



**PERANCANGAN SISTEM KENDALI PADA PERGERAKAN
JARI ROBOT TANGAN BAGI PENDERITA DISABILITAS
AMPUTASI MENGGUNAKAN *EXTREME LEARNING*
MACHINE BERBASIS KOMPUTER**

SKRIPSI

Oleh

Mutiara Nurwidyaning Lusi

NIM 141910201080

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO STRATA 1
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**



**PERANCANGAN SISTEM KENDALI PADA PERGERAKAN
JARI ROBOT TANGAN BAGI PENDERITA DISABILITAS
AMPUTASI MENGGUNAKAN *EXTREME LEARNING*
MACHINE BERBASIS KOMPUTER**

SKRIPSI

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

Oleh

Mutiara Nurwidyaning Lusi

NIM 141910201080

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO STRATA 1
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, atas berkat rahmat Allah Subhanahu Wa Ta'ala serta kasih sayang-Nya yang melimpah kepada seluruh alam serta kepada hamba-hamba-Nya, sehingga saya bisa menyelesaikan penelitian ini.

Akhirnya, saya persembahkan skripsi ini kepada.

1. Kedua orangtua, Ibu Erlina Dewi Hapsariningsih dan Bapak Otok Puguh Widodo;
2. Guru-guru dan dosen sejak taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi;
3. Almamater tercinta, Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember;
4. Serta seluruh teman-teman yang penulis kenal dan teman-teman yang membaca skripsi ini.

MOTTO

Karena sesungguhnya sesudah kesulitan ada kemudahan.

Sesudah kesulitan ada kemudahan.

(QS Al-Insyrah : 5-6)

Jika kamu tidak kuat menahan lelahnya belajar, maka kamu harus sanggup menahan perihnya kebodohan.

(Imam Syafi'i)

Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagimu. Dan boleh jadi kamu mencintai sesuatu, padahal ia amat buruk bagimu. Allah mengetahui sedangkan kamu tidak mengetahui.

(QS Al-Baqarah : 216)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Mutiara Nurwidyaning Lusi

NIM : 141910201080

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Perancangan Sistem Kendali Pada Pergerakan Jari Robot Tangan Bagi Penderita Disabilitas Amputasi Menggunakan *Extreme Learning Machine* Berbasis Komputer” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab penuh 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, 29 Januari 2019

Yang menyatakan

Mutiara Nurwidyaning Lusi
NIM 141910201080

SKRIPSI

**PERANCANGAN SISTEM KENDALI PADA PERGERAKAN
JARI ROBOT TANGAN BAGI PENDERITA DISABILITAS
AMPUTASI MENGGUNAKAN *EXTREME LEARNING
MACHINE* BERBASIS KOMPUTER**

Oleh

Mutiara Nurwidyaning Lusi

NIM 141910201080

Pembimbing :

Dosen Pembimbing Utama : Khairul Anam, S.T., M.T., PH.D.

Dosen Pembimbing Anggota : Sumardi, S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul "Perancangan Sistem Kendali Pada Pergerakan Jari Robot Tangan Bagi Penderita Disabilitas Amputasi Menggunakan *Extreme Learning Machine* Berbasis Komputer" telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada :

Hari : Senin

Tanggal : 29 Januari 2019

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim penguji,

Ketua,

Sekretaris,

Khairul Anam, S.T., M.T., Ph.D

NIP 197804052005011002

Anggota I,

Sumardi, S.T., M.T.

NIP 196701131998021001

Anggota II,

Widya Cahyadi, S.T., M.T.

NIP 198511102014041001

Ali Rizal Chaidir, S.T., M.T.

NRP 760015754

Mengesahkan

Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M.

NIP 196612151995032001

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang maha kuasa atas segalanya, karena dengan ridho, hidayah dan petunjuk-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan berbagai pihak yang turut memberikan bantuan berupa motivasi, inspirasi, bimbingan, doa, fasilitas dan dukungan lainnya yang membantu memperlancar pengerjaan skripsi ini. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada.

1. Ibu Dr. Ir. Entin Hidayah, M.U.M., Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
2. Bapak Dr. Bambang Srikaloko, S.T., M.T., Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember.
3. Bapak Khairul Anam ST., M.T., Ph.D. dan Bapak Sumardi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan memotivasi untuk menyelesaikan tugas akhir ini;
4. Bapak Widya Cahyadi S.T., M.T dan Bapak Ali Rizal Chaidir, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang sudah memberikan saran untuk memperbaiki tugas akhir ini;
5. Kedua Orangtua penulis Ibu Erlina Dewi Hapsariningsih dan Bapak Otok Puguh Widodo yang menjadi sumber semangat penulis untuk segera menyelesaikan skripsi ini serta terima kasih atas segala kasih sayang dan doa yang tidak pernah ada habisnya hingga saat ini;
6. Kedua adik penulis Bimo Prabowo Satriyaning Widodo dan Zhafira Salsabilla Permataning Widodo yang menjadi semangat penulis untuk segera membahagiakan mereka;
7. Keluarga besar Teknik Elektro Universitas Jember Angkatan 2014 yang sudah memberikan warna, pengetahuan, pengalaman, persahabatan, dukungan dan semangat penulis di masa perkuliahan;
8. Keluarga besar Robotika dan Himpunan Mahasiswa Elektro (HME) yang sudah menjadi wadah penulis untuk belajar berorganisasi dan berproses;

9. Hanifatus Sa'diyah, Nuharizka Intan Fauziyah, Faiqotul Azmi Kholilah Saifulloh dan Roro Rahmawati yang telah menjadi sahabat terbaik di perantauan yang senantiasa membantu penulis dalam segala hal secara teknis maupun non-teknis;
10. Oriza Dewi dan Selva Dianika Melinda, sahabat yang terpisahkan jarak yang selalu menjadi tempat penulis untuk meluapkan semua keluh kesah;
11. Richard, Faiq, Dhamas, Wahyu, Aden, Drajad, Ikhsan, Nuha, Tinton dan Fikri sebagai teman-teman satu konsentrasi Elektronika dan Sistem Kendali yang menemani masa-masa perkuliahan penulis, memberikan semangat, teman bertukar pikiran dan membantu penulis dalam menghadapi lika-liku tugas masa perkuliahan;
12. Mas Wawan dan seluruh keluarga besar Laboratorium Elektronika dan Terapan angkatan 2014 – 2016 yang telah memberikan ilmu-ilmunya serta pengalaman kepada penulis;
13. Nuharizka Intan Fauziyah dan Mas Cries Avian yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini;
14. Sahabat-sahabat penulis di Madiun (Oriza, Selva, Retno, Shierly, Regina, Tri Augusta, Bimantara, Kurnia, Dhika, Angga, Achbel, Nanda) yang telah memberikan semangat, motivasi, keceriaan dan dukungan kepada penulis;
15. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah mendukung dan memberikan semangat penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.

Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dalam mengembangkan ilmu pengetahuan khususnya untuk disiplin ilmu teknik elektro. Kritik dan saran yang membangun diharapkan terus mengalir untuk lebih menyempurnakan skripsi ini;

Jember, 29 Januari 2019

Penulis

Perancangan Sistem Kendali Pada Pergerakan Jari Robot Tangan Bagi Penderita Disabilitas Amputasi Menggunakan *Extreme Learning Machine* Berbasis Komputer

Mutiara Nurwidyaning Lusi

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

RINGKASAN

Amputasi merupakan suatu kegiatan medis untuk menghilangkan sebagian atau seluruh bagian tubuh yang mengalami kerusakan berat. Perancangan sistem kendali pada robot tangan ini diharapkan mampu menggantikan fungsi tangan bagi penderita disabilitas amputasi. Robot tangan ini dibuat menggunakan *printer* 3D dengan Arduino sebagai mikrokontroler dan motor linear L12 sebagai penggerak robot. Robot tangan ini bekerja berdasarkan sinyal otot atau EMG dengan menggunakan *Myo Armband* untuk merekam segala aktivitas sinyal otot. Sinyal EMG pertama akan diakuisisi menggunakan *Myo Armband* selanjutnya akan dilakukan pengolahan data sinyal EMG dengan cara ekstraksi fitur, dimensi reduksi dan klasifikasi. Pengujian sistem dilakukan secara *offline* dan *online*, dengan pengujian *offline* untuk mencari parameter yang baik untuk pengujian *online* dan pada pengujian *offline* menggunakan lima subjek untuk dilakukan penelitian. Pengujian online untuk menguji keakuratan data sinyal EMG dengan gerakan tangan secara real time. Pengujian dilakukan menggunakan empat buah subjek orang sehat dengan melakukan delapan gerakan tangan antara lain ibu jari, jari telunjuk, jari tengah, jari manis, jari kelingking, ibu jari-jari telunjuk, relaks dan menggenggam. Hasil akurasi rata-rata dari pengujian offline dari empat subjek adalah sebesar 93.98% dan pengujian *online* adalah sebesar 66.65%. Berdasarkan seluruh tahapan pengujian, robot tangan untuk penderita disabilitas amputasi dapat bergerak sesuai dengan hasil pendeteksian gerakan melalui Arduino. Kinerja dari robot sendiri sudah

dapat dinilai layak, karena robot sudah mampu bergerak mengikuti keinginan, namun masih adanya kesalahan dalam pembacaan. Untuk mengurangi terjadinya kesalahan, gerakan pada saat *training data* harus sama persis dengan *testing data* sehingga dapat mengurangi terjadinya kesalahan.



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMBUNG.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBING.....	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
PRAKATA	viii
RINGKASAN	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat.....	4
1.6 Sistematika Penelitian	5
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Penelitian Terkait	6
2.2 EMG.....	7
2.3 ELM	9
2.4 Sensor <i>Myo Armband</i>	11
2.5 Ekstraksi Fitur	14
2.6 Dimensi Reduksi	17
2.7 Arduino UNO	17
2.8 Motor Linear L12-1.....	18
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	20

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	20
3.2 Alat dan Bahan	20
3.3 Ruang Lingkup Kegiatan.....	21
3.4 Metode Pengambilan Data.....	22
3.5 Perancangan Alat	22
3.5.1 Desain Mekanik Robot.....	22
3.5.2 Perancangan Sistem Elektronika.....	25
3.5.3 Perancangan <i>Software</i>	27
3.6 <i>Flowchart</i> Sistem.....	29
3.7 Rencana Data Pengujian.....	31
3.8 Prosedur Pengambilan Data.....	33
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Pengujian <i>Myo Armband</i>	41
4.2 Pengujian Akuisisi Data	43
4.3 Pengujian <i>Offline</i>	43
4.3.1 Pemilihan Parameter	43
4.3.2 Kinerja Pengujian <i>Offline</i>	61
4.4 Pengujian <i>Online</i>.....	65
4.4.1 Pengujian <i>Online</i> Tanpa Menggunakan Robot	65
4.4.2 Pengujian <i>Online</i> Dengan Menggunakan Robot.....	67
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1 Kesimpulan.....	71
5.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN.....	75

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Spesifikasi dan fitur sensor <i>Myo Armband</i>	13
Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino UNO	19
Tabel 2.3 Spesifikasi motor linier	19
Tabel 3.1 Jadwal kegiatan penelitian	20
Tabel 3.2 Data diri objek.....	32
Tabel 4.1 Hasil Akurasi dalam persen (%) fitur EMG menggunakan gaya <i>low force</i> dengan <i>Majority Vote</i>	44
Tabel 4.2 Hasil Akurasi dalam persen (%) fitur EMG menggunakan gaya <i>low force</i> tanpa <i>Majority Vote</i>	44
Tabel 4.3 Hasil Akurasi dalam persen (%) fitur EMG menggunakan gaya <i>medium force</i> dengan <i>Majority Vote</i>	45
Tabel 4.4 Hasil Akurasi dalam persen (%) fitur EMG menggunakan gaya <i>medium force</i> tanpa <i>Majority Vote</i>	45
Tabel 4.5 Hasil Akurasi dalam persen (%) fitur EMG menggunakan gaya <i>strong force</i> dengan <i>Majority Vote</i>	46
Tabel 4.6 Hasil Akurasi dalam persen (%) fitur EMG menggunakan gaya <i>strong force</i> tanpa <i>Majority Vote</i>	46
Tabel 4.7 Hasil Akurasi dalam persen (%) fitur EMG menggunakan gaya <i>low force</i> dengan <i>Majority Vote</i>	47
Tabel 4.8 Hasil Akurasi dalam persen (%) fitur EMG menggunakan gaya <i>low force</i> tanpa <i>Majority Vote</i>	47
Tabel 4.9 Hasil Akurasi dalam persen (%) fitur EMG menggunakan gaya <i>medium force</i> dengan <i>Majority Vote</i>	48
Tabel 4.10 Hasil Akurasi dalam persen (%) fitur EMG menggunakan gaya <i>medium force</i> tanpa <i>Majority Vote</i>	47
Tabel 4.11 Hasil Akurasi dalam persen (%) fitur EMG menggunakan gaya <i>strong force</i> dengan <i>Majority Vote</i>	49

Tabel 4.12 Hasil Akurasi dalam persen (%) fitur EMG menggunakan gaya <i>strong force</i> tanpa <i>Majority Vote</i>	49
Tabel 4.13 Hasil akurasi dalam persen (%) pemilihan <i>win size</i> dengan <i>Majority Vote</i>	50
Tabel 4.14 Hasil akurasi dalam persen (%) pemilihan <i>win size</i> tanpa <i>Majority Vote</i>	50
Tabel 4.15 Hasil akurasi dalam persen (%) pemilihan <i>win size</i> dengan <i>Majority Vote</i>	51
Tabel 4.16 Hasil akurasi dalam persen (%) pemilihan <i>win size</i> tanpa <i>Majority Vote</i>	52
Tabel 4.17 Hasil akurasi dalam persen (%) pemilihan nilai <i>reduced feature</i> pada <i>Principal Componen Analysis</i> (PCA) dengan <i>Majority Vote</i>	53
Tabel 4.18 Hasil akurasi dalam persen (%) pemilihan nilai <i>reduced feature</i> pada <i>Principal Componen Analysis</i> (PCA) tanpa <i>Majority Vote</i>	53
Tabel 4.19 Hasil akurasi dalam persen (%) pemilihan Dimensi Reduksi dengan <i>Majority Vote</i>	54
Tabel 4.20 Hasil akurasi dalam persen (%) pemilihan Dimensi Reduksi tanpa <i>Majority Vote</i>	55
Tabel 4.21 Hasil akurasi dalam persen (%) nilai <i>Gamma</i> pada Klasifikasi RBF-ELM dengan <i>Majority Vote</i>	56
Tabel 4.22 Hasil akurasi dalam persen (%) nilai <i>Gamma</i> pada Klasifikasi RBF-ELM tanpa <i>Majority Vote</i>	56
Tabel 4.23 Hasil akurasi dalam persen (%) jumlah <i>Node</i> pada klasifikasi ELM dengan <i>Majority Vote</i>	57
Tabel 4.24 Hasil akurasi dalam persen (%) jumlah <i>Node</i> pada klasifikasi ELM tanpa <i>Majority Vote</i>	57
Tabel 4.25 Hasil akurasi dalam persen (%) klasifikasi dengan <i>Majority Vote</i>	58
Tabel 4.26 Hasil akurasi dalam persen (%) klasifikasi tanpa <i>Majority Vote</i>	59
Tabel 4.27 Hasil akurasi dalam persen (%) fitur EMG gabungan dengan <i>Majority Vote</i>	60

