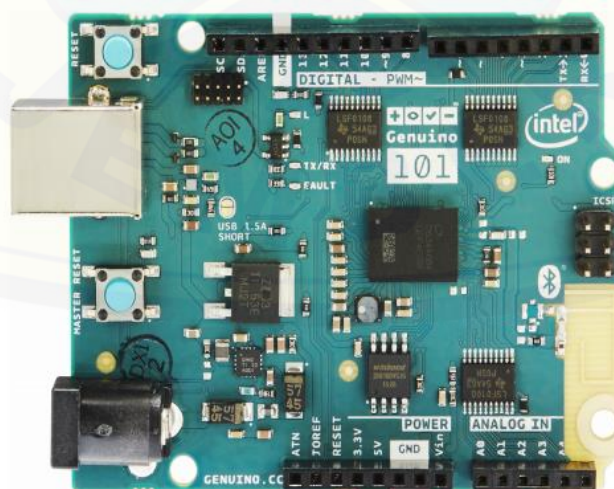
Genuino 101 merupakan kit mikrokontroler sama seperti halnya Arduino. Salah satu kelebihan dari Genuino 101 dari Arduino UNO misalnya yaitu kapasitas memori yang lebih besar dan dibekali dua buah *core* 32-bit Intel\*Quark™SE. Genuino 101 memiliki beberapa fitur tambahan seperti *onboard Bluetooth LE* dan *6-axis-acceleometer / gyro*. Genuino 101 dilengkapi dengan 14 pin digital input / output (4 pin digunakan sebagai output PWM), 6 input analog dan

konektor USB. Spesifikasi dan fitur Genuino 101 dapat dilihat pada tabel 2.2 dibawah ini,

Tabel 2.2 Spesifikasi dan Fitur Genuino 101

Spesifikasi	
• Mikrokontroler	32-bit Intel*Quark™SE
• Tegangan Operasi	7 – 12 VDC
• <i>Digital I/O Pins</i>	14
• <i>PWM Digital I/O Pins</i>	4
• <i>Analog Input Pins</i>	6
• Arus DC	20 mA
• <i>Flash Memory</i>	196 kB
• <i>SRAM</i>	24 kB
• <i>Clock Speed</i>	32 MHz
Fitur	
• <i>Bluetooth LE</i>	
• <i>6-axis accelerometer/gyro</i>	

(Banzi, 2015)



Gambar 2.11 Bentuk Fisik Genuino 101

(Sumber : Banzi, 2015)



## 2.5 Motor Linier L12

Motor linier merupakan motor listrik yang menghasilkan gerakan linier. Motor Linier L12 merupakan salah satu motor linier seri-L yang diproduksi oleh Actuonix. Motor seri L12 ini sangat *compatible* dengan Arduino karena dapat dikendalikan dengan sinyal PWM (Actuonix, 2016). Spesifikasi dari Motor Linear L12 dapat dilihat pada tabel 2.3 dibawah ini,

Tabel 2.3 Spesifikasi Motor Linier L12

<b>Gearing Option</b>	<b>50:1</b>	<b>100:1</b>	<b>210:1</b>
Peak Power Point	17N @ 14mm/s	31N @ 7mm/s	62N@3,2mm/s
Peak Efficiency Point	10N @ 19mm/s	17N @ 10mm/s	36N@4,5mm/s
Max Speed (no load)	25mm/s	13mm/s	6,5mm/s
Max Force (lifted)	22N	42N	80N
<b>Voltage Option</b>	<b>6 VDC</b>		<b>12 VDC</b>
Max Input Voltage	7,5V		13,5V
Stall Current	460mA		185mA
Standby Current	7,2mA		3,3mA
Operating Temperature	-10 <sup>0</sup> C to +50 <sup>0</sup> C		
Potentiometer Linearity	Less than 2,00%		
Max Duty Cycle	20%		
Audible Noise	5,5dB @ 45cm		
Ingress Protection	IP-54		

(Actuonix, 2016)



Gambar 2.12 Bentuk Fisik Motor Linier L12

(Sumber : Actuonix, 2016)

### **BAB 3. METODE PENELITIAN**

Pada bab ini dijelaskan beberapa hal pokok yaitu obek penelitian, tahap penelitian, tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan yang digunakan serta mekanisme perancangan sistem yang meliputi perancangan elektronika, desain mekanik dan desain sistem kendali. Pada desain mekanik deskripsi desain dilengkapi dengan sketsa gambar manual dan gambar dari *software* Solidwork 2016. Pada subbab desain elektronika dijelaskan fungsi-fungsi setiap komponen pada sistem dan pada subbab desain sistem kendali dijelaskan tahap-tahap mulai dari proses akuisisi sinyal EMG hingga sistem mampu mengeksekusi sesuai dengan klasifikasi fitur dari sinyal EMG tersebut.

#### **3.1 Tempat dan Waktu**

##### **3.1.1 Tempat Penelitian**

Pelaksanaan pembuatan alat dan pengambilan data ini dilakukan di Laboratorium CDAST (*Center for Development of Advance Science and Technology*) Universitas Jember

##### **3.1.2 Waktu Penelitian**

Waktu penelitian dilaksanakan dilaksanakan selama kurang lebih 6 bulan, berikut adalah tabel jadwal penelitian.

Tabel 3.1 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Kegiatan	Bulan					
		1	2	3	4	5	6
1	Studi Literatur	■					
2	Pengambilan data		■	■			
3	Pembuatan dan Pengujian algoritma		■	■			
4	Pembuatan <i>embedded system</i> untuk pengendali robot tangan			■	■		
5	Pengujian Sistem Kendali berbasis EMG pada robot tangan					■	■

### 3.2 Alat dan Bahan

#### 3.2.1 Hardware

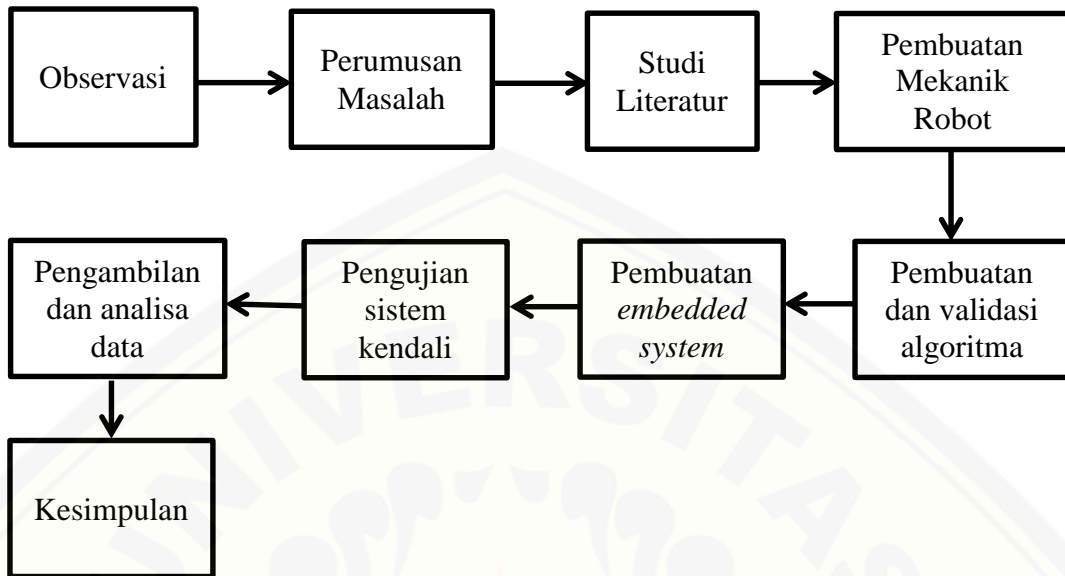
1. Genuino Uno
2. Motor Linear L12
3. Sensor MyoWare™
4. Akrilik

#### 3.2.2 Software

1. Matlab 2015
2. Genuino IDE
3. Solidwork 2016

### 3.3 Tahap penelitian

Tahap penelitian “Rancang Bangun Robot Tangan Bagi Penyandang Disabilitas Pasca Stroke Berbasis *Electromography*” mulai dari observasi kemudian perumusan masalah, studi literatur, pembuatan mekanik robot, pembuatan dan validasi algoritma pendeteksi keinginan manusia dengan EMG, pembuatan *embedded system* untuk pengendali robot tangan, pengujian sistem kendali berbasis EMG pada robot tangan, pengambilan dan analisa data kemudian ditarik kesimpulan. Secara sederhana tahapan penelitian yang akan dilakukan dapat digambarkan sebagai berikut :

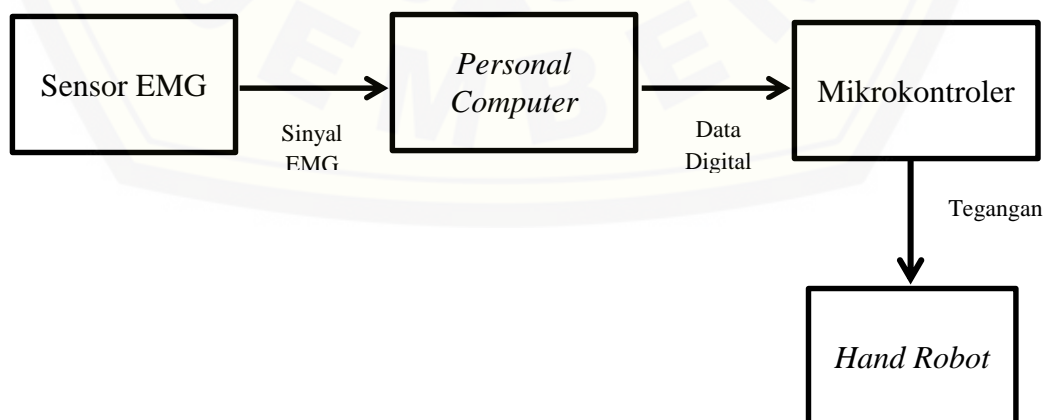


Gambar 3.1 Tahapan Penelitian

### 3.4 Rancangan Sistem

Rancangan dari “Rancang Bangun Robot Tangan Bagi Penyandang Disabilitas Pasca Stroke Berbasis *Electromography*” tersusun atas blok diagram *hardware*, *flowchart* sistem, desain mekanik, desain elektronika dan desain sistem kendali.

