



TUGAS AKHIR - KI1502

Rancang Bangun *Electromyography Controlled Prosthetic Hand* Menggunakan Arduino Uno R3

R ADITYA BRAHMANA
NRP 5111100147

Dosen Pembimbing
Dr. Eng. Nanik Suciati, S.Kom., M.Kom.
Ridho Rahman Hariadi, S.Kom., M.Sc.

JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA
Fakultas Teknologi Informasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - KI1502

Design and Implementation of Electromyography Controlled Prosthetic Hand with Arduino Uno R3

R ADITYA BRAHMANA
NRP 5111100147

Advisor
Dr. Eng. Nanik Suciati, S.Kom., M.Kom.
Ridho Rahman Hariadi, S.Kom., M.Sc.

INFORMATICS DEPARTMENT
Faculty of Information Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN *ELECTROMYOGRAPHY CONTROLLED PROSTHETIC HAND* MENGGUNAKAN ARDUINO UNO R3

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer
pada
Bidang Studi Interaksi Grafis dan Seni
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Informatika
Fakultas Teknologi Informasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

R ADITYA BRAHMANA
NRP. 5111100147

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

1. Dr. Eng. Nanik Suciati, S.T, M.Kom, M.Ts, M.Sc
NIP: 197104281994122001 (pembimbing 1)
2. Ridho Rahman Hariadi, S.T, M.Kom, M.Sc
NIP: 198702132014041001 (pembimbing 2)



SURABAYA
JUNI, 2016

RANCANG BANGUN ELECTROMYOGRAPHY CONTROLLED PROSTHETIC HAND MENGGUNAKAN ARDUINO UNO R3

Nama Mahasiswa : R. Aditya Brahmana
NRP : 5111100147
Jurusan : Teknik Informatika FTIF-ITS
Dosen Pembimbing 1 : Dr. Eng. Nanik Suciati, S.Kom.,
M.Kom.
Dosen Pembimbing 2 : Ridho Rahman Hariadi, S.Kom.,
M.Sc.

ABSTRAK

Di Indonesia, terdapat sekitar 40.000 kasus amputasi baru setiap tahunnya. Harga tangan buatan untuk penderita amputasi masih relatif mahal untuk kalangan menengah ke bawah. Dalam mengontrol tangan buatan terdapat metode kontrol seperti menggunakan Electromyography (EMG). Pada tugas akhir ini, dilakukan perancangan tangan buatan, pembacaan sinyal otot menggunakan sistem EMG, serta penerjemahan sinyal otot menjadi sebuah perintah gerakan. Dari hasil perancangan dan pengujian, perangkat keras dan perangkat lunak yang dibangun dapat mendeteksi sinyal pada otot menggunakan mekanisme Surface EMG, aplikasi telah dapat menampilkan pembacaan sinyal otot dan mengategorikannya berdasarkan jari mana yang bergerak, perangkat keras dan perangkat lunak yang dibangun mampu meniru gerakan tangan pengguna, serta perangkat keras dan perangkat lunak masih sulit untuk 100% membedakan jari mana yang bergerak dikarenakan adanya noise dari bagian otot lain pada lengan.

Kata kunci : Tangan buatan, Electromyography, Sinyal otot, Gerakan tangan, Sensor EMG, Sensor elektroda

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF ELECTROMYOGRAPHY CONTROLLED PROSTHETIC HAND WITH ARDUINO UNO R3

Student Name : R. Aditya Brahmana
NRP : 5111100147
Department : Informatics Engineering FTIF-ITS
Supervisor 1 : Dr. Eng. Nanik Suciati, S.Kom.,
M.Kom.
Supervisor 2 : Ridho Rahman Hariadi, S.Kom.,
M.Sc.

ABSTRACT

In Indonesia, there are approximately 40,000 new cases of amputations each year. Prosthetic hands prices for amputees still relatively expensive for the middle to lower people. In control an artificial hand there are methods of control such as using Electromyography (EMG). In this thesis, is to design an artificial hand, readings signal the muscles using EMG system, as well as the translation of the signal into a command muscle movement. From the result of design and testing, hardware and software are built to detect a signal to the muscle using the mechanism of Surface EMG, the application has to show readings signal the muscles and mengategorikannya based on which finger moves, the hardware and software that is built is able to mimic the movements of the user's hands , as well as hardware and software 100% is still difficult to distinguish which finger was moved due to the noise from the other muscles in the arms.

Keywords: *Prosthetic Hand, Electromyography, muscle signals, hand movements, EMG Sensor, Electrodes Sensor*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
DAFTAR TABEL.....	xxiii
DAFTAR KODE SUMBER.....	xxv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Permasalahan	2
1.3. Batasan Permasalahan.....	2
1.4. Tujuan	3
1.5. Manfaat	3
1.6. Metodologi Penelitian.....	3
1.7. Sistematika Penulisan	5
BAB II DASAR TEORI	7
2.1. Prosthetic.....	7
2.1.2. Degree of Freedom (DOF).....	8
2.1.3. Jenis Prosthetic.....	9
2.1.4. Tangan Prosthetic.....	11
2.2. Mikrokontroler.....	14
2.3. Arduino Uno	15
2.3.1. Komponen Utama Arduino.....	17
2.4. Otot Manusia.....	21
2.4.1. Aksi Potensial	23
2.4.2. Neuromuscular Junction	25
2.5. EMG (Elektromiografi)	25
2.5.1. Elektroda.....	27
2.5.2. Surface EMG (SEMG).....	28
2.5.3. Sinyal EMG	29
BAB III ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM.....	33

3.1.	Gambaran Umum Sistem.....	33
3.2.	Perancangan Perangkat Keras.....	34
3.2.1.	Perancangan Mekanik.....	34
3.2.2.	Perancangan Elektronik.....	41
3.3.	Perancangan Perangkat Lunak.....	50
3.3.1.	Model Kasus Penggunaan.....	50
3.3.2.	Definisi Aktor.....	51
3.3.3.	Definisi Kasus Penggunaan.....	51
3.3.4.	Rancangan Antarmuka Aplikasi.....	54
3.4.	Perancangan Proses.....	57
3.4.1.	Fungsi Gerakan Servo Jari Pada Robot.....	57
BAB IV IMPLEMENTASI.....		59
4.1.	Lingkungan Pembangunan.....	59
4.2.	Implementasi Perangkat Keras.....	60
4.3.	Implementasi Perangkat Lunak.....	61
4.3.1.	Implementasi Antarmuka.....	61
4.3.2.	Implementasi Kode Sumber.....	64
BAB V PENGUJIAN DAN EVALUASI.....		67
5.1.	Lingkungan Uji Coba.....	67
5.2.	Skenario Pengujian.....	68
5.2.1.	Pengujian Skenario 1 dan Evaluasi.....	68
5.2.2.	Pengujian Skenario 2 dan Evaluasi.....	72
5.2.3.	Pengujian Skenario 3.....	75
5.2.4.	Pengujian Skenario 4.....	79
5.2.5.	Pengujian Skenario 5.....	82
5.2.6.	Pengujian Skenario 6.....	86
5.2.7.	Pengujian Skenario 7.....	88
5.2.8.	Pengujian Skenario 8.....	90
5.2.9.	Pengujian Skenario 9.....	93
5.2.10.	Pengujian Skenario 10.....	95
5.2.11.	Pengujian Skenario 11.....	97
5.3.	Analisis Hasil Pengujian.....	100
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....		101
6.1.	Kesimpulan.....	101
6.2.	Saran.....	101

DAFTAR PUSTAKA	103
BIODATA PENULIS	107

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 DoF sebuah benda dalam ruang 2-dimensi	8
Gambar 2.2 DoF sebuah benda dalam ruang 3-dimensi	9
Gambar 2.3 Jenis dari proses amputasi	10
Gambar 2.4 Susunan ulang dan sendi pada tangan manusia	12
Gambar 2.5 Ilustrasi dari otot FDP dan FDS pada jari tangan manusia	13
Gambar 2.6 Ruang kekuatan pada otot FDS dan FDP (sumbu-x: panjang perenggangan otot dari posisi terbuka (0) ke posisi tertutup (1), sumbu-y: kekuatan yang dibutuhkan)	13
Gambar 2.7 Ruang kekuatan yang telah dibagi pada otot FDS dan FDP (sumbu-x: panjang perenggangan otot dari posisi terbuka (0) ke posisi tertutup (1), sumbu-y: kekuatan yang dibutuhkan).....	14
Gambar 2.8 Arduino Uno	16
Gambar 2.9 Komponen Utama Arduino	17
Gambar 2.10 Pin pada Arduino Uno.....	18
Gambar 2.11 Struktur otot manusia.....	22
Gambar 2.12 Rangsangan syaraf pada otot.....	22
Gambar 2.13 Proses terjadinya aksi potensial pada otot.....	24
Gambar 2.14 Surface Electromyography (SEMG).....	26
Gambar 2.15 Contoh elektroda	27
Gambar 2.16 Proses electromyography (EMG).....	28
Gambar 2.17 Peletakan elektroda untuk Surface EMG	29
Gambar 2.18 Sinyal raw EMG.....	30
Gambar 2.19 Sinyal RMS EMG	30
Gambar 2.20 Frequency spectrum of EMG	31
Gambar 3.1 Diagram sistem	33
Gambar 3.2 Diagram sistem secara rinci	34
Gambar 3.3 DoF pada sendi pergerakan tangan	35
Gambar 3.4 DoF pada jari rancangan <i>prosthetic hand</i>	36
Gambar 3.5 DoF pada ibu jari rancangan <i>prosthetic hand</i>	36
Gambar 3.6 Desain tangan prosthetic	37
Gambar 3.7 Model CADdari rancangan jari.....	38
Gambar 3.8 Rancangan aritektur kinematik dari tiap jari	38

Gambar 3.9 Skema pergerakan region 1 pada jari.....	39
Gambar 3.10 Skema pergerakan region 2 pada jari.....	39
Gambar 3.11 Skema pergerakan region 1 pada ibu jari.....	39
Gambar 3.12 Skema pergerakan region 2 pada ibu jari.....	40
Gambar 3.13 Model 3D sendi telapak tangan.....	40
Gambar 3.14 Model 3D <i>proximal phalange</i>	41
Gambar 3.15 Model 3D <i>middle phalange</i> dan <i>distal phalange</i> ...	41
Gambar 3.16 Diagram skematik dari Arduino Uno dan shield sensor EMG	42
Gambar 3.17 Ilustrasi sistem pembacaan SEMG	42
Gambar 3.18 Posisi ideal peletakan 2 elektroda pada otot	43
Gambar 3.19 Lokasi peletakan elektroda EMG.....	44
Gambar 3.20 Rancangan sirkuit <i>differential amplifier</i>	45
Gambar 3.21 Respon dari <i>high pass filter</i>	46
Gambar 3.22 Rancangan sirkuit <i>high pass filter</i>	46
Gambar 3.23 Ilustrasi prinsip kerja modul EMG sensor – Arduino.	49
Gambar 3.24 Bentuk fisik motor servo.....	49
Gambar 3.25 Model Kasus Penggunaan Aplikasi	50
Gambar 3.22 Rancangan Antarmuka Halaman Pembacaan Gelombang EMG	55
Gambar 3.23 Rancangan Antarmuka Halaman Kalibrasi Sinyal EMG.....	56
Gambar 3.24 Rancangan Antarmuka Halaman Uji Akurasi.....	57
Gambar 4.1 Tampak depan implementasi <i>prosthetic hand</i>	60
Gambar 4.1 Tampak samping implementasi <i>prosthetic hand</i>	60
Gambar 4.2 Tampak belakang implementasi <i>prosthetic hand</i>	61
Gambar 4.4 Antarmuka Halaman Pembacaan Gelombang EMG62	
Gambar 4.5 Antarmuka Halaman Kalibrasi Sinyal EMG	63
Gambar 4.6 Antarmuka Halaman Uji Akurasi Pembacaan EMG64	
Gambar 5.1 Posisi awal gelombang EMG pada ibu jari (grafik paling atas) terlihat stabil.	70
Gambar 5.2 Saat ibu jari digerakkan, terjadi fluktuasi pada gelombang EMG ibu jari (grafik paling atas) dan terdeteksi bahwa	

terjadi gerakan (terdapat point (titik) merah pada puncak grafik).	71
Gambar 5.3 Hasil uji ketika jempol digerakkan	71
Gambar 5.4 Posisi awal gelombang EMG pada jari telunjuk (grafik kedua dari atas) terlihat stabil.	73
Gambar 5.5 Saat jari telunjuk digerakkan, terjadi fluktuasi pada gelombang EMG jari telunjuk (grafik kedua dari atas) dan terdeteksi bahwa terjadi gerakan (terdapat point (titik) merah pada puncak grafik).	74
Gambar 5.6 Hasil uji ketika jari telunjuk digerakkan	74
Gambar 5.7 Posisi awal gelombang EMG pada jari tengah (grafik ketiga dari atas) terlihat stabil.	77
Gambar 5.8 Saat jari tengah digerakkan, terjadi fluktuasi pada gelombang EMG jari tengah (grafik ketiga dari atas) dan terdeteksi bahwa terjadi gerakan (terdapat point (titik) merah pada puncak grafik).	77
Gambar 5.9 Hasil uji ketika jari tengah digerakkan	78
Gambar 5.10 Posisi awal gelombang EMG pada jari manis (grafik kedua dari bawah) terlihat stabil.	80
Gambar 5.11 Saat jari manis digerakkan, terjadi fluktuasi pada gelombang EMG jari manis (grafik kedua dari bawah) dan terdeteksi bahwa terjadi gerakan (terdapat point (titik) merah pada puncak grafik).	81
Gambar 5.12 Hasil uji ketika jari manis digerakkan.....	81
Gambar 5.13 Posisi awal gelombang EMG pada jari kelingking (grafik paling bawah) terlihat stabil.	84
Gambar 5.14 Saat jari kelingking digerakkan, terjadi fluktuasi pada gelombang EMG jari kelingking (grafik paling bawah) dan terdeteksi bahwa terjadi gerakan (terdapat point (titik) merah pada puncak grafik).	84
Gambar 5.15 Hasil uji ketika jari kelingking digerakkan.....	85
Gambar 5.16 Posisi awal gelombang EMG pada ibu jari (grafik paling atas) terlihat stabil.	87
Gambar 5.17 Saat ibu jari digerakkan, maka ibu jari pada tangan robot juga bergerak.	88

Gambar 5.18 Posisi awal gelombang EMG pada jari telunjuk (grafik kedua dari atas) terlihat stabil.	89
Gambar 5.19 Saat jari telunjuk digerakkan, maka jari telunjuk pada tangan robot juga bergerak.....	90
Gambar 5.20 Posisi awal gelombang EMG pada jari tengah (grafik ketiga dari atas) terlihat stabil.	92
Gambar 5.21 Saat jari tengah digerakkan, maka jari tengah pada tangan robot juga bergerak.....	92
Gambar 5.22 Posisi awal gelombang EMG pada jari manis (grafik kedua dari bawah) terlihat stabil.	94
Gambar 5.23 Saat jari manis digerakkan, maka jari manis pada tangan robot juga bergerak.....	95
Gambar 5.24 Posisi awal gelombang EMG pada jari kelingking (grafik paling bawah) terlihat stabil.....	96
Gambar 5.25 Saat jari kelingking digerakkan, maka jari kelingking pada tangan robot juga bergerak.	97
Gambar 5.26 Hasil uji ketika kelima jari digerakkan	99

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Definisi Aktor	51
Tabel 3.2 Definisi Kasus Penggunaan	51
Tabel 3.3 Spesifikasi Kasus Penggunaan Pembacaan Gelombang EMG	52
Tabel 3.4 Spesifikasi Kasus Penggunaan Kalibrasi Sinyal EMG	53
Tabel 3.5 Spesifikasi Kasus Penggunaan Uji Akurasi Pembacaan EMG	54
Tabel 5.1 Skenario Pengujian 1	69
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Skenario 1	70
Tabel 5.3 Skenario Pengujian 2	72
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Skenario 2	75
Tabel 5.5 Skenario Pengujian 3	75
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Skenario 3	78
Tabel 5.7 Skenario Pengujian 4	79
Tabel 5.8 Hasil Pengujian Skenario 4	82
Tabel 5.9 Skenario Pengujian 5	82
Tabel 5.10 Hasil Pengujian Skenario 5	85
Tabel 5.11 Skenario Pengujian 6	86
Tabel 5.12 Skenario Pengujian 7	88
Tabel 5.13 Skenario Pengujian 8	91
Tabel 5.14 Skenario Pengujian 9	93
Tabel 5.15 Skenario Pengujian 10	96
Tabel 5.16 Skenario Pengujian 11	98
Tabel 5.17 Hasil Pengujian Skenario 11	99
Tabel 5.18 Hasil Pengujian Keseluruhan Skenario	100

DAFTAR KODE SUMBER

Kode Sumber 3.1 Pseudocode gerakan servo jari.....	57
Kode Sumber 4.1 Fungsi pengenalan gerakan	65

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dipaparkan mengenai garis besar tugas akhir yang meliputi latar belakang, tujuan, rumusan dan batasan permasalahan, metodologi pembuatan tugas akhir, dan sistematika penulisan.

1.1. Latar Belakang

Saat ini ada 1.200.000 orang di Indonesia yang hidup dengan kehilangan anggota gerak tubuhnya. Berarti sekitar 0.5% penduduk di Indonesia masih hidup dengan keterbatasan dalam melakukan aktifitas hidupnya. Ditambah lagi ada sekitar 40.000 kasus amputasi baru di Indonesia tiap tahunnya. Solusi yang sudah ada yaitu standar *prosthetic hand* atau tangan buatan standart yang berfungsi sebagai sebuah hiasan dan belum membuat penderita amputasi bisa memiliki tangannya kembali. *Prosthetic hand* yang mampu beroperasi seperti layaknya tangan biasa sampai saat ini masih menjadi topik riset di berbagai tempat.

Selama ini para penyandang cacat amputasi tangan tidak punya pilihan lain kecuali membeli *prosthetic hand* dari luar negeri. Padahal harga tangan palsu tersebut relatif mahal sehingga hanya bisa dimiliki orang dari kalangan menengah keatas. Mahalnya harga per unit dari *prosthetic hand*, disebabkan proses pembuatan tangan palsu tersebut menggunakan teknologi tinggi terutama untuk material dan sistem kendalinya.

Untuk meningkatkan kemudahan dalam mengontrol *prosthetic hand*, berbagai macam metode kontrol diterapkan, seperti menggunakan *Electromyography* (EMG). Sistem EMG menyediakan komunikasi langsung antara otot manusia dan perangkat *prosthetic hand*.. Terdapat dua jenis EMG, yang pertama adalah *Invasive* EMG dimana diharuskannya dilakukan pembedahan atau pemasangan jarum pada otot untuk dapat melakukan proses pembacaan gelombang EMG, yang kedua adalah *Surface* EMG dimana hanya diperlukannya pemasangan

elektroda pada permukaan kulit untuk melakukan pembacaan gelombang EMG.

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah mengeksplorasi penggunaan *Surface EMG (SEMG)* yaitu EMG eksternal yang pemasangannya tidak perlu melewati proses pembedahan / *non-invasive* untuk mengontrol sebuah *prosthetic hand*, khususnya yang memiliki *degree of freedom* sebesar 14. Pada umumnya, sistem EMG telah digunakan dalam pengendalian berbagai perangkat listrik dan mekanik, akan tetapi EMG yang selama ini sudah dieksplorasi masih sangat jarang yang termasuk dalam kategori non-invasif. Satu-satunya pilihan non-invasif untuk mengakses sinyal otot dengan komputer adalah menggunakan elektroda, yang biasanya digunakan untuk membaca denyut jantung manusia. Selain itu EMG masih sulit ditemukan di luar lembaga penelitian dan kesehatan serta membutuhkan teknisi terlatih untuk mengoperasikannya. Karena alasan tersebut, peneliti akan mengeksplorasi penggunaan SEMG, yaitu sebuah non-invasif EMG yang murah dan tersedia secara komersial.

1.2. Rumusan Permasalahan

Rumusan masalah yang diangkat dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang *prosthetic hand* yang murah dan memiliki 14 *degree of freedom*.
2. Bagaimana melakukan pembacaan sinyal otot menggunakan sistem EMG.
3. Bagaimana cara menerjemahkan sinyal otot menjadi sebuah perintah gerakan.

1.3. Batasan Permasalahan

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini memiliki beberapa batasan, di antaranya sebagai berikut:

1. Pembacaan sinyal EMG menggunakan perangkat keras berbasis mikrokontroller Arduino Uno yang memiliki 11 sensor elektroda dengan resolusi 8 bit.
2. Menggerakkan *prosthetic hand* yang memiliki 14 *degree of freedom* berbahan plastik yang telah dibuat sebelumnya menggunakan teknologi 3D Printer.

1.4. Tujuan

Tujuan dari pembuatan tugas akhir ini adalah membuat Surface EMG *controlled prosthetic hand* menggunakan mikrokontroller Arduino Uno sebagai pembaca sinyal otot.

1.5. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari pengembangan aplikasi tugas akhir ini adalah:

1. Dapat membuat perangkat *prosthetic hand* yang terjangkau.
2. Terciptanya sistem kontrol *prosthetic hand* yang intuitif dan mudah digunakan menggunakan kendali otot.

1.6. Metodologi Penelitian

Pembuatan tugas akhir dilakukan menggunakan metodologi sebagai berikut:

A. Studi Literatur

Tahap studi literatur merupakan tahap pembelajaran dan pengumpulan informasi yang digunakan untuk mengimplementasikan tugas akhir. Tahap ini diawali dengan pengumpulan literatur, diskusi, eksplorasi teknologi, dan pustaka, serta pemahaman dasar teori yang digunakan pada topik tugas akhir. Literatur-literatur yang dimaksud disebutkan sebagai berikut:

1. *Prosthetic Hand*.

2. Cara kerja *electromyography* (EMG)
3. Pemodelan Tiga Dimensi (3D).
4. Struktur dan mekanisme kerja tangan manusia.
5. Arduino Uno.
6. Mekanika Robotika.