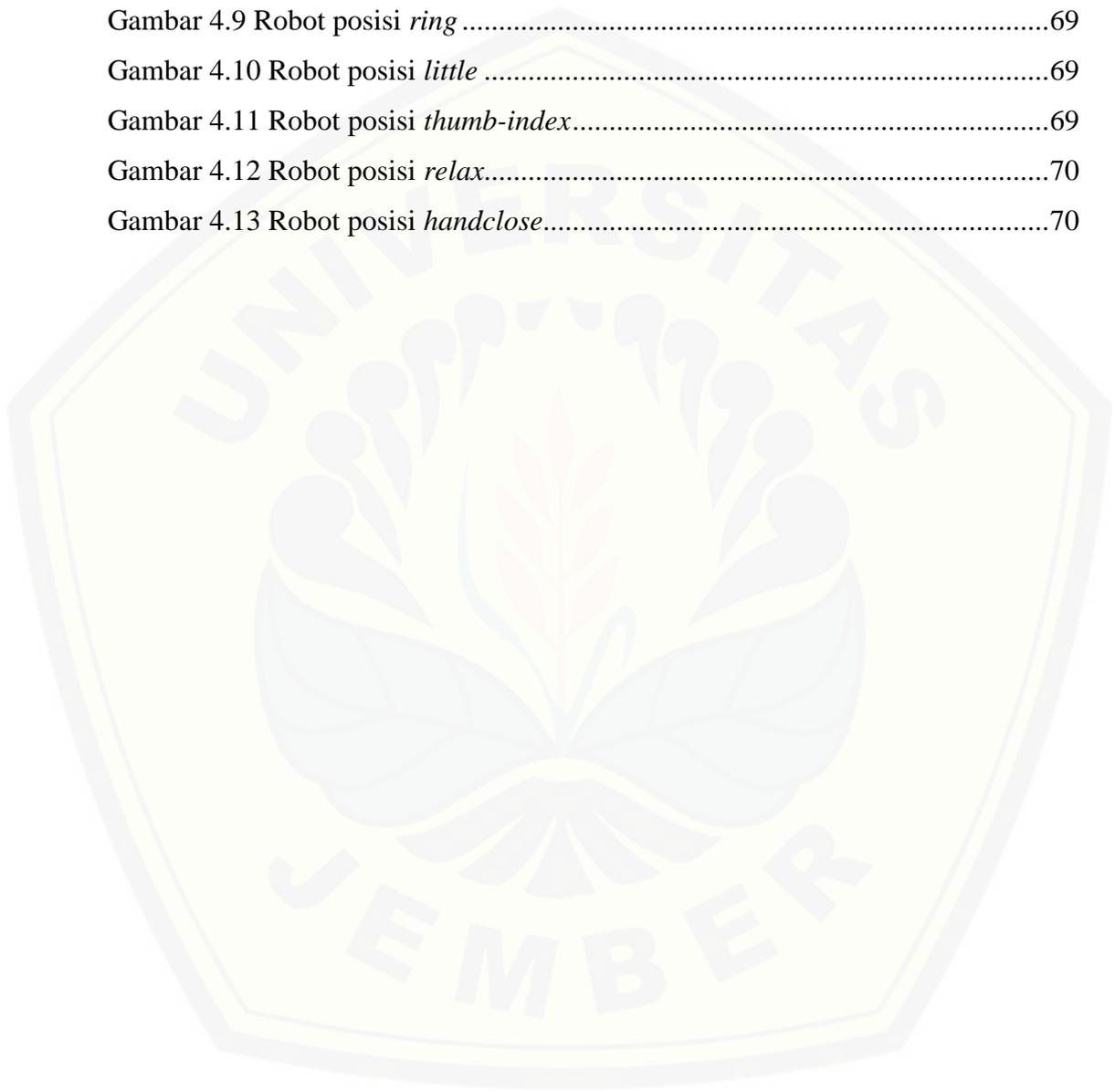
Tabel 4.28 Hasil akurasi dalam persen (%) fitur EMG gabungan tanpa <i>Majority Vote</i>	60
Tabel 4.29 Hasil Akurasi dalam Persen (%) Gerakan Tangan pada Subjek 3	61
Tabel 4.30 Data hasil pengujian <i>online</i>	66



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Bagian <i>Motor Unit</i>	9
Gambar 2.2 Struktur ELM	10
Gambar 2.3 <i>Myo Armband</i>	12
Gambar 2.4 Posisi <i>channel</i> EMG pada perangkat <i>Myo Armband</i>	12
Gambar 2.5 Fase <i>training</i> sinyal EMG	14
Gambar 2.6 Arduino UNO	17
Gambar 2.7 Motor linier L12-1.....	19
Gambar 3.1 Desain robot dari samping kanan	22
Gambar 3.2 Desain robot dari atas	23
Gambar 3.3 Desain robot dari samping kanan	23
Gambar 3.4 Desain robot dari depan.....	24
Gambar 3.5 Diagram blok desain elektronika.....	25
Gambar 3.6 Rangkaian Arduino dengan motor linear L12.....	26
Gambar 3.7 Diagram perancangan <i>software</i>	27
Gambar 3.8 <i>Myo Armband</i> untuk pengambilan data sensor	28
Gambar 3.9 <i>Flowchart Training Data</i>	29
Gambar 3.10 <i>Flowchart Testing Data</i>	30
Gambar 3.11 Letak perangkat <i>Myo Armband</i> pada tangan.....	34
Gambar 3.12 Posisi tangan lurus ke bawah	35
Gambar 3.13 Posisi tangan direbahkan di atas meja.....	35
Gambar 3.14 Posisi tangan tegak di atas meja	36
Gambar 3.15 Tampilan <i>main menu</i>	37
Gambar 3.16 Tampilan menu <i>data acquisition</i>	37
Gambar 3.17 Tampilan menu <i>offline prediction</i>	39
Gambar 3.18 Tampilan menu <i>online prediction</i>	40
Gambar 4.1 Grafik pengujian <i>Myo Armband</i>	42
Gambar 4.2 <i>Confusion plot</i> subjek 3.....	61
Gambar 4.3 Grafik akurasi dengan <i>majority vote</i>	63
Gambar 4.4 Grafik akurasi tanpa <i>majority vote</i>	64

Gambar 4.5 Hasil pengujian <i>online</i>	67
Gambar 4.6 Robot posisi <i>thumb</i>	68
Gambar 4.7 Robot posisi <i>index</i>	68
Gambar 4.8 Robot posisi <i>middle</i>	69
Gambar 4.9 Robot posisi <i>ring</i>	69
Gambar 4.10 Robot posisi <i>little</i>	69
Gambar 4.11 Robot posisi <i>thumb-index</i>	69
Gambar 4.12 Robot posisi <i>relax</i>	70
Gambar 4.13 Robot posisi <i>handclose</i>	70



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tangan merupakan salah satu anggota tubuh yang keberadaannya sangat penting. Tangan digunakan sebagai alat gerak pada manusia. Hampir dari seluruh kegiatan manusia sehari-hari menggunakan tangan. Namun, tidak semua manusia dapat menikmati kegunaan dari tangan. Ada manusia yang ditakdirkan untuk tidak memiliki tangan karena berbagai macam faktor. Faktor-faktor tersebut antara lain adalah faktor dari lahir sudah tidak memiliki tangan ataupun faktor lainnya seperti kecelakaan atau terkena penyakit yang dapat menyebabkan terjadinya amputasi pada tangan manusia.

Kegiatan amputasi merupakan suatu kegiatan untuk menghilangkan sebagian atau bahkan satu dari bagian tubuh yang bisa disebabkan karena banyak hal. Penyebab penghilangan anggota tubuh tersebut bisa terjadi karena kecelakaan, terkena bencana alam maupun terkena suatu penyakit yang mana mengharuskan penderita untuk dilakukan amputasi dengan alasan medis yang bertujuan untuk memperbaiki kualitas kesehatannya. Biasanya amputasi ini dilakukan dalam kondisi apabila suatu bagian tubuh tersebut sudah mengalami kerusakan yang parah dan sudah tidak dapat diperbaiki. Maka dari itu jalan keluarnya adalah dengan melakukan amputasi agar tidak membahayakan keselamatan penderita dan bagian tubuh yang lainnya.

Di Amerika Serikat, estimasi setiap tahunnya sekitar 185.000 orang mengalami amputasi anggota tubuh mereka baik pada tubuh bagian atas atau bawah (Ziegler-Graham, 2008). Sedangkan untuk penderita amputasi di Indonesia belum diketahui secara pasti tentang berapa jumlah kejadian amputasi.

Pada zaman sekarang, perkembangan teknologi instrumentasi biomedik berkembang dengan cepat. Salah satu perkembangan dalam dunia medis adalah pada bidang rehabilitasi medik dengan memanfaatkan teknologi robot yang juga mengalami perkembangan yang cepat. Pada zaman sekarang ini teknologi robot dapat membantu meringankan para petugas medis dalam menjalankan tugasnya. Namun dalam pelaksanaannya, robot ini bekerja dibawah kendali dari dokter.

Dengan menggunakan perkembangan teknologi dalam bidang instrumentasi biomedik dan juga bidang robotika dapat digunakan dalam proses rehabilitasi pasien. Salah satunya adalah robot tangan prostetik yang dapat digunakan untuk mengembalikan fungsi tangan yang sudah diamputasi.

Beberapa penelitian mengenai robot tangan prostetik sudah banyak dilakukan. Salah satunya adalah penelitian dengan judul “Rancang Bangun *Prototype* Robot Tangan Untuk Terapi Penyandang Disabilitas Pasca Stroke Berbasis EMG Menggunakan Algoritma *Extreme Learning Machine*”. Pada penelitian tersebut menghasilkan sebuah robot tangan dengan bahan dasar akrilik dengan menggunakan sensor *MyoWare* yang dapat mengikuti gerakan tangan membuka dan menutup. Pada penelitian tersebut gerakan yang dihasilkan masih sebatas membuka dan menutup belum bervariasi. Penelitian yang lain adalah “Pengembangan Desain dan Amputasi Innovative Prosthetic Hand untuk Membantu Pasien Pasca Amputasi” (Aulia Hakim, 2014). Pada penelitian tersebut telah menghasilkan desain robot prostetik dengan menggunakan metode *3D Printing* dalam bidang tangan prostetik dalam rangka membantu pasien pasca amputasi untuk menggantikan gerak tangan kanan. Pada penelitian tersebut komponen yang digunakan dalam memenuhi kebutuhan gerak tangan menggunakan komponen yang berat sehingga dimensi dan berat robot cukup berat. Penelitian yang lain yaitu penelitian dengan judul “Perancangan Sistem Kendali Gerak Lengan Robot Pengikuti Gerak Lengan Manusia Berbasis Mikrokontroler” (Fitri, 2012). Pada penelitian tersebut penulis membuat lengan robot menggunakan sistem kontrol gerak *holonomic* yang memiliki pergerakan sebanyak 5 buah *DOF (Degree Of Freedom)*. Lengan robot ini dirancang agar mampu mengikuti gerakan tangan manusia. Pada penelitian tersebut menggunakan motor servo sebagai alat penggerak pada robot.

Berdasarkan uraian diatas, dapat dilihat bahwa robot tangan yang digunakan masih sebatas untuk menggerakkan tangan atau lengan saja, selain itu pada penelitian tersebut tidak dilakukan sistem pengenalan pola yang berbasis pada sinyal otot atau EMG (*Electromyograph*) untuk mendeksi dan merekam segala aktivitas otot. Sehingga pada penelitian ini penulis akan melakukan penelitian

untuk robot tangan prostetik yang digunakan untuk menggantikan tangan bagi penderita pasca amputasi pada daerah pergelangan tangan dan jari-jari tangan yang dapat digerakkan dengan menggunakan pengenalan pola berbasis EMG dan menggunakan algoritma ELM (*Extreme Learning Machine*) untuk sistem kontrolnya.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana cara mengklasifikasikan gerakan jari tangan menggunakan sensor *Myo Armband*.
2. Bagaimana kinerja *Personal Computer* dalam mengenali pola pengendalian menggunakan sensor *Myo Armband*.
3. Bagaimana kinerja robot tangan menggunakan sensor *Myo Armband* digunakan untuk mengendalikan gerakan pada jari-jari robot.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian yang akan dilakukan dibatasi agar tidak terlalu luas, batasan-batasan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Metode untuk mengenali pola pergerakan robot yang digunakan adalah *Extreme Learning Machine* (ELM).
2. Robot tangan dikendalikan oleh sinyal EMG menggunakan sensor *Myo Armband*.
3. Gerakan jari yang dideteksi adalah gerakan menutup dari 5 jari, gerakan mencubit dan gerakan mengepal.
4. Tangan yang diamputasi adalah bagian tangan sampai pergelangan tangan (*upper limb*).
5. Menggunakan PC (*Personal Computer*) sebagai pengolah data dengan menggunakan Matlab.
6. Menggunakan Arduino sebagai mikrokontroler pada robot tangan.
7. Menggunakan Motor Linear 112 sebagai penggerak jari-jari tangan pada robot.

8. Tidak membahas pengolahan data pada sensor *Myo Armband* (Termasuk penguatan pada sensor).
9. Pengambilan data pasien dengan keadaan normal menggunakan data tangan orang sehat.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan penulis yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan robot tangan untuk penderita amputasi yang dikendalikan oleh sensor *Myo Armband* berdasarkan aktivitas sinyal EMG.
2. Teridentifikasi karakteristik dari sinyal otot pada saat melakukan gerakan jari tangan
3. Mengklasifikasikan gerakan jari-jari tangan berdasarkan aktivitas sinyal otot gerak.

1.5 Manfaat

Manfaat dari adanya penelitian ini diharapkan bermanfaat sebagai alat bantu bagi seseorang yang tangannya di amputasi agar kegunaan tangannya dapat kembali.

1.6 Sistematika Penelitian

Penyusunan laporan penelitian ini disusun sebagai berikut :

- a. BAB 1. PENDAHULUAN
Berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penelitian.
- b. BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA
Berisi landasan teori penelitian, teori-teori terkait, dan bahan penelitian.
- c. BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN
Mejelaskan tentang metode yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian.
- d. BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN
Berisi data hasil penelitian serta analisa terkait tujuan dan hasil penelitian.
- e. BAB 5. PENUTUP
Pemaparan kesimpulan dan saran penulis.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan beberapa bagian yang menjadi dasar dalam pembuatan robot tangan yang digunakan untuk penyandang disabilitas pasca stroke. Pada bab ini dijelaskan bahasan utama yaitu penjelasan tentang EMG atau *electromyography* serta proses biologis munculnya sinyal EMG ketika otot sedang beraktifitas. Pembuatan robot tangan ini dirancang dengan menggunakan sistem kendali yang dapat memproses sinyal EMG.

Pada penelitian ini menggunakan beberapa metode yang digunakan untuk memroses sinyal EMG agar sistem dapat bekerja sesuai dengan harapan. Metode yang digunakan adalah metode ELM (*Extreme Learning Machine*) yang merupakan varian dari jaringan syaraf tiruan. Metode ELM digunakan ketika memasuki tahap klasifikasi fitur sinyal EMG agar sistem mampu mengenali pola gerakan tangan dan jari yang dimaksud.