#### 3.4.1 Diagram Blok Sistem



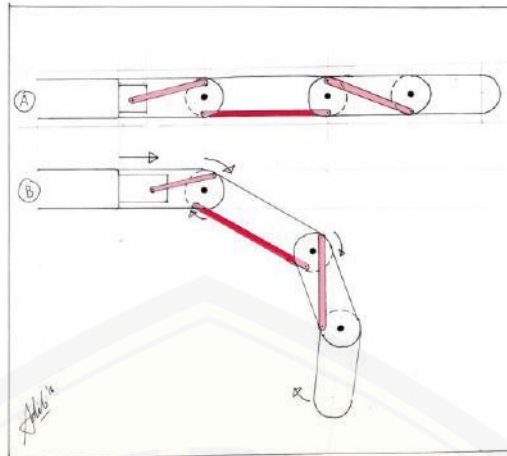
Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem

Diagram blok di atas merupakan sketsa cara kerja sistem secara keseluruhan yang melibatkan empat komponen utama yaitu sensor EMG, PC, mikrokontroler dan robot itu sendiri. Sensor EMG yang digunakan pada penelitian ini yaitu *Myoware Muscle Sensor* dan untuk mikrokontroler yaitu Genuino Uno. Pada tahap awal mengenai cara kerja sistem, sensor otot melakukan pembacaan sinyal EMG saat tangan melakukan gerakan. Kemudian sinyal tersebut di akuisisi ke komputer untuk diproses. Pada tahap kedua ini, data sinyal EMG akan diolah menggunakan algoritma ELM. Dalam proses pengolahan data menggunakan algoritma ELM terdapat beberapa tahap, mulai dari akuisisi, ekstraksi fitur, reduksi fitur dan klasifikasi.

Hasil akhir pada proses pengolahan data dengan algoritma ELM yaitu berupa data digital *high* atau *low*. Data logika *high* atau *low* digunakan untuk menentukan dua jenis gerakan pada robot yaitu membuka atau menggenggam. Kedua logika ini kemudian diproses dalam Genuino Uno untuk menentukan gerakan pada robot. Pada proses selanjutnya, Genuino mengirimkan data PWM ke *driver* L298 untuk menggerakkan motor linear yang terdapat pada robot.

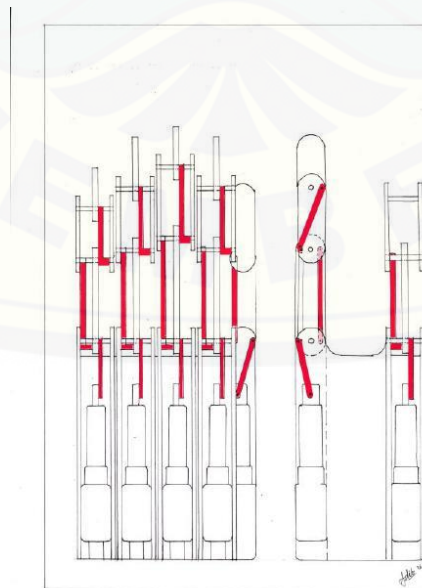
#### 3.4.2 Desain Mekanik Sistem

Rancangan persendian Jari-jari Tangan Robot pada penelitian ini menggunakan sistem engsel berlawanan. Sistem ini dipilih karena hanya menggunakan sedikit komponen sehingga memiliki kelemahan pada keterbatasan gerakan. Namun pada tangan robot ini tidak memerlukan gerakan yang bervariasi karena tujuan dari pembuatan tangan robot ini hanya sebagai terapi pada penderita stroke. Gambar 3.3 menunjukkan mekanisme kerja engsel berlawanan. Kondisi A menunjukkan sistem dalam keadaan diam dan kondisi B menunjukkan sistem jari-jari pada keadaan bergerak. Tanda panah menunjukkan gerakan sendi-sendi pada tangan robot.

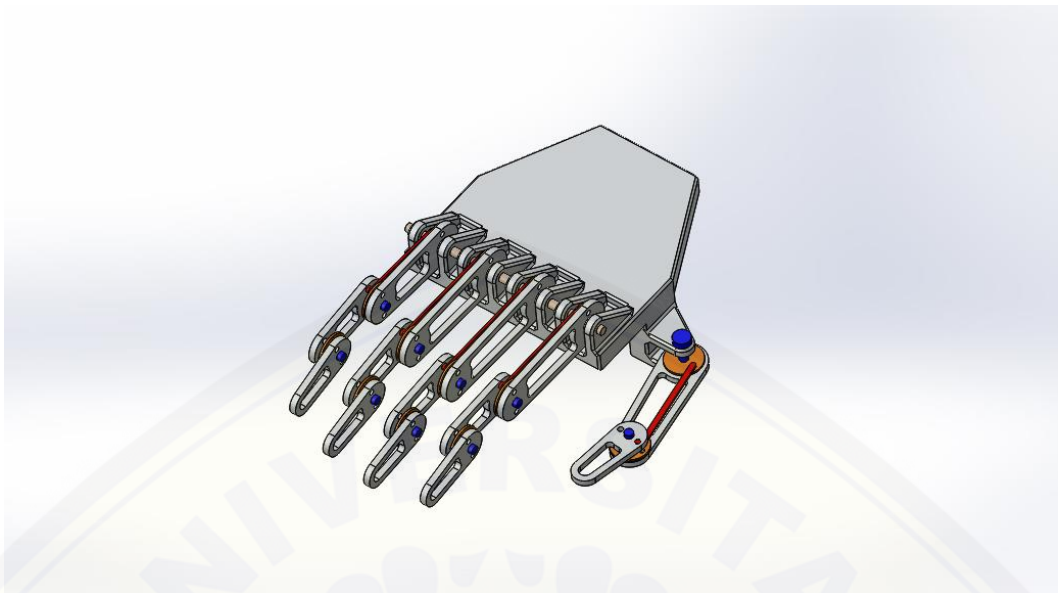


Gambar 3.3 Desain Jari-jari Robot Tangan

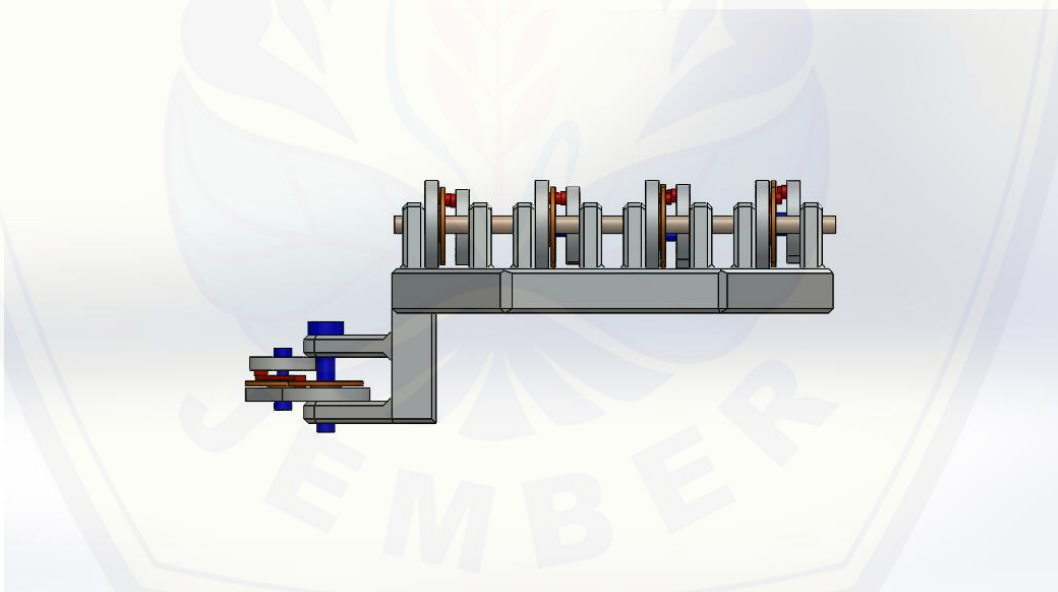
Pada gambar B saat aktuator bergerak maju maka engsel pertama berputar sehingga ruas pertama bergerak ke dalam. Pada saat tuas pertama (pink) mendorong maju ruas pertama, tuas kedua (merah) otomatis mundur dan menarik ruas kedua. Pada saat itu juga tuas ketiga (pink panjang) bergerak mundur akibat sendi kedua ditarik oleh tuas kedua. Tuas ketiga tersebut menarik ruas jari ketiga ke dalam. Pada rancangan prototype ini menggunakan bahan utama akrilik transparan untuk kemudahan pengamatan alat dan ringan serta mudah dibentuk. Rancangan robot secara keseluruhan ditunjukkan oleh Gambar 3.4. Dalam proses mendesain mekanik robot, menggunakan aplikasi *Solidworks*.