B. Perancangan perangkat keras dan perangkat lunak

Pada tahap ini diawali dengan melakukan analisis awal terhadap permasalahan utama yang muncul pada topik tugas akhir. Kemudian dilakukan perancangan perangkat keras dan lunak yang meliputi penentuan data yang akan digunakan dan proses- proses yang akan dilaksanakan. Langkah yang akan digunakan pada tahap ini adalah sebagai berikut:

1. Perancangan desain *prosthetic hand* sesuai dengan desain dan cara kerja tangan manusia.
2. Perancangan desain sirkuit mikrokontroller.
3. Perancangan metode pembacaan dan pemrosesan sinyal EMG.

C. Implementasi dan pembuatan system

Pada tahap ini dilakukan implementasi pemodelan *prosthetic hand* dengan aplikasi Blender, kemudian dicetak menggunakan printer 3D, implementasi desain mikrokontroller dan implementasi software pembaca sinyal EMG.

D. Uji coba dan evaluasi

Pada tahap ini dilakukan uji coba dengan menggunakan beberapa macam kondisi untuk mencoba apakah perangkat keras dan perangkat lunak yang telah dibuat bisa berjalan atau tidak.

E. Penyusunan laporan tugas akhir

Pada tahap ini dilakukan penyusunan laporan yang berisi dasar teori, dokumentasi dari perangkat keras dan lunak, dan hasil-hasil yang diperoleh selama pengerjaan tugas akhir.

1.7. Sistematika Penulisan

Buku tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab yang dijelaskan sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan

Bab yang berisi mengenai latar belakang, tujuan, dan manfaat dari pembuatan Tugas Akhir. Selain itu bab ini juga berisi permasalahan, batasan masalah, metodologi yang digunakan, dan sistematika penulisan.

BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi penjelasan secara detail mengenai dasar-dasar penunjang dan teori-teori yang digunakan untuk mendukung pembuatan Tugas Akhir ini.

BAB III Perancangan Sistem

Bab ini berisi tentang rancangan keseluruhan sistem. Penjelasan berupa *pseudocode* fungsi – fungsi utama pada program.

BAB IV Implementasi

Bab ini membahas implementasi dari rancangan yang telah dibuat pada bab sebelumnya. Penjelasan berupa kode program yang digunakan untuk proses implementasi.

BAB V Uji Coba Dan Evaluasi

Bab ini menjelaskan kemampuan perangkat lunak dengan melakukan pengujian kebenaran dan pengujian kinerja dari sistem yang telah dibuat.

BAB VI Kesimpulan Dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil uji coba yang dilakukan dan saran untuk pengembangan perangkat lunak ke depannya.

BAB II

DASAR TEORI

Pada bab ini akan dibahas mengenai dasar teori yang menjadi dasar pembuatan tugas akhir ini. Pokok permasalahan yang akan di bahas mengenai teknologi yang mendukung dalam pembuatan tugas akhir seperti Arduino Uno dan EMG, serta pengetahuan umum mengenai *prosthetic hand* yang akan di simulasikan pada tugas akhir.

2.1. Prosthetic

Prosthetic adalah sebuah alat yang berfungsi untuk menggantikan bagian tubuh yang rusak atau hilang [1]. Alat *prosthetic* memiliki kemampuan untuk mengembalikan beberapa, jika tidak seluruhnya, mobilitas dan fungsionalitas dari bagian tubuh yang digantikannya [1]. Anggota tubuh seringkali hilang karena trauma, penyakit atau cacat turunan. Setelah kehilangan anggota tubuh, akan menjadi hal yang sangat sulit bagi seseorang untuk melanjutkan hidup normalnya. Anggota tubuh *prosthetic* membantu seseorang yang telah diamputasi untuk mendapatkan beberapa jenis mobilitas yang tidak bisa mereka dapatkan tanpa adanya alat tersebut [1].

Tangan *prosthetic* sendiri dapat bernilai mulai dari \$5,000 sampai \$50,000 [2]. Meskipun beberapa alat dapat bernilai lebih mahal, mereka hanya dapat bertahan untuk digunakan selama 5 tahun sebelum dibutuhkannya alat pengganti [3]. Sehingga, membeli anggota tubuh *prosthetic* bukanlah pengeluaran satu kali. Glen Garrison, Direktur Prosthetics dan Orthotics di Rumah Sakit Special Surgery di New York membandingkan membeli anggota tubuh *prosthetic* dengan membeli mobil. “*prosthetic hand* dapat menjadi sangat mahal untuk dimiliki.” [4]

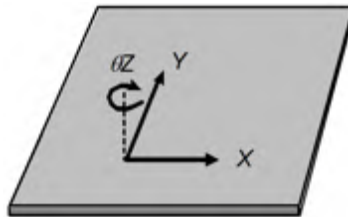
Ada beberapa macam persyaratan untuk sebuah anggota tubuh *prosthetic* yang efisien. Dalam sebuah artikel yang diterbitkan oleh Marco Troncosi dan Vincezo Parenti-Castelli tentang desain dari anggota tubuh *prosthetic*, mereka membuat

sebuah daftar berisi dua belas elemen yang harus dipenuhi agar sebuah anggota tubuh *prosthetic* dapat memenuhi kepuasan pemakainya [5]:

1. Memiliki kecekatan yang setinggi mungkin
2. Performa yang bagus (dalam hal kecepatan dan torsi)
3. Ketahanan yang layak
4. Kontrol yang efisien
5. Penampilan seperti anggota tubuh asli
6. Bobot yang ringan
7. Ukuran dan proporsi yang wajar
8. Kenyamanan yang cukup untuk pemakainya
9. Kontrol yang mudah bagi pemakainya
10. Memiliki komponen yang bisa diandalkan
11. Memiliki kebisingan yang rendah
12. Memiliki sumber energi yang cukup untuk beroperasi sepanjang hari.

2.1.2. Degree of Freedom (DOF)

Degree of freedom (DoF) pada bidang mekanik adalah jumlah parameter independen yang menyusun sistem gerak sebuah sistem mekanik [6]. Dengan kata lain, DoF adalah jumlah parameter yang menentukan keadaan sebuah sistem fisik. Dalam bidang teknik mesin, *aeronautical engineering*, robotika, dan teknik sipil, DoF diperlukan untuk menentukan keadaan sistem fisik dan juga merupakan unsur yang penting dalam analisa sistem. Ilustrasi berikut ini diharapkan dapat memperjelas pemahaman tentang DoF.



Gambar 2.1 DoF sebuah benda dalam ruang 2-dimensi

Sebuah mobil yang bergerak pada suatu jalur tetap hanya mempunyai 1 DoF, karena mobil tersebut hanya mampu berjalan maju atau mundur, sesuai bentuk jalurnya. Sedangkan sebuah mobil yang berjalan pada sebuah bidang datar (ruang 2-dimensi, tidak ada naik turun) mempunyai 3 DoF yang terdiri dari 2 komponen translasi dan 1 sudut rotasi (Gambar 2.1). *Skidding* atau *drifting* merupakan contoh yang memperlihatkan dengan jelas gerakan 3 DoF independen mobil tersebut. Pada umumnya, posisi benda tegar di sebuah ruang ditentukan oleh 3 komponen translasi dan 3 komponen rotasi, yang menunjukkan bahwa benda tersebut mempunyai 6 DoF (Gambar 2.2).



Gambar 2.2 DoF sebuah benda dalam ruang 3-dimensi

2.1.3. *Jenis Prosthetic*

Setiap proses amputasi adalah proses yang berbeda, dan setiap anggota tubuh *prosthetic* bagian atas dapat dikategorikan menurut beberapa jenis amputasi. Sebagai contoh, pada anggota tubuh bagian atas, amputasi transhumeral merujuk pada proses amputasi dari bahu kebawah, sementara amputasi transradial merujuk pada proses amputasi dari sikut kebawah. Hampir sama dengan bagian tubuh atas, amputasi transfemoral dan transtibial merujuk pada proses amputasi diatas dan dibawah lutut. Gambar 2.3 mengilustrasikan konsep tersebut.



Gambar 2.3 Jenis dari proses amputasi

Jenis-jenis proses amputasi diatas menjadi landasan dari jenis alat *prothetic* apa yang dapat digunakan oleh pasien. Salah satu jenis *prothetic* yang dapat digunakan adalah implant *osseointegrated*, yang artinya alat *prothetic* yang dipasang memiliki kontak langsung dengan tulang. Teknik ini telah digunakan secara medis sejak tahun 1965. *Osseointegrated* memastikan sebuah alat *prothetic* memiliki sambungan yang stabil dan kuat dalam jangka waktu yang panjang [7]. Jenis *prothetic* ini membantu meningkatkan kemudahan kontrol dari anggota tubuh. Kebanyakan dari *prothetic* jenis ini dibuat dari bahan titanium karena durabilitas dan minimnya timbulnya infeksi yang dapat terjadi dengan bahan ini.

Salah satu jenis *prothetic* lain yang paling sering digunakan adalah jenis *suspense*. Biasanya menggunakan sabuk, pengikat atau sarung untuk menunjang terpasangnya *prothetic* ke tubuh seseorang.

Ada tiga jenis anggota tubuh *prothetic* bagian atas. Yang pertama adalah *prothetic* kosmetik, jenis ini biasanya memiliki fungsionalitas yang sangat sedikit atau bahkan tidak sama sekali. Hanya digunakan dengan tujuan kosmetik belaka, memiliki tampilan yang mirip dengan bagian manapun dari tangan atau lengan yang ia gantikan [8]. Yang kedua adalah *body powered prothetic*, dioperasikan oleh beberapa kabel yang terhubung dengan beberapa bagian tubuh pemakainya. Keuntungan dari jenis

prosthetic ini adalah ia tidak membutuhkan sumber listrik eksternal untuk beroperasi, namun kelemahan dari jenis *prosthetic* ini adalah, ia membutuhkan pergerakan yang tidak natural untuk mengoperasikan *prosthetic* ini [8]. Jenis yang ketiga dan terakhir adalah *myoelectric prosthetic*. Ini akan menjadi fokus utama dari skripsi yang penulis buat.

Myoelectric prosthetic digerakkan oleh sinyal otot yang didapat dari sisa anggota tubuh yang masih ada. Seringkali, sinyal tersebut direkam dengan menggunakan *electromyography* (EMG). Elektroda dipasang pada permukaan kulit anggota gerak untuk menangkap yang dikirim dari syaraf ke anggota gerak tersebut.

2.1.4. Tangan Prosthetic

Sudah ada banyak pendekatan-pendekatan yang dilakukan untuk mengembangkan tangan *prosthetic* yang efektif. Strategi yang bermacam-macam ini seringkali hanya berujung pada fokus ke salah satu dari kategori berikut: implementasi tipe penggerak/aktuator yang baru [9] [10] [11], pengembangan struktur kinematik yang lebih efektif [12] [13], menghasilkan strategi kontrol yang efektif [14] [15] [16], dan interpretasi sinyal input [14]. Hal diatas berhasil membuat tangan robot melakukan kegiatan-kegiatan yang biasa dilakukan oleh tangan normal manusia dengan tingkat kemiripan yang tinggi, seperti DLR hand [17], I-Limb Hand [18], Shadow hand [19], dan Fluidhand [9].

Masalah utama yang menyebabkan tangan *prosthetic* ini sulit dirancang dikarenakan tangan normal manusia memiliki banyak tulang dan sendi (Gambar 2.4). Hal ini diperkuat dengan fakta bahwa tangan normal manusia dalam beraktivitas tidak hanya meliputi telapak tangan dan jari-jari namun juga pergelangan tangan, otot lengan bawah dan sistem saraf. Sehingga beberapa, keseluruhan struktur penggerak tangan *prosthetic* (input, kemampuan, kekuatan, kinematis) harus sesuai dengan dimensi tangan normal manusia yang digantikannya.

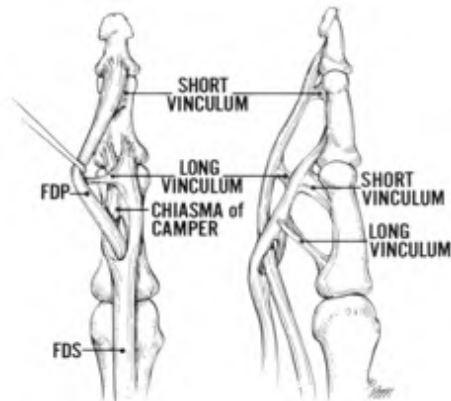


Gambar 2.4 Susunan ulang dan sendi pada tangan manusia

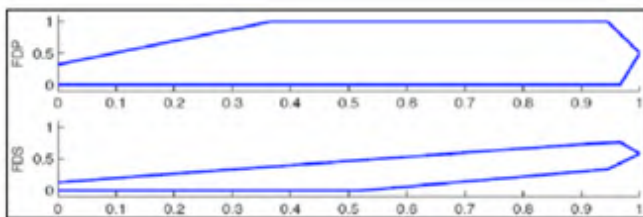
Otot *Flexor Digitorum Superficialis* (FDS) dan *Flexor Digitorum Profundus* (FDP) merupakan otot fleksor utama pada jari manusia dan pada pergerakannya dilawan oleh otot *Extensor Digitorum* (ED) [20]. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.5, otot FDP menempel pada *Distal Phalanx* dan mampu membuat tangan bergerak menutup secara penuh; yang merupakan pergerakan paling aktif bagi otot fleksor semua jari. Sedangkan otot FDS menempel pada *Middle Phalanx* dan kapasitas penuhnya biasanya tercapai ketika aktivasi dari sendi *Distal Interphalangeal* (DIP) tidak dibutuhkan atau ketika aktivitas menutup tangan secara penuh membutuhkan kekuatan tambahan [21].

Ruang kekuatan otot FDS dan FDP dapat dilihat pada Gambar 2.6. Gambar tersebut menunjukkan normalisasi pengerahan tenaga yang maksimal dari otot FDP dan FDS (sumbu y) selama pelaksanaan kekuatan maksimal tangan (sumbu x). Otot FDP dapat mencapai eksekusi gaya maksimum kira-kira 35% dari total upaya fleksural [22], namun, otot FDS akan terus mengerahkan kekuatan hingga 100% dari total upaya fleksural. Perilaku FDP dan FDS ini dapat dikaitkan dengan aktivasi

neurologis yang sudah dimengerti oleh otot-otot ini [23] serta jari-jari yang berhubungan dengan struktur kinematis ini.



Gambar 2.5 Ilustrasi dari otot FDP dan FDS pada jari tangan manusia

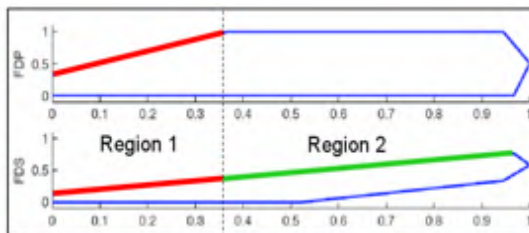


Gambar 2.6 Ruang kekuatan pada otot FDS dan FDP (sumbu-x: panjang perenggangan otot dari posisi terbuka (0) ke posisi tertutup (1), sumbu-y: kekuatan yang dibutuhkan)

Ruang kekuatan FDS dan FDP meliputi kebutuhan kekuatan untuk seluruh aktivitas yang harus dilakukan oleh tangan normal manusia. Secara umum, mayoritas aktivitas sehari-hari tidak membutuhkan kekuatan yang besar namun membutuhkan ketangkasan tertentu. Untuk menggunakan atau mendekati suatu objek, sebuah jari dapat menggunakan baik otot FDS dan FDP untuk mengakomodir berbagai macam bentuk benda dan

mengeksekusi pergerakan baik yang umum atau yang kompleks. Gambar 2.7 menunjukkan bahwa otot FDS dan FDP aktif untuk kegiatan dengan kapasitas maksimal kekuatan tangan di bawah 35% dan biasanya digunakan pada gerakan saat menggunakan atau mendekati suatu objek.

Kegiatan menggenggam biasanya membutuhkan tingkat ketangkasan yang lebih rendah dan kekuatan yang lebih tinggi dibanding menggunakan atau mendekati objek. Ukuran dan berat benda serta karakteristik genggaman menentukan seberapa besar kekuatan yang dibutuhkan dari ruang kekuatan jari, seperti yang terlihat pada Gambar 2.7. Perlu diingat bahwa sebenarnya tindakan menggenggam umumnya membutuhkan jauh lebih sedikit gerakan jari yang kompleks daripada manipulasi.



Gambar 2.7 Ruang kekuatan yang telah dibagi pada otot FDS dan FDP (sumbu-x: panjang perenggangan otot dari posisi terbuka (0) ke posisi tertutup (1), sumbu-y: kekuatan yang dibutuhkan)

Meskipun tulang, sendi, dan otot dari ibu jari sedikit berbeda dengan jari-jari lainnya, pembagian area ruang kekuatan otot FDS dan FDP ibu jari tetap berlaku sama bagi rancangan mekanikal ibu jari *prosthetic*.

2.2. Mikrokontroler

Berbagai jenis komputer dirancang dan dibangun dengan tujuan berbeda. Komputer yang menjadi jantung laptop Anda dioptimalkan untuk tujuan berbeda dari apa yang ada didalam

ponsel atau didalam mouse yang anda pegang sekarang. Komputer sederhana adalah perangkat yang dirancang untuk mengambil perangkat input (masukan) dari dunia fisik dan atau mengendalikan perangkat output (keluaran) di dunia fisik. Inilah yang disebut mikrokontroler.

Sebagian perangkat elektronik yang ada sekarang ini memiliki mikrokontroler pada bagian intinya. Mikrokontroler yang dioptimalkan untuk mengendalikan input saja atau output saja. Mereka pada umumnya memiliki kemampuan komputasi yang rendah jika dibandingkan dengan prosesor yang digunakan pada komputer multimedia atau komputer *server*. Mikrokontroler membutuhkan daya yang lebih rendah dibanding prosesor lainnya dan lebih mudah untuk berinteraksi dengan dunia fisik melalui sirkuit input yang disebut sensor dan sirkuit output yang disebut aktuator. Mikrokontroler juga dapat berkomunikasi dengan prosesor lain melalui berbagai antarmuka komunikasi (*communication interface*).

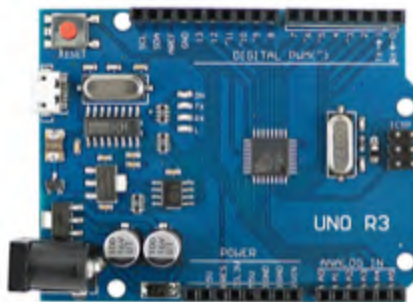
Komputer dan Prosesor adalah istilah umum untuk apapun yang pada dasarnya mampu menjalankan program. Sedangkan Kontroler atau Mikrokontroler biasanya diperuntukan bagi prosesor sederhana yang hanya mampu menjalankan satu tugas saja, seperti membaca sensor.

2.3. Arduino Uno

Arduino adalah sebuah platform *open-source* (sumber terbuka) yang digunakan untuk membuat proyek-proyek elektronika. Arduino terdiri dari dua bagian utama yaitu sebuah papan sirkuit fisik (sering disebut juga dengan mikrokontroler) dan sebuah perangkat lunak atau IDE (*Integrated Development Environment*) yang berjalan pada komputer. Perangkat lunak ini sering disebut Arduino IDE yang digunakan untuk menulis dan meng-upload kode dari komputer ke papan fisik (*hardware*) Arduino [24]. Ketika membicarakan Arduino maka ada dua hal yang terlintas dalam pikiran para penggunanya, yaitu *hardware*

dan *software*. Dua bagian ini seakan satu kesatuan utuh yang tidak bisa di pisahkan

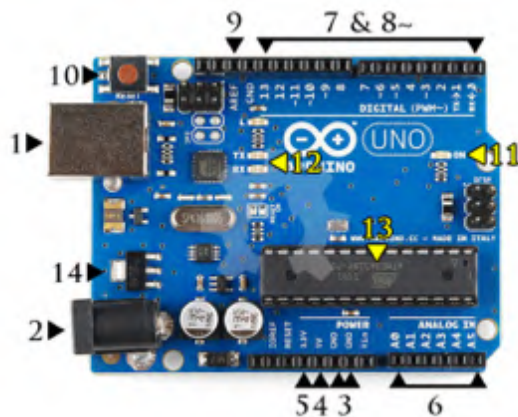
Arduino Uno seperti Gambar 2.8 sendiri sekarang ini menjadi sangat populer dengan pertambahan jumlah pengguna baru yang terus meningkat. Hal ini karena kemudahannya dalam penggunaan dan penulisan kode. Tidak seperti kebanyakan papan sirkuit pemrograman sebelumnya, Arduino tidak lagi membutuhkan perangkat keras terpisah (disebut *programmer* atau *downloader*) untuk memuat atau meng-upload kode baru ke dalam mikrokontroler. Cukup dengan menggunakan kabel USB untuk mulai menggunakan Arduino. Selain itu, Arduino IDE menggunakan bahasa pemrograman C++ dengan versi yang telah disederhanakan, sehingga lebih mudah dalam belajar pemrograman. Arduino akhirnya berhasil menjadi papan sirkuit pemrograman paling disukai hingga menjadikannya sebagai bentuk standar dari fungsi mikrokontroler dengan paket yang mudah untuk diakses.



Gambar 2.8 Arduino Uno

Hardware dan *software* Arduino dirancang bagi para seniman, desainer, pe-hobi, *hacker*, pemula dan siapapun yang tertarik untuk menciptakan objek interaktif dan pengembangan lingkungan. Arduino mampu berinteraksi dengan tombol, LED, motor, speaker, GPS, kamera, internet, ponsel pintar bahkan

dengan televisi anda [24]. Fleksibilitas ini dihasilkan dari kombinasi ketersediaan software Arduino yang gratis, papan perangkat keras yang murah, dan keduanya yang mudah untuk dipelajari. Hal inilah yang menciptakan jumlah pengguna menjadi sebuah komunitas besar dengan berbagai kontribusinya yang telah dirilis pada berbagai proyek dengan berbasiskan Arduino.



Gambar 2.9 Komponen Utama Arduino

2.3.1. *Komponen Utama Arduino*

Ada banyak jenis papan Arduino yang dapat digunakan untuk tujuan yang berbeda. Beberapa papan memiliki ukuran, jumlah pin, mikrokontroler yang berbeda seperti pada gambar Gambar 2.9. Namun, sebagian besar Arduino memiliki komponen utama yang sama [24].