2.1 Penelitian Terkait

- a. Rancang Bangun *Prototype* Robot Tangan Untuk Terapi Penyandang Disabilitas Pasca Stroke Berbasis EMG Menggunakan Algoritma *Extreme Learning Machine*.

Pada penelitian ini penulis membuat robot tangan dengan bahan dasar akrilik yang digunakan sebagai robot terapi bagi penyandang disabilitas stroke. Dalam penelitian tersebut penulis melakukan penelitian dengan menggunakan sensor *MyoWare* untuk mengambil dan memonitor sinyal EMG yang selanjutnya akan diolah agar dapat menggerakkan tangan robot membuka dan menutup. Pada penelitian tersebut gerakan masih sebatas membuka dan menutup belum bervariasi.

- b. Pengembangan Desain dan Amputasi Innovative Prosthetic Hand untuk Membantu Pasien Pasca Amputasi

Pada penelitian tersebut telah menghasilkan desain robot prostetik dengan menggunakan metode *3D Printing* dalam bidang tangan prostetik dalam rangka membantu pasien pasca amputasi untuk menggantikan gerak tangan

kanan. Pada penelitian tersebut komponen yang digunakan dalam memenuhi kebutuhan gerak tangan menggunakan komponen yang berat sehingga dimensi dan berat robot cukup berat.

c. Perancangan Sistem Kendali Gerak Lengan Robot Pengikuti Gerak Lengan Manusia Berbasis Mikrokontroler

Pada penelitian tersebut penulis membuat lengan robot menggunakan sistem kontrol gerak *holonomic* yang memiliki pergerakan sebanyak 5 buah DOF (*Degree Of Freedom*). Lengan robot ini dirancang agar mampu mengikuti gerakan tangan manusia. Pada penelitian tersebut menggunakan motor servo sebagai alat penggerak pada robot.

2.2 EMG (*Electromiography*)

Electromiography atau EMG adalah suatu teknik untuk mengevaluasi dan merekam aktifitas sinyal otot yang fungsinya untuk mendeteksi adanya potensial listrik yang dihasilkan oleh otot saat kontraksi dan relaksasi (Safarudin dkk, 2010). EMG (Elektromyograph) adalah instrumentasi pencatat bioelektrik untuk mengetahui sinyal yang disebabkan oleh aktifitas otot gerak. Otot gerak merupakan organ tubuh manusia yang berfungsi menggerakkan rangka. Otot gerak merupakan jenis otot lurik, dimana memiliki sifat sadar, tidak sadar, tidak teratur karena aktifitasnya bergantung pada kehendak pelaku (Ratna Adil dkk, 2011). Untuk mengetahui adanya sinyal EMG pada tubuh maka diletakkan elektroda dibagian tubuh yang dikehendaki. Peletakan elektrode biasanya diletakan langsung pada otot yang akan diamati dengan cara menempelkan pada permukaan kulit sebagai pendeteksi sinyal dari pergerakan otot. Karakteristik frekuensi dari sinyal mioelektrik berada pada kisaran 20-500 Hz dengan amplitude antara 0-10 mV (Ratna Adil dkk, 2011)

Timbulnya sinyal EMG pada tubuh manusia dipengaruhi oleh beberapa macam faktor, yaitu *resting membrane potential*, *muscle fiber action potential*, dan potensial aksi unit motor (Adi dkk, 2017).

2.2.1 *Resting membrane potential*

Potensial membrane merupakan suatu keadaan tanpa rangsangan dimana pada bagian dalam sel dan luar sel saraf terdapat perbedaan muatan. Pada sel tubuh manusia terdapat membrane yang berfungsi sebagai filter ion. Pada bagian eksternal sel, terdapat cairan yang konduktif terhadap ion sodium (Na^+), potassium (K^+), dan klorida (Cl^-). Sifat membrane sel yang *permeable* dengan potassium menyebabkan ketidaksetimbangan konsentrasi ion. Jumlah ion sodium di bagian eksternal menjadi lebih banyak daripada pada bagian internal sel. Pengukuran biopotensial dilakukan dari bagian internal sel terhadap bagian eksternal sel sehingga potensial ini bernilai negatif. Pada saat ini potensial membran disebut dengan potensial istirahat (Yulia, 2012). Dalam keadaan istirahat maka potensial dari dalam ke luar serabut otot kira-kira -90 (Adi dkk, 2017).

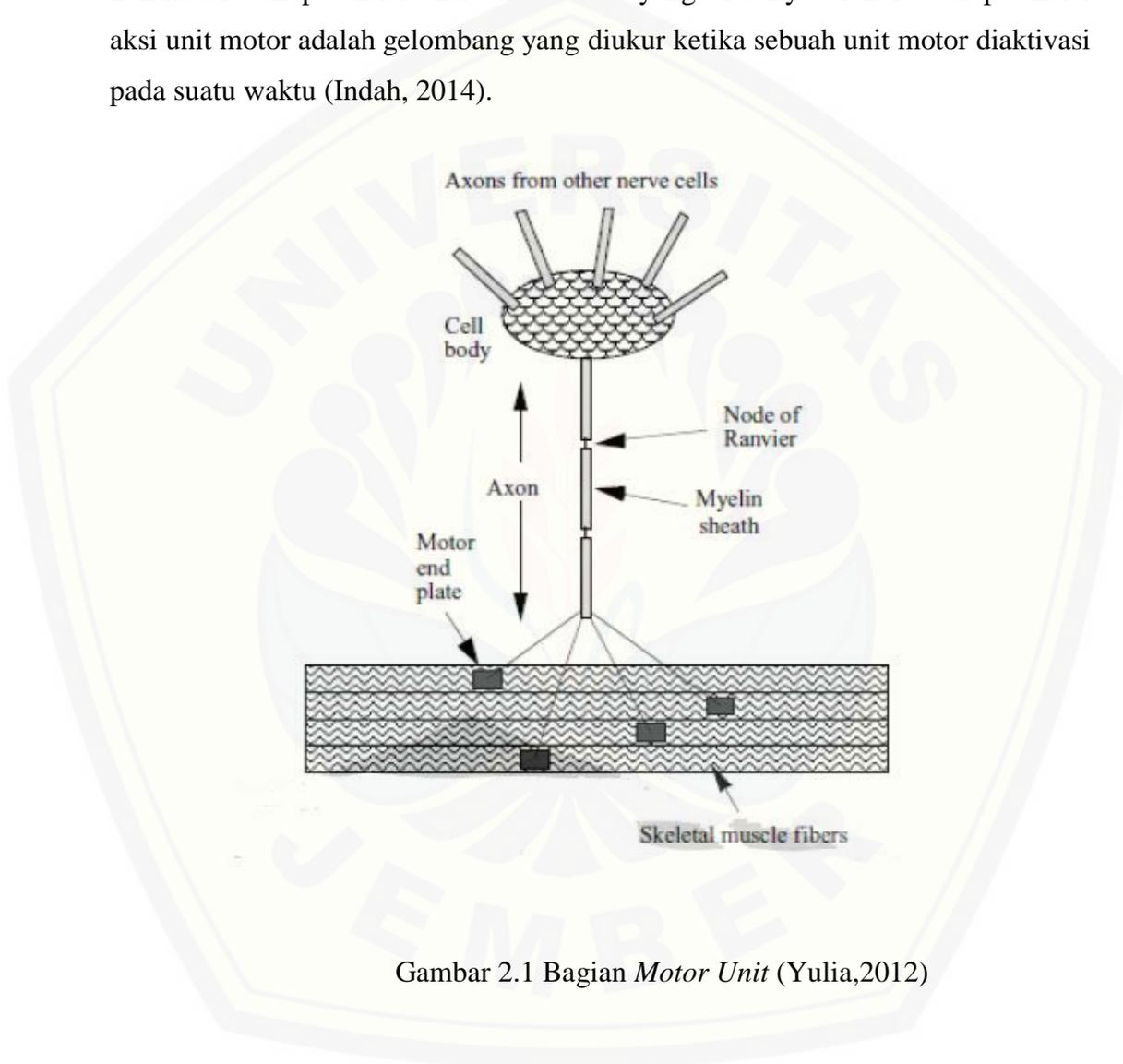
2.2.2 *Muscle fiber action potential*

Ketika potensial aksi menjalar di sepanjang *axon* dari semua serabut otot, maka pada sambungan *neuromuscular* akan dikeluarkan oleh *neuro transmitter acetylcholine*. *Transmitter* ini yang menyebabkan potensial aksi pada serabut otot. Hal ini akan mengubah perbedaan potensial antara dalam dan luar serabut otot dari sekitar -90 mV menjadi sekitar 20 sampai 50 mV, sehingga terjadi kontraksi serabut otot. Potensial aksi ini akan menjalar dan diikuti menjalarnya depolarisasi pada membran serabut otot. Sinyal yang dihasilkan akan dapat diukur jika sebuah serabut otot adalah aktif dalam suatu waktu, hal ini disebut *a muscle fiber action potential* (MFAP) (Indah, 2014).

2.2.3 Potensial Aksi Unit Motor

Potensial aksi menunjukkan adanya aktivitas otot atau kontraksi pada otot. Kontraksi pada otot ini dihasilkan oleh aktivitas sejumlah *motor unit*. *Motor Unit* merupakan unit terkecil dari otot yang dapat dikontrol oleh sistem saraf. *Motor unit* terdiri dari sel tubuh, dendrite, saraf motorik, akson dan juga serat. Pada saat potensial aksi sampai pada ujung sel syaraf maka sejumlah asetilkolin dibebaskan,

yang menghasilkan sebuah potensial aksi dalam sel otot. Masing-masing sel otot menghantarkan potensial aksi sebagaimana dihantarkan oleh akson (Yulia, 2012). Potensial aksi unit motor adalah suatu aktivitas dari sebuah *neuron motor alpha* yang menyebabkan kontraksi serabut otot, sejumlah sinyal, sebagai kontribusi dari potensial aksi serabut otot yang biasanya diukur. Jadi potensial aksi unit motor adalah gelombang yang diukur ketika sebuah unit motor diaktivasi pada suatu waktu (Indah, 2014).



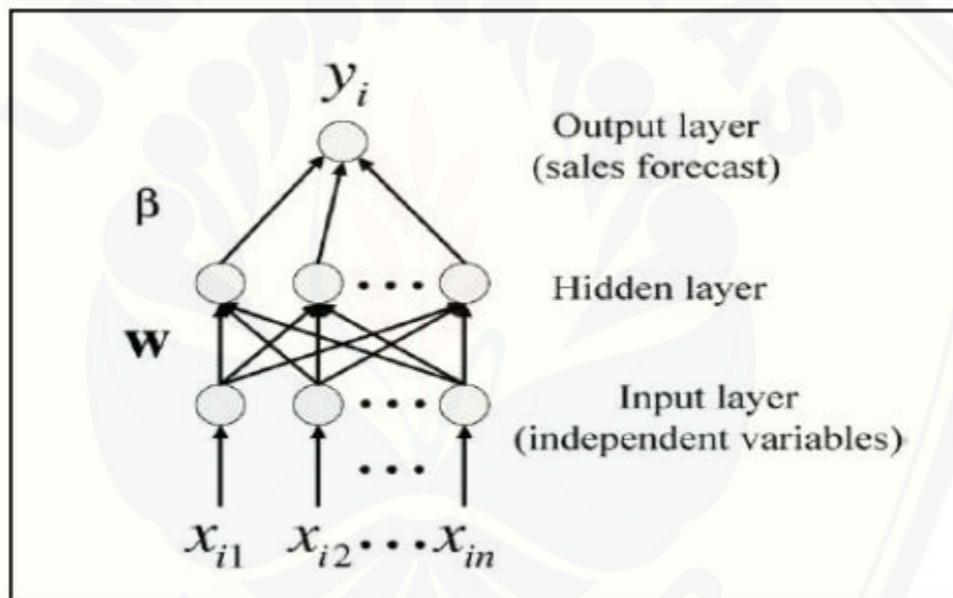
Gambar 2.1 Bagian *Motor Unit* (Yulia,2012)

2.3 ELM (*Extreme Learning Machine*)

Extreme Learning Machine merupakan suatu metode pembelajaran dari *Artificial Neural Network* (ANN) yang menggunakan arsitektur *Single Hidden Layer Feedforward Neural Network*. Metode ELM ini dibuat untuk dapat mengatasi masalah pada metode ANN yakni dalam hal *learning speed*. Metode

ELM ini bisa digunakan untuk menangani data yang besar dan waktu pelatihan yang cepat (Putu., 2016).

Pada metode pembelajaran menggunakan ANN terdapat beberapa parameter yang digunakan. Pada metode ANN *Feedforward* parameter nya harus ditentukan secara manual. Parameter yang dimaksudkan disini adalah *input weight* dan *hidden bias*. Parameter-parameter tersebut saling berhubungan antara layer satu dengan lainnya sehingga membuat kecepatan pada saat *training* menjadi lama. Pada ELM semua parameter seperti *input weight* dan *hidden bias* dipilih secara acak sehingga pada saat *training* dapat dilakukan dengan cepat (Irwin., 2010).



Gambar 2.2 Struktur ELM

Secara umum, fungsi matematis yang digunakan untuk *Single Hidden Layer Feedforward Neural Networks* adalah sebagai berikut :

$$\sum_{i=1}^{\bar{N}} \beta_i g_1(x_j) = \sum_{i=1}^{\bar{N}} \beta_i g_1(x_j)(W_i X_j + b_i) = o_j$$

Keterangan :

j adalah bilangan 1, 2, ..., N

w_i adalah *weight*

β_i adalah bobot

b_i adalah *threshold* dari i *hidden nodes*

$W_i X_j$ adalah *inner* produk dari w_i dan x_j

Secara umum, langkah-langkah yang digunakan untuk menghitung dengan metode ELM adalah sebagai berikut :

1. Menentukan bobot *input* dan nilai bias secara acak.
2. Mengitung nilai *output* pada *hidden layer* dengan menggunakan persamaan :

$$G(a_1, x_1, b_1) = \sum_{i=1}^{\bar{N}} (a_1 x_j + b_i)$$

3. Menghitung bobot akhir dari *hidden layer* menggunakan persamaan :

$$\beta = H^* T$$

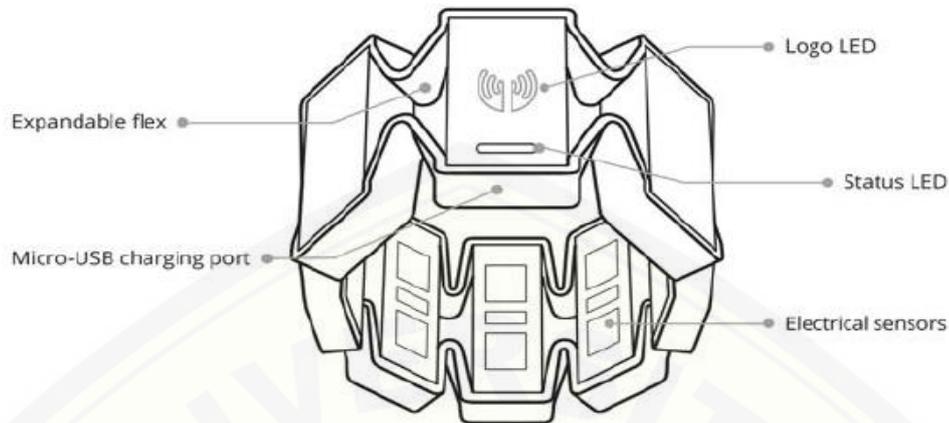
Dimana H^* merupakan matriks *invers* dari matriks H . matriks H merupakan matriks yang tersusun dari *output* masing-masing *hidden layer*. Sedangkan T adalah matriks target.