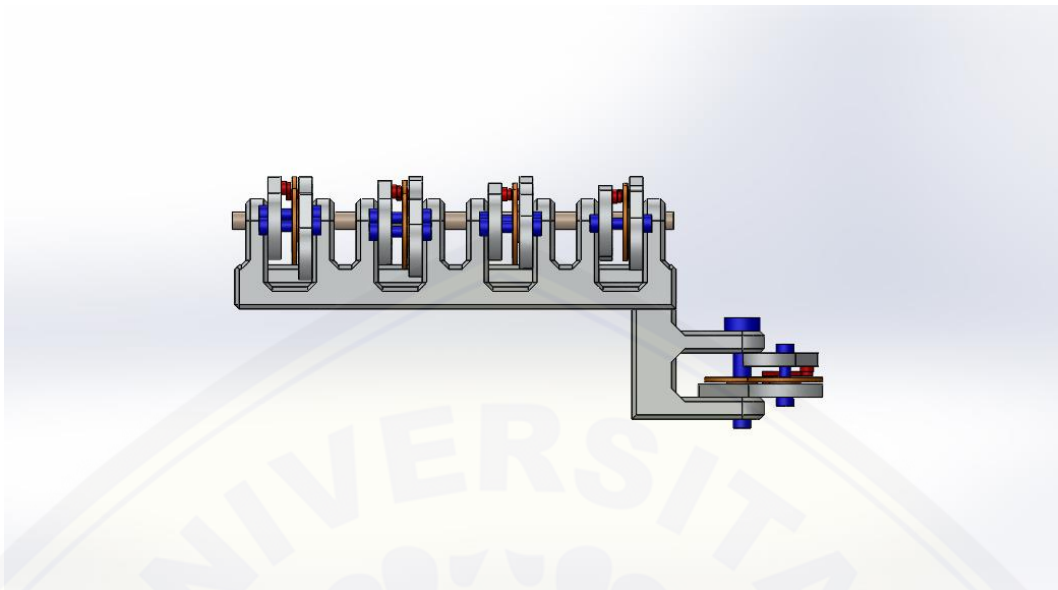
Gambar 3.4 Rancangan Robot Tangan Secara Keseluruhan



Gambar 3.5 Desain Mekanik Robot Tampak Atas Menggunakan Aplikasi *Solidworks*



Gambar 3.6 Desain Mekanik Robot Tampak Belakang Menggunakan Aplikasi *Solidworks*

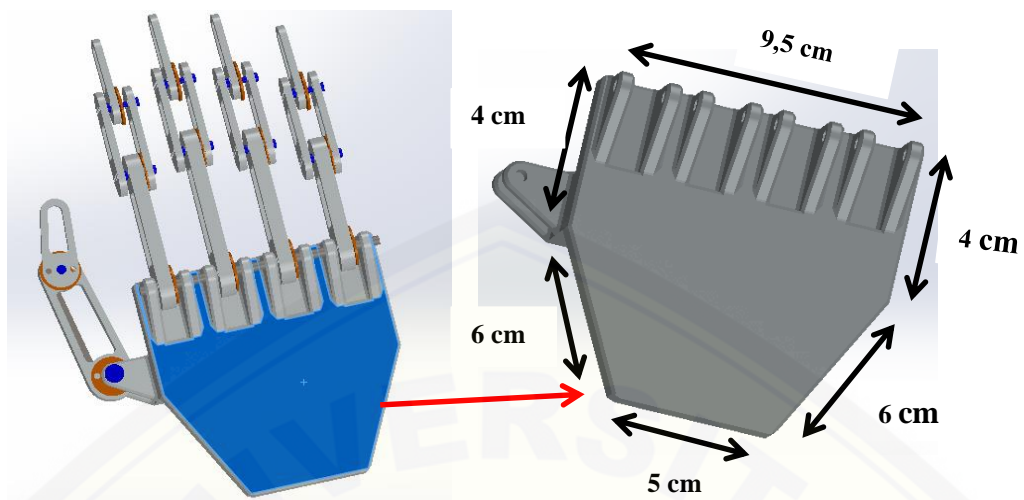


Gambar 3.7 Desain Mekanik Robot Tampak Depan Menggunakan Aplikasi *Solidworks*

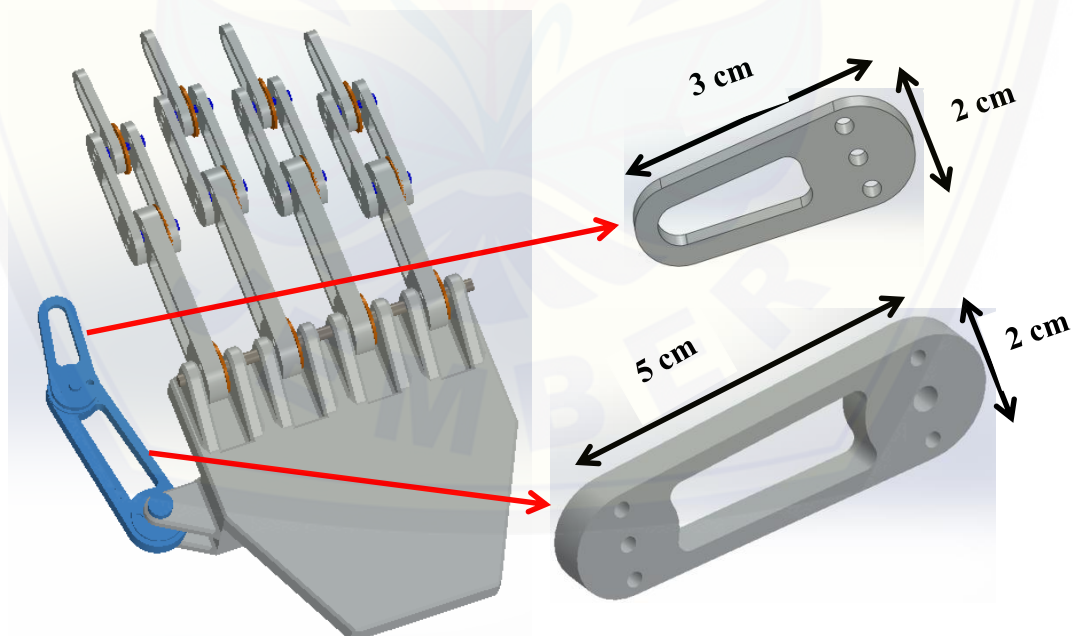


Gambar 3.8 Desain Mekanik Robot Tampak Samping Menggunakan Aplikasi *Solidwork*.

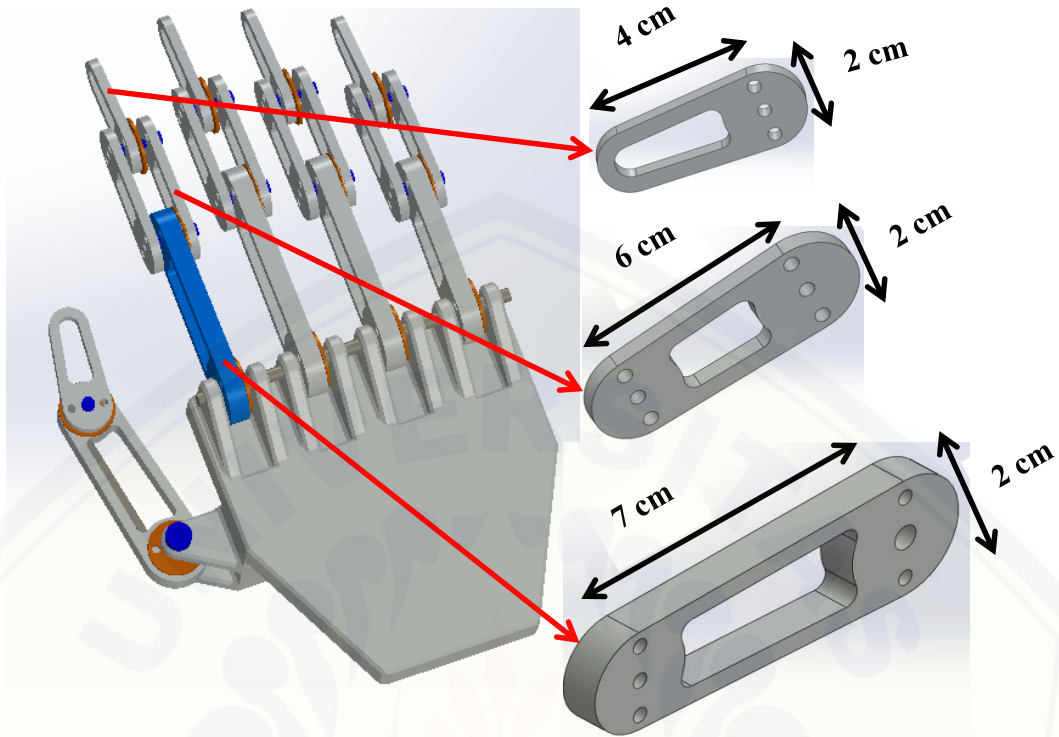




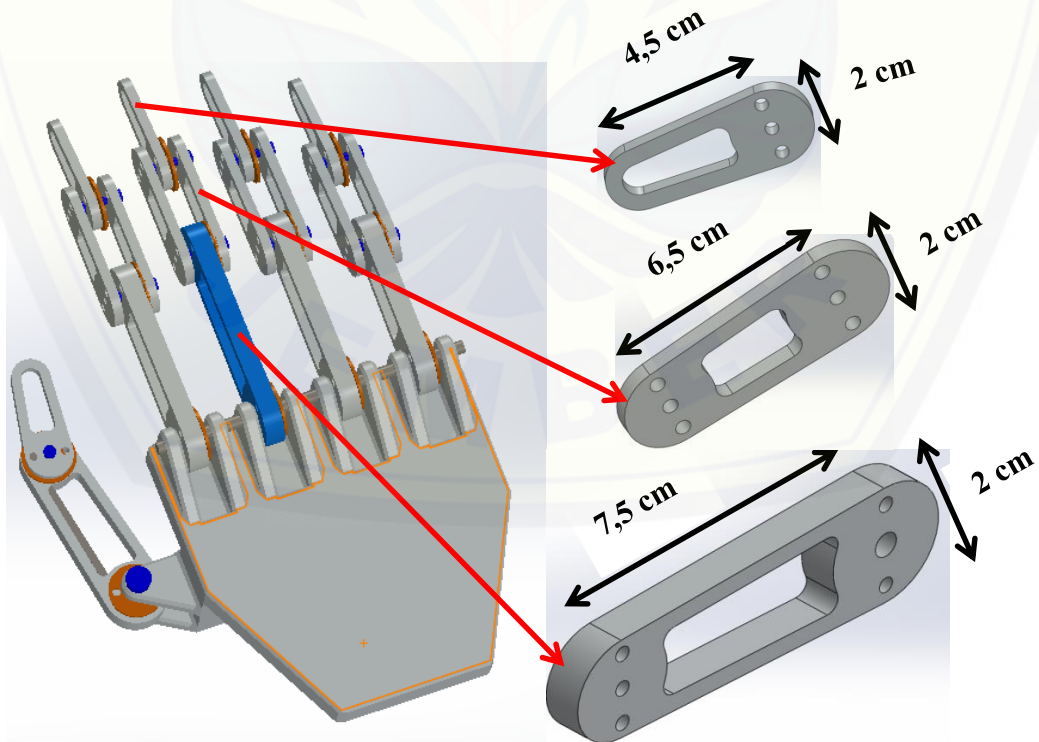
Gambar 3.9 Desain Mekanik Bagian Telapak Tangan