2.3.1.1. Daya (USB/Barrel Jack)

Setiap papan Arduino membutuhkan jalur untuk terhubung ke sumber listrik. Arduino Uno dapat diaktifkan melalui kable USB yang berasal dari komputer atau power supply terpisah yang

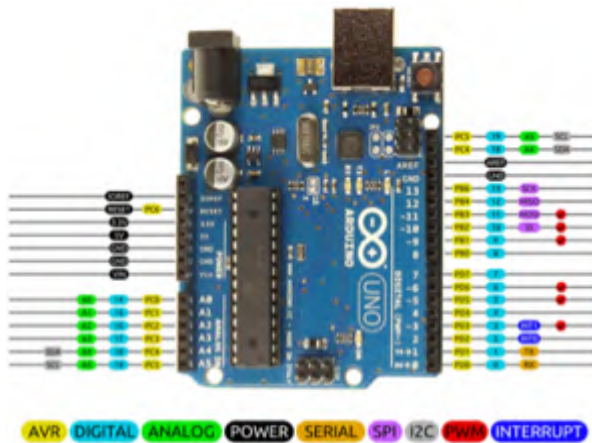
dihubungkan ke Barrel Jack. Pada gambar diatas koneksi USB diberi label (1) dan Barrel Jack diberi label (2).

Koneksi USB selain digunakan sebagai jalur listrik untuk mengaktifkan papan, juga digunakan untuk meng-upload kode dari komputer ke papan Arduino. Dua fungsi melalui satu jalur atau 2 in 1.

2.3.1.2. Pin (5V, 3.3V, GND, Analog, Digital, PWM, AREF)

Pin pada Arduino adalah tempat dimana kita menghubungkan kabel untuk membuat suatu rangkaian (menghubungkan satu titik dengan titik lainnya pada breadboard dengan sejumlah kabel penghubung).

Kabel penghubung (jumper wire) yang digunakan dalam membuat rangkaian biasanya memiliki kepala yang terbuat dari plastik berwarna hitam yang memungkinkan kawat dari kabel penghubungnya saja yang terhubung langsung ke papan.



Gambar 2.10 Pin pada Arduino Uno

Arduino memiliki beberapa jenis pin (Gambar 2.10) yang masing-masing diberi label pada papan dan digunakan untuk fungsi yang berbeda-beda.

- **GND (3)** : GND merupakan singkatan dari GROUND. Ada beberapa pin GND pada Arduino, dan semuanya dapat digunakan untuk hubungan ke *ground*.
- **5V (4)** dan **3.3V (5)** : Pin 5V digunakan untuk menyediakan tegangan sebesar 5 volt. Sedangkan pin 3.3V digunakan untuk menyediakan tegangan 3,3 volt. Sebagian besar komponen sederhana yang digunakan bersama dengan Arduino berjalan pada kisaran tegangan 3,3 volt hingga 5 volt.
- **Analog (6)** : Pin yang berada pada area berlabel “ANALOG IN” (A0 sampai A5 pada Arduino Uno) digunakan sebagai pin analog. Yaitu pin yang digunakan untuk membaca sinyal-sinyal analog dari sensor-sensor analog (misal; sensor suhu) dan mengubahnya menjadi nilai digital yang dapat kita baca.
- **Digital (7)** : Pin digital berada disebelah pin analog (0 sampai 13 pada Arduino Uno). Pin ini dapat digunakan dalam 2 arah digital yaitu input digital (misal untuk melihat kondisi bahwa tombol sedang ditekan) dan output digital (memberikan tegangan sebuah LED).
- **PWM (8)** : Perhatikanlah simbol tilde (~) disamping beberapa pin digital (yaitu pada pin 3, 5, 6, 9, 10 dan 11 pada Arduino Uno). Pin ini dapat digunakan sebagai pin digital biasa, tetapi juga dapat digunakan sebagai pin PWM (Pulse Width Modulation). PWM biasanya digunakan sebagai pin yang mampu mensimulasikan output analog (seperti mengatur pembedaan cahaya dan warna LED saat datang dan pergi). PWM bukan analog, hanya mampu mensimulasikan analog saja. Jadi tidaklah

sama antara analog dengan PWM. (Bahasan di artikel lain).

- **AREF (9)** : Kepanjangan dari *Analog Reference* atau Referensi Analog. Selama belajar, tinggalkan saja pin ini. Pin ini terkadang digunakan sebagai referensi dalam mengatur tegangan eksternal (antara 0 sampai 5 volt) untuk memberikan limit (batasan akhir) pada input pin analog.

2.3.1.3. Tombol Reset

Menekan tombol Reset (10) beberapa saat pada papan Arduino akan menghubungkan pin *Reset* ke *Ground*. Ini digunakan untuk me-restart kode yang telah dimuat oleh Arduino. Ini sangat bermanfaat untuk menguji ulang kode, jika kode tersebut ditulis tanpa pengulangan (repeat) atau sekali jalan.

2.3.1.4. LED Indikator Daya

Tepat di bawah dan di sebelah kanan kata “UNO” pada papan Arduino Uno, terdapat sebuah LED kecil berlabel “ON” (11). LED ini harus menyala setiap kita mengubungkan papan Arduino pada sumber listrik. Jika lampu LED ini tidak menyala, kemungkinan ada papan mengalami kerusakan atau terjadi kesalahan.

2.3.1.5. TX RX LED

TX adalah singkatan dari ‘transmit’ (kirim), dan RX adalah singkatan dari ‘receive’ (terima). LED indikator TX dan RX (12) ini akan berkedip redup atau terang dengan jeda tak tentu untuk memberitahukan bahwa telah terjadi komunikasi serial. Kedipan LED ini sebagai indikasi visual yang merupakan pertanda baik bahwa telah terjadi pengiriman dan penerimaan data pada papan Arduino (misal ketika kita meng-upload kode baru ke dalam papan).

2.3.1.6. IC Utama

Sesuatu yang berwarna hitam dengan semua kakinya terbuat dari logam inilah yang disebut IC atau Integrated Circuit (13). Ini adalah otak dari papan Arduino. IC utama Arduino berbeda-beda sesuai dengan jenis papan, tetapi biasanya memiliki ciri khas bertuliskan ATmega yang merupakan IC buatan perusahaan ATMEL. Ini merupakan hal penting, karena kita perlu untuk memahami jenis IC (sesuai juga dengan jenis papan Arduino) sebelum memuat atau meng-upload sekumpulan kode program yang telah kita buat dari perangkat lunak Arduino IDE kedalam papan Arduino.

Informasi tentang tipe IC dapat kita temukan pada permukaan IC tersebut. Jika kita ingin tahu lebih jauh tentang perbedaan jenis IC yang digunakan pada keluarga Arduino maka sebaiknya selalu unduh datasheet dari masing-masing tipe IC.

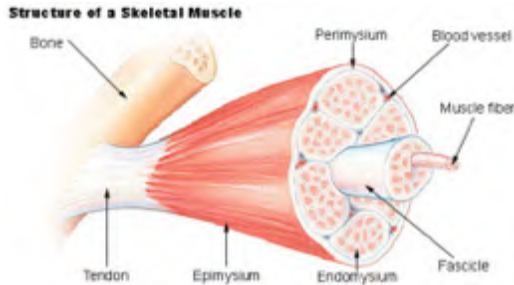
2.3.1.7. Regulator Tegangan

Voltage Regulator (14) bukanlah sesuatu yang mampu berinteraksi dengan papan Arduino. Tetapi kita harus mengetahui fungsi dari *voltage regulator*. *Voltage Regulator* atau Regulator Tegangan akan mengalirkan sejumlah tegangan teregulasi ke dalam papan Arduino. Voltage Regulator berperan sebagai penjaga pintu gerbang, dia akan membalikan atau membuang tegangan berlebihan yang bisa membahayakan rangkaian. Tapi tentu saja ada batasnya, pastikan bahwa tegangan yang masuk ke dalam papan tidak lebih besar dari 20 volt.

2.4. Otot Manusia

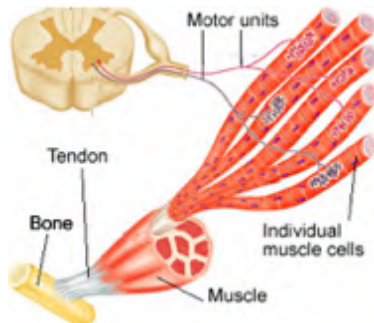
Tubuh manusia terdiri dari jaringan otot dengan masing – masing bentuk yang spesifik secara homeostatis yaitu otot jantung, jaringan otot, dan saraf otot. Jaringan otot manusia berisi seratus

sel yang bentuknya silinder dan bersama digabungkan dengan jaringan syaraf. Gambar 2.11 menunjukkan struktur otot manusia.



Gambar 2.11 Struktur otot manusia

Pada tubuh manusia otot merangsang untuk kontraksi yang dibangkitkan oleh sinyal otot. Berdasarkan Gambar 2.12 axon atau fiber yang panjang dan berbentuk silinder. Axon berkembang melalui spinal nerves dan otak kemudian disebarkan ke cabang – cabang yang dimana cabang – cabang tersebut merupakan gabungan dari serabut-serabut otot.



Gambar 2.12 Rangsangan syaraf pada otot

Unit motor adalah motoneuron bersama dengan axon dan seluruh serabut otot yang diinervasinya. Pada saat sebuah motoneuron beraksi, seluruh serabut otot yang diinervasinya berkontraksi. Satu serabut saraf dapat menginervasi banyak serabut

otot karena axon mempunyai banyak cabang. Serabut – serabut otot yang berasal dari satu unit motor tersebar merata di otot. Ujung cabang - cabang motoneuron bersama dengan membrane otot yang diinervasinya membentuk *motor-end plate (junction neuromuscularis)*. Motor – end plate terdiri atas dua bagian, yaitu saraf dan otot yang saling dipisahkan oleh celah. Satu impuls saraf menghasilkan suatu potensial *end plate*, dan apabila potensial ini mencapai ambang maka terjadilah potensial aksi yang disebarkan ke sepanjang serabut otot dan menimbulkan kontraksi.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa psikologi kontraksi otot dikontrol oleh:

- a. Aktifitas dari motor unit dengan otot.
- b. Mengontrol frekuensi dari rangsangan motor neuron dari masing – masing motor unit.

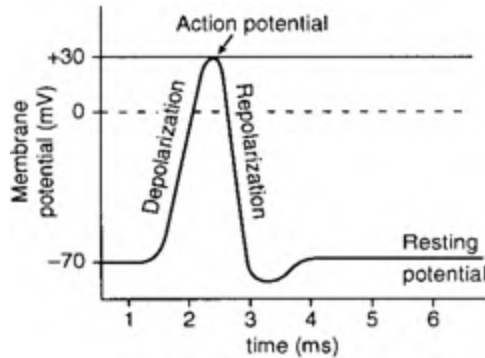
Hampir semua rangsangan listrik yang dibangkitkan dan konduksi oleh masing – masing fiber kurang dari 100 μV , konduksi dari beberapa fiber tegangannya berbeda dan cukup lebar untuk dideteksi oleh electrode, perubahan tegangan didapatkan pada saat kontraksi.

Potensial – potensial listrik yang dihasilkan oleh otot saat berkontraksi dan relaksasi ini berupa sinyal elektromiografi. Selain dapat melakukan perubahan tegangan, otot manusia memiliki kemampuan untuk melakukan berbagai macam gerak. Pada gambar 2.2 berikut ditunjukkan beberapa gerak yang berhubungan dengan tugas akhir ini. Gerak – gerak tersebut melibatkan otot – otot yang ada di lengan.

2.4.1. Aksi Potensial

System syarat pusat pada otot menghasilkan sebuah sinyal yang dikenal dengan sebutan aksi potensial. Aksi potensial ini adalah sinyal yang menstimulasi fungsi-fungsi tertentu pada tubuh. Pada kasus ini akan ditangkap sinyal aksi potensial yang menstimulasi otot untuk bergerak. Aksi potensial bergerak melalui axon. Sinapsis-sinapsis pada axon ini akan melepaskan

neurotransmitter yang akan merangsang munculnya respon tertentu pada sel yang ditargetkan [24].



Gambar 2.13 Proses terjadinya aksi potensial pada otot

Proses aksi potensial ini terdiri atas beberapa tahap yang terjadi pada membran sel dari axon [25]. Rangkuman proses ini dapat dilihat pada Gambar 2.13.

1. Membran berada pada tahap istirahat potensial terjadi ketika semua gerbang tegangan pada sel tertutup.
2. Ketika stimulasi diterima, sodium membanjiri sel sehingga permeabilitas sodium pada sel tersebut meningkat. Hal ini mengakibatkan terjadinya depolarisasi pada sel. Ini merupakan tahap kenaikan pada aksi potensial.
3. Pada puncak aksi potensial, sodium berhenti membanjiri sel sehingga permeabilitas sodium pada sel menurun drastis, pada waktu yang bersamaan potassium membanjiri sel, sehingga permeabilitas potassium dalam sel meningkat.
4. Dikarenakan potassium membanjiri sel, maka sel mulai melakukan repolarisasi kembali ke tahap potensial istirahat. Ini adalah tahap penurunan pada proses aksi potensial.

Kontraksi otot terjadi dengan menggunakan mekanisme diatas. Sinyal EMG muncul berdasarkan pembacaan proses depolarisasi dan repolarisasi dari aksi potensial yang terjadi pada serabut otot.

2.4.2. Neuromuscular Junction

Otot anggota gerak tubuh terdiri atas berbagai macam komponen. Otot tersusun atas ribuan serabut otot, yang mengandung *myofibrils*. Didalam *myofibril* ini terdapat *sarcomere* yang mengandung filament tebal dan tipis yang disebut *myosin* dan *actin*. Membungkus serabut otot, terdapat sebuah sistem yang disebut *sarcoplasmic reticulum*, yang mengandung kalsium dalam jumlah banyak. Masing-masing komponen ini bekerja secara bersamaan ketika sinyal dikirim oleh axon ke sel otot [24].

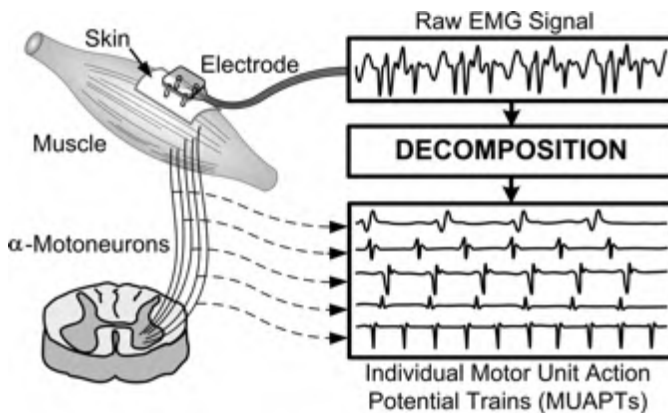
Sebuah axon pada jaringan syaraf memiliki *synapsis* (sambungan) dengan sel otot. *Synapsis* ini dikenal dengan sebutan *neuromuscular junction*. Ketika aksi potensial tiba di terminal *button* dari *neuromuscular junction*, senyawa *acetylcholine* dilepas kedalam system. Peningkatan *acetylcholine* pada piring motor sel otot memicu timbulnya aksi potensial pada serabut otot. Aksi potensial ini bergerak sepanjang permukaan membran sebagai *T-tubules*. *T-tubules* ini bergerak disepanjang serabut otot membawa aksi potensial yang akan menstimulasi dilepasnya kalsium oleh *sarcoplasmic reticulum* [24]. Ketika kalsium yang dilepas mengikat troponin yang berada pada filament tipis

2.5. EMG (Elektromiografi)

Electromyogram adalah teknik untuk mengevaluasi dan merekam aktifitas sinyal otot aktifitas electromyogram ditunjukkan oleh *electromyography* [26]. Electromyograph berfungsi untuk mendeteksi adanya potensial listrik yang dihasilkan oleh otot saat kontraksi dan relaksasi.

Dalam *electromyography*, terdapat beberapa teknik pengukuran yang meliputi:

1. *Surface Electromyography* (SEMG)
Adalah teknik non - invasive untuk mengukur hasil aktifitas elektrik dari proses kontraksi dan relaksasi (Gambar 2.14).
2. *Fine Wire Electromyography* (*Intramuscular* EMG)
Adalah teknik invasive untuk mengukur hasil aktifitas elektrik otot dari proses kontraksi dan relaksasi [27].



Gambar 2.14 Surface Electromyography (SEMG)

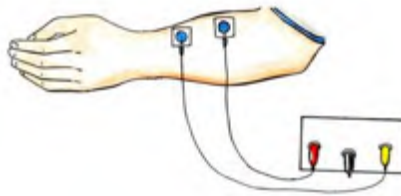
Ada banyak aplikasi untuk penggunaan EMG. EMG digunakan secara klinis untuk diagnosis masalah neurologis dan neuromuskular. Hal ini digunakan diagnosa oleh laboratorium kiroprah dan oleh dokter terlatih dalam penggunaan biofeedback atau penilaian ergonomis. EMG juga digunakan dalam berbagai jenis laboratorium penelitian, termasuk mereka yang terlibat dalam biomekanik, kontrol motor, fisiologi neuromuskuler, gangguan gerak, kontrol postural, dan terapi fisik

Sinyal EMG digunakan dalam aplikasi klinis dan biomedis. EMG digunakan sebagai alat diagnostik untuk mengidentifikasi penyakit neuromuskular, menilai nyeri punggung bawah, kinesiologi, dan gangguan kontrol motor. sinyal EMG juga

digunakan sebagai sinyal kontrol untuk perangkat palsu seperti buatan tangan, lengan, dan tungkai bawah.

2.5.1. Elektroda

Elektroda (Gambar 2.15) adalah sebuah konduktor tipis yang terisolasi kecuali di ujungnya, yang ditempatkan di dekat atau di dalam otot. Elektroda akan mengambil sinyal yang dihasilkan oleh aktivitas listrik sel otot.



Gambar 2.15 Contoh elektroda

2.5.1.1. Penempatan Elektroda

Ada beberapa teknik penempatan elektroda agar dapat menghasilkan sinyal yang terdeteksi dengan baik. Berikut adalah teknik – teknik dalam peletakan electrode pada permukaan kulit [28],

1. Lokasi dan Orientasi Elektroda.
Elektroda – elektroda harus ditempatkan antara titik motor dan penyisipan tendon atau antara dua tendon. Sumbu longitudinal elektroda harus sejajar dengan panjang serat otot.
2. Tidak pada atau dekat tendon otot.
Karena serat otot mendekati serat tendon, serat otot menjadi lebih tipis dan lebih sedikit jumlahnya, mengurangi amplitude sinyal EMG.
3. Tidak pada titik Motor.
Tujuan dalam mendeteksi sinyal EMG adalah permukaan elektroda harus ditempatkan pada titik motor otot. Titik

motor adalah titik pada otot dimana pengenalan minimal menyebabkan kedutan arus listrik yang terlihat dari permukaan serat otot.

4. Tidak pada Tepi Luar Otot.
Di daerah ini, elektroda rentan untuk mendeteksi sinyal crosstalk dari otot yang berdekatan. Ini adalah praktik yang baik untuk menghindari situasi ini. Untuk beberapa aplikasi sinyal crosstalk tidak diinginkan.
5. Orientasi elektroda sehubungan dengan serat otot.
Sumbu longitudinal dari elektroda harus selaras dengan panjang serat otot. Ketika begitu diatur, kedua permukaan deteksi akan memotong sebagian besar otot yang sama. Oleh karena itu, karakteristik spectral dari sinyal EMG akan mencerminkan sifat dari himpunan tetap serat otot di daerah electrode.

2.5.2. Surface EMG (SEMG)

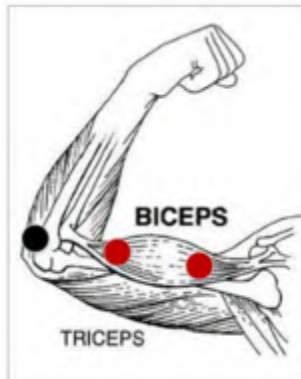
Surface EMG (SEMG) adalah teknik untuk menangkap sinyal yang diproduksi oleh syaraf pada bagian otot tertentu. Sinyal ini ditangkap oleh elektroda untuk kemudian di konversi menjadi sinyal digital oleh *encoder*. Sinyal ini kemudian akan diproses dan ditampilkan di layar / program computer seperti pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Proses electromyography (EMG)

Elektroda adalah perangkat yang memiliki kontak elektrik secara langsung dengan kulit. Untuk membaca gelombang EMG, dua buah elektroda biasanya dipasangkan pada bagian otot tertentu, dengan tambahan satu elektroda yang berfungsi sebagai *ground* yang biasanya ditempelkan di atau di dekat tulang. Sebagai contoh, jika kita ingin membaca sinyal EMG dari kelompok otot *Biceps*

Brachii, dua buah elektroda [29] akan ditempelkan pada bagian atas dan bagian bawah dari otot tersebut, dan satu elektroda tambahan akan ditempelkan di dekat sikut sebagai elektroda ground (Gambar 2.17) ketika aksi potensial terjadi pada serabut otot, elektroda akan membaca perubahan aktifitas elektrik pada otot tersebut.