4. Menghitung semua keluaran di *output unit* dengan menggunakan persamaan :

$$g(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

2.4 Sensor Myo Armband

Sensor *Myo Armband* adalah sebuah perangkat monitoring otot gerak berbasis *surface electromyograph*. Perangkat *MyoArmband* ini merupakan sebuah produk dari perusahaan bernama ThalmicLabs (Adi,2017). Perangkat *Myo Armband* ini memiliki delapan sensor EMG dari *stainless steel*. Sama seperti elektroda biasa, sinyal EMG yang berasal dari sensor merupakan potensial listrik pada otot akibat dari aktivitas yang dilakukan oleh otot (Mahmoud dkk, 2015).



Gambar 2.3 *Myo Armband* (Adi, 2017)

Perangkat *Myo Armband* memiliki Sembilan sumbu *Inertial Measurement Unit* (IMU), yang mana tiga sumbu merupakan sumbu giroskop, tiga sumbu akselerometer dan tiga sumbu magnetometer. Orientasi lengan pengguna dapat ditentukan dengan cara menganalisa data spasial yang sudah ada (Mahmoud dkk, 2015). Perangkat *Myo Armband* ini dapat mengenali beberapa variasi gestur. Perangkat ini juga memiliki kemampuan untuk mengakses *raw data* EMG sehingga *user* juga dapat menciptakan *gesture* sendiri, disamping *default gesture* yang sudah tersedia dalam *software* dan juga *library* yang berbasis *Software Development Kit* (SDK) (Adi, 2017).



Gambar 2.4 Posisi *channel* EMG pada perangkat *Myo Armband* (Adi,2017)

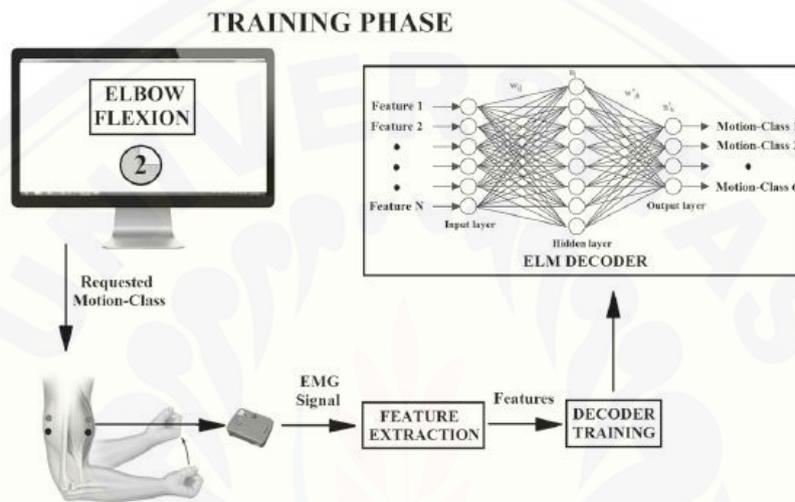
Tabel 2.1 Spesifikasi dan fitur sensor *Myo Armband*

Spesifikasi	
• Ukuran	19 – 34 cm lingkar lengan
• Berat	93 gram
• Ketebalan	1,143 cm
• Prosesor	ARM Cortex M4
Fitur	
• Tersedia dalam 2 pilihan warna yaitu hitam dan putih	
• Disertai kabel micro-USB	
• Tersedia <i>sizing clips</i>	
• Tersedia <i>Bluetooth adapter</i> untuk koneksi ke MAC dan Windows PC	
<ul style="list-style-type: none"> • Perangkat yang kompatibel : <ol style="list-style-type: none"> 1. Windows (Windows 7, Windows 8, Windows 10) dengan USB <i>Bluetooth adapter</i> . 2. MAC (OS X 10.8 (Mountain Lion) atau di atasnya (dengan USB <i>Bluetooth adapter</i>). 3. IOS (7.0 atau di atasnya dengan perangkat sebagai berikut iPad 3rd dan 4th, iPad Air, iPad Air 2, iPhone (4s, 5, 5c, 5s, 6, 6 Plus), iPod Touch 5th, iPad Mini 1st dan 2nd , iPad Mini 3. 4. Android 4.3 (Jelly Bean) atau di atasnya (Perangkat harus memiliki <i>Bluetooth radio</i> yang mendukung <i>Bluetooth 4.0 LE</i>) 	
• Gerakan tangan dideteksi oleh sensor otot EMG	
• Sensor gerak sangat sensitif	
• Disertai <i>dual indicator LEDs</i>	
• Menggunakan sensor EMG <i>Stainless Steel</i> dengan sembilan sumbu yang sangat sensitive (3 sumbu giroskop, 3 sumbu akselerometer, 3 sumbu magnetometer).	
• Komunikasi menggunakan teknologi <i>Bluetooth smart wireless</i>	
• Pengisian baterai menggunakan micro-USB	

- Menggunakan baterai lithium yang bisa diisi ulang

(<https://www.myo.com/techspecs>)

2.5 Ekstraksi Fitur



Gambar 2.5 Fase *training* sinyal EMG (Antuvan dkk., 2016)

Teknik fitur ekstraksi digunakan untuk mengkarakterisasi sinyal EMG dan mengestrak informasi yang berguna agar dapat menafsirkannya dengan lebih baik. Pendeteksian sinyal EMG untuk gerakan tangan manusia melalui beberapa tahapan. Tahapan pertama yaitu pemasangan sensor pada tangan subjek. Setelah itu sinyal EMG tadi dilakukan ekstraksi fitur dan selanjutnya adalah fase *training* dengan menggunakan algoritma ELM untuk mengklasifikasikan pergerakan dari tangan robot. Semua sinyal EMG yang didapat disearahkan kemudian dilakukan *filtering* dengan menggunakan *Low Pass Filter* dengan frekuensi *cut off* sebesar 10 Hz untuk mendapatkan *envelope signal*. Ada 2 macam ekstrasi fitur yang digunakan yaitu fitur EMG dan fitur sinergi. Setelah itu untuk pengolahan sinyal EMG yang digunakan terdapat dua macam cara, yaitu :

2.5.1 Fitur EMG

Pada fitur EMG ini menggunakan karakteristik struktural dari masing-masing saluran individu seperti fitur *time-domain* untuk mengekstraksi sinyal dari sinyal EMG. Pengambilan data dilakukan dengan panjang jendela sebesar 100 ms dan *overlap* sebesar 90 ms diantara dua buah jendela untuk menghitung waktu pemrosesan. Ada beberapa metode yang digunakan pada fitur EMG, diantaranya adalah :

1. Metode *Mean Absolute Value* (MAV)

Metode *Mean Absolute Value* (MAV) digunakan untuk menghitung pergeseran jendela. Metode ini fungsinya untuk menghitung nilai rata-rata dari setiap sinyal EMG pada setiap jendela, sehingga didapatkan informasi berupa durasi dan usaha pergeseran. Rumus yang digunakan dalam metode MAV adalah :

$$MAV = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |x_k|$$

Dimana N adalah pergeseran jendela 100 data

2. Metode *Variance* (VAR) :

Metode ini menghitung nilai variabel dari sinyal EMG dan juga sebagai indikator dari kekuatan sinyal EMG yang dapat membantu untuk mengklasifikasikan pergerakan otot. Rumus yang digunakan dalam metode VAR adalah :

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

3. Metode *Zero Crossing* (ZC)

$$ZC = \sum_{k=1}^N Z_k, Z_k = \begin{cases} 1 & x_k x_{k+1} < 0 \text{ dan } |x_k - x_{k+1}| > \text{threshold} \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

Keterangan : x_k adalah sinyal ke-k dan N adalah nomor sampel pada sebuah segmen.

4. Metode *Slope Sign Signal* (SSC)

$$SSC = \sum_{k=1}^N z_k, z_k = \begin{cases} 1 & (x_k > x_{k-1} \text{ dan } x_k > x_{k-q}) \text{ atau} \\ & (x_k < x_{k-1} \text{ dan } x_k < x_{k-1}) \text{ dan} \\ & |x_k - x_{k-1}| \geq \text{threshold} \text{ atau} \\ & |x_k - x_{k-1}| \geq \text{threshold} \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

Keterangan : x_k adalah sinyal ke-k dan N adalah nomor sampel pada sebuah segmen.

5. Metode *Autoregressive* (AR)

$$AR = a_k, x_k = \sum_{i=1}^m a_k x_{k-1}$$

Keterangan : x_k adalah sinyal ke-k.

6. Metode *Mean Absolute Value Slope* (MAVS)

$$MAVS = MAV_{k+1} - MAV_k$$

7. Metode *Root Mean Square* (RMS)

$$RMS = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k^2$$

Keterangan : x_k adalah sinyal ke-k dan N adalah nomor sampel pada sebuah segmen.

8. Metode *Wavelength* (WL)

$$WL = \sum_{k=1}^N |x_k - x_{k-1}|$$

Keterangan : x_k adalah sinyal ke-k dan N adalah nomor sampel pada sebuah segmen.

2.6 Dimensi Reduksi

Fitur-fitur yang sudah diekstrak dari semua saluran EMG akan digabungkan dan membentuk suatu kumpulan fitur yang besar. Akibat hal ini, dimensi dari suatu kumpulan fitur akan menjadi sangat besar maka dari itu diperlukan dimensi reduksi fitur untuk mengurangi kumpulan fitur ini tanpa mengurangi informasi-informasi yang terkandung dalam fitur asli.

2.7 Arduino UNO

Arduino adalah suatu perangkat papan mikrokontroler yang berbasis pada ATmega 328. Salah satu jenis dari Arduino adalah Arduino UNO. Papan (*board*) mikrokontroler ini dilengkapi oleh beberapa pin yang dapat digunakan untuk komunikasi dengan berbagai perangkat yang lain. Arduino merupakan suatu mikrokontroler yang dapat deprogram. Program ini nanti berisi instruksi-instruksi yang membuat Arduino dapat melaksanakan tugasnya. Bahasa yang digunakan dalam pemrograman Arduino merupakan modifikasi dari bahasa C++.



Gambar 2.6 Arduino Uno (arduino.cc)

Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Uno

Spesifikasi	
Chip mikrokontroler	ATmega328P
Tegangan operasi	5V
Tegangan input (yang direkomendasikan)	7V - 12V
Tegangan input (limit)	6V - 20V
Digital I/O pin	14 buah, 6 diantaranya menyediakan PWM
Analog Input pin	6 buah
Arus DC per pin I/O	20 mA
Arus DC pin 3.3V	50 mA
Memori Flash	32 KB, 0.5 KB telah digunakan untuk bootloader
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Clock speed	16 Mhz
Dimensi	68.6 mm x 53.4 mm
Berat	25 g

(ecadio.com)

2.8 Motor Linear L12-1

Motor linear merupakan suatu motor listrik yang dapat menghasilkan gerakan linear. Motor linear yang dipakai adalah motor linear L12-1 yang merupakan keluaran dari Actuonix. Motor linear ini kompatibel dengan Arduino serta dikendalikan dengan menggunakan PWM.



Gambar 2.7 Motor linier L12-1

Tabel 2.3 Spesifikasi Motor Linier L12

Gearing Option	50:1	100:1	210:1
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
Voltage Option	6 VDC		12 VDC
Max Input Voltage	7,5V		13,5V
Stall Current	460mA		185mA
Standby Current	7,2mA		3,3mA
Operating Temperature	-10 ⁰ C to +50 ⁰ C		
Potentiometer Linearity	Less than 2,00%		
Max Duty Cycle	20%		
Audible Noise	55dB @ 45cm		
Ingress Protection	IP-54		

(Actuonix, 2016)

BAB 3. METODE PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan tentang beberapa hal yaitu tentang objek penelitian, tahap penelitian, tempat penelitian, waktu penelitian, alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian serta perancangan sistem elektronika dan sistem kendali pada objek penelitian.

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Pelaksanaan penelitian 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	Keterangan	Bulan ke-				
		1	2	3	4	5
1	Tahap Persiapan	■				
2	Studi Literatur	■	■			
3	Pengambilan Data		■	■		
4	Pengolahan Data			■	■	
5	Analisa Data				■	
6	Pembuatan Laporan				■	■
7	Ujian					■

Keterangan:

■ : Kegiatan dilaksanakan

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Hardware

1. Sensor Myo Armband
2. Arduino UNO
3. Motor Linear L12

3.2.2 Software

1. Matlab 2015
2. Arduino IDE

3.3 Ruang Lingkup Kegiatan

Ruang lingkup kegiatan pada sub bab ini membahas tentang batasan-batasan masalah dalam pembuatan tugas akhir. Adapun batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Metode untuk mengenali pola pergerakan robot yang digunakan adalah *Extreme Learning Machine* (ELM).
2. Robot tangan dikendalikan oleh sinyal EMG menggunakan sensor *Myo Armband*.
3. Gerakan jari yang dideteksi adalah gerakan menutup dari 5 jari, gerakan mencubit dan gerakan mengepal.
4. Tangan yang diamputasi adalah bagian tangan sampai pergelangan tangan (*upper limb*).
5. Menggunakan PC (*Personal Computer*) sebagai mikrokontroler dengan menggunakan Matlab.
6. Tidak membahas pengolahan data pada sensor Myo Armband (Termasuk penguatan pada sensor).
7. Pengambilan data pasien dengan keadaan normal menggunakan data tangan orang sehat.

3.4 Metode Pengumpulan Data

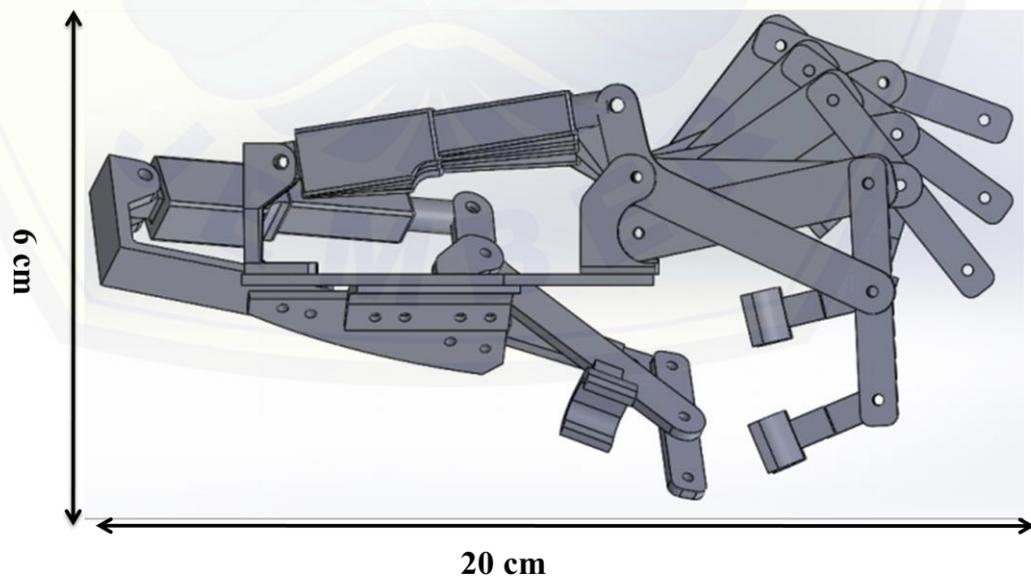
Dalam melakukan penelitian ini langkah-langkah yang dilakukan penulis adalah sebagai berikut :

- a. Mencari rumusan masalah.
- b. Pengumpulan studi literature.
- c. Melakukan pembuatan dan validasi algoritma.
- d. Melakukan pembuatan *embedded system*
- e. Melakukan pengujian sistem kendali pada robot.
- f. Melakukan pengambilan serta analisis data.
- g. Membuat kesimpulan.