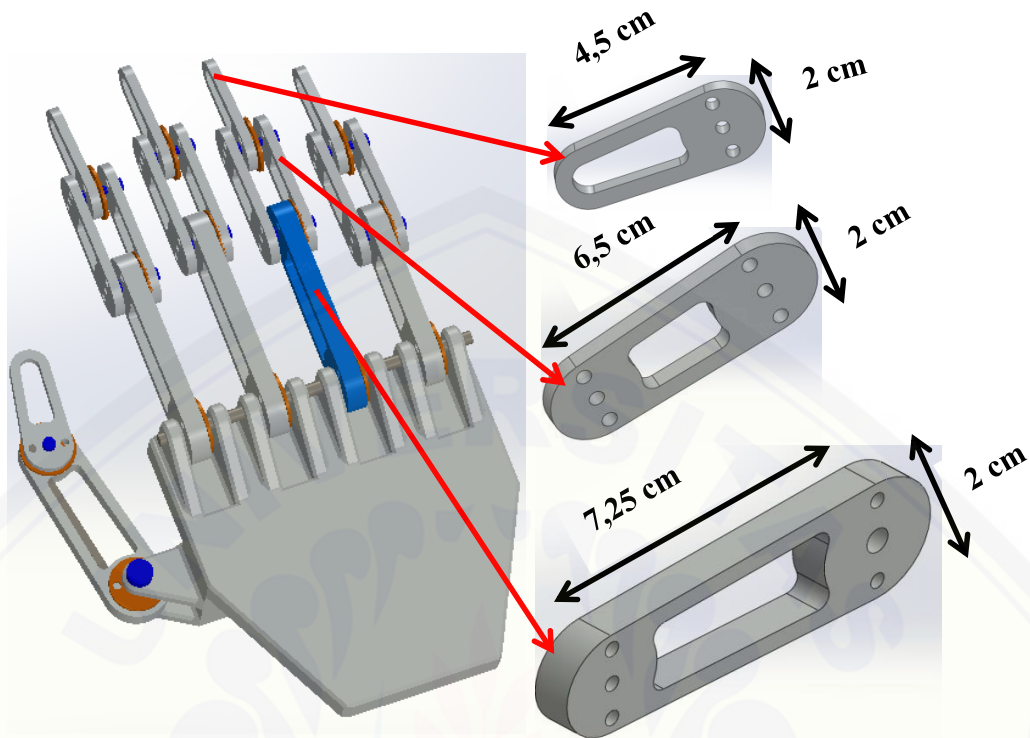
Gambar 3.10 Desain Mekanik Bagian Ibu Jari



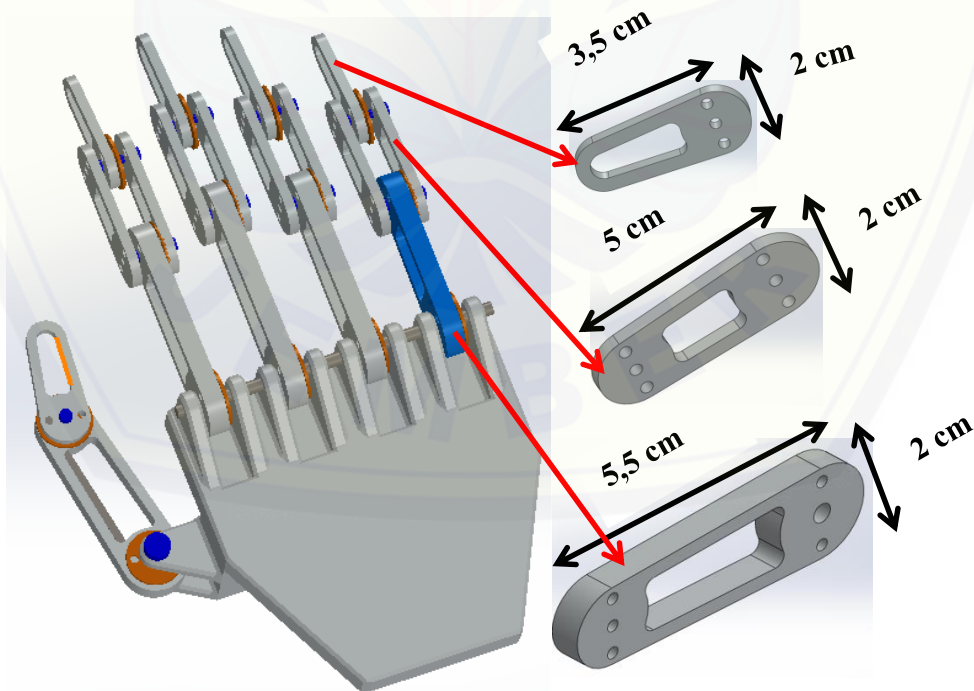
Gambar 3.11 Desain Mekanik Bagian Jari Telunjuk



Gambar 3.12 Desain Mekanik Bagian Jari Tengah

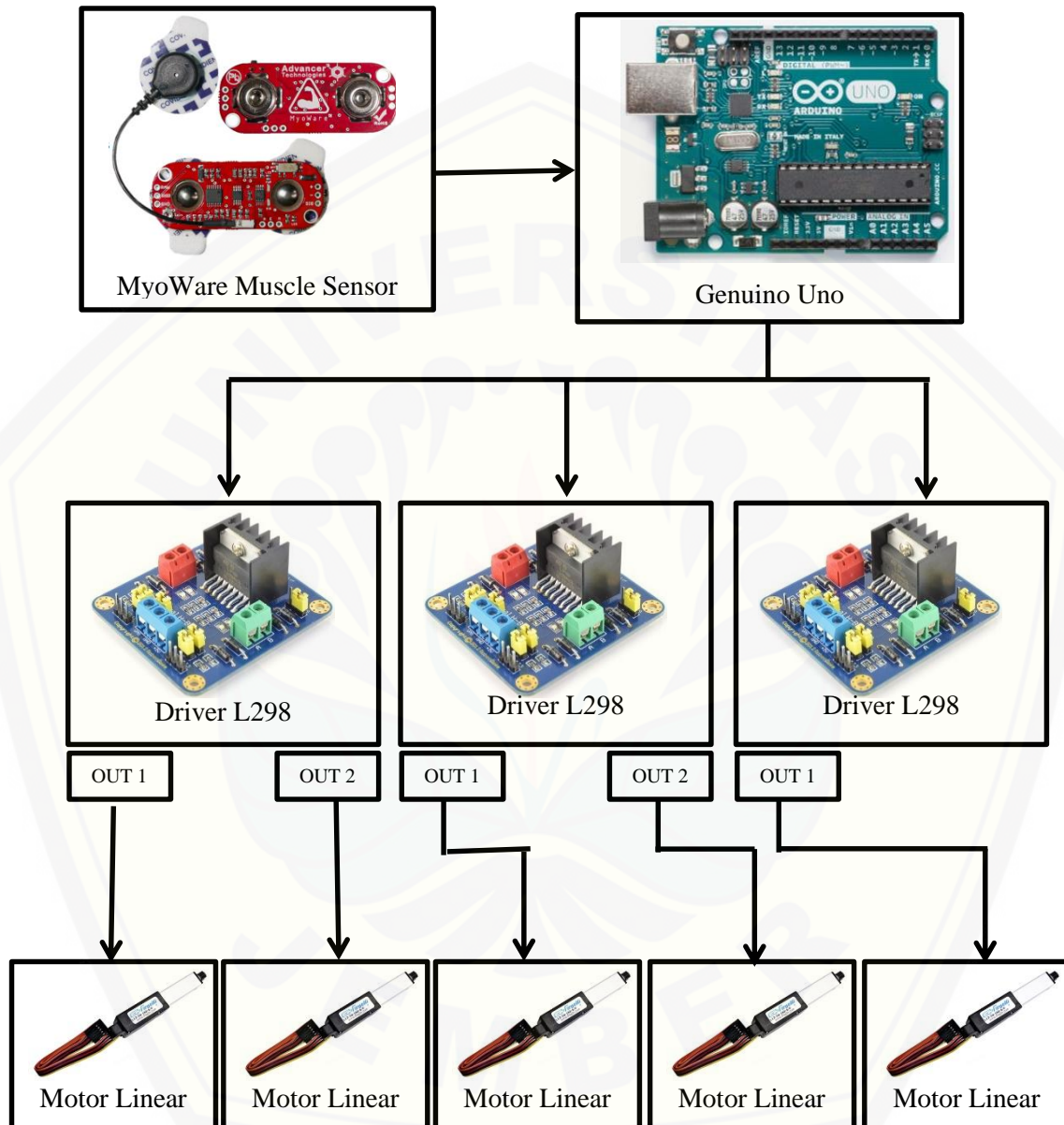


Gambar 3.13 Desain Mekanik Bagian Jari Manis



Gambar 3.14 Desain Mekanik Bagian Jari Kelingking

3.4.3 Desain Elektronika



Gambar 3.15 Diagram Blok Desain Elektronika

Pada desain elektronika menggunakan empat komponen utama yaitu, sensor EMG, Genuino Uno, driver motor L298 dan motor linear. Sensor EMG pada sistem berfungsi sebagai sensor untuk membaca dan akuisisisinyal EMG dari otot tangan dan kemudian diproses menggunakan algoritma ELM pada PC sebelum diolah kembali pada Genuino Uno. Data keluaran dari pengolahan sinyal EMG diteruskan ke Genuino Uno untuk kemudian diproses kembali untuk menggerakkan motor. Pada sistem ini Genuino Uno berperan menentukan gerakan motor untuk membuka atau menutup berdasarkan data hasil olah sinyal EMG menggunakan algoritma ELM.