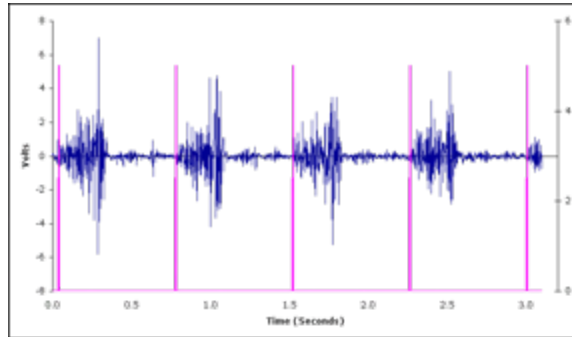


Gambar 2.17 Peletakan elektroda untuk Surface EMG

2.5.3. Sinyal EMG

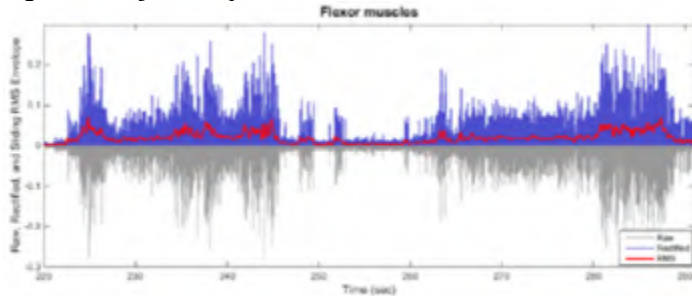
Pada sinyal EMG dapat ditunjukkan beberapa sinyal dan kegunaannya sebagai berikut:

1. *Raw* EMG signal adalah sinyal EMG alami (*unprocessed*) yang dicirikan dengan puncak positif dan negative. Nilai amplitude dan frekuensi dari sinyal ini memberikan informasi tentang kontraksi dan relaksasi otot. Hal ini berguna ketika mempelajari waktu pengaktifan otot atau bentuk verifikasi kualitas sinyal dan mendeteksi artifact sinyal. Raw EMG signal ditunjukkan pada Gambar 2.18



Gambar 2.18 Sinyal raw EMG

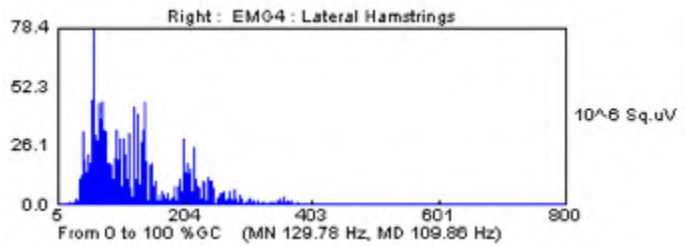
2. RMS EMG adalah *Root Mean Squared* dari *Raw* Signal dan mempresentasikan mean power dari sinyal. Hal ini berguna saat mempelajari waktu pengaktifan otot dan untuk mengukur level aktifasi otot seperti level istirahat atau menghitung kekuatan yang dibangkitkan otot. RMS signal ditunjukkan pada Gambar 2.19.



Gambar 2.19 Sinyal RMS EMG

3. *Frequency Spectrum* of EMG (Gambar 2.20) adalah sinyal *Raw* EMG yang dikonversi dalam domain frekuensi dengan melakukan perhitungan Fast Fourier Transform menggunakan data poin yang ada. Spectrum frekuensi menyatakan nilai firing frekuensi dalam otot. Frekuensi ini umumnya menerima SEMG frekuensi yang relevan dengan range antara 20 – 500 Hz. Dengan

memperhatikan spectrum frekuensi dapat juga memberikan informasi kelelahan otot.



Gambar 2.20 Frequency spectrum of EMG

BAB III

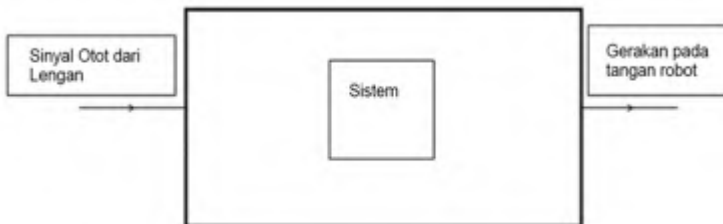
ANALISIS DAN PERANCANGAN SISTEM

Bab ini membahas tahap analisis permasalahan dan perancangan dari sistem yang akan dibangun. Analisis permasalahan membahas permasalahan yang diangkat dalam pengerjaan tugas akhir. Analisis kebutuhan mencantumkan kebutuhan-kebutuhan yang diperlukan perangkat lunak dan perangkat keras. Selanjutnya dibahas mengenai perancangan sistem yang dibuat.

3.1. Gambaran Umum Sistem

Sistem yang dibangun pada tugas akhir ini terdiri atas perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang dirancang meliputi *prosthetic hand*/tangan robot, sirkuit pembacaan dan pengolahan gelombang EMG serta sensor elektroda. Sedangkan perangkat lunak yang dirancang meliputi *software* pengolahan sinyal pada mikrokontroler dan *software* pada komputer untuk menampilkan hasil pembacaan gelombang EMG yang untuk selanjutnya penulis sebuat dengan software RoboHand.

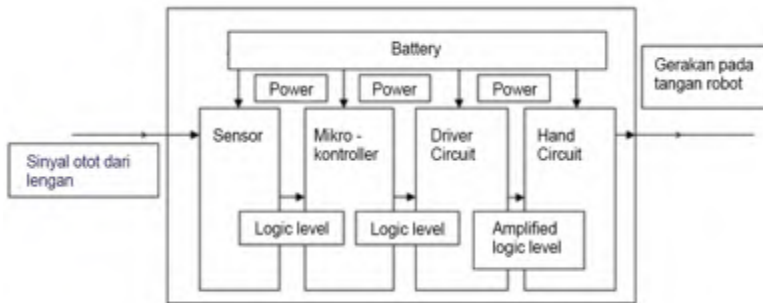
Input dari sistem ini adalah sinyal *myoelectric* dari lengan, dan outputnya adalah berupa gerakan pada tangan robot (Gambar 3.1).



Gambar 3.1 Diagram sistem

Sensor berupa elektroda membaca sinyal otot dari lengan pengguna. Sensor ini kemudian meneruskan sinyal yang dibacanya ke

mikrokontroler untuk kemudian diinterpretasikan. Mikrokontroler itu sendiri tidak memiliki daya arus yang cukup untuk menggerakkan tangan robot. Sehingga dibutuhkan sebuah *driving circuit* agar sinyal dari mikrokontroler dapat menggerakkan servo dan bagian bergerak lainnya dari tangan robot. Pada akhirnya, tangan robot akan menirukan gerakan tangan manusia berdasarkan inputan sinyal yang diterima sensor. Gambar 3.2 menunjukkan detail sistem secara rinci.



Gambar 3.2 Diagram sistem secara rinci

3.2. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras pada tugas akhir ini meliputi perancangan mekanik dan perancangan elektronik. Perancangan mekanik meliputi perancangan kinematik, *degree of freedom*, dan pembuatan desain 3D dari tangan robot. Sedangkan perancangan elektronik meliputi perancangan sistem pembacaan dan pengolahan sinyal EMG.

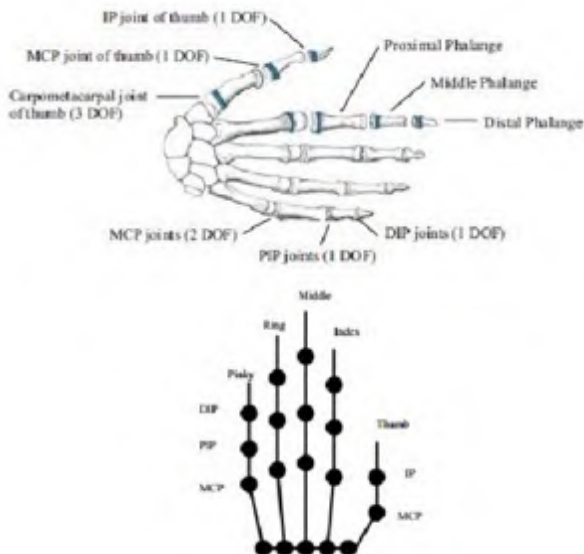
3.2.1. Perancangan Mekanik

Perancangan mekanik pada tugas akhir ini meliputi perancangan *prosthetic hand* / tangan robot yang mampu semirip mungkin merepresentasikan gerakan jari manusia. Manusia memiliki 4 DoF untuk setiap jarinya, sedangkan *prosthetic hand* yang dirancang dalam tugas akhir ini memiliki 3 DoF untuk setiap jarinya.

Pada sistem *prosthetic hand* terdiri dari beberapa komponen yang bekerja sama. Komponen pendukung tersebut antara lain ialah motor servo sebagai sebagai penggerak (aktuator) utama yang sekaligus menjadi objek kontrol utama dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini. Selanjutnya terdapat komponen yang berfungsi sebagai pengatur agar gerakan jari tangan bisa natural yakni beberapa pasang kawat tipis. Untuk rancangan selengkapnya akan dijelaskan pada sub bab berikutnya.

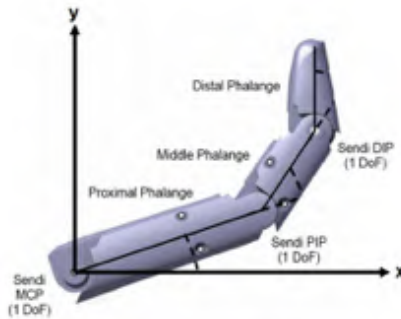
3.2.1.1. Rancangan *Degree of Freedom Prosthetic Hand*

Degree of Freedom (DoF) pada *prosthetic hand* dapat dianggap sebagai jumlah gerakan sendi dari tangan. Untuk mencari tahu jumlah DoF yang sesuai, kita dapat menggambarkan tangan dan menandai titik-titik persendian yang sering digunakan sehari-hari.

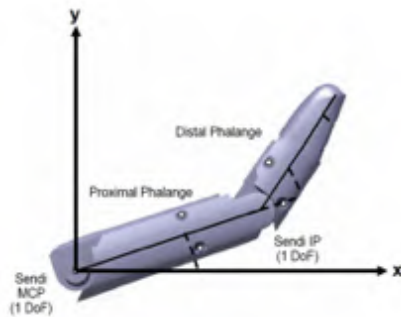


Gambar 3.3 DoF pada sendi pergerakan tangan

Dapat dilihat pada Gambar 3.3, setiap jari kecuali ibu jari memiliki 4 DoF. Sendi *distal interphalangeal* (DIP) dan *proximal interphalangeal* (PIP) masing-masing memiliki 1 DoF, dan sendi *metacarpophalangeal* (MCP) memiliki 2 DoF. Ibu jari memiliki 5 DoF, yang terdiri dari satu untuk *interphalangeal* (IP), 2 untuk *trapeziometacarpal* (TM), dan 2 lagi untuk sendi MCP [30]. Ke-21 DoF di atas merupakan DoF penyusun jemari tangan. DoF sebanyak ini sangat sulit diimplementasikan pada sebuah tangan robot / *prosthetic hand*, karena sangat kecilnya ruang untuk memasang aktuator pada tangan robot. Karena keterbatasan tersebut maka *prosthetic hand* yang dikembangkan pada tugas akhir ini memiliki 14 DoF, dengan ibu jari memiliki DoF sebesar 2 (Gambar 3.5) sedangkan jari lainnya memiliki DoF sebesar 3 (Gambar 3.4).



Gambar 3.4 DoF pada jari rancangan *prosthetic hand*



Gambar 3.5 DoF pada ibu jari rancangan *prosthetic hand*

Prosthetic hand dengan 14 DoF yang dikembangkan pada tugas akhir ini didesain agar mampu menirukan gerakan fundamental dari tangan manusia, seperti meluruskan dan membengkokkan setiap jari.

3.2.1.2. Rancangan Kinematik *Prosthetic Hand*

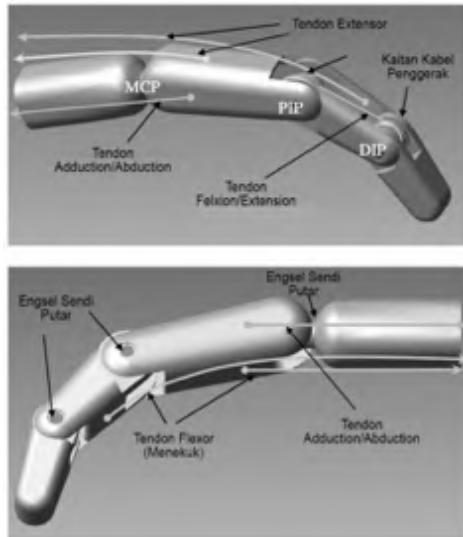
Desain yang penulis kembangkan terlihat seperti di Gambar 3.6. Desain yang dikembangkan sekera konsisten memiliki dimensi yang sama dengan kebanyakan ukuran tangan manusia dan memiliki DoF sebesar 14. Tiap jari pada *prosthetic hand* ini terdiri atas tiga bagian tersambung yang merepresentasikan tiga *phalange* pada jari manusia. Terdiri atas 3 DoF pada setiap jarinya (terkecuali ibu jari), masing-masing satu DoF pada sendi MCP, DIP dan PIP. Buchholz [31] menyatakan bahwa titik tengah sendi secara estimasi anatomik dapat diperkirakan terletak pada ujung kepala tulang yang paling dekat dengan sendi yang diwakilinya.



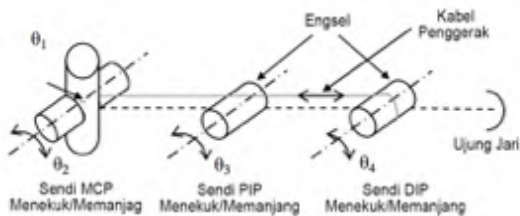
Gambar 3.6 Desain tangan prosthetic

Menerapkan konsep tersebut pada rancangan *prosthetic hand* yang penulis kembangkan, sumbu rotasi tetap diterapkan pada tiap ujung kepala *phalanges*, untuk sendi MCP, DIP dan PIP, dengan memodelkan sumbu rotasi tersebut sebagai engsel sendi putar (Gambar 3.7). pada sambungan ini, rotasi terjadi pada engsel yang

terletak pada bagian kepala *proximal phalange* serta bagian ekor dari *middle phalange* untuk sendi PIP dan bagian kepala dari *middle phalange* serta bagian ekor dari *distal phalange* untuk sendi DIP. Sedangkan untuk sendi MCP, rotasi terjadi pada engsel yang terletak pada bagian ekor *proximal phalange* dan bagian atas dari telapak tangan. Gambar 3.8 menunjukkan arsitektur kinematik dari rancangan jari *prosthetic hand* pada tugas akhir ini.

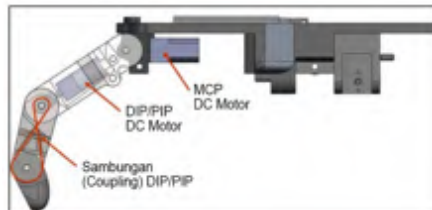


Gambar 3.7 Model CAD dari rancangan jari

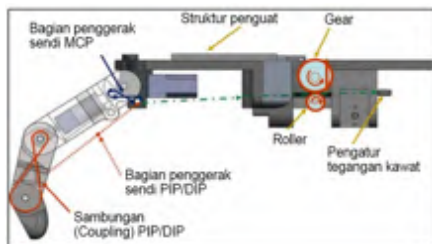


Gambar 3.8 Rancangan arsitektur kinematik dari tiap jari

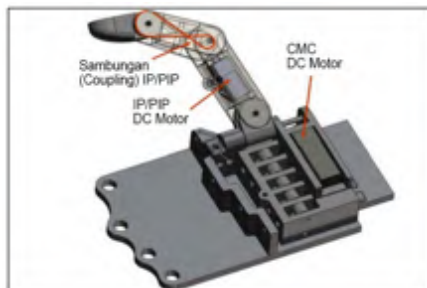
Desain mekanisme penggerak jari pada tangan prosthetic ini dapat dilihat pada Gambar 3.9 dan Gambar 3.10 untuk jari dan gambar Gambar 3.11 dan Gambar 3.12 untuk ibu jari.



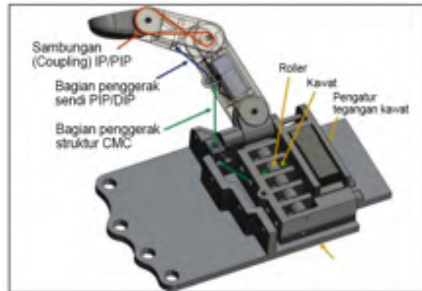
Gambar 3.9 Skema pergerakan region 1 pada jari



Gambar 3.10 Skema pergerakan region 2 pada jari



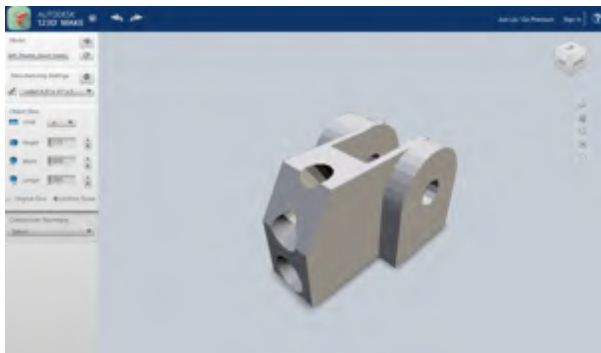
Gambar 3.11 Skema pergerakan region 1 pada ibu jari



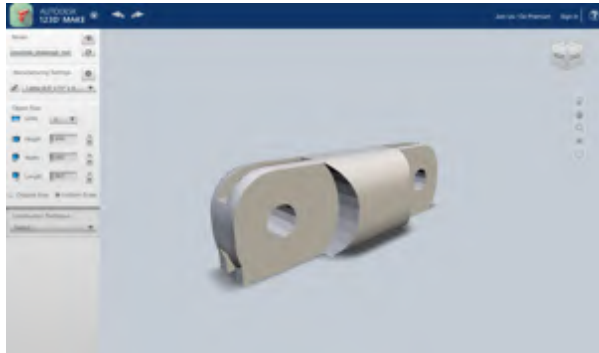
Gambar 3.12 Skema pergerakan region 2 pada ibu jari

3.2.1.3. Rancangan Model 3D *Prosthetic Hand*

Perancangan model dibuat menggunakan AutoCAD dan Autodesk 123D Make. Model 3D yang dibuat di antara lain adalah bagian jari sendi pada telapak tangan (Gambar 3.13), *proximal phalange* (Gambar 3.14), *middle phalange* dan *distal phalange* (Gambar 3.15). Setelah model jadi, kemudian model di ekspor ke dalam format STL untuk kemudian selanjutnya dicetak menggunakan 3D Printer..



Gambar 3.13 Model 3D sendi telapak tangan



Gambar 3.14 Model 3D *proximal phalange*



Gambar 3.15 Model 3D *middle phalange* dan *distal phalange*

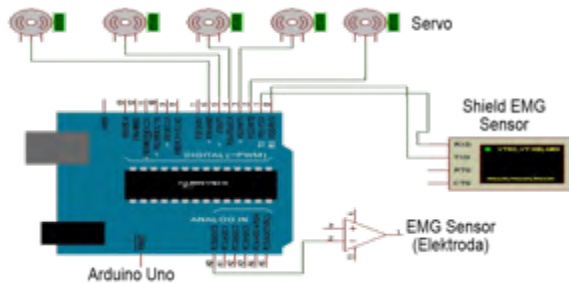
3.2.2. Perancangan Elektronik

Perancangan elektronik pada EMG *prosthetic hand* meliputi rangkaian elektronik menggunakan PCB serta pengkabelan pada Tangan *prosthetic*. Rangkaian elektronik pada tangan *prosthetic* terdiri dari beberapa rangkaian antara lain rangkaian driver motor servo, rangkaian amplifier sinyal EMG, dan sensor EMG (elektroda). Selain itu, digambarkan pula bagaimana rancangan pengkabelan pada mikrokontroler Arduino.

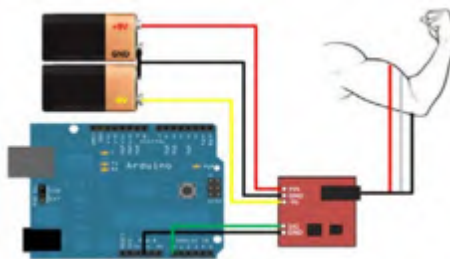
Sistem pembacaan sinyal EMG yang digunakan menggunakan jenis Surface EMG, artinya tidak perlu adanya proses pembedahan

pada kulit, karena sensor dapat langsung ditempelkan dipermukaan kulit. Sistem tersusun atas elektroda, Arduino Uno, Sensor Otot dan baterai.

Satu baterai 5 volt digunakan untuk memberikan tenaga pada sirkuit amplifikasi sinyal SEMG. Lima channel otot disambungkan ke masukan analog dari papan mikrokontroler Arduino yang akan merubah data EMG analog menjadi data digital. Sinyal dari otot memiliki nilai yang berkisar diantara 0 sampai 5 volt. Besaran tegangan ini merepresentasikan besaran angka antara 0-255 yang juga dapat kita representasikan dalam delapan bit. Gambar 3.16 dan Gambar 3.17 menunjukkan skema diagram dari sirkuit gabungan antara Arduino Uno dan shield sensor EMG dan ilustrasi sederhana yang mewakili sistem proses pembacaan SEMG.



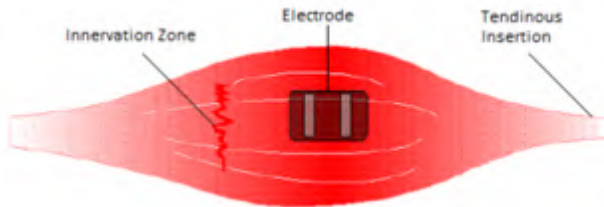
Gambar 3.16 Diagram skematik dari Arduino Uno dan shield sensor EMG



Gambar 3.17 Ilustrasi sistem pembacaan SEMG

3.2.2.1. Peletakan Sensor EMG

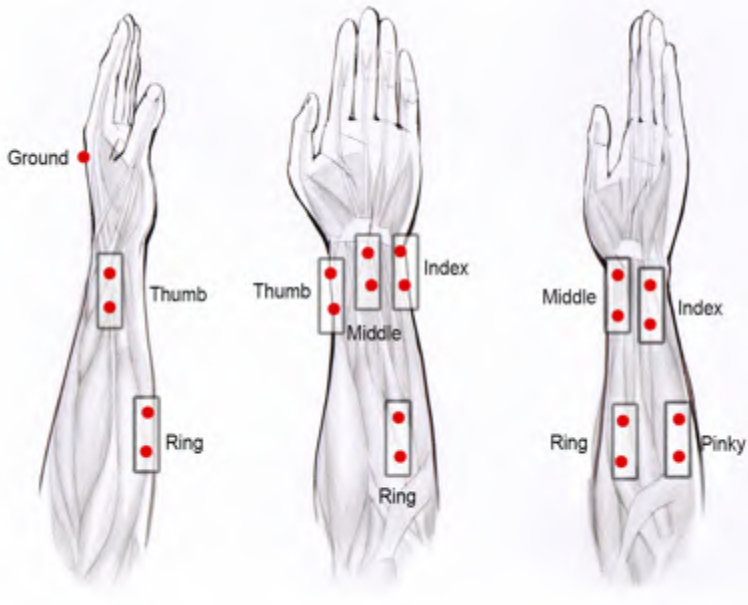
Agar dapat menangkap sinyal dari lengan yang dapat mengontrol gerakan tangan robot, kita harus menemukan lokasi sinyal pada lengan. Pada tugas akhir ini, dua buah elektroda ditempelkan pada kulit dengan konfigurasi bipolar [29]. Agar dapat mendapatkan sinyal yang terbaik, elektroda harus ditaruh pada lokasi yang tepat dan orientasi peletakan elektroda pada otot juga sangat penting. Elektroda harus diletakkan diantara motor unit dan ujung tendon (*tendinous insertion*) dari otot (Gambar 3.18), berjajar lurus secara parallel pada garis longitudinal otot [29], dikarenakan pada bagian ini otot memiliki kandungan serabut otot yang lebih banyak. Jarak antara titik tengah dari kedua elektroda harus berada pada kisaran 1-2 cm.