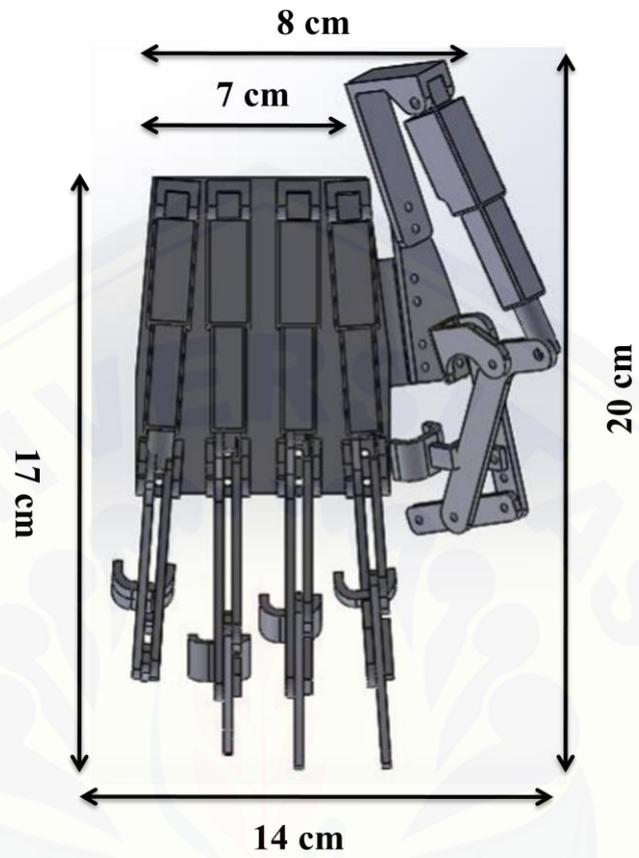
3.5 Perancangan Alat

3.5.1 Desain Mekanik Robot

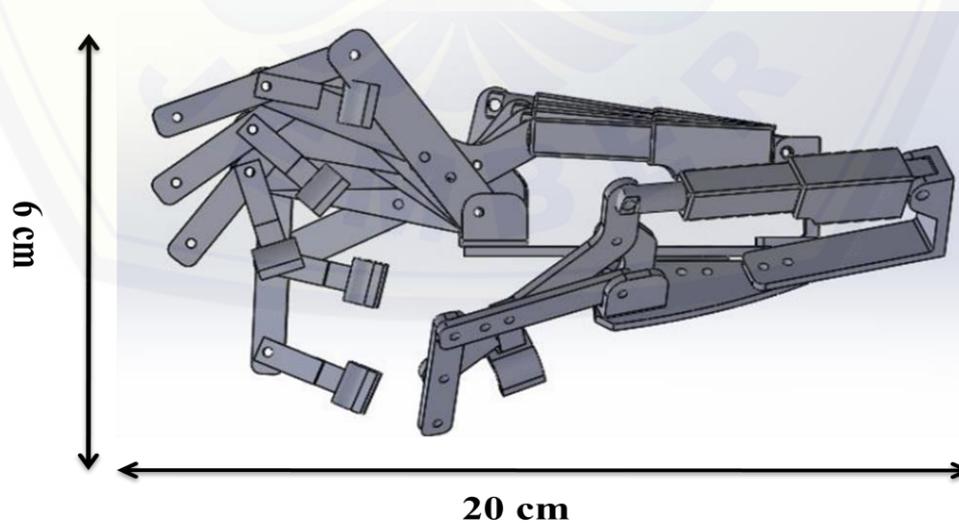
Pada bagian ini akan digambarkan tentang desain mekanik robot tangan dengan actuator berupa motor linier.



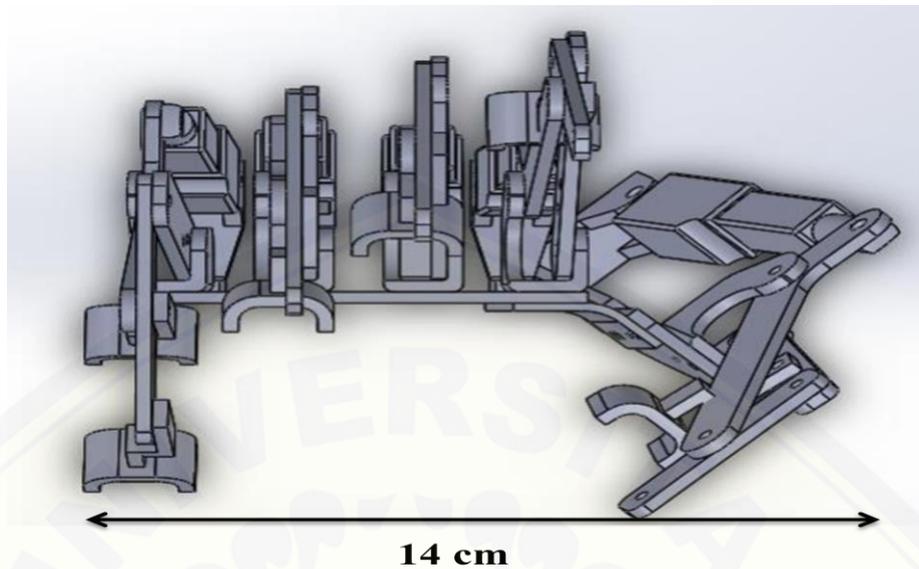
Gambar 3.1 Desain Robot Dari Samping Kanan



Gambar 3.2 Desain Robot Dari Atas



Gambar 3.3 Desain Robot Dari Samping Kiri

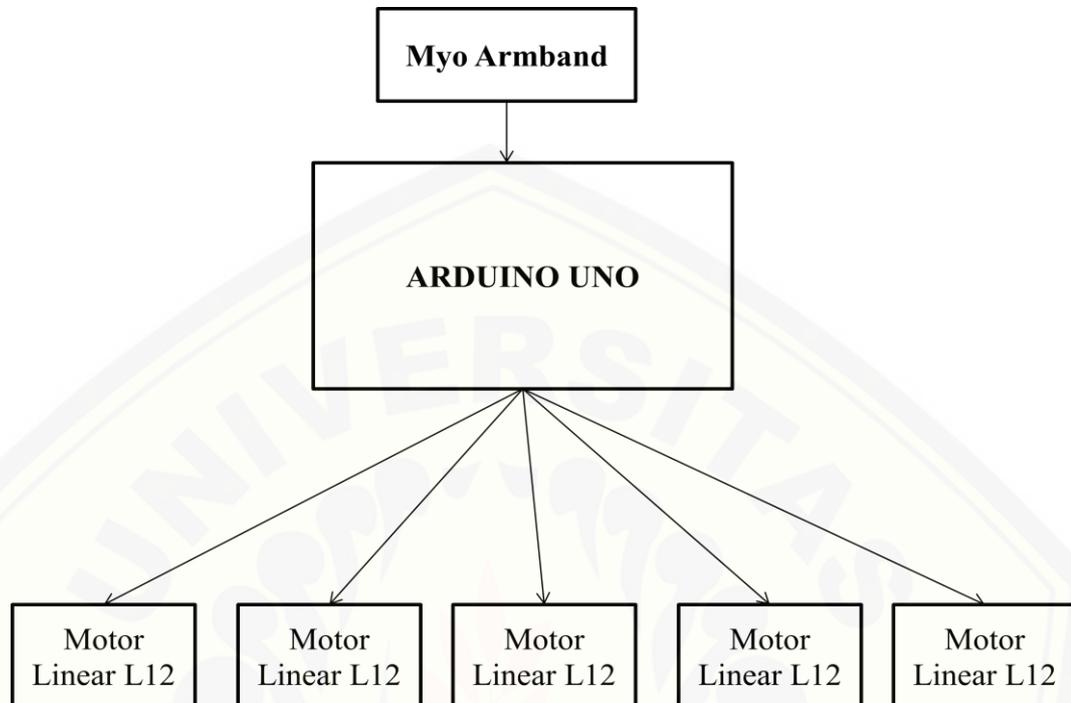


Gambar 3.4 Desain Robot Dari Depan

Pada penelitian ini penulis menggunakan robot tangan yang nanti fungsinya adalah untuk menggerakkan ruas-ruas setiap tangan, pada setiap jari tangan akan dipasang sebuah motor linear L12 yang fungsinya adalah untuk menggerakkan ruas jari tangan tersebut. Motor tersebut pergerakannya adalah maju dan mundur.

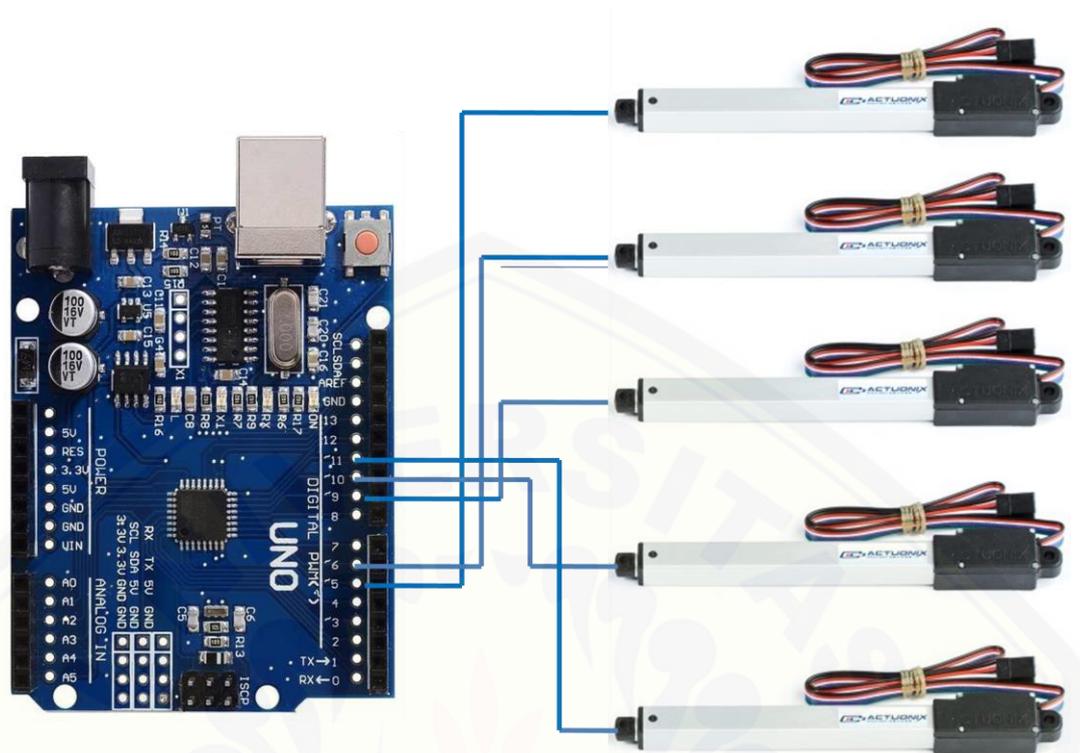
Desain robot ini sendiri dibuat menggunakan *software* Solidworks. Kemudian desain robot ini dicetak dengan menggunakan printer 3 Dimensi dengan material utamanya adalah berupa fillamen dengan jenis PLA.

3.5.2 Perancangan Sistem Elektronika



Gambar 3.5 Diagram Blok Desain Elektronika

Desain elektronika robot tangan menggunakan *Myo Armband* sebagai masukan sensor yang akan mengirimkan datanya ke Arduino UNO sebagai mikrokontroler, motor linear sebagai penggerak robot dan sensor sudut pergerakan tangan sebagai umpan balik ke sistem. Arduino UNO menerima sinyal perintah dari komputer (Matlab 2015) yang memproses sinyal EMG. Arduino UNO akan menggerakkan lima motor linear untuk membuka atau menutup jari-jari robot.



Gambar 3.6 Rangkaian Arduino dengan Motor Linear L12

Pada penelitian ini, penulis menggunakan lima buah motor linear L12 yang tiap motor mewakili satu jari, yaitu ibu jari, jari telunjuk, jari tengah, jari manis, dan jari kelingking. Pada setiap motor memiliki kabel yang dihubungkan menuju Arduino selaku mikrokontroler yang akan mengirimkan data ke motor linear agar motor bisa bergerak sesuai dengan keinginan. Kabel data dari motor linear akan dihubungkan ke pin PWM Arduino. Pin-pin PWM yang digunakan pada penelitian ini adalah pin 5,6,9,10 dan 11. Pada setiap motor juga memiliki kabel yang dihubungkan ke sumber positif dan sumber negatif untuk memberikan *supply* tegangan pada motor agar motor dapat bekerja.

3.5.3 Perancangan *Software*



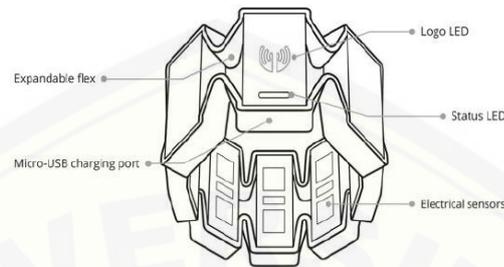
Gambar 3.7 Diagram Perancangan *Software*

Pada penelitian ini dilakukan perancangan *software* sebagai pengolahan data dari masukan berupa sensor *Myo Armband* yang akan diolah di dalam komputer menggunakan *software* Matlab 2015. Di dalam Matlab nanti penulis akan melakukan pengolahan yang dimulai dari pengambilan data sensor menggunakan *Myo Armband*, dilanjutkan proses ekstraksi fitur menggunakan fitur EMG, lalu proses dimensi reduksi dan yang terakhir adalah klasifikasi menggunakan RBF-ELM. Setelah data diolah dalam Matlab maka nantinya akan dikirimkan menuju Arduino untuk menggerakkan motor liner.

a. Data Sensor

Proses pengambilan data sensor disini menggunakan *Myo Armband* yang mana sensor ini dapat mencatat segala aktivitas otot gerak. Pada *Myo Armband* ini terdapat delapan buah sensor, sensor ini dipasang pada lengan dibawah siku

sebelah kanan dengan posisi penggunaannya seperti menggunakan gelang dengan posisi delapan buah sensor mengelilingi lengan.