Dalam mekanisme menggerakkan motor linear, pada sistem ini menggunakan driver motor L298. Perlu diketahui pada *datasheet* motor linear, *input* tegangan motor yaitu sebesar 12V sedangkan Genuino Uno sendiri hanya menghasilkan tegangan keluaran tidak lebih dari 5V sehingga perlu menggunakan driver motor L298. Modul driver motor L298 yang digunakan ini mampu mengendalikan dua motor linear sekaligus sehingga hanya membutuhkan tiga modul driver untuk mengendalikan lima motor linear. Untuk konfigurasi pin yang terhubung pada Genuino Uno dapat dilihat pada tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel 3.2 Konfigurasi Pin Pada Genuino Uno

No.	Komponen	Pin Genuino Uno
1.	Sensor EMG 1	Pin A4, GND, VCC
2.	Sensor EMG 2	Pin A5, GND, VCC
3.	Modul Driver L298 (1)	Out 1 : Pin 2, Pin 3, Pin 5 (PWM), GND, VCC Out 2 : Pin 4, Pin 6 (PWM), Pin 7, GND, VCC
4.	Modul Driver L298 (2)	Out 1 : Pin 12, Pin 9 (PWM), Pin 13, GND, VCC Out 2 : Pin 11 (PWM), Pin A0, Pin A1, GND, VCC
5.	Modul Driver L298 (3)	Out 1: Pin 10 (PWM), Pin A2, Pin A3, GND, VCC

### 3.4.4 Desain Sistem Kendali dan Algoritma ELM

Pada desain sistem kendali, dalam hal ini berkaitan dengan tahapan pengolahan data sinyal EMG sebelum sistem mengendalikan robot. Pada tahap ini akan dijelaskan secara detail proses olah data sinyal EMG mulai dari proses akuisisi hingga klasifikasi.

#### 3.4.4.1 Akuisisi Sinyal EMG

Data akuisisi sinyal EMG menggunakan sensor MyoWare™, sensor ini mampu mengukur aktivitas elektrik saat otot berkontraksi. Sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 3.4 jumlah sensor yang digunakan adalah dua buah. Sepuluh orang sehat akan berpartisipasi dalam pengambilan data. Sensor akan ditempatkan pada lengan obyek untuk mendapatkan sinyal dari otot *flexor carpi ulnaris* dan *extensor digitorum*.

Dalam penelitian ini, proses akuisisi dilakukan terhadap lima subjek uji yang berbeda. Dimana kelima subjek ini akan melakukan tiga jenis gerakan yaitu genggam ringan (*low force*), genggam sedang (*medium force*) dan genggam kuat (*strong force*). Pada setiap pengujian dilakukan selama 50 detik dan dilakukan enam kali perulangan pada setiap gerakan.

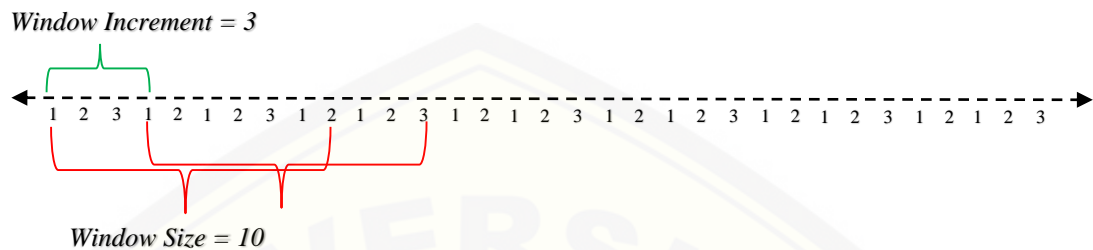


Gambar 3.19 MyoWare™ Muscle Sensor untuk akuisisi sinyal EMG

#### 3.4.4.2 Ekstraksi Fitur

Pada tahap berikutnya yaitu proses ekstraksi fitur dari data sinyal EMG yang telah di akuisisi pada proses sebelumnya. Pada proses ekstraksi ini melibatkan dua variabel yaitu *window size* dan *window increment*. *Window size*

adalah jumlah banyak data yang di ekstrak sedangkan *window increment* merupakan nilai interval nya atau nilai pergeserannya seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.20



Gambar 3.20 *Window Size* dan *Window Increment*

Pada gambar di atas merupakan gambaran proses ekstraksi data yang melibatkan variabel *window size* dan *window increment*. Pada gambar 3.20 nilai *window size* sebesar 10 karena pada gambar tersebut jumlah banyak data yang di ekstrak yaitu sebanyak 10 data yang terdiri dari 1,2,3,1,2,1,2,3,1 dan 2. Kemudian dilanjutkan lagi proses ekstraksi sebanyak 10 data dimulai data keempat atau dari proses ekstraksi pertama berjarak 3 data dengan kata lain nilai *window increment* pada gambar 3.20 sebesar 3.

Perlu diketahui, setelah data dari proses akuisisi telah tersimpan maka data dari setiap subjek akan dibagi tiga yaitu dibedakan berdasarkan tiga jenis gerakan yang dilakukan yaitu genggam ringan (*low force*), genggam sedang (*medium force*) dan genggam kuat (*strong force*). Dari data setiap gerakan, misalnya data untuk genggam ringan (*low force*) pada subjek pertama, seluruh data dari percobaan pertama hingga keenam digabung menjadi satu dalam matriks (1 x  $n$  data). Data dari proses ekstraksi bergantung pada variabel *window size* dan *window increment* seperti yang digambarkan pada gambar 3.20. Kombinasi nilai *window size* dan *window increment* agar menghasilkan akurasi terbaik akan di analisa pada bab empat.

Fitur yang digunakan pada penelitian kali ini yaitu pertama nilai akar kuadrat rata-rata atau *root mean square* (RMS) kemudian nilai rata-rata mutlak atau *mean absolute value* dan varians (VAR). Ketiga fitur ini digunakan untuk

proses klasifikasi gerakan diman dari tiga fitur ini sistem akan semakin banyak memiliki informasi dan pola-pola data. Berikut adalah rumus-rumus dari beberapa fitur yang digunakan pada proses ekstraksi data ini,

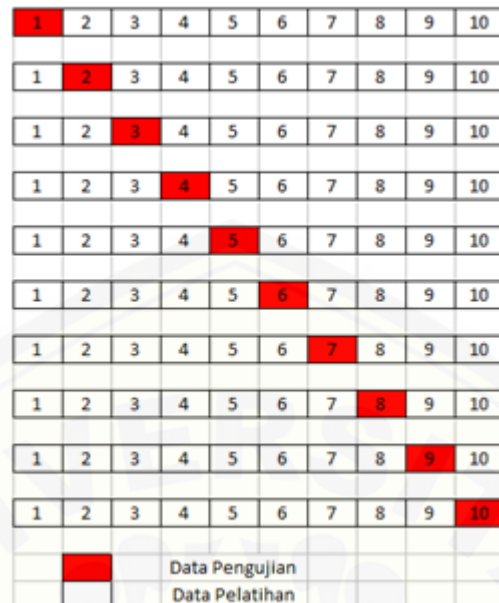
$$MAV = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |x_n| \quad VAR = \frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N |x_n^2|$$

#### 3.4.4.3 Klasifikasi

Pada tahap klasifikasi semua data hasil proses ekstraksi fitur akan di *training* menggunakan algoritma ELM (*Extreme Learning Machine*) dengan jumlah *hidden node* yang diubah-ubah nilainya untuk mencari nilai akurasi terbaik. Tahap selanjutnya setelah proses *training* data yaitu proses *testing* yaitu untuk mengetahui tingkat akurasi dan *error*. Pada proses *training* dan *testing* data menggunakan metode validasi silang atau *cross validation*. Pada penelitian ini menggunakan 10 *cross validation*.