Gambar 3.18 Posisi ideal peletakan 2 elektroda pada otot

Letak sensor dapat dilihat pada Gambar 3.19. Agar dapat mengontrol gerakan setiap jari, EMG harus dapat menangkap gerakan tiap jari tanpa banyak gangguan dari gerakan jari lainnya.

Sinyal hasil pembacaan elektroda EMG kemudian juga harus dibandingkan dengan sinyal dari sebuah elektroda referensi. Elektroda referensi berperan sebagai *ground* untuk pembacaan gelombang EMG. Elektroda referensi harus diletakkan jauh dari permukaan elektroda EMG lainnya (Gambar 3.19), diatas sebuah jaringan tubuh yang netral dan tidak menghasilkan gelombang listrik [33].



Gambar 3.19 Lokasi peletakan elektroda EMG

3.2.2.2. Amplifikasi Sinyal EMG

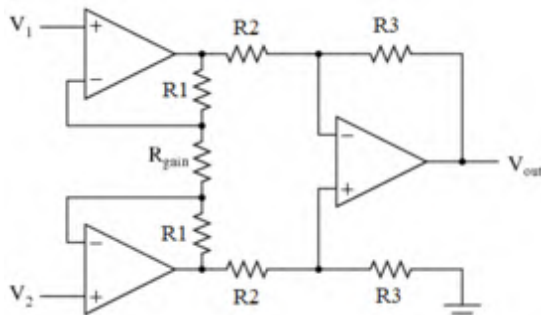
Sinyal EMG diperoleh dengan menggunakan teknik *differential amplification*. Teknik tersebut mengharuskan dibuatnya sebuah *differential amplifier*. Sebuah *differential amplifier* harus memiliki impedansi yang tinggi pada inputnya dan impedansi rendah pada outputnya. Idealnya sebuah *differential amplifier* memiliki impedansi *infinite* pada input dan impedansi *zero* pada outputnya. Rancangan sirkuit dari *differential amplifier* ditunjukkan pada Gambar 3.20.

Rancangan sirkuit tersebut melakukan teknik *differential amplification* dengan cara menghitung selisih tegangan diantara V_1 dan V_2 . Dengan cara tersebut, hampir seluruh *noise* yang terdapat pada V_1 dan V_2 (input dari elektroda) dapat dihilangkan. *Gain* untuk rancangan sirkuit ini diaplikasikan menggunakan sebuah resistor putar

(R_{gain}). Persamaan perhitungan *gain* dan persamaan output untuk rancangan sirkuit *differential amplifier* dapat dilihat pada Persamaan 1 dan Persamaan 2. Sebuah *gain* sebesar 5 sampai 6 direkomendasikan agar hasil pembacaan sinyal yang lemah mampu terbaca dengan baik.

$$Gain = \left(1 + \frac{2R1}{R_{gain}}\right) \frac{R3}{R2} \quad (1)$$

$$V_{out} = (V2 - V1) * Gain \quad (2)$$



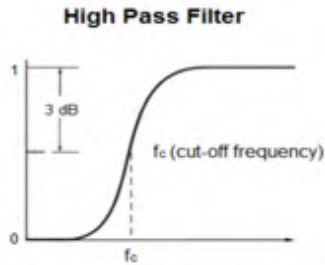
Gambar 3.20 Rancangan sirkuit *differential amplifier*

3.2.2.3. Filtering Sinyal EMG

Seperti yang sebelumnya telah penulis bahas, ada banyak hambatan dalam melakukan proses pembacaan sinyal EMG yang layak. Setelah elektroda telah dipasang dengan baik pada kulit dan sinyal EMG telah didapatkan, *noise* berperan besar dalam merusak hasil pembacaan sinyal EMG. Karena itu, harus dilakukan proses *filtering* yang baik pada sinyal EMG, meskipun proses *differential amplification* telah dilakukan [34] [35].

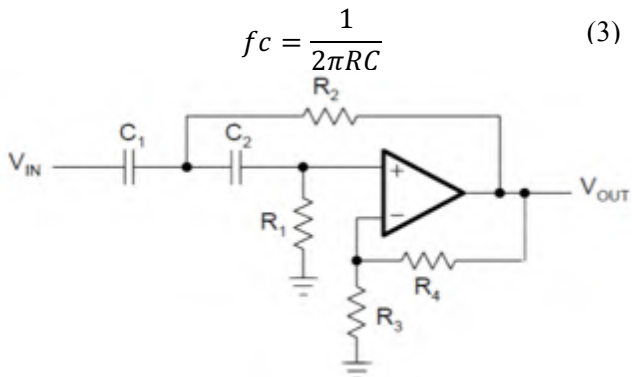
Dibutuhkan sebuah *high pass filter* untuk menghilangkan sejumlah komponen berfrekuensi rendah pada suatu sinyal elektrik. ‘*Cut-off frequency*’ disimbolkan sebagai ‘ f_c ’, adalah sebuah batas dimana semua frekuensi yang lebih rendah dari f_c akan dihilangkan.

Semua frekuensi yang lebih tinggi dari f_c akan terus diproses. Contoh respon *high pass filter* ketika bekerja ditunjukkan pada Gambar 3.21.



Gambar 3.21 Respon dari *high pass filter*

High pass filter dibuat dengan menggunakan resistor dan kapasitor. Sirkuit ini merupakan bentuk paling sederhana dari sebuah *high pass filter*. Rancangan sirkuit dari *high pass filter* ini dapat dilihat pada Gambar 3.22. Untuk rancangan sirkuit ini, $R_1 = R_2$, $C_1 = C_2$ maka f_c dapat dicari dengan menggunakan persamaan 3.



Gambar 3.22 Rancangan sirkuit *high pass filter*

3.2.2.4. Konversi Sinyal Analog Menjadi Digital

Proses digitalisasi sinyal analog dilakukan dengan menggunakan *Analog to Digital Converter* (ADC). Saat ini, ADC telah menjadi komponen umum dari perangkat elektronik modern. Manfaatnya sudah menjadi sangat bervariasi dan luas. Sebelum menggunakan ADC, spesifikasi, kelebihan dan keterbatasan dari ADC harus dianalisis untuk memilih ADC mana yang paling sesuai untuk digunakan. Dengan cara yang sama, pertimbangan penting harus diperhitungkan saat mengkonversi sinyal EMG ke dalam format digital.

Pengendalian motor servo pada tangan *prosthetic* dapat dicapai setelah sinyal EMG diubah menjadi format digital. Sebuah ADC memiliki jangkauan konversi yang spesifik, yaitu adanya batas maksimum dan minimum tegangan yang ditetapkan agar sebuah ADC dapat beroperasi. ADC dapat mengubah sinyal analog menjadi kumpulan sejumlah bit. Jumlah bit yang ADC dapat konversi dikenal sebagai "skema kuantisasi". Jika ADC memiliki jangkauan konversi tertentu dan skema kuantisasi sebesar 'n-bit', maka resolusi ADC dapat dicari dengan persamaan 4.

$$V_{\text{resolusi}} = V_{\text{jangkauan}} / (2)^n \quad (4)$$

Saat mengkonversi sinyal EMG ke dalam format digital, tiga hal harus diperhitungkan. 1) Kuantisasi, 2) Rentang konversi dan 3) Sampling rate [36]. Jumlah bit, yaitu sinyal analog yang dapat dikonversi menjadi format digital oleh ADC, dikenal sebagai kuantisasi. Batas maksimum tegangan yang dapat dikonversi oleh ADC menjadi bit digital terkuantisasi mendefinisikan besaran rentang konversi ADC. Sampling rate berarti jumlah sampel ADC yang dapat dikonversi dalam satu detik.

Setelah sinyal EMG diamplifikasi hingga ke tegangan yang sesuai, rentang konversi dari sebuah ADC harus ditentukan sehingga dapat memahami tingkat tegangan dari sinyal EMG tersebut. Jumlah kuantisasi bit juga merupakan hal penting, karena mereka menentukan

resolusi dari ADC. Semakin besar jumlah kuantisasi bit, maka resolusi ADC akan semakin berkurang. Sampling rate ADC juga merupakan pertimbangan utama, harus dibuat sebesar mungkin sehingga kemungkinan hilangnya data EMG dapat diminimalisasi [36]. ADC sekarang tersedia sebagai perangkat bawaan pada mikrokontroler dan dapat memberikan sampling rate lebih dari 1000 KSP dan skema kuantisasi lebih dari 24 bit.

3.2.2.5. Penentuan Treshold

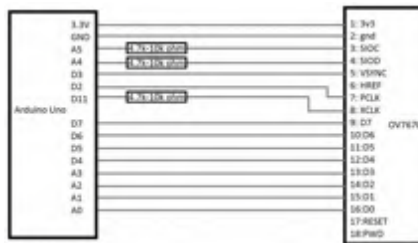
Pengendalian kontrol tangan prosthetic dicapai dengan menggunakan teknik thresholding [36]. Setelah sinyal diterima dalam format digital, ambang batas tertentu (*threshold*) diterapkan untuk sinyal digital terkuantisasi tertentu.

Sebelum menerapkan ambang batas, sampel sinyal terkuantisasi digital tertentu harus didapatkan. Sebuah nilai ambang kemudian ditetapkan berdasarkan hasil sampel tersebut. Dianjurkan untuk menetapkan nilai ambang batas pada titik yang lebih kecil dari setengah hasil pembacaan sampel sinyal EMG. Ketika sinyal digital melebihi batas ini, mikrokontroler kemudian akan merubah output pin untuk '1' atau '0' [36]. Misalnya, jika nilai maksimum sample sinyal terkuantisasi digital adalah 750 (nilai desimal) maka kita dapat menetapkan ambang batas sebesar 275. Sinyal ini diteruskan ke mikrokontroler untuk kemudian menggerakkan motor listrik masing-masing jari pada tangan prosthetic.

3.2.2.6. Postprocessing

Setelah gerak hasil pembacaan sinyal EMG didapat dari rangkaian EMG sensor diatas, perintah gerak perlu dikirimkan kepada tangan *prosthetic* agar tangan *prosthetic* dapat bergerak. Rancangan untuk tangan *prosthetic* yang digunakan telah penulis jelaskan sebelumnya. Tangan *prosthetic* terhubung dengan perangkat lunak secara kabel dengan menggunakan *microcontroller* Arduino Uno R3 sebagai perantara.

Arduino Uno R3 beroperasi pada tegangan 2.8V – 3.3 V dengan konsumsi arus sebesar 250mA untuk pengiriman data (Tx) dan sebesar 50mA untuk penerimaan data (Rx). Konsumsi tegangan dan arus yang kecil menjadi salah satu keunggulan mikrokontroller ini dibandingkan dengan mikrokontroller lainnya. PIN digital yang terdapat pada Arduino Uno sebanyak 14 pin namun yang digunakan hanya 6 pin saja yaitu Vcc, Gnd, Reset, Dout (Tx), Din(Rx) dan PWM0/RSSI (Indikator). Prinsip kerja dan penerimaan data dari modul EMG sensor dapat dilihat pada Gambar 3.23.



Gambar 3.23 Ilustrasi prinsip kerja modul EMG sensor – Arduino.

Pada tangan *prosthetic* Arduino Uno juga berperan sebagai kendali kontrol untuk motor. Motor yang digunakan pada robot adalah motor servo. Bentuk fisik motor DC ditunjukkan pada Gambar 3.24.



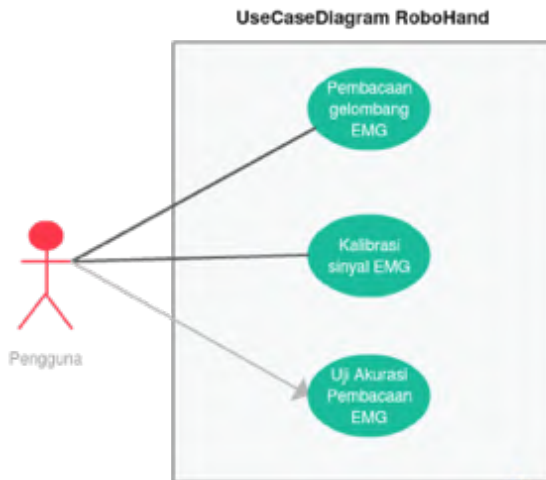
Gambar 3.24 Bentuk fisik motor servo.

3.3. Perancangan Perangkat Lunak

Terdapat dua perangkat lunak pada aplikasi ini, yaitu perangkat lunak pada PC yang penulis sebut sebagai RoboHand, berfungsi menampilkan hasil pembacaan gelombang EMG dan perangkat lunak pada mikrokontroler Arduino Uno yang berfungsi untuk melakukan kontrol pada *prosthetic hand*. Subbab ini membahas bagaimana rancangan dari aplikasi tugas akhir ini. Meliputi: Model Kasus Penggunaan, Definisi Aktor, Definisi Kasus Penggunaan, Arsitektur Umum Sistem, Rancangan Antarmuka Aplikasi, dan Rancangan Proses Aplikasi.

3.3.1. Model Kasus Penggunaan

Dalam aplikasi tugas akhir ini yang penulis sebut dengan aplikasi RoboHand, terdapat tiga kasus penggunaan yang ada yaitu melakukan pembacaan gelombang EMG dari otot, melakukan kalibrasi, dan melakukan uji akurasi dari hasil pembacaan gelombang EMG. Rancangan kasus penggunaan dapat dilihat pada Gambar 3.25.



Gambar 3.25 Model Kasus Penggunaan Aplikasi

3.3.2. Definisi Aktor

Aktor yang terdapat dalam sistem aplikasi RoboHand terlihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Definisi Aktor

No	Nama	Deskripsi
1	Pengguna	Merupakan aktor yang bertugas untuk memainkan simulasi aplikasi, seluruh fungsionalitas yang ada di dalam sistem berhak digunakan oleh pengguna.

3.3.3. Definisi Kasus Penggunaan

Pada Gambar 3.25 telah dijelaskan bahwa aktor yang dalam hal ini disebut pengguna mempunyai tiga kasus penggunaan, yakni pembacaan gelombang EMG, kalibrasi sinyal EMG dan uji akurasi pembacaan EMG. Detail mengenai kasus penggunaan tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Definisi Kasus Penggunaan

No	Kode Kasus Penggunaan	Nama Kasus Penggunaan	Keterangan
1	UC-01	Menampilkan gelombang EMG hasil olahan mikrokontroller.	Pengguna dapat melihat hasil pembacaan dan pengolahan gelombang EMG oleh sensor dan mikrokontroller pada layar.
2	UC-02	Melakukan kalibrasi gelombang EMG.	Pengguna dapat melakukan kalibrasi gelombang EMG sesuai dengan pola

			gelombang EMG pengguna.
3	UC-03	Melakukan uji akurasi hasil pembacaan sensor EMG.	Pengguna dapat melihat seberapa akurat hasil pembacaan dan pengolahan gelombang EMG oleh sensor dan mikrokontroler pada layar.

3.3.3.1. Kasus Penggunaan Pembacaan Gelombang EMG

Spesifikasi kasus penggunaan pembacaan gelombang EMG dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Spesifikasi Kasus Penggunaan Pembacaan Gelombang EMG

Nama Kasus Penggunaan	Pembacaan Gelombang EMG
Nomor	UC-01
Deskripsi	Pengguna dapat melihat hasil pembacaan dan pengolahan gelombang EMG oleh sensor dan mikrokontroler pada layar.
Aktor	Pengguna
Kondisi Awal	Pengguna berada pada halaman utama aplikasi.
Alur Normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Halaman utama akan muncul sebagai tanda aplikasi telah dijalankan. 2. Pengguna menggerakkan salah satu atau beberapa jari tangannya.

	3. Aplikasi akan menampilkan jari tangan mana yang saat itu sedang digerakan, berikut dengan gambar perubahan gelombang EMG nya.
Alur Alternatif	-
Kondisi Akhir	Aplikasi menampilkan jari mana yang sedang bergerak.

3.3.3.2. Kasus Penggunaan Kalibrasi Sinyal EMG

Spesifikasi kasus penggunaan kalibrasi sinyal EMG dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Spesifikasi Kasus Penggunaan Kalibrasi Sinyal EMG

Nama Kasus Penggunaan	Kalibrasi Sinyal EMG
Nomor	UC-02
Deskripsi	Pengguna dapat melakukan kalibrasi gelombang EMG sesuai dengan pola gelombang EMG pengguna.
Aktor	Pengguna
Kondisi Awal	Pengguna berada pada halaman utama aplikasi.
Alur Normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pengguna mengarahkan pointer ke tombol calibrate. 2. Halaman kalibrasi akan muncul. <ol style="list-style-type: none"> A1. Pengguna mengarahkan pointer ke tombol X 3. Pengguna menggerakkan jari sesuai dengan perintah yang tertera di aplikasi.
Alur Alternatif	A1. Aplikasi akan kembali menampilkan halaman utama.
Kondisi Akhir	-

3.3.3.3. Kasus Penggunaan Uji Akurasi Pembacaan EMG

Spesifikasi kasus penggunaan uji akurasi pembacaan EMG dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Spesifikasi Kasus Penggunaan Uji Akurasi Pembacaan EMG

Nama Kasus Penggunaan	Uji Akurasi Pembacaan EMG
Nomor	UC-03
Deskripsi	Pengguna dapat melihat seberapa akurat hasil pembacaan dan pengolahan gelombang EMG oleh sensor dan mikrokontroler pada layar.
Aktor	Pengguna
Kondisi Awal	Pengguna berada pada halaman utama aplikasi.
Alur Normal	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pengguna mengarahkan pointer ke tombol accuracy test. 2. Halaman tes akurasi akan muncul. <ol style="list-style-type: none"> A1. Pengguna mengarahkan pointer ke tombol X Pengguna menggerakkan jari sesuai dengan perintah yang tertera di aplikasi.
Alur Alternatif	A1. Aplikasi akan kembali menampilkan halaman utama.
Kondisi Akhir	-

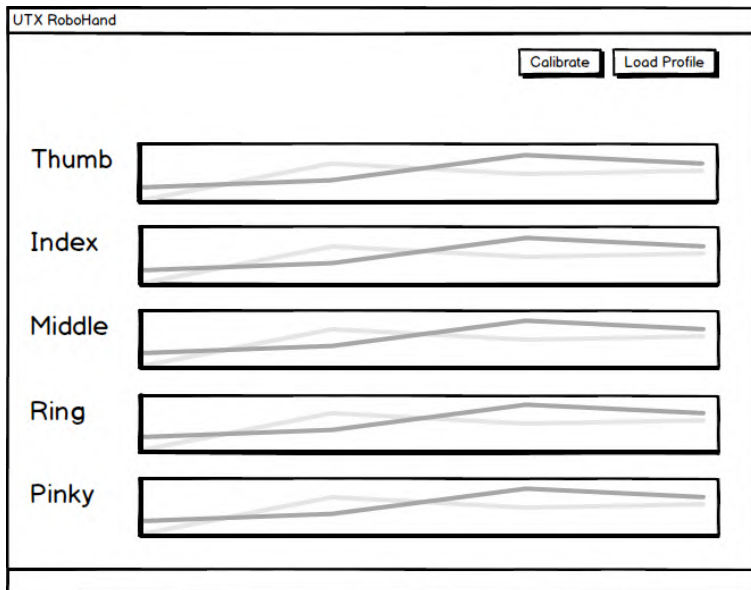
3.3.4. Rancangan Antarmuka Aplikasi

Rancangan antarmuka aplikasi diperlukan untuk memberikan gambaran umum kepada pengguna bagaimana sistem yang ada dalam aplikasi ini berinteraksi dengan pengguna. Selain itu rancangan ini juga memberikan gambaran bagi pengguna apakah tampilan yang

sudah disediakan oleh aplikasi mudah untuk dipahami dan digunakan, sehingga akan muncul kesan *user experience* yang baik dan mudah.

3.3.4.1. Rancangan Antarmuka Halaman Pembacaan Gelombang EMG

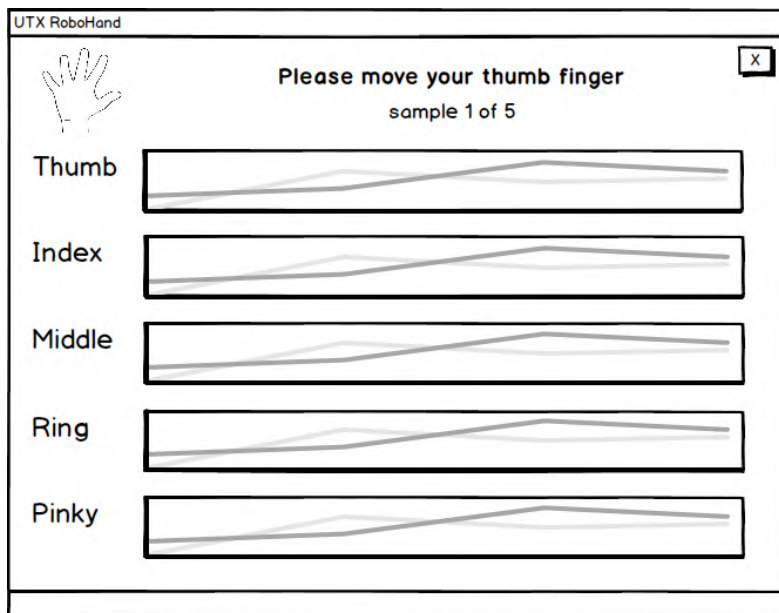
Pada halaman ini aplikasi akan menampilkan halaman awal dari aplikasi, yakni menampilkan nama aplikasi tugas akhir ini, grafik pembacaan sinyal EMG untuk masing-masing jari tangan, dan tersedia beberapa tombol seperti keluar aplikasi dan kalibrasi sinyal. Rancangan antarmuka halaman pembacaan gelombang EMG bisa dilihat pada Gambar 3.26.