Gambar 3.8 *Myo Armband* untuk Pengambilan Data Sensor

b. Ekstraksi Fitur

Pada tahapan ekstraksi fitur sinyal EMG disini dapat menggunakan fitur EMG. Setelah dilakukan pengambilan data sensor menggunakan perangkat *Myo Armband* dengan menggunakan Matlab maka setelah itu dilakukan ekstraksi fitur EMG. Di dalam fitur EMG terdapat 10 fitur EMG yang nantinya dapat digunakan untuk pengujian *offline* serta pengujian selanjutnya. Fitur-fitur ini nanti dapat digunakan sendiri maupun digunakan gabungan. Tujuan dari dilakukannya ekstraksi fitur itu sendiri adalah sebagai pengambilan ciri suatu objek dimana untuk menggambarkan ciri dari objek tersebut.

c. Dimensi Reduksi

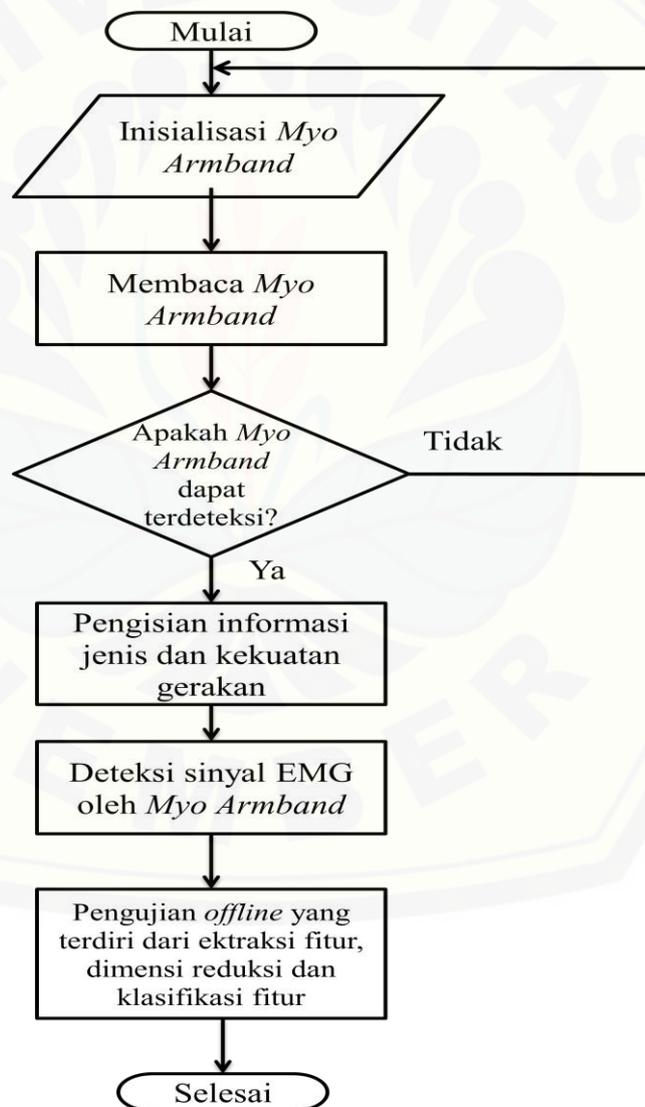
Fitur yang dihasilkan biasanya besar dan berserakan, tidak mengelompok berdasarkan kelompoknya. Untuk itu diperlukan metode untuk mengurangi dimensi fitur dan sekaligus memproyeksikan fitur-fitur tersebut ke representasi fitur yang lebih terkelompok. Dalam penelitian ini ada dua buah pilihan dimensi reduksi menggunakan *Principal Componen Analysis* (PCA) atau menggunakan *Linear Discriminant Analysis* (LDA) yang nanti dapat dipilih mana yang lebih bagus pada saat pengujian *offline*.

d. Klasifikasi

Metode pengklasifikasi digunakan untuk mengklasifikasikan fitur-fitur ke kelompok-kelompok gerakan yang telah didesain. Penelitian ini menggunakan salah satu varian dari jaringan syaraf tiruan yaitu *extreme learning machine* (ELM) atau mesin belajar cepat (MBC).

3.6 Flowchart Sistem

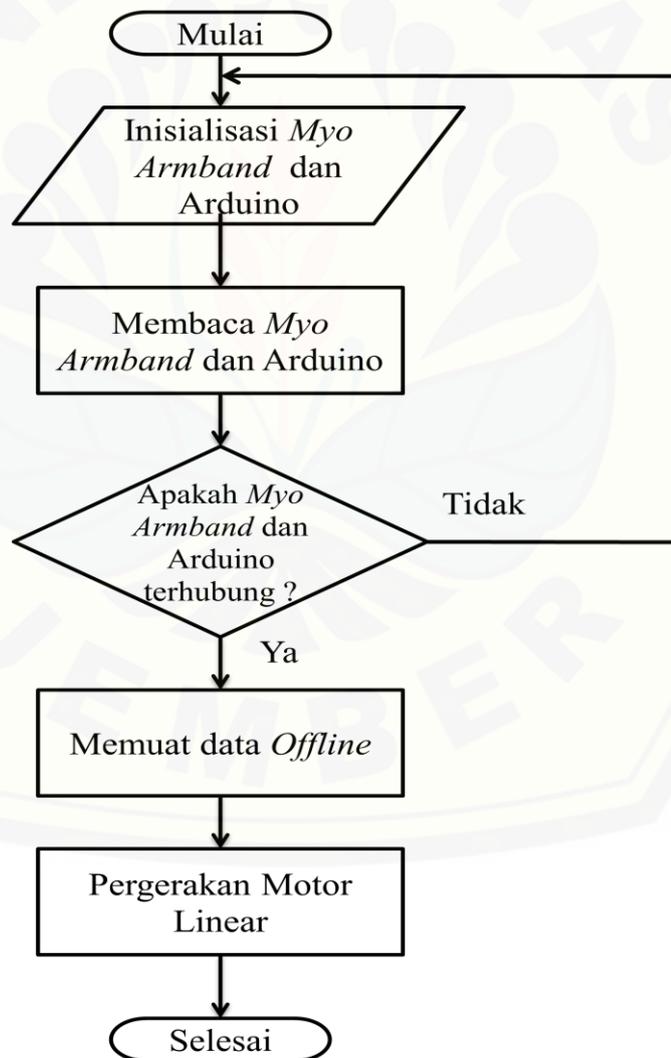
a. Flowchart Training Data



Gambar 3.9 Flowchart Training Data

Pada gambar 3.9 langkah awal yang harus dilakukan saat melakukan proses *training data* adalah inisialisasi *myo armband* yang digunakan untuk merekan seluruh aktivitas sinyal otot. Setelah *myo armband* sudah dapat terbaca oleh sistem maka dilanjutkan pengisian informasi yang berisi jenis gerakan, posisi tangan dan kekuatan tangan. Apabila semua sudah terisi maka dilanjutkan dengan pembacaan sinyal otot atau EMG dengan berdasar informasi yang telah terisi. Sinyal EMG yang sudah didapatkan selanjutnya akan dilakukan pengujian *offline* yang terdiri dari ekstraksi fitur, dimensi reduksi dan klasifikasi fitur.

b. *Flowchart Testing Data*



Gambar 3.10 *Flowchart Testing Data*

Pada gambar 3.10 langkah awal yang harus dilakukan adalah inisialisasi *myo armband* dan arduino yang mana arduino ini akan digunakan untuk mengirimkan perintah ke motor linear yang menjadi alat gerak robot. Setelah *myo armband* dan arduino dapat terbaca oleh sistem maka memuat data yang berisi data *training*. Apabila sudah dilakukan maka selanjutnya adalah arduino mengirimkan perintah untuk menggerakkan motor linear.

3.7 Rencana Data Pengujian

Setelah alat bekerja sesuai rancangan, diperlukan data apa saja yang harus didapatkan dari hasil pengujian agar tujuan penelitian dapat dicapai. Data yang akan dicari antara lain :

a. Pengujian Pendeteksian Sinyal EMG oleh *Myo Armband*

Pendeteksian ini dilakukan dengan cara data akuisisi sinyal EMG diambil menggunakan perangkat *Myo Armband*. Perangkat ini mampu mengukur aktivitas-aktivitas otot saat berkontraksi maupun saat relaksasi. Perangkat ini dipasangkan pada lengan manusia untuk mendapatkan sinyal otot yang dihasilkan pada saat otot melakukan aktivitas. Pengujian pendeteksian sinyal EMG oleh *Myo Armband* ini dilakukan untuk mengetahui ketepatan perangkat *Myo Armband* dalam mendeteksi sinyal EMG saat otot melakukan aktifitas. Metode pengambilan data yang dilakukan adalah :

1. Melakukan pengambilan data dari 5 orang subjek dengan prosedur yaitu, setiap orang melakukan delapan buah gerakan jari tangan yaitu gerakan ibu jari, jari telunjuk, jari tengah, jari manis, jari kelingking, ibu jari-jari telunjuk, menggenggam dan relaks. Setiap gerakan dilakukan dengan tiga macam gaya yakni gaya ringan (*Low Force*), gaya sedang (*Medium Force*) dan gaya kuat (*Strong Force*) dengan 3 macam posisi tangan yakni tangan lurus ke bawah, tangan direbahkan di atas meja dan tangan tegak di atas meja. Setiap gerakan pengujian membutuhkan waktu 5 detik dengan pengulangan sebanyak 6 kali. Jadi, jumlah keseluruhan pengujian pada setiap orang yaitu sebanyak 72 kali gerakan.

2. Semua hasil pengujian akan masuk pada tahapan kalifikasi *offline* dimana pada tahapan itu ada tahapan-tahapan yaitu fitur EMG, reduksi dimensi, dan klasifikasi. Fitur EMG yang akan digunakan adalah *Zero Crossing (ZC)*, *Wave Length (WL)*, *Slope Sign Change (SSC)*, *Skewness*, *Root Mean Square (RMS)*, *Autoregressive (AR)*, *Mean Absolute Value (MAV)*, *MAV Slope*, *Integrate Absolute Value (IAV)* dan *Hjorth Parameters*. Reduksi dimensi yang akan digunakan yaitu *Principal Componen Analysis (PCA)* dan *Linear Discriminant Analysis (LDA)*. Klasifikasi yang digunakan adalah *Extreme Learning Machine (ELM)*, *Radial Basis ELM (RBF-ELM)*, *Linear Discriminant Analysis (LDA)* dan *LIBSVM*.

b. Pengujian *Offline*

Pengujian *offline* disini dilakukan di dalam komputer menggunakan *software* Matlab 2015. Dalam pengujian *offline* ini terdapat tiga buah hal yang harus dilakukan yaitu melakukan ekstraksi fitur menggunakan fitur EMG, lalu melakukan dimensi reduksi untuk mereduksi sekumpulan set data yang besar tanpa mengurangi informasi aslinya, dan klasifikasi menggunakan RBF-ELM. Pengklasifikasian pada sistem ini untuk menguji ketepatan atau akurasi selama pengujian. Pengklasifikasian ini dilakukan dengan menggunakan RBF-ELM untuk menentukan tingkat keberhasilan dari pengujian yang dilakukan. Pada tahapan pengujian *offline* keluaran yang dihasilkan berupa nilai akurasi.

c. Pengujian *Online*

Setelah dilakukan pengujian *offline* maka akan keluar hasil berupa nilai akurasi. Nilai akurasi ini akan digunakan untuk menguji seberapa akuratnya gerakan tangan kita dengan data masukkan yang telah diolah sebelumnya pada tahap pengujian *offline*. Setelah itu nanti juga akan keluar nilai akurasi untuk pengujian *online*. Pengujian *online* ini juga dilakukan menggunakan Matlab 2015

d. Pengujian Pergerakan Robot Keseluruhan

Tahapan selanjutnya yaitu tahapan pengujian pergerakan jari-jari pada robot tangan. Pergerakan jari tangan yang dilakukan disini mencakup gerakan lima

jari tangan serta gerakan menggenggam dan gerakan mencubit, sehingga total terdapat delapan buah gerakan yang dihasilkan.

3.8 Prosedur Pengambilan Data

Pada tahapan pengambilan data ini penulis melakukan pengambilan data oleh beberapa orang. Pengambilan data dilakukan kepada lima orang dengan berbagai kondisi tangan. Setiap orang melakukan gerakan yang mana pada penelitian ini ada delapan gerakan tangan yang dilakukan yaitu gerak menutupnya ibu jari, jari telunjuk, jari tengah, jari manis, jari telunjuk, tangan menggenggam, tangan mencubit dan tangan dalam keadaan rileks dengan setiap gerakan dilakukan enam kali gerakan. Pada saat pengambilan data ini keadaan tangan dalam keadaan *low force*, *medium force* dan *strong force*. Berikut ini adalah data diri dari objek yang diambil datanya :

Tabel 3.2 Data Diri Objek

No	Nama	Jenis Kelamin	Usia (Tahun)	Kondisi
1	Nuharizka	Perempuan	22	Sehat
2	Mutiara	Perempuan	22	Sehat
3	Hanifatus	Perempuan	23	Sehat
4	Drajad	Laki-Laki	22	Sehat
5	Dhamas	Laki-Laki	22	Sehat

. Pengambilan data ini menggunakan perangkat *Myo Armband* untuk mendeteksi aktivitas sinyal otot. Pengambilan data ini dilakukan dengan cara meletakkan perangkat *Myo Armband* pada lengan yang letaknya di bawah siku, dengan semua atau delapan sensor EMG yang ada pada perangkat *Myo Armband*

mengelilingi lengan. Proses pengambilan data ini menggunakan Laptop Lenovo ideapad 320 dengan Matlab 2015a.



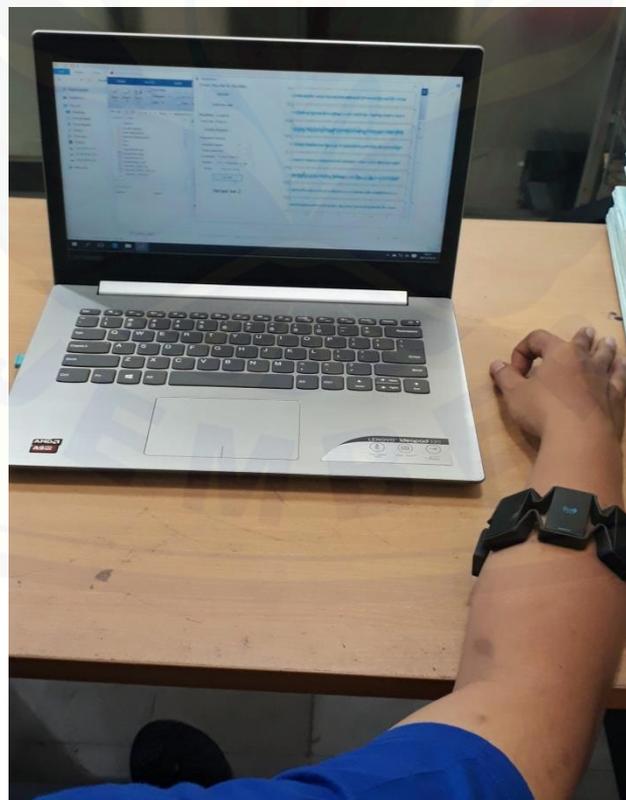
Gambar 3.11 Letak Perangkat *Myo Armband* pada Tangan

Pada proses pengambilan data ini penulis melakukan pengambilan data dari aktivitas sinyal otot pada lengan saat melakukan gerakan. Gerakan-gerakan yang dilakukan saat pengambilan data ini antara lain adalah kondisi kelima jari yakni ibu jari, jari telunjuk, jari tengah, jari manis, dan jari kelingking masing-masing melakukan kegiatan menutup jari. Gerakan yang lainnya yaitu gerakkan mencubit, gerakan mengepal dan juga keadaan tangan pada saat rileks.