Kumpulan data yang akan di *training* akan dibagi menjadi 10 kelompok data secara acak. Dari 10 kelompok data tersebut sembilan kelompok data akan menjadi data *training* dan satu kelompok data lainnya akan menjadi data *testing*. Proses *training* dan *testing* akan dilakukan sebanyak 10 kali dengan data *training* dan *testing* yang diubah-ubah. Dengan begitu pada tahap *training* dan *testing* data ini akan menghasilkan 10 nilai akurasi. Dengan metode ini sistem akan teruji lebih maksimal dan mampu membaca lebih banyak kemungkinan. Proses pengelompokan data *training* dan *testing* dapat dilihat pada gambar 3.21 seperti di bawah ini,

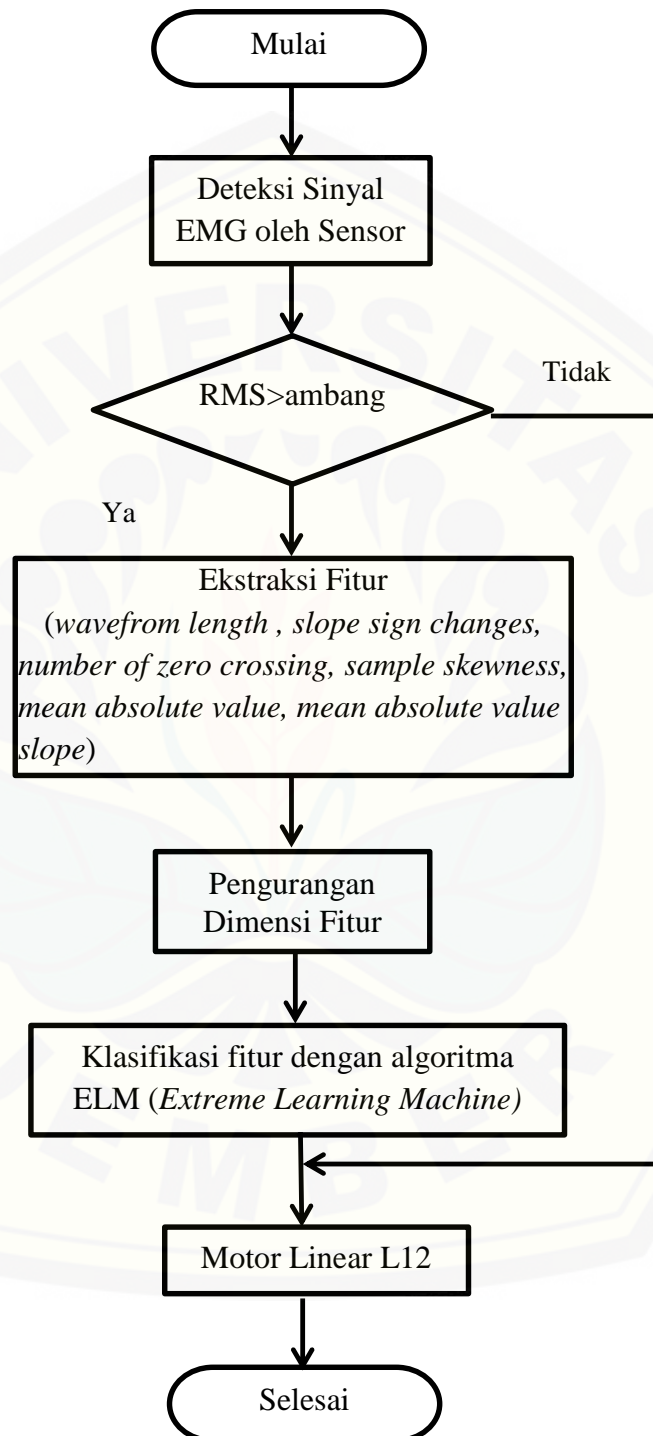




1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1								

Gambar 3.21 Data *Training* dan *Testing Cross Validation*

## 3.5 Flowchart Sistem



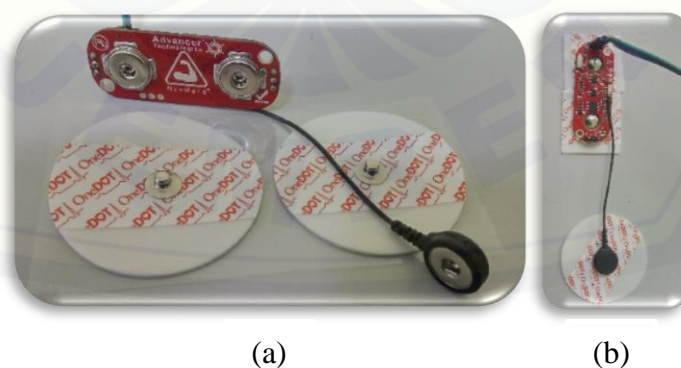
Gambar 3.20 Flowchart Sistem

Pada *flowchart* di atas, dimulai dengan proses deteksi sinyal EMG oleh sensor myoware yang terpasang pada otot tangan, kemudian sinyal EMG yang berupa sinyal *raw* EMG diproses, jika nilai RMS dari sinyal tersebut kurang dari nilai ambang, maka sinyal tersebut bisa langsung diproses oleh sistem pengendali, jika nilai RMS melebihi ambang, maka terlebih dahulu harus melalui proses, ekstraksi fitur, reduksi fitur dan proses klasifikasi fitur dengan menggunakan algoritma ELM. Perlu diketahui, nilai ambang diperoleh dari hasil pengukuran sinyal EMG dari lima orang sehat. Pengukuran sinyal EMG tersebut meliputi kondisi saat tangan membuka dan saat tangan menutup. Sinyal EMG yang diperoleh dari aktivitas otot setiap orang sangat variatif dikarenakan banyak faktor yang mempengaruhi, diantaranya jenis kelamin, usia dan kondisi fisik.

### 3.6 Prosedur Akuisisi Data Sinyal EMG

Pada subbab ini membahas mengenai hal-hal yang harus diperhatikan dalam melakukan proses perekaman data sinyal EMG menggunakan *Myoware Muscle Sensor*. Semua tahapan yang dirangkum dalam prosedur ini perlu diperhatikan secara seksama karena dalam proses pengambilan data banyak faktor yang dapat mempengaruhi data hasil akuisisi. *Myoware Muscle Sensor* memiliki tingkat sensitivitas yang sangat tinggi sehingga perlu ada prosedur standar untuk melakukan akuisisi data. Tahapan prosedur akuisisi data sinyal EMG dapat dilihat di bawah ini,

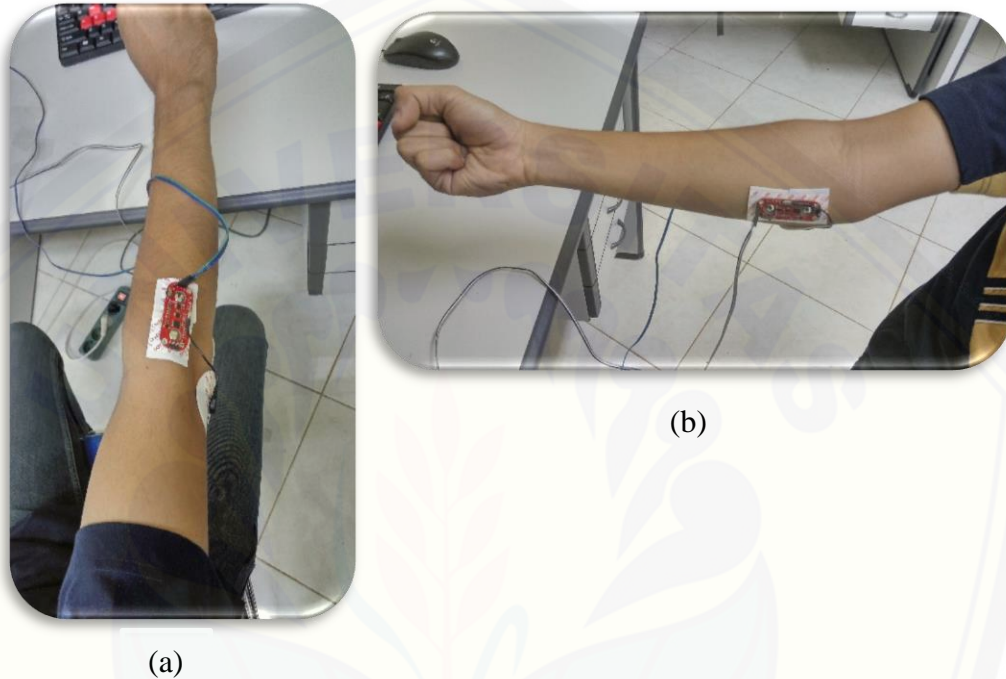
1. Menyiapkan komponen-komponen *hardware* dan *software* yang terdiri dari Arduino Uno, dua buah *myoware muscle sensor*, elektroda tempel, kabel USB dan *jumper*. Untuk *software* yang digunakan yaitu Matlab 2015b. Setelah itu merangkai sensor dengan Arduino, pin data sensor dihubungkan dengan pin analog pada Arduino.
2. Membersihkan permukaan kulit pada tangan yang akan ditempel elektroda, hal ini bertujuan agar elektroda dapat menempel dengan sempurna sehingga mampu merekam sinyal EMG dengan baik.
3. Menghubungkan elektroda dengan *myoware muscle sensor* seperti pada gambar 3.21 di bawah ini,



Gambar 3.21 (a) Elektroda dan *Myoware Muscle Sensor*.

(b) Elektroda dan *Myoware Muscle Sensor* yang sudah terpasang

- Meletakkan kedua *myoware muscle sensor* dengan ketentuan, untuk sensor 1 diletakkan pada otot *extensor digitorum* seperti pada gambar 3.22 (a), dan untuk sensor 2 diletakkan pada otot *flexor carpi urnalis* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.22 (b) di bawah ini,



Gambar 3.22 (a). Posisi sensor pada otot *extensor digitorum*

(b). Posisi sensor pada otot *flexor carpi urnalis*

- Sebelum Arduino dihubungkan pada PC, pada tahap pengujian sikap badan tegak dan tangan dihadapkan ke atas dengan siku yang bertumpu pada paha seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.23. Selain itu dianjurkan untuk menggunakan alas kaki atau sepatu.