Gambar 3.26 Rancangan Antarmuka Halaman Pembacaan Gelombang EMG

3.3.4.2. Rancangan Antarmuka Halaman Kalibrasi Sinyal EMG

Rancangan antarmuka menu utama untuk aplikasi ini menampilkan lima macam grafik dengan fungsi masing-masing, dalam hal ini adalah menampilkan hasil pembacaan gelombang EMG untuk setiap jari. Rancangan antarmuka dapat dilihat seperti Gambar 3.27.

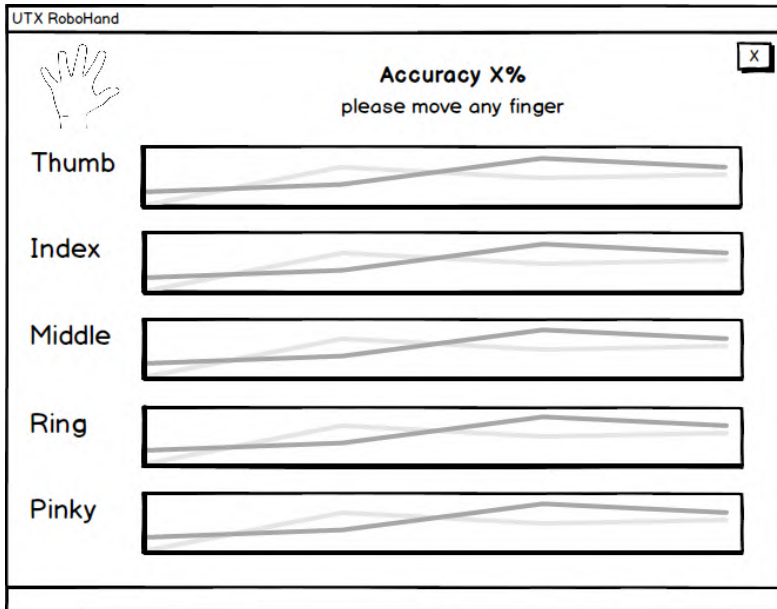


Gambar 3.27 Rancangan Antarmuka Halaman Kalibrasi Sinyal EMG

3.3.4.3. Rancangan Antarmuka Halaman Uji Akurasi Pembacaan EMG

Pada halaman ini aplikasi akan menampilkan menu tes akurasi, sama seperti halaman lain, halaman ini tetap akan menampilkan lima

grafik yang berisi hasil pembacaan sinyal EMG. Terlihat pada Gambar 3.28.



Gambar 3.28 Rancangan Antarmuka Halaman Uji Akurasi

3.4. Perancangan Proses

3.4.1. Fungsi Gerakan Servo Jari Pada Robot

```
Void moveFinger(finger, servoPos)
  if servoPos > 0 then
    myServo[finger] -> servoMax[finger]
  else
    myServo[finger] -> servoMin[finger]
```

Kode Sumber 3.1 Pseudocode gerakan servo jari

Setelah kelas perintah gerak finger diperoleh dari proses pendeteksian EMG, maka perintah gerak perlu dikirimkan kepada robot agar dapat dijalankan. Pengiriman perintah gerak dilakukan melalui komunikasi serial data. Karakter tertentu dikirimkan sesuai dengan perintah gerak yang didapatkan. *Pseudocode* pengiriman perintah gerak robot ditunjukkan pada kode sumber

BAB IV IMPLEMENTASI

Bab ini membahas tentang implementasi dari perancangan sistem. Bab ini berisi proses implementasi dari setiap kelas pada semua modul. Namun, pada hasil akhir mungkin saja terjadi perubahan kecil. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah bahasa pemrograman C dengan tambahan menggunakan Arduino SDK.

4.1. Lingkungan Pembangunan

Dalam membangun perangkat lunak dan perangkat keras ini digunakan beberapa perangkat pendukung baik perangkat keras maupun perangkat lunak. Lingkungan pembangunan dijelaskan sebagai berikut.

Perangkat	Spesifikasi
Perangkat Keras	Prosesor: Intel® Core(TM) i5 CPU @ 2.5 GHz Memori: 8.00 GB
Perangkat Lunak	Sistem Operasi: Mac OS X El Capitan Perangkat pengembang: <ul style="list-style-type: none"> - Xcode Version 7.2 (7C68) - Arduino IDE Perangkat Lunak Pendukung: <ul style="list-style-type: none"> - Balsamic Mockup 3 - AutoCAD - AutoDesk 123D Make - Sublime Text build 3114
Perangkat Keras	Motor penggerak: Motor DC 12V Sumber arus: Baterai Li-Po 2200 mAh Mikrokontroler: Arduino Uno R3

4.2. Implementasi Perangkat Keras

Dengan menggunakan 3D Printer, desain model tiga dimensi yang sebelumnya telah dirancang pada bab tiga kemudian dicetak. Setelah proses perangkaian dan pemasangan servo serta mikrokontroler maka *prosthetic hand* telah siap digunakan. Hasil implimentasi *prosthetic hand* dapat dilihat pada Gambar 4.1 (tampak depan), Gambar 4.2 (tampak samping) dan **Gambar 4.3** (tampak belakang).



Gambar 4.1 Tampak depan implementasi *prosthetic hand*



Gambar 4.2 Tampak samping implementasi *prosthetic hand*



Gambar 4.3 Tampak belakang implementasi *prosthetic hand*

4.3. Implementasi Perangkat Lunak

Terdapat dua perangkat lunak pada aplikasi ini, yaitu perangkat lunak pada PC yang penulis sebut sebagai RoboHand, berfungsi menampilkan hasil pembacaan gelombang EMG dan perangkat lunak pada mikrokontroler Arduino Uno yang berfungsi untuk melakukan kontrol pada *prosthetic hand*. Subbab ini membahas bagaimana implementasi dari aplikasi tugas akhir ini. Meliputi antarmuka aplikasi, dan implementasi kode sumber.

4.3.1. Implementasi Antarmuka

Pada subbab ini akan dibahas mengenai hasil implementasi yang dilakukan berdasarkan rancangan antarmuka. Nantinya masukan sinyal EMG akan berasal dari pembacaan dan proses pengolahan sensor dan mikrokontroler.

4.3.1.1. Implementasi Antarmuka Halaman Pembacaan Gelombang EMG

Pada halaman ini aplikasi akan menampilkan halaman awal dari aplikasi, yakni menampilkan nama aplikasi tugas akhir ini, grafik pembacaan sinyal EMG untuk masing-masing jari tangan, dan tersedia beberapa tombol seperti keluar aplikasi dan kalibrasi sinyal. Antarmuka halaman utama bisa dilihat pada Gambar 4.4.

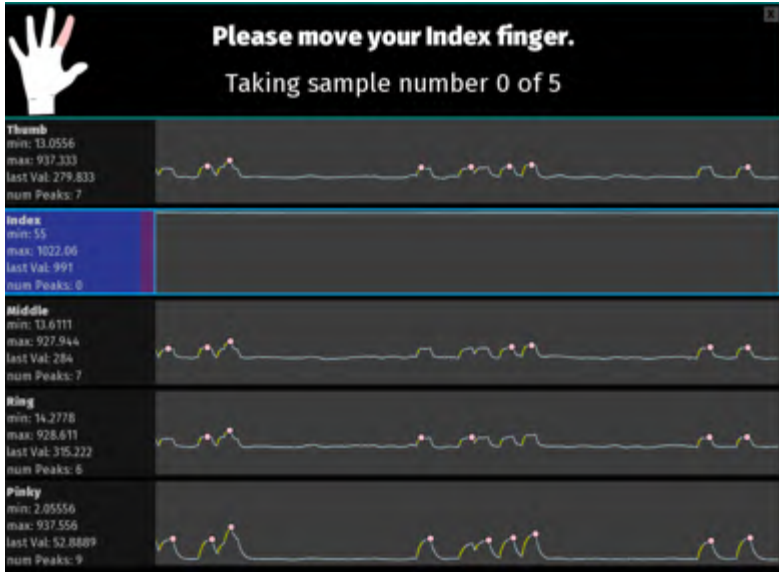


Gambar 4.4 Antarmuka Halaman Pembacaan Gelombang EMG

4.3.1.2. Implementasi Antarmuka Halaman Kalibrasi Sinyal EMG

Rancangan antarmuka menu utama untuk aplikasi ini menampilkan lima macam grafik dengan fungsi masing-masing, dalam hal ini adalah menampilkan hasil pembacaan gelombang EMG

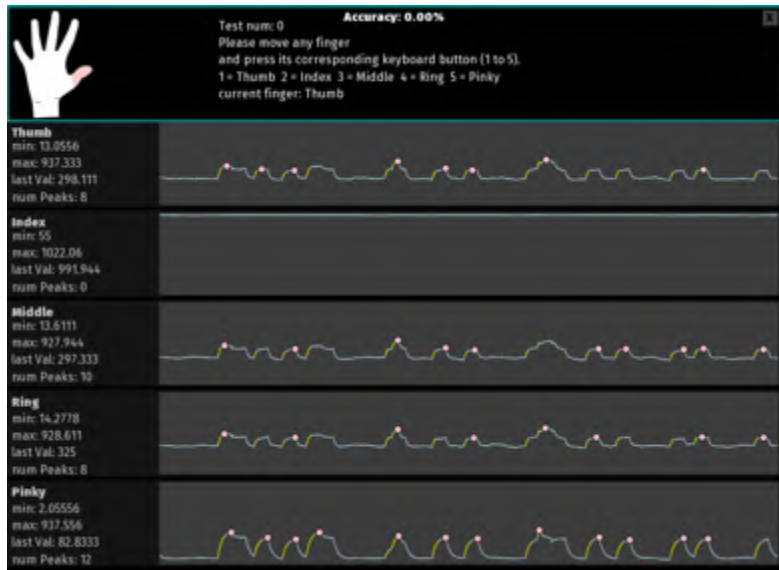
untuk setiap jari. Antarmuka halaman kalibrasi dapat dilihat seperti pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Antarmuka Halaman Kalibrasi Sinyal EMG

4.3.1.3. Implementasi Antarmuka Halaman Uji Akurasi Pembacaan EMG

Pada halaman ini aplikasi akan menampilkan menu tes akurasi, sama seperti halaman lain, halaman ini tetap akan menampilkan lima grafik yang berisi hasil pembacaan sinyal EMG. Terlihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Antarmuka Halaman Uji Akurasi Pembacaan EMG

4.3.2. Implementasi Kode Sumber

4.3.2.1. Implementasi *Finger Classifier*

Kelas gerak didapatkan dari kelas terbanyak yang dihasilkan oleh proses training data EMG selama 0.5 detik (64 record). Proses training dilakukan dengan tujuan untuk didapatkannya *threshold*. Data yang digunakan untuk proses klasifikasi telah melewati *preprocess* sebelumnya (*band pass filter* dan amplifikasi data). Kode sumber fungsi tersebut ditunjukkan pada

```

void BaseFingersClassifier::setup(string language,
shared_ptr<BYBGui> g){
gui = g;
ofXml xml;
fingers.resize(6);
if
(xml.load(ofToDataPath("languages/"+language+".xml"))
) {
xml.setTo("fingers");
int c = xml.getNumChildren("finger");
xml.setTo("finger[0]");
for (int i = 0; i < c; i++) {
setFinger(xml.getValue("name"),
xml.getIntValue("ID"));
xml.setToSibling();
}
}
bWaitForAverage = false;
bWaitForPeak = false;
bCalibrating = false;
currentSampleNum = 0;
numSamplesAverage = 500;

reset();
prevPeakTime =0;
average.resize(5);
partialAvg.resize(5);
currentAverageSample = 0;
maxAll = 0;
}

```

Kode Sumber 4.1 Fungsi pengenalan gerakan

BAB V

PENGUJIAN DAN EVALUASI

Bab ini membahas pengujian dan evaluasi pada perangkat keras dan perangkat lunak yang dikembangkan. Pengujian ini mengacu pada kasus penggunaan pada bab tiga. Pengujian dilakukan dengan beberapa skenario. Hasil evaluasi menjabarkan tentang rangkuman hasil pengujian pada bagian akhir bab ini.

5.1. Lingkungan Uji Coba

Spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan dalam tahap uji coba ditampilkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Lingkungan uji coba perangkat lunak

Perangkat	Spesifikasi
Perangkat Keras	Prosesor: Intel® Core(TM) i5 CPU @ 2.5 GHz Memori: 8.00 GB
Perangkat Lunak	Sistem Operasi: Mac OS X El Capitan Perangkat pengembang: <ul style="list-style-type: none">- Xcode Version 7.2 (7C68)- Arduino IDE Perangkat Lunak Pendukung: <ul style="list-style-type: none">- Balsamic Mockup 3- AutoCAD- AutoDesk 123D Make- Sublime Text build 3114
Perangkat Keras	Motor penggerak: Motor DC 12V Sumber arus: Baterai Li-Po 2200 mAh Mikrokontroler: Arduino Uno R3

5.2. Skenario Pengujian

Skenario pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Pengujian skenario 1. Berupa pengujian terhadap pembacaan gelombang EMG ketika ibu jari digerakkan.
2. Pengujian skenario 2. Berupa pengujian terhadap pembacaan gelombang EMG ketika jari telunjuk digerakkan.
3. Pengujian skenario 3. Berupa pengujian terhadap pembacaan gelombang EMG ketika jari tengah digerakkan.
4. Pengujian skenario 4. Berupa pengujian terhadap pembacaan gelombang EMG ketika jari manis digerakkan.
5. Pengujian skenario 5. Berupa pengujian terhadap pembacaan gelombang EMG ketika jari kelingking digerakkan.
6. Pengujian skenario 6. Berupa pengujian terhadap gerak tangan robot ketika ibu jari digerakkan.
7. Pengujian skenario 7. Berupa pengujian terhadap gerak tangan robot ketika jari telunjuk digerakkan.
8. Pengujian skenario 8. Berupa pengujian terhadap gerak tangan robot ketika jari tengah digerakkan.
9. Pengujian skenario 9. Berupa pengujian terhadap gerak tangan robot ketika jari manis digerakkan.
10. Pengujian skenario 10. Berupa pengujian terhadap gerak tangan robot ketika jari kelingking digerakkan.
11. Pengujian skenario 11. Berupa pengujian terhadap pembacaan gelombang EMG ketika seluruh jari digerakkan.

5.2.1. *Pengujian Skenario 1 dan Evaluasi*

Pada pengujian skenario 1 ini akan dilakukan pengujian terhadap pendektasian gerakan ibu jari ketika digerakkan, apakah mampu tertangkap oleh sensor dan ditampilkan dengan baik pada

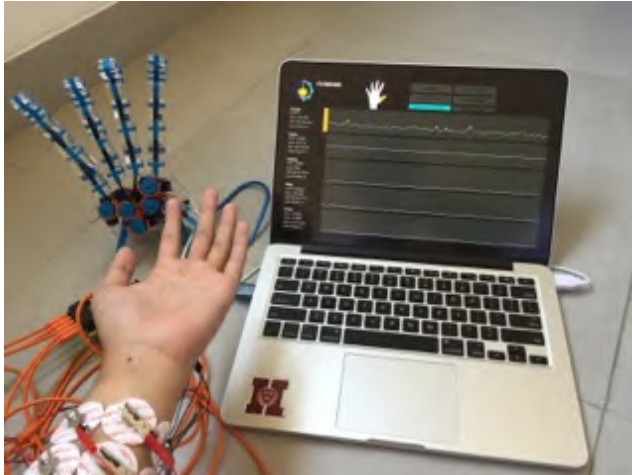
antarmuka aplikasi. Pengujian ini tentunya dilakukan untuk mengetahui apakah hasil pembacaan sensor dan hasil pengolahan mikrokontroller sudah bekerja dengan baik dalam mendeteksi adanya perubahan gelombang EMG pada lengan ketika ibu jari digerakkan. Dalam pengujian ini dibatasi dengan tidak adanya kegiatan lain seperti melakukan jari lain atau anggota tubuh yang lain. Skenario dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel Tabel 5.1 dan Tabel 5.2.

Tabel 5.1 Skenario Pengujian 1

Nama Pengujian	Skenario	Pengujian Gelombang EMG untuk Ibu Jari	Pembacaan
Kode		SP-01	
Tujuan Pengujian		Mendeteksi apakah perangkat keras dan perangkat lunak mampu mendeteksi gelombang EMG ketika ibu jari digerakkan.	
Kondisi Awal		Pengguna berada pada halaman pembacaan gelombang EMG	
Data Input		-	
Prosedur Pengujian		1. Gerakan ibu jari 2. Jangan gerakan jari lain	
Hasil yang Diharapkan		Terjadi perubahan gelombang EMG pada grafik pembacaan ibu jari yang terdeteksi sebagai timbulnya gerakan pada ibu jari tersebut.	
Hasil yang Diperoleh		Gerakan ibu jari berhasil terdeteksi oleh perangkat keras dan lunak yang diciptakan.	

Pada awal pengujian, tangan berada pada posisi relaksasi sehingga gelombang EMG yang dihasilkan akan cenderung stabil seperti pada Gambar 5.1. Kemudian gerakan ibu jari dengan cara menekuknya kearah dalam seperti pada Gambar 5.2.

Dari keseluruhan uji coba yang dilakukan, dapat diketahui bahwa aplikasi sudah dapat mendeteksi perubahan gelombang EMG ketika ibu jari bergerak. Hal ini ditandai dengan adanya fluktuasi gelombang EMG pada grafik ibu jari (grafik paling atas) pada Gambar 5.3.



Gambar 5.1 Posisi awal gelombang EMG pada ibu jari (grafik paling atas) terlihat stabil.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Skenario 1

Pengujian	Thumb	Index	Middle	Ring	Pinky
1	Ya	-	Ya	Ya	-
2	Ya	-	-	-	-
3	Ya	-	-	-	-
4	Ya	-	-	-	-
5	Ya	-	-	-	-
6	Ya	-	-	-	-
7	Ya	-	-	-	-
8	Ya	-	-	-	-
9	Ya	-	-	-	-
10	Ya	-	-	-	-



Gambar 5.2 Saat ibu jari digerakkan, terjadi fluktuasi pada gelombang EMG ibu jari (grafik paling atas) dan terdeteksi bahwa terjadi gerakan (terdapat point (titik) merah pada puncak grafik).



Gambar 5.3 Hasil uji ketika jempol digerakkan

5.2.2. Pengujian Skenario 2 dan Evaluasi

Pada pengujian skenario 2 ini akan dilakukan pengujian terhadap pendeteksian gerakan jari telunjuk ketika digerakkan, apakah mampu tertangkap oleh sensor dan ditampilkan dengan baik pada antarmuka aplikasi. Pengujian ini tentunya dilakukan untuk mengetahui apakah hasil pembacaan sensor dan hasil pengolahan mikrokontroller sudah bekerja dengan baik dalam mendeteksi adanya perubahan gelombang EMG pada lengan ketika jari telunjuk digerakkan. Dalam pengujian ini dibatasi dengan tidak adanya kegiatan lain seperti melakukan jari lain atau anggota tubuh yang lain. Skenario dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.3 dan Tabel 5.4.

Pada awal pengujian, tangan berada pada posisi relaksasi sehingga gelombang EMG yang dihasilkan akan cenderung stabil seperti pada Gambar 5.4. Kemudian gerakan jari telunjuk dengan cara menekuknya kearah dalam seperti pada Gambar 5.5.

Tabel 5.3 Skenario Pengujian 2

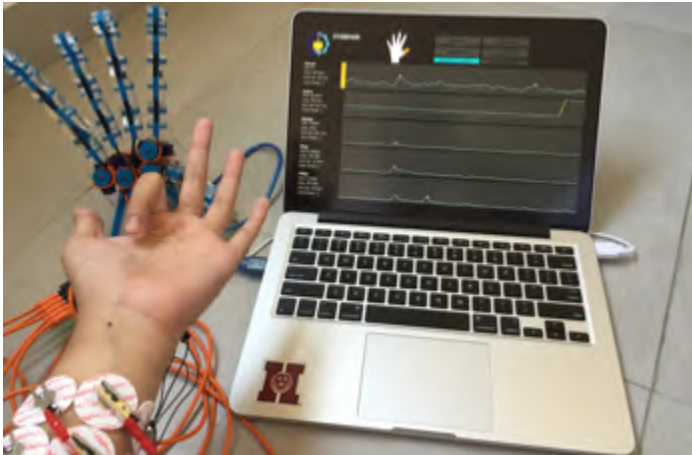
Nama Pengujian	Skenario	Pengujian Gelombang EMG untuk Jari Telunjuk	Pembacaan untuk Jari
Kode		SP-02	
Tujuan Pengujian		Mendeteksi apakah perangkat keras dan perangkat lunak mampu mendeteksi gelombang EMG ketika jari telunjuk digerakkan.	
Kondisi Awal		Pengguna berada pada halaman pembacaan gelombang EMG	
Data Input		-	
Prosedur Pengujian		1. Gerakan jari telunjuk 2. Jangan gerakan jari lain	
Hasil yang Diharapkan		Terjadi perubahan gelombang EMG pada grafik pembacaan jari telunjuk yang terdeteksi sebagai	

	timbulnya gerakan pada jari telunjuk tersebut.
Hasil yang Diperoleh	Gerakan jari telunjuk berhasil terdeteksi oleh perangkat keras dan lunak yang diciptakan.