Dalam penelitian ini ada tiga buah macam posisi tangan pada saat pengambilan data, diantaranya adalah tangan lurus ke bawah, tangan direbahkan di atas meja dan tangan tegak diatas meja.



Gambar 3.12 Posisi Tangan Lurus Ke Bawah



Gambar 3.13 Posisi Tangan Direbahkan Di atas Meja

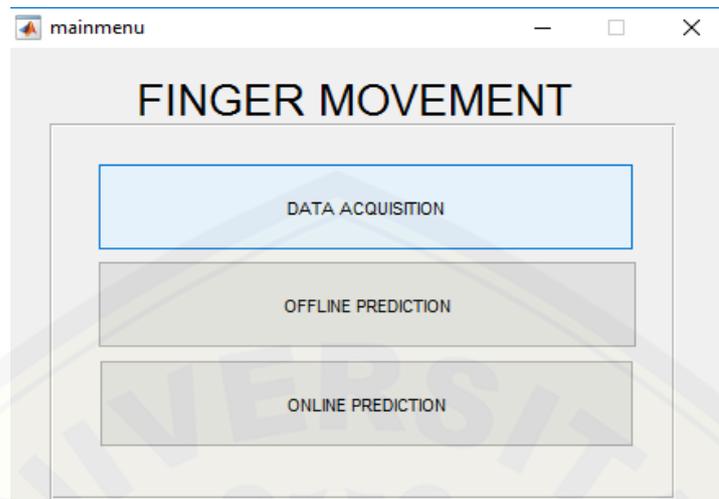


Gambar 3.14 Posisi Tangan Tegak Di atas Meja

3.8.1 Prosedur Olah Data EMG pada Matlab

Pada bagian ini akan dibahas tentang tata cara penggunaan dari program menggunakan *software* Matlab 2015 yang dimulai dari tahap akuisisi data, pengujian *offline* dan pengujian *online*.

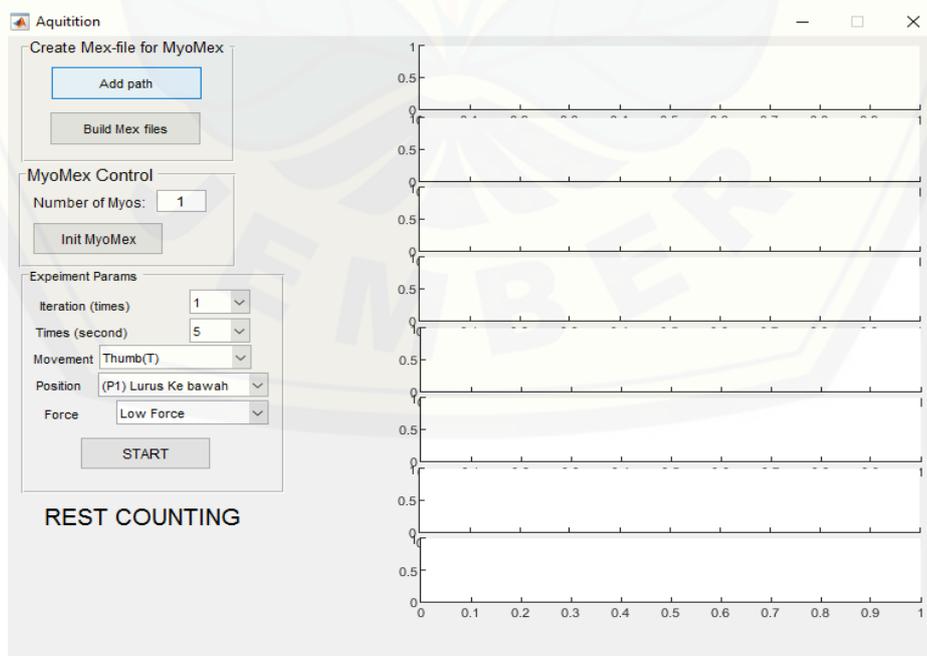
1. Main Menu



Gambar 3.15 Tampilan *Main Menu*

Pada gambar 3.15 merupakan tampilan menu utama dari program untuk pengolahan data EMG pada *software* Matlab 2015. Pada menu utama ini terdapat beberapa submenu antara lain adalah *data acquisition*, *offline prediction* dan *online prediction*.

2. Data Acquisition



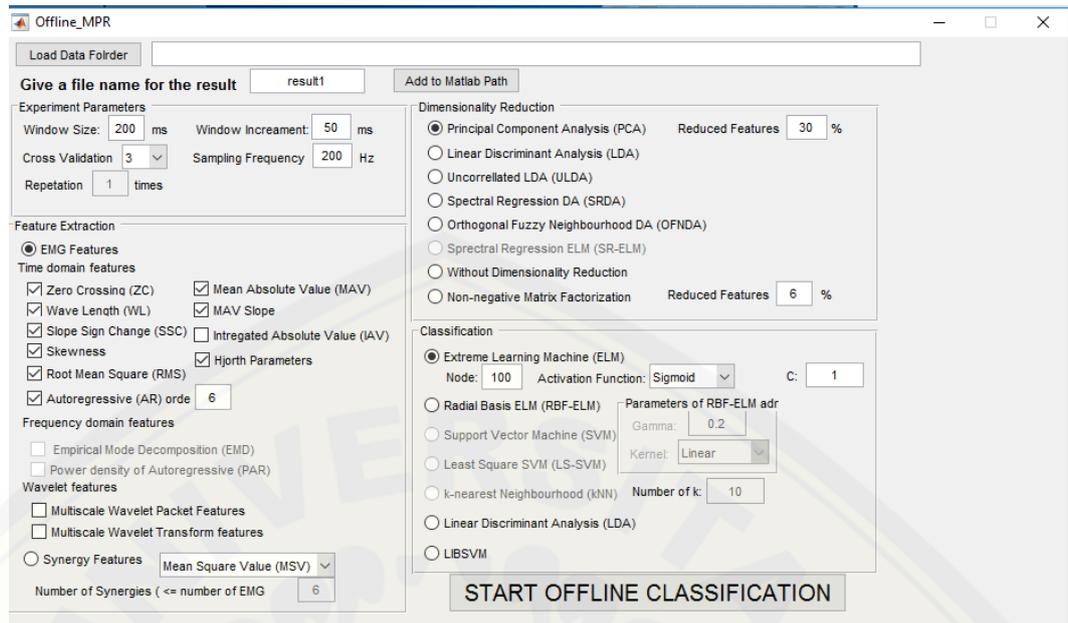
Gambar 3.16 Tampilan Menu *Data Acquisition*

Pada gambar 3.16 adalah tampilan dari menu *Data Acquisition* yang mana menu ini digunakan untuk proses akuisisi atau pengambilan data EMG dari perangkat *Myo Armband*. Pada menu *Data Acquisition* terdapat beberapa informasi yang harus dilakukan sebelum melakukan proses akuisisi, antara lain :

- a. *Add Path* : Untuk mendaftarkan *path* semua *file* dalam folder program Matlab yang digunakan.
- b. *Init MyoMex* : Untuk mendeteksi bahwa *Myo Armband* sudah terkoneksi dengan Matlab atau belum.
- c. *Iteration (times)* : Untuk menentukan berapa kali pengambilan data EMG.
- d. *Times (second)* : Untuk menentukan berapa waktu yang digunakan dalam pengambilan data.
- e. *Movement* : Untuk menentukan jenis gerakan apa yang akan diambil datanya. Pada menu ini terdapat delapan pilihan yaitu *Thumb (T)*, *Index (I)*, *Middle (M)*, *Ring (R)*, *Little (L)*, *Thumb-Index (TI)*, *Relax (RE)* dan *HandClose (HC)*.
- f. *Position* : Untuk menentukan posisi tangan. Pada menu ini terdapat tiga pilihan yaitu (P1) Lurus Ke Bawah, (P2) Direbahkan Di Atas Meja dan (P3) Tegak Berdiri Di Atas Meja.
- g. *Force* : Untuk menentukan jenis gaya tekanan pada tangan. Pada menu ini terdapat tiga pilihan yaitu *Low Force*, *Medium Force* dan *Strong Force*.
- h. *Start* : Untuk memulai proses akuisisi data.

3. *Offline Prediction*

Pada menu ini digunakan untuk mengolah data EMG agar menghasilkan nilai akurasi dan *error* pada saat pengambilan data.



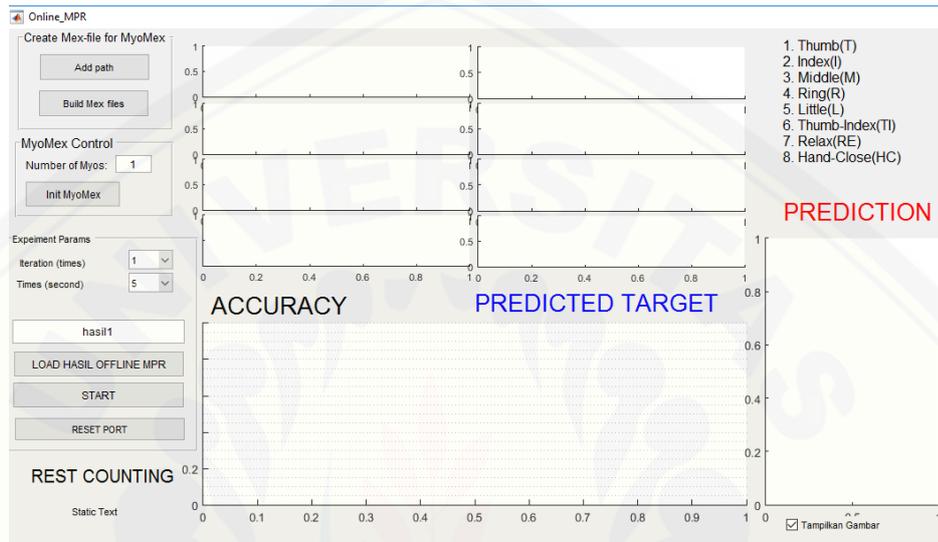
Gambar 3.17 Tampilan Menu *Offline Prediction*

Pada menu *offline prediction* ada beberapa beberapa langkah dan mengisi informasi terlebih dahulu sebelum memulai.

- Langkah pertama adalah *Load Data Folder*, untuk membuka folder data yang akan diolah.
- Memberi nama file pada kolom *Give a file name for the result*.
- Mengisi nilai parameter yang akan digunakan seperti *window size*, *window increment*, *cross validation* dan *sampling frequency*.
- Pada menu *feature extraction* memilih menu *EMG Features* dan disitu dapat memilih jenis fitur EMG yang mana yang akan digunakan.
- Pada menu *Dimensionality Reduction* memilih jenis dimensi reduksi yang akan digunakan.
- Pada menu *Classification* memilih jenis klasifikasi yang akan digunakan.
- Setelah semua parameter sudah diisi dan dipilih selanjutnya menekan tombol *START OFFLINE CLASSIFICATION*.

4. *Online Prediction*

Online Prediction merupakan tahapan pengujian secara *real time* yang mana apabila tangan kita melakukan pergerakan maka pada jendela menu *online prediction* akan menampilkan gambar yang mana gambar tersebut dapat berubah sesuai dengan gerakan tangan.



Gambar 3.18 Tampilan Menu *Online Prediction*

Pada gambar 3.18 adalah tampilan menu dari pengujian *online*. Sebelum melakukan pengujian *online* terlebih dahulu harus mengisi data informasi diantaranya

- Add Path* : Untuk mendaftarkan *path* semua *file* dalam folder program Matlab yang digunakan.
- Init MyoMex* : Untuk mendeteksi bahwa *Myo Armband* sudah terkoneksi dengan Matlab atau belum.
- Iteration (times)* : Untuk menentukan berapa kali pengambilan data EMG.
- Times (second)* : Untuk menentukan berapa waktu yang digunakan dalam pengambilan data.
- Load Hasil Offline MPR* : untuk memasukkan data hasil pengujian *offline*.
- Start* : untuk memulai pengujian *online*.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilaksanakan, dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Klasifikasi gerakan jari tangan menggunakan sensor *Myo Armband* menggunakan sistem pengenalan pola yang terdiri dari fitur EMG gabungan berupa MAV, IAV dan HP, menggunakan reduksi fitur LDA dan klasifikasi menggunakan RBF- ELM.
2. Kinerja sistem pengenalan pola untuk pendeteksian 8 gerakan jari yang terdiri dari ibu jari (*thumb*), jari telunjuk (*index*), jari tengah (*middle*), jari manis (*ring*), jari kelingking (*little*), ibu jari-telunjuk (*thumb-index*), relaks dan tangan menggenggam (*hand-close*) menghasilkan akurasi 93.98% untuk pengujian *offline* dan 66.65% untuk pengujian *online*.
3. Berdasarkan seluruh tahapan pengujian, robot tangan untuk penderita disabilitas amputasi dapat bergerak sesuai dengan hasil pendeteksian gerakan melalui Arduino. Kinerja dari robot sendiri sudah dapat dinilai layak, karena robot sudah mampu bergerak mengikuti keinginan, namun masih adanya kesalahan dalam pembacaan.

5.2 Saran

Pada penelitian ini masih terdapat banyak kekurangan di beberapa bagian dan harus dilakukan pengembangan serta inovasi pada penelitian selanjutnya agar hasil dari penelitian ini benar-benar mampu diterapkan kepada masyarakat. Berikut hal-hal yang perlu dilakukan perbaikan pada penelitian diantaranya adalah:

1. Pada saat tahapan pengambilan data, terdapat tiga buah macam gaya tekanan yang dilakukan yaitu *low force*, *medium force*, dan *strong force* yang mana pada penelitian ini dilakukan dengan cara mengira-ngira tekanan gaya

tersebut. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan sensor yang dapat mengukur gaya tekanan dari genggaman tangan.

2. Pada penelitian ini bahan dasar mekanik robot menggunakan filamen *printer* 3D dirasa belum terlalu kuat. Desain mekanik disarankan dibentuk dengan ketebalan yang pas agar robot tidak gampang patah serta menggunakan filament yang berbahan dasar lebih kuat.



DAFTAR PUSTAKA

Abduo, Mahmud. 2015. Myo Gesture Control Armband for Medical Applications. Department of Computer Science and Software Engineering. University of Canterbury.

Anam, Khairul dkk. 2017. Evaluation of Extreme Learning Machine For Classification of Individual and Combined Finger Movements Using Electromyography on Amputees and Non-Amputees. *Neural Network*. Volume 85 : 51-68.

Anam, Khairul dkk. 2018. Optimized Kernel Extreme Learning Machine for MyoElectric Pattern Recognition. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*. Volume 8(1) : 483-496.

Antuvan, Chris Wilson dkk. 2016. Role of Muscle Synergies in Real-Time Classification of Upper Limb Motions using Extreme Learning Machines. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. Volume 13(1) :76.

Falih, Adi Dwi Irwan. 2017. Klasifikasi Sinyal EMG Dari Otot Lengan Bawah Sebagai Media Kontrol Menggunakan Naïve Bayes. *Thesis*. Surabaya. Program Magister Bidang Keahlian Telematika. Institut Teknologi Sepuluh November.