Gambar 3.23. Sikap Badan saat Proses Akuisi Data Sinyal EMG

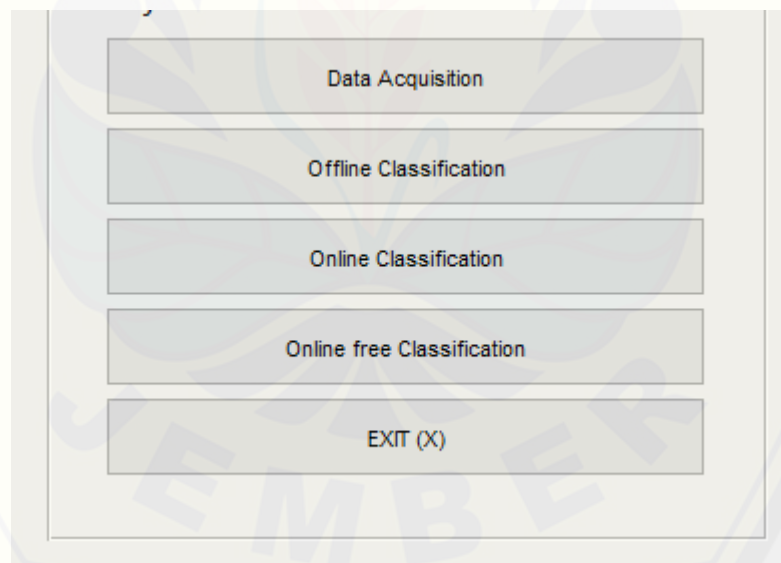
6. Menghubungkan Arduino Uno ke PC dan dilanjutkan dengan membuka *software* Matlab 2015b.
7. Sebelum program di *running*, *switch* pada kedua sensor diubah ke posisi ON.
8. Proses pengujian dilakukan dengan tiga jenis gerakan, yaitu menggenggam ringan (*Low Force*), menggenggam sedang (*Medium Force*) dan menggenggam kuat (*Strong Force*). Untuk setiap jenis gerakan dilakukan sebanyak enam kali perulangan. Jadi setiap subjek uji total melakukan 18 kali proses pengujian rekam sinyal EMG.
9. Setiap satu pengujian dibutuhkan waktu selama 50 detik, dengan ketentuan pada 5 detik pertama tangan dalam posisi rileks atau istirahat, kemudian pada 5 detik berikutnya melakukan gerakan menggenggam. Proses diulang hingga pada detik ke-50. Perlu digarisbawahi, selama proses akuisisi data sikap tangan dan sikap badan tidak dianjurkan untuk melakukan gerakan yang tidak perlu atau gerakan yang di luar prosedur karena akan mempengaruhi hasil rekam sinyal EMG.

10. Setelah setiap subjek uji selesai melakukan proses pengujian, untuk pengujian selanjutnya yang melibatkan subjek uji lain elektroda tempel yang digunakan harus menggunakan yang baru.

### 3.7 Prosedur *Running* Program Olah Data EMG pada Matlab.

Pada subbab ini membahas mengenai tata cara penggunaan *running program* yang menggunakan Matlab 2015 mulai dari proses akuisisi data, olah data EMG hingga klasifikasi gerakan. Listing program dari setiap tahapan proses dibuat terpisah namun untuk proses *running* dibuat menjadi satu *main window*. Berikut penjelasan mengenai prosedur penggunaan dan fungsi dari setiap menu pada program olah data EMG yang dibuat dengan *software* Matlab 2015,

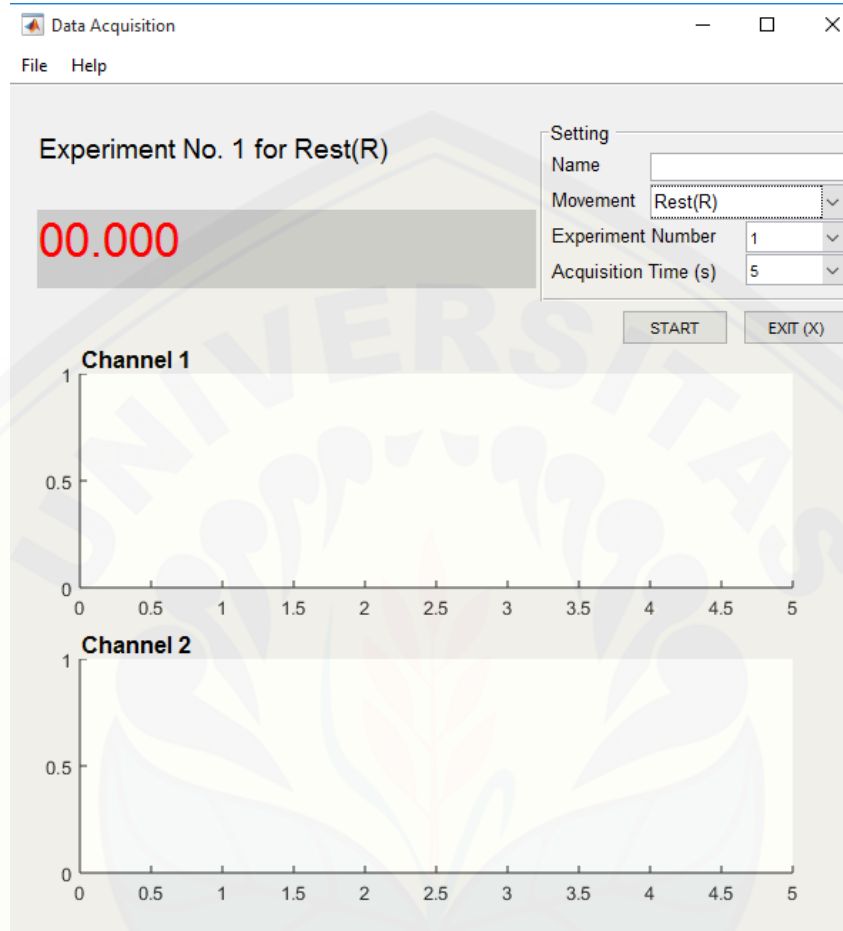
#### 1. *Main Window*



3.24 Tampilan *Main Window*

Pada gambar 3.24 merupakan tampilan menu utama dari program untuk olah data EMG yang dirancang dengan menggunakan *software* Matlab. Pada menu utama ini terdapat beberapa submenu yaitu diantaranya, *data acquisition*, *offline classification*, *online classification*, *online free classification* dan *exit*.

## 2. Data Acquisition



Gambar 3.25 Tampilan Menu *Data Acquisition*

Pada gambar 3.25 merupakan tampilan dari menu *Data Acquisition*. Pada menu ini digunakan saat proses akuisisi data EMG menggunakan *Myoware Sensor*. Sebelum melakukan proses akuisisi, pada bagian pojok atas terdapat menu *setting* untuk mengisi informasi pada kolom menu. Beberapa informasi yang harus diisi pada kolom-kolom menu sebelum proses akuisisi yaitu diantaranya,

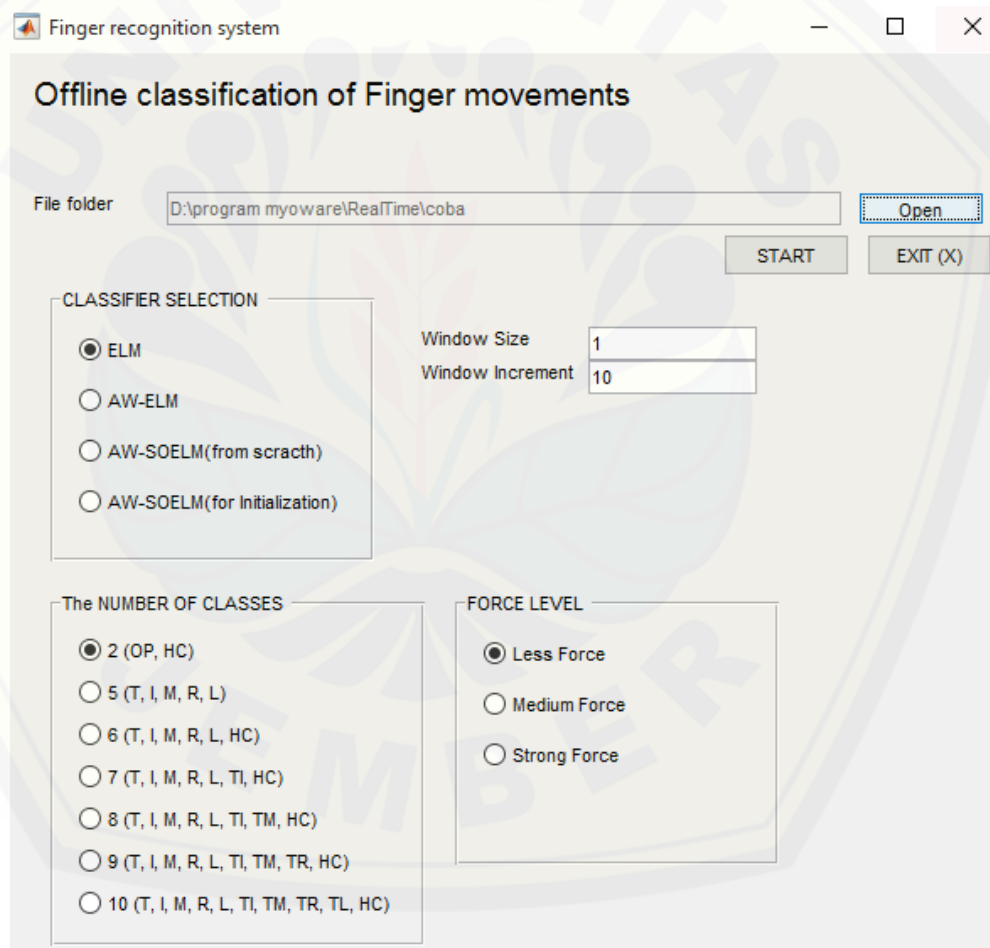
- a. *Name* : Untuk memberi nama folder data hasil akuisisi
- b. *Movement* : Pada menu ini terdapat tiga pilihan yaitu *Rest (R)*, *Less Force (LF)*, *Medium Force (MF)* dan *Strong Force (SF)*.



- c. *Experiment Number* : Pada menu ini digunakan untuk mengatur jumlah repetisi atau pengulangan proses akuisisi data.
- d. *Acquisistion Time (s)* : Pada menu ini berfungsi untuk mengatur lama waktu proses akuisisi data EMG dalam satuan detik.

### 3. *Offline Classification*

Pada menu ini digunakan dalam tahap menentukan nilai akurasi dan *error*. Semua data hasil akuisisi yang telah dilakukan pada tahap pertama akan diolah pada tahap ini.