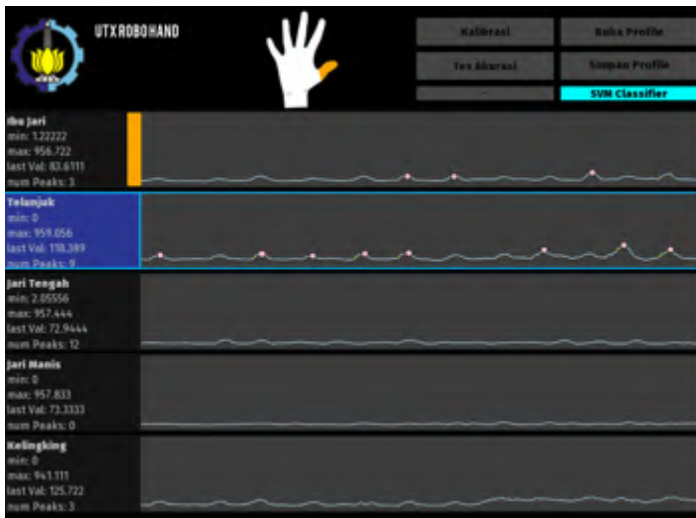
Dari keseluruhan uji coba yang dilakukan, dapat diketahui bahwa aplikasi sudah dapat mendeteksi perubahan gelombang EMG ketika jari telunjuk bergerak. Hal ini ditandai dengan adanya fluktuasi gelombang EMG pada grafik jari telunjuk (grafik dua dari atas) pada Gambar 5.6.



Gambar 5.4 Posisi awal gelombang EMG pada jari telunjuk (grafik kedua dari atas) terlihat stabil.



Gambar 5.5 Saat jari telunjuk digerakkan, terjadi fluktuasi pada gelombang EMG jari telunjuk (grafik kedua dari atas) dan terdeteksi bahwa terjadi gerakan (terdapat point (titik) merah pada puncak grafik).



Gambar 5.6 Hasil uji ketika jari telunjuk digerakkan

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Skenario 2

Pengujian	Thumb	Index	Middle	Ring	Pinky
1	-	Ya	-	-	-
2	-	Ya	-	-	-
3	-	Ya	-	-	-
4	Ya	Ya	-	-	-
5	Ya	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-
7	-	Ya	-	-	-
8	Ya	-	-	-	-
9	-	Ya	-	-	-
10	-	Ya	-	-	-

5.2.3. Pengujian Skenario 3

Pada pengujian skenario 3 ini akan dilakukan pengujian terhadap pendektesian gerakan jari tengah ketika digerakkan, apakah mampu tertangkap oleh sensor dan ditampilkan dengan baik pada antarmuka aplikasi. Pengujian ini tentunya dilakukan untuk mengetahui apakah hasil pembacaan sensor dan hasil pengolahan mikrokontroller sudah bekerja dengan baik dalam mendeteksi adanya perubahan gelombang EMG pada lengan ketika jari tengah digerakkan. Dalam pengujian ini dibatasi dengan tidak adanya kegiatan lain seperti melakukan jari lain atau anggota tubuh yang lain. Skenario dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan Tabel 5.6.

Tabel 5.5 Skenario Pengujian 3

Nama Pengujian	Skenario	Pengujian Gelombang EMG Tengah	Pembacaan untuk Jari
Kode		SP-03	

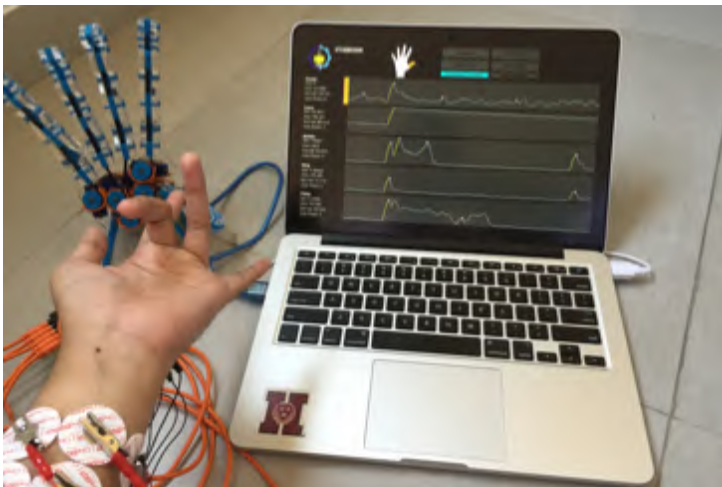
Tujuan Pengujian	Mendeteksi apakah perangkat keras dan perangkat lunak mampu mendeteksi gelombang EMG ketika jari tengah digerakkan.
Kondisi Awal	Pengguna berada pada halaman pembacaan gelombang EMG
Data Input	-
Prosedur Pengujian	1. Gerakan jari tengah 2. Jangan gerakan jari lain
Hasil yang Diharapkan	Terjadi perubahan gelombang EMG pada grafik pembacaan jari tengah yang terdeteksi sebagai timbulnya gerakan pada jari tengah tersebut.
Hasil yang Diperoleh	Gerakan jari tengah berhasil terdeteksi oleh perangkat keras dan lunak yang diciptakan.

Pada awal pengujian, tangan berada pada posisi relaksasi sehingga gelombang EMG yang dihasilkan akan cenderung stabil seperti pada Gambar 5.7. Kemudian gerakan jari tengah dengan cara menekuknya kearah dalam seperti pada Gambar 5.8.

Dari keseluruhan uji coba yang dilakukan, dapat diketahui bahwa aplikasi sudah dapat mendeteksi perubahan gelombang EMG ketika jari tengah bergerak. Hal ini ditandai dengan adanya flukstuasi gelombang EMG pada grafik jari tengah (grafik ketiga dari atas) pada Gambar 5.9.



Gambar 5.7 Posisi awal gelombang EMG pada jari tengah (grafik ketiga dari atas) terlihat stabil.



Gambar 5.8 Saat jari tengah digerakkan, terjadi fluktuasi pada gelombang EMG jari tengah (grafik ketiga dari atas) dan terdeteksi bahwa terjadi gerakan (terdapat point (titik) merah pada puncak grafik).



Gambar 5.9 Hasil uji ketika jari tengah digerakkan

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Skenario 3

Pengujian	Thumb	Index	Middle	Ring	Pinky
1	Ya	-	Ya	-	-
2	-	-	Ya	-	-
3	-	-	Ya	Ya	-
4	-	-	Ya	-	-
5	-	-	-	-	-
6	-	-	Ya	-	-
7	-	-	Ya	-	-
8	-	-	Ya	Ya	-
9	Ya	-	Ya	Ya	-
10	-	-	Ya	Ya	-

5.2.4. Pengujian Skenario 4

Pada pengujian skenario 4 ini akan dilakukan pengujian terhadap pendeteksi gerakan jari manis ketika digerakkan, apakah mampu tertangkap oleh sensor dan ditampilkan dengan baik pada antarmuka aplikasi. Pengujian ini tentunya dilakukan untuk mengetahui apakah hasil pembacaan sensor dan hasil pengolahan mikrokontroler sudah bekerja dengan baik dalam mendeteksi adanya perubahan gelombang EMG pada lengan ketika jari manis digerakkan. Dalam pengujian ini dibatasi dengan tidak adanya kegiatan lain seperti melakukan jari lain atau anggota tubuh yang lain. Skenario dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.7 dan Tabel 5.8.

Tabel 5.7 Skenario Pengujian 4

Nama Pengujian	Skenario	Pengujian Gelombang EMG Manis	Pembacaan untuk Jari
Kode		SP-04	
Tujuan Pengujian		Mendeteksi apakah perangkat keras dan perangkat lunak mampu mendeteksi gelombang EMG ketika jari manis digerakkan.	
Kondisi Awal		Pengguna berada pada halaman pembacaan gelombang EMG	
Data Input		-	
Prosedur Pengujian		1. Gerakan jari manis 2. Jangan gerakan jari lain	
Hasil yang Diharapkan		Terjadi perubahan gelombang EMG pada grafik pembacaan jari manis yang terdeteksi sebagai timbulnya gerakan pada jari manis tersebut.	

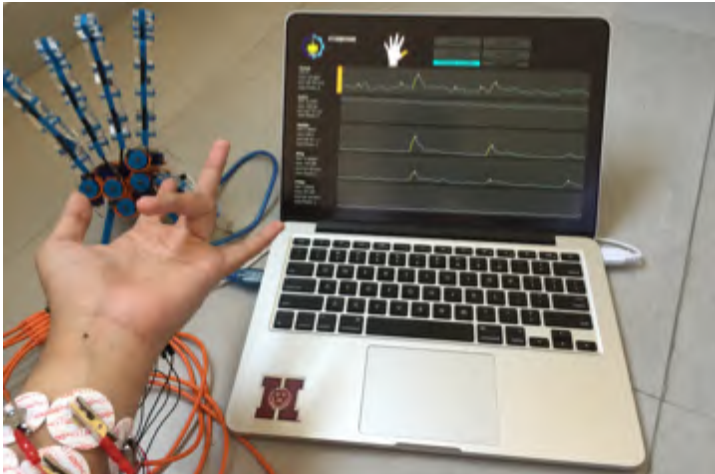
Hasil yang Diperoleh	Gerakan jari manis berhasil terdeteksi oleh perangkat keras dan lunak yang diciptakan.
-----------------------------	--

Pada awal pengujian, tangan berada pada posisi relaksasi sehingga gelombang EMG yang dihasilkan akan cenderung stabil seperti pada Gambar 5.10. Kemudian gerakan jari manis dengan cara menekuknya kearah dalam seperti pada Gambar 5.11.



Gambar 5.10 Posisi awal gelombang EMG pada jari manis (grafik kedua dari bawah) terlihat stabil.

Dari keseluruhan uji coba yang dilakukan, dapat diketahui bahwa aplikasi sudah dapat mendeteksi perubahan gelombang EMG ketika jari manis bergerak. Hal ini ditandai dengan adanya fluktuasi gelombang EMG pada grafik jari manis (grafik kedua dari bawah) pada Gambar 5.12.



Gambar 5.11 Saat jari manis digerakkan, terjadi fluktuasi pada gelombang EMG jari manis (grafik kedua dari bawah) dan terdeteksi bahwa terjadi gerakan (terdapat point (titik) merah pada puncak grafik).



Gambar 5.12 Hasil uji ketika jari manis digerakkan

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Skenario 4

Pengujian	Thumb	Index	Middle	Ring	Pinky
1	-	-	-	Ya	-
2	-	-	-	Ya	-
3	-	-	-	Ya	-
4	-	-	-	Ya	-
5	-	-	-	Ya	-
6	-	-	-	-	-
7	-	-	-	Ya	Ya
8	-	-	-	Ya	Ya
9	-	-	-	Ya	Ya
10	-	-	-	Ya	Ya

5.2.5. Pengujian Skenario 5

Pada pengujian skenario 5 ini akan dilakukan pengujian terhadap pendektasian gerakan jari kelingking ketika digerakkan, apakah mampu tertangkap oleh sensor dan ditampilkan dengan baik pada antarmuka aplikasi. Pengujian ini tentunya dilakukan untuk mengetahui apakah hasil pembacaan sensor dan hasil pengolahan mikrokontroller sudah bekerja dengan baik dalam mendeteksi adanya perubahan gelombang EMG pada lengan ketika jari kelingking digerakkan. Dalam pengujian ini dibatasi dengan tidak adanya kegiatan lain seperti melakukan jari lain atau anggota tubuh yang lain. Skenario dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Tabel 5.10.

Tabel 5.9 Skenario Pengujian 5

Nama Pengujian	Skenario	Pengujian Gelombang EMG Kelingking	Pembacaan untuk Jari
Kode		SP-05	

Tujuan Pengujian	Mendeteksi apakah perangkat keras dan perangkat lunak mampu mendeteksi gelombang EMG ketika jari kelingking digerakkan.
Kondisi Awal	Pengguna berada pada halaman pembacaan gelombang EMG
Data Input	-
Prosedur Pengujian	1. Gerakan jari kelingking 2. Jangan gerakan jari lain
Hasil yang Diharapkan	Terjadi perubahan gelombang EMG pada grafik pembacaan jari kelingking yang terdeteksi sebagai timbulnya gerakan pada jari kelingking tersebut.
Hasil yang Diperoleh	Gerakan jari kelingking berhasil terdeteksi oleh perangkat keras dan lunak yang diciptakan.

Pada awal pengujian, tangan berada pada posisi relaksasi sehingga gelombang EMG yang dihasilkan akan cenderung stabil seperti pada Gambar 5.13. Kemudian gerakan jari kelingking dengan cara menekuknya kearah dalam seperti pada Gambar 5.14.

Dari keseluruhan uji coba yang dilakukan, dapat diketahui bahwa aplikasi sudah dapat mendeteksi perubahan gelombang EMG ketika jari kelingking bergerak. Hal ini ditandai dengan adanya flukstuasi gelombang EMG pada grafik jari kelingking (grafik paling bawah) pada Gambar 5.15.



Gambar 5.13 Posisi awal gelombang EMG pada jari kelingking (grafik paling bawah) terlihat stabil.



Gambar 5.14 Saat jari kelingking digerakkan, terjadi fluktuasi pada gelombang EMG jari kelingking (grafik paling bawah) dan terdeteksi bahwa terjadi gerakan (terdapat point (titik) merah pada puncak grafik).



Gambar 5.15 Hasil uji ketika jari kelingking digerakkan

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Skenario 5

Pengujian	Thumb	Index	Middle	Ring	Pinky
1	-	-	-	-	Ya
2	-	-	-	-	Ya
3	-	-	-	-	Ya
4	-	-	Ya	-	Ya
5	-	-	-	-	Ya
6	-	-	Ya	-	Ya
7	-	-	Ya	-	-
8	-	-	Ya	-	Ya
9	-	-	-	-	-
10	-	-	Ya	-	Ya

5.2.6. Pengujian Skenario 6

Pada pengujian skenario 6 ini akan dilakukan pengujian terhadap pendeteksi gerakan ibu jari ketika digerakkan, apakah mampu tertangkap oleh sensor, ditampilkan dengan baik pada antarmuka aplikasi dan dapat ditirukan dengan baik oleh tangan prosthetic buatan penulis. Pengujian ini tentunya dilakukan untuk mengetahui apakah hasil pembacaan sensor dan hasil pengolahan mikrokontroller mampu diterjemahkan dengan baik menjadi sebuah gerakan pada tangan prosthetic ketika ibu jari digerakkan. Dalam pengujian ini dibatasi dengan tidak adanya kegiatan lain seperti melakukan jari lain atau anggota tubuh yang lain. Skenario dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11 Skenario Pengujian 6

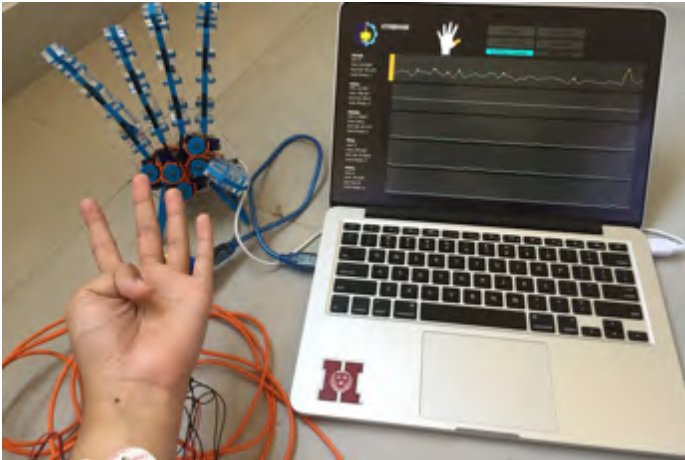
Nama Pengujian	Skenario	Pengujian Gerak Tangan Prosthetic untuk Ibu Jari
Kode		SP-06
Tujuan Pengujian		Mendeteksi apakah tangan prosthetic mampu menirukan gerakan tangan penulis.
Kondisi Awal		Pengguna berada pada halaman pembacaan gelombang EMG
Data Input		-
Prosedur Pengujian		1. Gerakan thumb ibu jari 2. Jangan gerakkan jari lain
Hasil yang Diharapkan		Thumb ibu jari pada tangan prosthetic akan bergerak mengikuti gerakan tangan penulis saat uji coba dilakukan.
Hasil yang Diperoleh		Gerakan thumb ibu jari berhasil diikuti oleh tangan prosthetic.

Pada awal pengujian, tangan berada pada posisi relaksasi sehingga gelombang EMG yang dihasilkan akan cenderung stabil seperti pada Gambar 5.16. Kemudian gerakan ibu jari dengan cara menekuknya kearah dalam dan ibu jari pada tangan prosthetic akan menirukan gerakan tersebut seperti pada Gambar 5.17.

Dari keseluruhan uji coba yang dilakukan, dapat diketahui bahwa tangan prosthetic sudah dapat menirukan gerakan ibu jari yang dilakukan oleh penulis.



Gambar 5.16 Posisi awal gelombang EMG pada ibu jari (grafik paling atas) terlihat stabil.



Gambar 5.17 Saat ibu jari digerakkan, maka ibu jari pada tangan robot juga bergerak.

5.2.7. Pengujian Skenario 7

Pada pengujian skenario 7 ini akan dilakukan pengujian terhadap pendektesian gerakan jari telunjuk ketika digerakkan, apakah mampu tertangkap oleh sensor, ditampilkan dengan baik pada antarmuka aplikasi dan dapat ditirukan dengan baik oleh tangan prosthetic buatan penulis. Pengujian ini tentunya dilakukan untuk mengetahui apakah hasil pembacaan sensor dan hasil pengolahan mikrokontroler mampu diterjemahkan dengan baik menjadi sebuah gerakan pada tangan prosthetic ketika jari telunjuk digerakkan. Dalam pengujian ini dibatasi dengan tidak adanya kegiatan lain seperti melakukan jari lain atau anggota tubuh yang lain. Skenario dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.12.

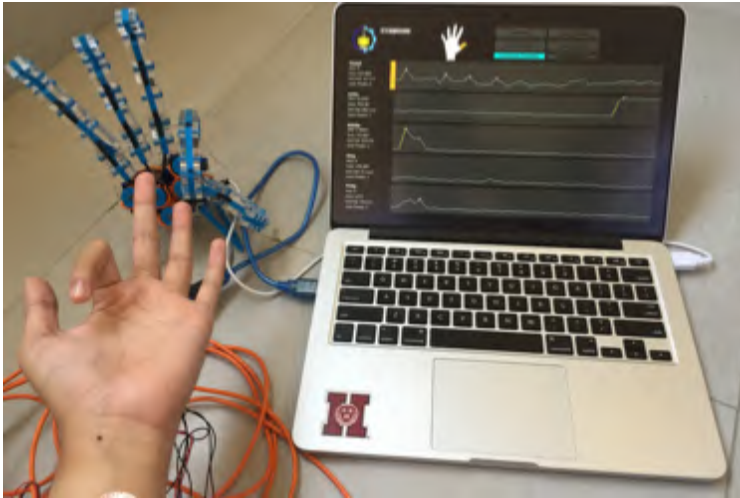
Tabel 5.12 Skenario Pengujian 7

Nama Pengujian	Skenario	Pengujian Gerak Tangan Prosthetic untuk Jari Telunjuk
Kode		SP-07

Tujuan Pengujian	Mendeteksi apakah tangan prosthetic mampu menirukan gerakan tangan penulis.
Kondisi Awal	Pengguna berada pada halaman pembacaan gelombang EMG
Data Input	-
Prosedur Pengujian	1. Gerakan jari telunjuk 2. Jangan gerakkan jari lain
Hasil yang Diharapkan	Jari telunjuk pada tangan prosthetic akan bergerak mengikuti gerakan tangan penulis saat uji coba dilakukan.
Hasil yang Diperoleh	Gerakan index jari telunjuk berhasil diikuti oleh tangan prosthetic.



Gambar 5.18 Posisi awal gelombang EMG pada jari telunjuk (grafik kedua dari atas) terlihat stabil.



Gambar 5.19 Saat jari telunjuk digerakkan, maka jari telunjuk pada tangan robot juga bergerak.

Pada awal pengujian, tangan berada pada posisi relaksasi sehingga gelombang EMG yang dihasilkan akan cenderung stabil seperti pada Gambar 5.18. Kemudian gerakan jari telunjuk dengan cara menekuknya kearah dalam dan jari telunjuk pada tangan prosthetic akan menirukan gerakan tersebut seperti pada Gambar 5.19.

Dari keseluruhan uji coba yang dilakukan, dapat diketahui bahwa tangan prosthetic sudah dapat menirukan gerakan jari telunjuk yang dilakukan oleh penulis.

5.2.8. Pengujian Skenario 8

Pada pengujian skenario 8 ini akan dilakukan pengujian terhadap pendektesian gerakan jari tengah ketika digerakkan, apakah mampu tertangkap oleh sensor, ditampilkan dengan baik pada antarmuka aplikasi dan dapat ditirukan dengan baik oleh tangan prosthetic buatan penulis. Pengujian ini tentunya dilakukan untuk mengetahui apakah hasil pembacaan sensor dan hasil

pengolahan mikrokontroller mampu diterjemahkan dengan baik menjadi sebuah gerakan pada tangan prosthetic ketika jari tengah digerakkan. Dalam pengujian ini dibatasi dengan tidak adanya kegiatan lain seperti melakukan jari lain atau anggota tubuh yang lain. Skenario dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.13.

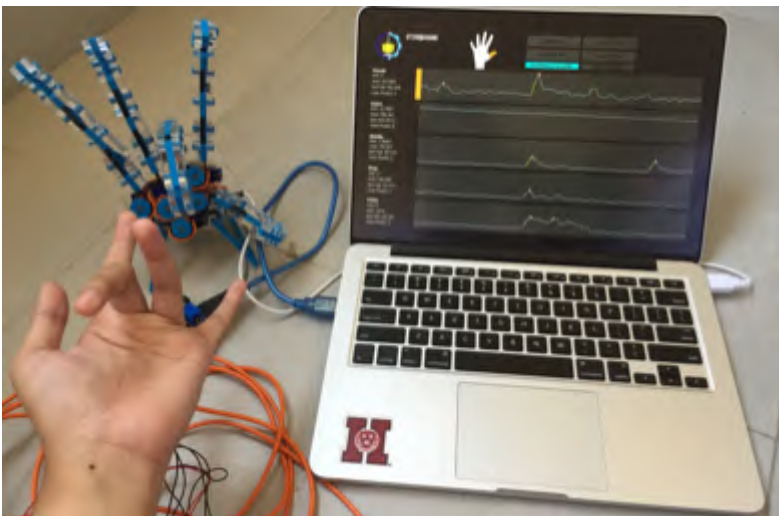
Tabel 5.13 Skenario Pengujian 8

Nama Pengujian	Skenario	Pengujian Gerak Tangan Prosthetic untuk Jari Tengah
Kode		SP-08
Tujuan Pengujian		Mendeteksi apakah tangan prosthetic mampu menirukan gerakan tangan penulis.
Kondisi Awal		Pengguna berada pada halaman pembacaan gelombang EMG
Data Input		-
Prosedur Pengujian		1. Gerakan jari tengah 2. Jangan gerakkan jari lain
Hasil yang Diharapkan		Jari tengah pada tangan prosthetic akan bergerak mengikuti gerakan tangan penulis saat uji coba dilakukan.
Hasil yang Diperoleh		Gerakan jari tengah berhasil diikuti oleh tangan prosthetic.