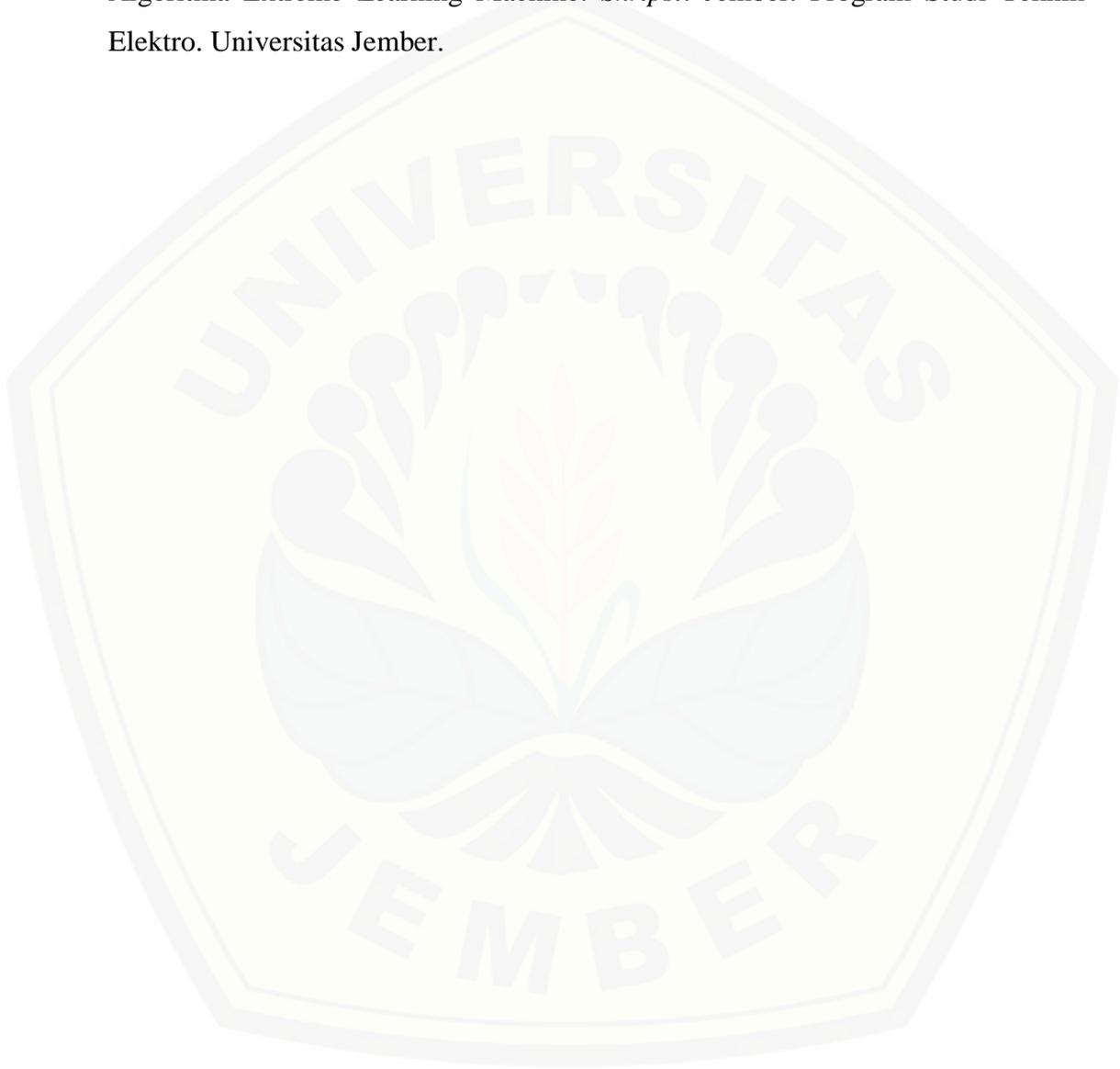
Fitriana, Yulia Nur. 2012. Sistem Kontrol Lengan Robot Menggunakan Sinyal EMG Berbasis Mikrokontroler H8/3069F. *Skripsi*. Depok. Program Studi Fisika. Universitas Indonesia.

Graham, Kathryn Ziegler dkk. 2008. Estimating the Prevalence of Limb Loss in the United States : 2005 to 2050. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. Volume 89(3) : 422.

Handika, I Putu Susila dkk. 2016. Perbandingan Metode Extreme Learning Machine dan Particle Swarm Optimization Extreme Learning Machine untuk Peramalan Jumlah Penjualan Barang. *Teknologi Elektro*. Volume 15(1) : 84-90.

Pratiwi, Indah. 2014. Letak Elektroda Elektromiografi pada Upper Extremity Muscle. *Prosiding Seminar Nasional TEKNOIN 2014* : 118-123.

Wildana, Iqbal Gilang. 2018. Rancang Bangun Prototype Robot Tangan Untuk Terapi Penyandang Disabilitas Pasca Stroke Berbasis EMG Menggunakan Algoritma Extreme Learning Machine. *Skripsi*. Jember. Program Studi Teknik Elektro. Universitas Jember.



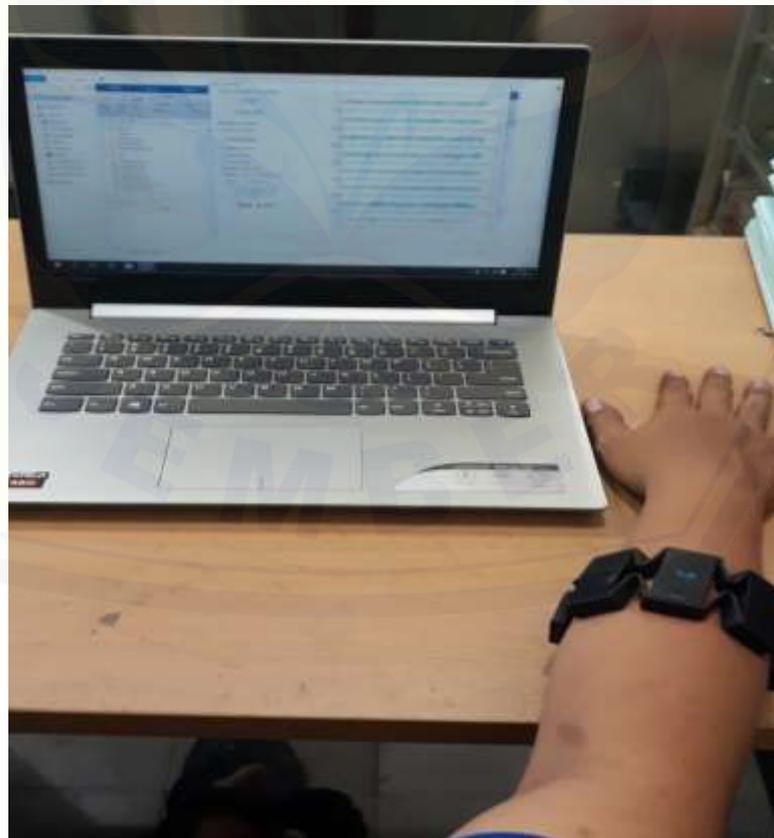


LAMPIRAN

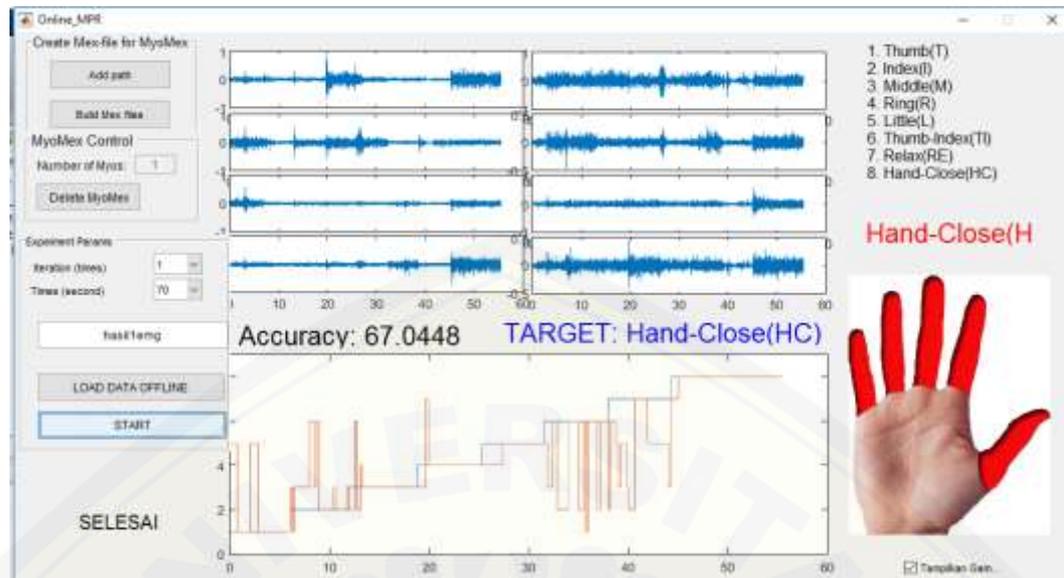
Gambar



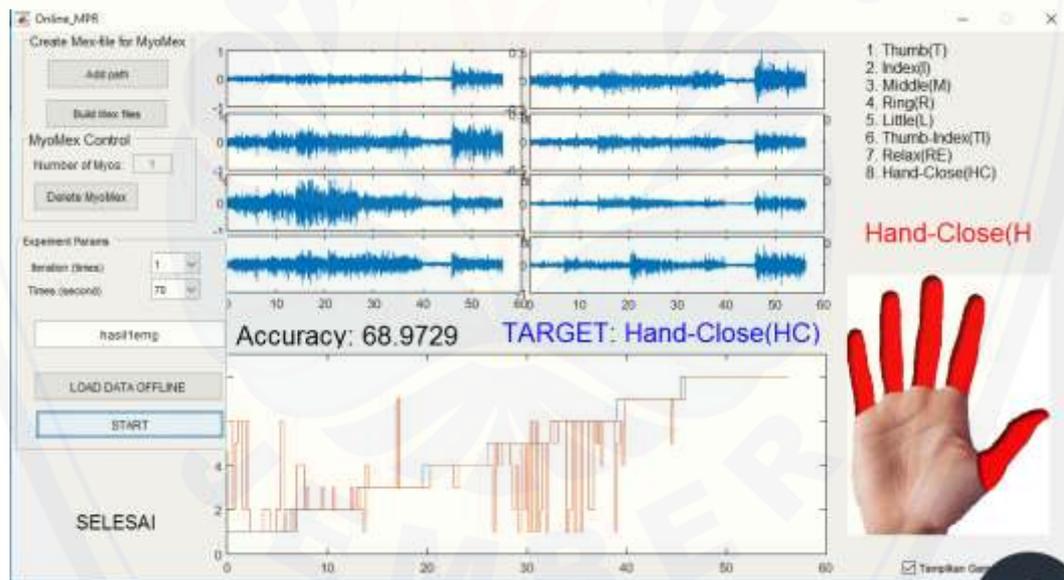
Gambar 1 Pengujian Robot Tangan



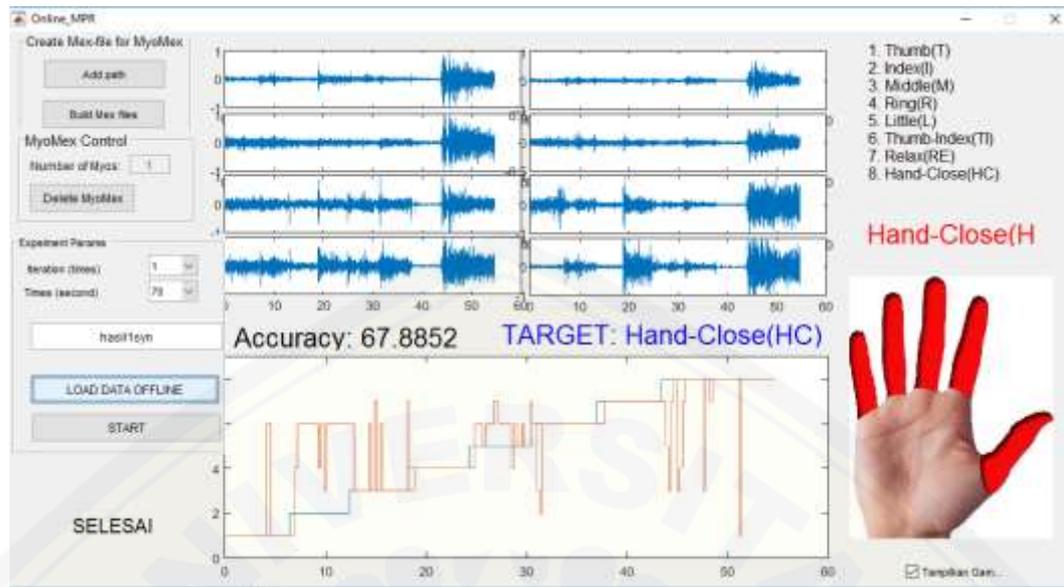
Gambar 2 Pengambilan Data Akuisisi



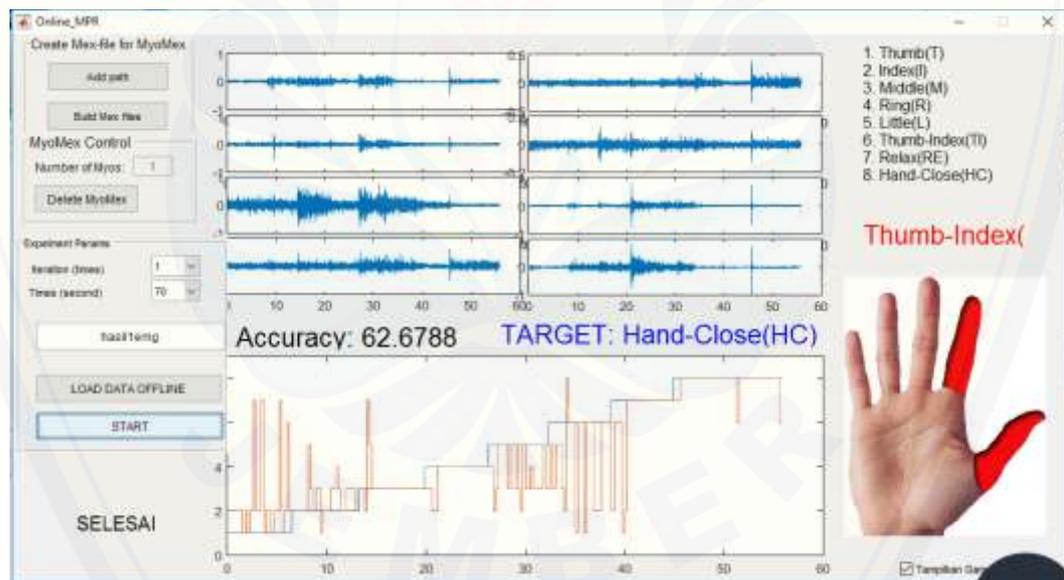
Gambar 3 Hasil Pengujian *Online* Tanpa Menggunakan Robot Subjek 1



Gambar 4 Hasil Pengujian *Online* Tanpa Menggunakan Robot Subjek 2



Gambar 5 Hasil Pengujian *Online* Tanpa Menggunakan Robot Subjek 3



Gambar 6 Hasil Pengujian *Online* Tanpa Menggunakan Robot Subjek 4