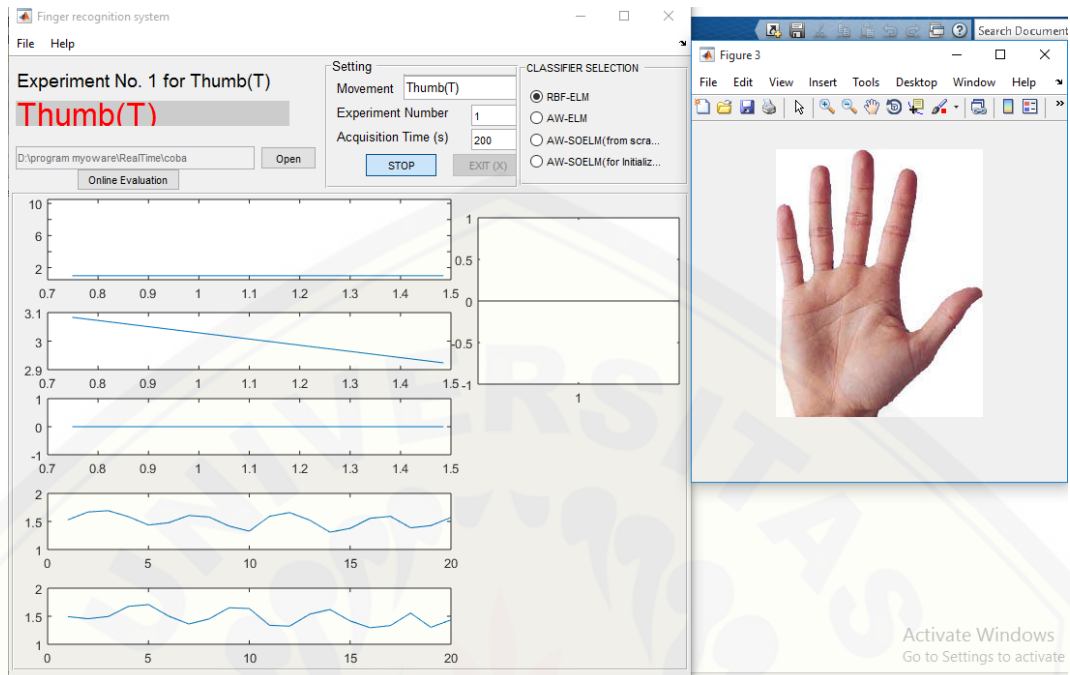
Gambar 3.26 Tampilan Menu *Offline Classification*

Pada menu *offline classification* terdapat beberapa menu yang berisi informasi yang harus dilengkapi terlebih dahulu untuk memulai proses klasifikasi.

- a. Langkah pertama, *open folder* hasil akuisisi data yang akan diolah.
- b. Pada menu *classifier selection*, pilih “ELM” karena pada penelitian ini menggunakan algoritma ELM.
- c. Pada Menu *the number of classes*, pilih “2 (OP,HC)” karena pada tahap ini hanya mengklasifikasi dua gerakan dasar yaitu membuka dan menggenggam.
- d. Pada menu *force level* pilih salah satu jenis gerakan dan harus disesuaikan dengan file yang akan diolah, misal jika memilih *file less force* atau menggenggam ringan maka pada menu *force level* harus memilih *less force*.
- e. Pada menu *window size* dan *window increment*, dapat diisi dengan nilai yang diinginkan hingga menghasilkan nilai akurasi terbaik. Setelah semua informasi terisi lengkap maka langkah selanjutnya yaitu menekan tombol *start* untuk memulai proses klasifikasi.

#### 4. *Online Classification*

*Online classification* merupakan tahap terakhir pengujian sebelum algoritma diujikan langsung menggunakan robot tangan. Pada tahap ini hasil pengujian dari tahap sebelumnya dapat diketahui langsung dengan visual *real time*. Mekanisme dari pengujian *online classification* ini yaitu saat program dijalankan, maka hasil klasifikasi dapat langsung dilihat. Jadi saat tangan kita melakukan gerakan pada jendela menu akan tampil gambar tangan dan gambar tersebut dapat berubah sesuai dengan tangan dalam hal ini gerakan yang dihasilkan yaitu membuka dan menggenggam.



Gambar 3.27 Tampilan Menu *Online Classification*

Pada gambar 3.27 merupakan tampilan menu dari pengujian *online classification*. Sebelum menjalankan program, terdapat beberapa informasi yang harus dilengkapi pada kolom-kolom menu, yaitu diantaranya

- Pada menu *experiment number* dapat mengatur jumlah repetisi atau perulangan dalam melakukan pengujian.
- Pada menu *acquisition time*, dapat mengatur waktu yang dibutuhkan dalam satu kali pengujian.

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari serangkaian tahapan pengujian dapat disimpulkan bahwa, yaitu

1. Berdasarkan data hasil pengujian, semakin kecil nilai *window size* dan *window increment* nilai akurasi yang dihasilkan semakin besar. Saat nilai *window size* 10 dan *window increment* 1 nilai akurasi yang dihasilkan 87,56±7,06 saat *less force*, 91,41±5,68 saat *medium force* dan 91,01±2,62 saat *strong force*. Hal ini menunjukkan saat *window size* bernilai 10 dan *window increment* bernilai 1 data yang diekstraksi jauh lebih maksimal sehingga sistem akan mampu merekam lebih banyak kemungkinan.
2. Selanjutnya, pada tahap akhir pengujian yaitu saat *online classification* nilai akurasi saat gerakan genggam ringan atau *less force* selalu memiliki nilai akurasi terkecil. Jika di rata-rata dari kelima subjek saat melakukan gerakan genggam ringan atau *less force* yaitu hanya sebesar 61,9±2,63. Hal ini dipengaruhi oleh kemampuan sensor yang semakin terbatas saat merekam sinyal EMG pada kondisi *less force*. Karena pada kondisi genggam ringan, kekuatan otot yang dihasilkan sangat kecil dan ini menjadi dasar sistem yang diharapkan mampu mengidentifikasi sinyal EMG pada penderita disabilitas pasca stroke.

## 5.2 Saran

Pada penelitian ini masih banyak terdapat kekurangan di beberapa bagian dan harus dilakukan pengembangan dan inovasi pada penelitian selanjutnya agar wujud dari penelitian ini benar-benar mampu diterapkan pada masyarakat khususnya bagi penderita disabilitas pasca stroke. Berikut beberapa hal yang perlu dilakukan perbaikan pada penelitian yaitu diantaranya,

1. Pada bagian desain mekanik perlu adanya inovasi dalam desain awal robot tangan, karena pada desain yang digunakan dalam penelitian ini masih sangat sederhana dan belum mampu melakukan gerakan membuka dan menutup tangan dengan sempurna.
2. Bahan dasar pada mekanik robot yang menggunakan akrilik masih dirasa terlalu berat jika diterapkan langsung pada pasien. Desain mekanik disarankan dibentuk menggunakan printer 3D karena filament yang menjadi bahan dasarnya memiliki bobot yang jauh lebih ringan.
3. Pada komponen sensor yaitu pada sensor otot *Myoware* dengan akurasi pembacaannya sejauh ini hanya mampu mengklasifikasi dua jenis gerakan saja. Jika harus melakukan klasifikasi untuk gerakan kombinasi cukup sulit karena tingkat akurasi pembacaan dari sensor yang kurang baik. Sensor otot dengan jenis *Myo Arm band* adalah salah satu sensor otot yang disarankan jika sistem diharuskan mampu mengklasifikasi lebih dari dua jenis gerakan.

**DATAR PUSTAKA**

- Advancer Technologies. (2015). *MyoWare™ Muscle Sensor*. Retrived from [www.advancertechnologies.com](http://www.advancertechnologies.com)
- Anam, khairul dan Adel Al-Jumaily. (2014). *Swarm-wavelet based Extreme Learning Machine for Finger Movement Classifications on Transradial Amputees*. Jurnal IEEE
- Arifin, Fatchul (2013). *Klasifikasi Intonasi Wicara Berbasis Sinyal EMG Otot Leher*. Laporan Akhir Penelitian Disertasi Doktor Universitas Negeri Yogyakarta.
- Bain Khusnul dkk. (2010). *Kinerja Metode Extreme Learning Machine (ELM) pada Sistem Peramalan*. Jurnal Simantec. Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Trunojoyo Madura
- De Luca, C. (2006). *Electromyography Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation*: John Wiley & Sons, Inc.
- Gabriel, J.F (1996). *Fisika Kedokteran*. Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta
- Guyton, Arthur C. (1995). *Human Physiology and Mechanism of Disease*. Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta
- J.Cao,Z.,Lin and G,B.Huang,. (2012) *Self–adaptive evolutionary extreme learning machine, “Neural processing letters”*.
- Khushaba, R. (2010). *Application of Biosignal-Driven Intelligent Systems for Multifunction Prosthesis Control*. University of Technology, Sydney.
- Nomiyasari, Ratna Adil, Paulus Susetyo W, *Perancangan Dan Pembuatan ECG dan EMG Dalm Satu Unit PC. Sub Judul: Pembuatan Rangkaian EMG dan Software Emg Pada Pc*. Artikel Jurusan Teknik Elektronika, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya. “1 , 2 , 3 4,” pp. 1–9. 2011.
- Quach, Jee Hong. 2007. *Surface Electromyography: Use, Design & Technological Overview*. Concordia University.
- Rehab-robotics. (2016). *Hand of Hope*. Retrieved from <http://www.rehab-robotics.com/>

Starr, Cecie dkk. (2009). *The Unity and Diversity of Life*. Penerbit Salemba Teknika. Jakarta.

Yastroki. (2007). *Angka Kejadian Strokre Meningkat Tajam*. Retrieved from <http://www.yastroki.or.id/read.php?id=317>