Pada awal pengujian, tangan berada pada posisi relaksasi sehingga gelombang EMG yang dihasilkan akan cenderung stabil seperti pada Gambar 5.20. Kemudian gerakan jari tengah dengan cara menekuknya kearah dalam dan jari tengah pada tangan prosthetic akan menirukan gerakan tersebut seperti pada Gambar 5.21.



Gambar 5.20 Posisi awal gelombang EMG pada jari tengah (grafik ketiga dari atas) terlihat stabil.



Gambar 5.21 Saat jari tengah digerakkan, maka jari tengah pada tangan robot juga bergerak.

Dari keseluruhan uji coba yang dilakukan, dapat diketahui bahwa tangan prosthetic sudah dapat menirukan gerakan jari tengah yang dilakukan oleh penulis.

5.2.9. Pengujian Skenario 9

Pada pengujian skenario 9 ini akan dilakukan pengujian terhadap pendektasian gerakan jari manis ketika digerakkan, apakah mampu tertangkap oleh sensor, ditampilkan dengan baik pada antarmuka aplikasi dan dapat ditirukan dengan baik oleh tangan prosthetic buatan penulis. Pengujian ini tentunya dilakukan untuk mengetahui apakah hasil pembacaan sensor dan hasil pengolahan mikrokontroller mampu diterjemahkan dengan baik menjadi sebuah gerakan pada tangan prosthetic ketika jari manis digerakkan. Dalam pengujian ini dibatasi dengan tidak adanya kegiatan lain seperti melakukan jari lain atau anggota tubuh yang lain. Skenario dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.14.

Tabel 5.14 Skenario Pengujian 9

Nama Pengujian	Skenario	Pengujian Gerak Tangan Prosthetic untuk Jari Manis
Kode		SP-09
Tujuan Pengujian		Mendeteksi apakah tangan prosthetic mampu menirukan gerakan tangan penulis.
Kondisi Awal		Pengguna berada pada halaman pembacaan gelombang EMG
Data Input		-
Prosedur Pengujian		1. Gerakan ring jari manis 2. Jangan gerakkan jari lain
Hasil yang Diharapkan		Ring jari manis pada tangan prosthetic akan bergerak mengikuti gerakan tangan penulis saat uji coba dilakukan.

Hasil yang Diperoleh

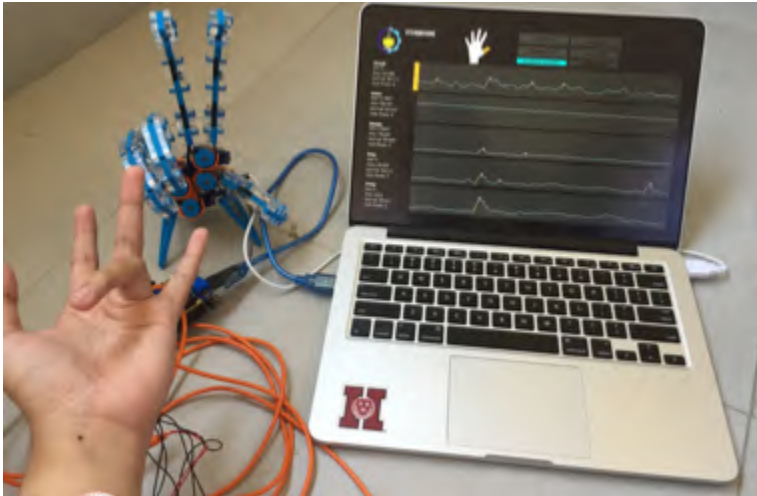
Gerakan ring jari manis berhasil diikuti oleh tangan prosthetic.

Pada awal pengujian, tangan berada pada posisi relaksasi sehingga gelombang EMG yang dihasilkan akan cenderung stabil seperti pada Gambar 5.22. Kemudian gerakan jari manis dengan cara menekuknya kearah dalam dan jari manis pada tangan prosthetic akan menirukan gerakan tersebut seperti pada Gambar 5.23.

Dari keseluruhan uji coba yang dilakukan, dapat diketahui bahwa tangan prosthetic sudah dapat menirukan gerakan jari manis yang dilakukan oleh penulis.



Gambar 5.22 Posisi awal gelombang EMG pada jari manis (grafik kedua dari bawah) terlihat stabil.



Gambar 5.23 Saat jari manis digerakkan, maka jari manis pada tangan robot juga bergerak.

5.2.10. Pengujian Skenario 10

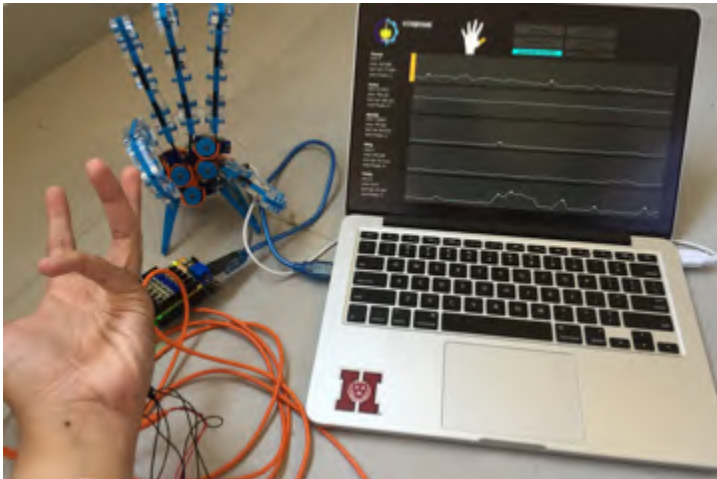
Pada pengujian skenario 10 ini akan dilakukan pengujian terhadap pendektesian gerakan jari kelingking ketika digerakkan, apakah mampu tertangkap oleh sensor, ditampilkan dengan baik pada antarmuka aplikasi dan dapat ditirukan dengan baik oleh tangan prosthetic buatan penulis. Pengujian ini tentunya dilakukan untuk mengetahui apakah hasil pembacaan sensor dan hasil pengolahan mikrokontroller mampu diterjemahkan dengan baik menjadi sebuah gerakan pada tangan prosthetic ketika jari kelingking digerakkan. Dalam pengujian ini dibatasi dengan tidak adanya kegiatan lain seperti melakukan jari lain atau anggota tubuh yang lain. Skenario dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Skenario Pengujian 10

Nama Pengujian	Skenario	Pengujian Gerak Tangan Prosthetic untuk Jari Kelingking
Kode		SP-10
Tujuan Pengujian		Mendeteksi apakah tangan prosthetic mampu menirukan gerakan tangan penulis.
Kondisi Awal		Pengguna berada pada halaman pembacaan gelombang EMG
Data Input		-
Prosedur Pengujian		1. Gerakan jari kelingking 2. Jangan gerakkan jari lain
Hasil yang Diharapkan		Jari kelingking pada tangan prosthetic akan bergerak mengikuti gerakan tangan penulis saat uji coba dilakukan.
Hasil yang Diperoleh		Gerakan jari kelingking berhasil diikuti oleh tangan prosthetic.



Gambar 5.24 Posisi awal gelombang EMG pada jari kelingking (grafik paling bawah) terlihat stabil.



Gambar 5.25 Saat jari kelingking digerakkan, maka jari kelingking pada tangan robot juga bergerak.

Pada awal pengujian, tangan berada pada posisi relaksasi sehingga gelombang EMG yang dihasilkan akan cenderung stabil seperti pada Gambar Gambar 5.24. Kemudian gerakan jari kelingking dengan cara menekuknya kearah dalam dan jari kelingking pada tangan prosthetic akan menirukan gerakan tersebut seperti pada Gambar 5.25.

Dari keseluruhan uji coba yang dilakukan, dapat diketahui bahwa tangan prosthetic sudah dapat menirukan gerakan jari kelingking yang dilakukan oleh penulis.

5.2.11. Pengujian Skenario 11

Pada pengujian skenario 11 ini akan dilakukan pengujian terhadap pendektesian gelombang EMG ketika semua jari digerakkan, apakah mampu tertangkap oleh sensor dan ditampilkan dengan baik pada antarmuka aplikasi. Pengujian ini tentunya dilakukan untuk mengetahui apakah hasil pembacaan sensor dan

hasil pengolahan mikrokontroller sudah bekerja dengan baik dalam mendeteksi adanya perubahan gelombang EMG pada lengan ketika semua jari digerakkan. Dalam pengujian ini dibatasi dengan tidak adanya kegiatan lain seperti melakukan jari lain atau anggota tubuh yang lain. Skenario dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.16.

Tabel 5.16 Skenario Pengujian 11

Nama Pengujian	Skenario	Pengujian Gelombang EMG Ketika Semua Jari Digerakkan	Pembacaan
Kode		SP-11	
Tujuan Pengujian		Mendeteksi apakah perangkat keras dan perangkat lunak mampu mendeteksi gelombang EMG ketika semua jari digerakkan.	
Kondisi Awal		Pengguna berada pada halaman pembacaan gelombang EMG	
Data Input		-	
Prosedur Pengujian		1. Gerakan kelima jari	
Hasil yang Diharapkan		Terjadi perubahan gelombang EMG pada grafik pembacaan semua jari yang terdeteksi sebagai timbulnya gerakan kelima jari tersebut.	
Hasil yang Diperoleh		Gerakan semua jari berhasil terdeteksi oleh perangkat keras dan lunak yang diciptakan.	

Pada awal pengujian, tangan berada pada posisi relaksasi sehingga gelombang EMG yang dihasilkan akan cenderung stabil. Kemudian gerakan kelima jari dengan cara menekuknya kearah dalam.

Tabel 5.17 Hasil Pengujian Skenario 11

Pengujian	Thumb	Index	Middle	Ring	Pinky
1	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
2	Ya	-	Ya	Ya	-
3	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
4	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
5	Ya	-	-	Ya	Ya
6	Ya	-	Ya	-	Ya
7	Ya	Ya	Ya	Ya	-
8	Ya	-	Ya	Ya	Ya
9	Ya	Ya	Ya	Ya	-
10	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya



Gambar 5.26 Hasil uji ketika kelima jari digerakkan

Dari keseluruhan uji coba yang dilakukan, dapat diketahui bahwa aplikasi sudah dapat mendeteksi perubahan gelombang EMG ketika semua jari bergerak. Hal ini ditandai dengan adanya fluktuasi gelombang EMG pada semua grafik jari pada Gambar 5.26.

5.3. Analisis Hasil Pengujian

Dilihat dari hasil uji coba skenario 1-11 didapatkan bahwa seluruh jari memiliki akurasi diatas 70%, dengan detil yang bisa dilihat pada Tabel 5.18. Dengan akurasi rata-rata untuk kelima jari mencapai 86%.

Tabel 5.18 Hasil Pengujian Keseluruhan Skenario

Pengujian	Thumb	Index	Middle	Ring	Pinky
Akurasi	100%	70%	90%	90%	80%

Namun selama proses pembuatan tugas akhir ini juga ditemukan beberapa permasalahan dan faktor yang berefek pada aspek kualitatif dari sinyal EMG yang dibaca. Amplitudo dari sinyal EMG berada pada kisaran 1-10 mV, membuatnya termasuk pada kategori sinyal yang lemah. Sinyal EMG juga berada pada kisaran frekuensi 0-500 Hz dan paling dominan berada pada kisaran 50-150 Hz [30]. Sinyal EMG juga sangat mudah terpengaruh oleh *noise*. *Noise* yang terjadi dapat diakibatkan oleh berbagai macam hal, seperti radiasi elektromagnetik dari transmisi peralatan radio, lampu *fluorescent* dan interferensi listrik dari kabel.

Noise jenis ini amatlah sangat tidak mungkin untuk bisa dihindari. Interferensi *noise* jenis ini berada pada kisaran frekuensi 50-60 Hz. *Noise* yang paling sering terjadi pada pembacaan sinyal EMG adalah ketidakstabilan dari elektroda yang menempel pada kulit dan interferensi dari kabel elektroda itu sendiri, *noise* jenis ini berada pada kisaran 0-20 Hz.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan diberikan kesimpulan yang diambil selama pengerjaan tugas akhir serta saran-saran tentang pengembangan yang dapat dilakukan terhadap tugas akhir ini di masa yang akan datang.

6.1. Kesimpulan

Dari proses pengerjaan selama perancangan, implementasi, dan proses pengujian aplikasi yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Metode *threshold* pada hasil pembacaan sinyal EMG dengan sebelumnya dilakukan proses *band pass filter* dan amplikasi mampu menghasilkan model dengan tingkat akurasi minimal 70%.
2. Untuk hasil pembacaan ke 5 jari, akurasi terbaik yang didapatkan adalah 100% pada ibu jari, dengan rata-rata akurasi 86% dari 10 kali percobaan dengan menggunakan *threshold* sebesar setengah dari tegangan sinyal EMG sample training.
3. Aplikasi telah dapat menampilkan pembacaan sinyal otot dan mengkategorikannya berdasarkan jari mana yang bergerak.
4. Selama proses pembacaan sinyal EMG, masih terdapat *noise* dari bagian otot lain pada lengan dan *noise* yang berasal dari luar.

6.2. Saran

Berikut saran-saran untuk pengembangan dan perbaikan sistem di masa yang akan datang. Di antaranya adalah sebagai berikut:

1. Agar dapat membedakan jari mana yang bergerak dengan akurat harus menambahkan metode klasifikasi pada hasil pembacaan gelombang EMG.
2. Agar setiap jari dapat bergerak dengan besaran tekanan tertentu, ada baiknya menambahkan sensor tekanan pada setiap ujung jari.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] "Prosthesis," [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Prosthesis>. [Accessed 20 June 2016].
- [2] E. Strait, "Prosthetics in Developing Countries," 2006.
- [3] P. Raymond, "Prosthetic Treatment and AFMA," [Online]. Available: <http://www.pofsea.org/Treatment.html>. [Accessed 19 January 2016].
- [4] G. Mohny, "Healthcare Costs for Boston Marathon Amputees Adds Up Over Time 2013," [Online]. Available: <http://abcnews.go.com/Health/health-care-costs-boston-marathon-amputees-add-time/story?id=19035114>. [Accessed 12 June 2016].
- [5] M. Troncossi and V. Parenti-Castelli, "Synthesis of Prosthesis Architectures and Design of Prosthetic Devices for Upper Limb Amputees," *Rehabilitation Robotics*, p. 648, 2007.
- [6] "Degree of freedom (mechanics)," [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Degrees_of_freedom_\(mechanics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Degrees_of_freedom_(mechanics)). [Accessed 20 June 2016].
- [7] J. Tilander, K. Hagberg, L. Hagberg and R. Mranemark, "Osseointegrated Titanium Implants for Limb Prostheses Attachments: Infectious Complications," *Clinical Orthopaedics and Related Research*, p. 468, 2010.
- [8] H. Harker and T. Wolf, "Reinnervating" The Prosthetic: Using Targeted Muscle Reinnervation to Improve Upper-limb Myoelectric Prosthetics," Pittsburgh, 2012.
- [9] C. Pylatiuk, S. Schulz, A. Kargov and G. Bretthauer, "Two Multiarticulated Hydraulic Hand Prostheses," *Artificial Organs*, vol. 28, pp. 980-986, 2004.
- [10] I. Yamono and T. Maeno, "Five-fingered Robot Hand using Ultrasonic Motors and Elastic Elements," in *IEEE International*

- Conference on Robotics and Automation*, Barcelona, Spain, 2006.
- [11] K. Andrianesis and A. Tzes, "Design of an Anthropomorphic Prosthetic Hand Driven by Shape Memory Alloy Actuators," in *2nd Biennial IEEE/RAS-EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics*, Scottsdale, USA, 2008.
- [12] A. M. Dollar and R. D. Howe, "Joint coupling design of underactuated grippers," in *ASME 2006 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, Philadelphia, USA, 2006.
- [13] M. Carrozza, G. Cappiello, G. Stellan, F. Zaccone, F. Vecchi, S. Micera and P. Dario, "A Cosmetic Prosthetic Hand with Tendon Driven Under-Actuated Mechanism and Compliant Joints: Ongoing Research and Preliminary Results," in *2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Barcelona, Spain, 2005.
- [14] L. Zollo, S. Rocella, E. Guglielmelli, M. Carrozza and Dario, "Biomechatronic Design and Control of an Anthropomorphic Artificial Hand for Prosthetic and Robotic Applications," *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 12, no. 4, August 2007.
- [15] E. D. Engeberg, and S. Meek, "Improved Grasp Force Sensitivity for Prosthetic Hands Through Force-Derivative Feedback," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, vol. 55, no. 2, February 2008.
- [16] C. Cipriani, F. Zaccone, S. Micera and M. Carrozza, "On the Shared Control of an EMG-Controlled Prosthetic Hand: Analysis of User-Prosthesis Interaction," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 24, no. 1, February 2008.

- [17] "Institute of Robotics and Mechatronics," [Online]. Available: http://www.dlr.de/rm/en/desktopdefault.aspx/tabid-3975/6161_read-245/.
- [18] "Touch Bionics Inc," [Online]. Available: www.touchbionics.com.
- [19] "Shadow Robot Company," [Online]. Available: www.shadowrobot.com/hand/papers.shtml.
- [20] F. Schuind, M. Garcia-Elias, W. P. Cooney III and K.-N. An, "Flexor tendon forces: In vivo measurements," *The Journal of Hand Surgery*, vol. 17, no. 2, pp. 291-298, March 1992.
- [21] C. Norkin and P. Levangie,, *Joint Structure & Function: A Comprehensive Analysis: Second Edition*, F. A. Davis Publications, 1992, pp. 262-299.
- [22] F. J. Valero-Cuevas, J. D. Towles and V. R. Hentz, "Quantification of fingertip force reduction in the forefinger following simulated paralysis of extensor and intrinsic muscles," *Journal of Biomechanics*, vol. 33, pp. 1601-1609, 2000.
- [23] K. G. Kevin, V. J. Santos and m. Venkadesan, "Maximal Voluntary Fingertip Force Production Is Not Limited by Movement Speed in Combined Motion and Force Tasks," *The Journal of Neuroscience*, vol. 29, pp. 8784-8789, July 2009.
- [24] M. Margolis, *Arduino Cookbook*, 2nd ed., O'Reilly Media, 2011.
- [25] L. Sherwood, *Human Physiology: From Cells to Systems*, Cengage Learning, 2012.
- [26] J. C. De Luca, "Use of Surface Electromyography in Biomechanics," *Journal of Applied Biomechanics*3, 1997.
- [27] M. Harba and G. E. Chee, "Muscle Mechanomyographic and Electromyographic Signals Compared with Reference to Action Potential Average Propagation Velocity," in *19th Annual International Conference of the IEEE*, 2002.
- [28] J. C. De Luca, *Electromyography: Encyclopedia of Medical Devices and Instrumentation*, John Wiley Publisher, 2006.

- [29] D. S. Day, "Important Factors in Surface EMG Measurement".
- [30] B. Gerdle, S. Karlsson, S. Day and M. Djupsjobacka, "Acquisition, Processing and Analysis of the Surface Electromyogram," in *Modern Techniques in Neuroscience Research*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1999, pp. 705-706.
- [31] J. Lin, Y. Wu and T. S. Huang, "Modeling the Constraints of Human Hand Motion," University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, 2011.
- [32] B. Buchholz, T. Armstrong and S. Goldstein, "Anthropometric data for describing the kinematics of the human hand," *Ergonomics*, vol. 35, pp. 261-273, March 1992.
- [33] C. J. De Luca, *Surface Electromyography: Detection and Recording*, Delsys Incorporated, 2002.
- [34] G. De Luca, *Fundamental Concepts in EMG Signal Acquisition*, Delsys Incorporated, 2001.
- [35] P. Sanches, A. Muller, L. Carro, A. Susin and P. Nohama, "Analog Reconfigurable Technologies for EMG Signal Processing," *Journal of Biomedical Engineering*, vol. 23, pp. 153-157, 2007.
- [36] Z. Jamal, A. Waris, N. Shaheryar, S. Khan, J. Iqbal, A. Masood and U. Shahbaz, "Motor Drive using Electromyography for Flexion and Extension of Finger and Hand Muscles," vol. 3, pp. 1287-1291, 2011.
- [37] D. J. Hewson, J. Y. Hoqrel and J. Duchene, "Evolution in impedance at the electrode-skin interface of two types of surface EMG electrodes during long-term recordings," *Journal of Electromyography and Kinesiology*, vol. 13, no. 3, pp. 273-279, 2003.
- [38] J. Millan, S. F. I. o. T. L. S. Lab. of Comput. Neurosci., F. Renkens, J. Mourino and W. Gerstner, "Noninvasive Brain-Actuated Control of a Mobile," *Journal of Medical and Biological Engineering*, 2004.

BIODATA PENULIS



Aditya Brahmana, born in Surabaya, 9 November 1992, received 2015 "Most Outstanding Student in Indonesia" Award from Directorate General of Higher Education (DIKTI), Ministry of Research, Technology and Higher Education for demonstrating high academic achievement, outstanding co-curricular, and/or extracurricular activities and

involvements, and made the most notable contributions toward the development of leadership qualities in their fellow students in Indonesia.

Aditya has also represented Institut Teknologi Sepuluh Nopember for the 2015 Harvard National Model United Nations in Boston which was held by Harvard University. Studying Computer Science at a reputable university in Indonesia called the Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Aside from his outstanding academic performance, Aditya has won more than 10 national and international titles in the fields of tech competition, business case and public speaking.

Aditya is currently seeking for challenging opportunities in a tech startup company, consulting firm, telecommunication industry or multinational corporation, as well as looking forward to establish his own business venture.