

**PENGERAK JARI ROBOT MENGGUNAKAN SINYAL  
*ELECTROMYOGRAM (EMG)* PADA LENGAN BAWAH ANTERIOR**

**SKRIPSI**

**TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**ENGGAR KABISAFIRA PRAWIMULIASTA**  
**NIM. 145060300111042**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**MALANG**  
**2018**



**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGERAK JARI ROBOT MENGGUNAKAN SINYAL  
ELECTROMYOGRAM (EMG) PADA LENGAN BAWAH ANTERIOR**

**SKRIPSI**

**TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

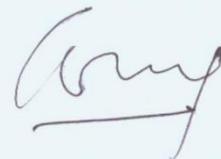


Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Elektro



Ir. Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D., IPM  
NIP. 19730520 200801 1 013

Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Ponco Siwindarto, M.Eng.Sc.  
NIP. 19590304 198903 1 001



JUDUL SKRIPSI:

PENGERAK JARI ROBOT MENGGUNAKAN SINYAL *ELECTROMYOGRAM (EMG)*  
PADA LENGAN BAWAH ANTERIOR

Nama Mahasiswa : Enggar Kabisafira Prawimuliasta

NIM : 145060300111042

Program Studi : TEKNIK ELEKTRO

Konsentrasi : TEKNIK ELEKTRONIKA

Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Ponco Siwindarto, M.Eng.Sc.

Tim Dosen Penguji :

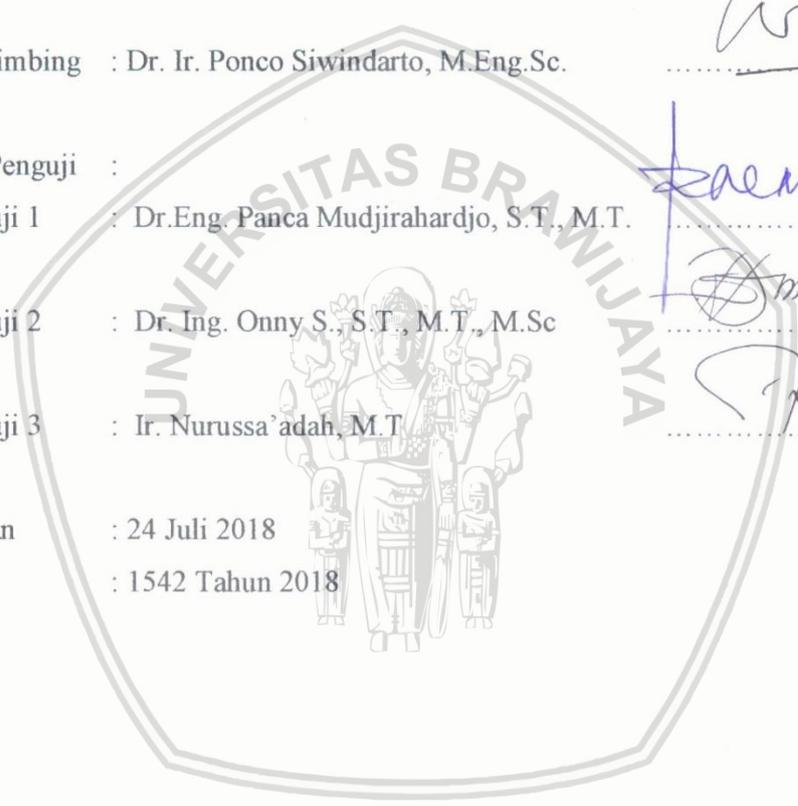
Dosen Penguji 1 : Dr.Eng. Panca Mudjirahardjo, S.T., M.T.

Dosen Penguji 2 : Dr. Ing. Onny S., S.T., M.T., M.Sc

Dosen Penguji 3 : Ir. Nurussa'adah, M.T.

Tanggal Ujian : 24 Juli 2018

SK Penguji : 1542 Tahun 2018



## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

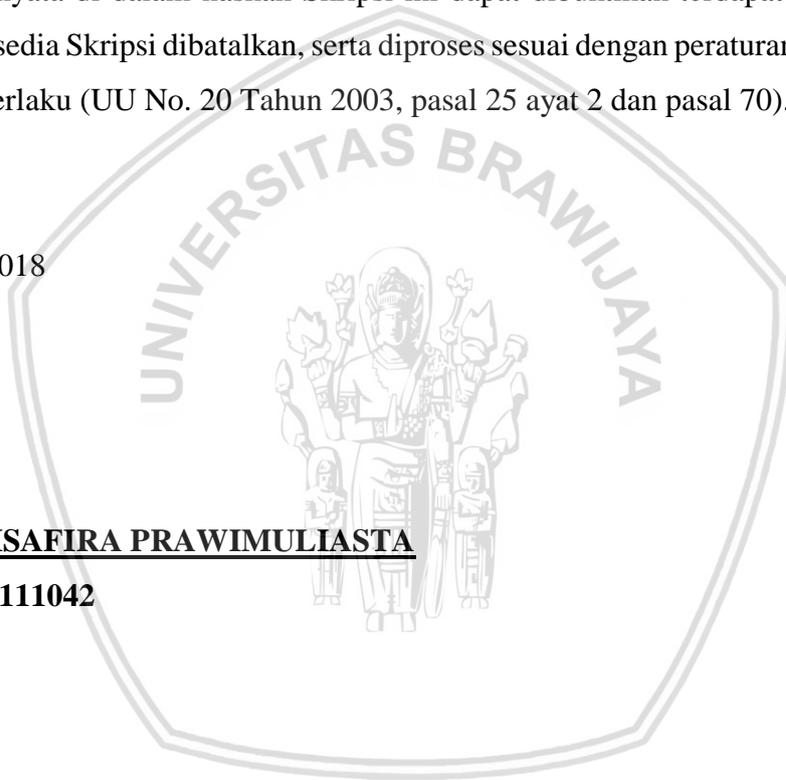
Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 26 Juli 2018

**Mahasiswa,**

**ENGGAR KABISAFIRA PRAWIMULIATA**

**NIM. 145060300111042**



**DAFTAR RIWAYAT HIDUP****DATA PRIBADI**

Nama Lengkap : Enggar Kabisafira Prawimuliasta  
Tempat, Tanggal Lahir : Mojokerto, 29 Februari 1996  
Jenis Kelamin : Laki – Laki  
Kewarganegaraan : Indonesia  
Agama : Islam  
Status : Belum menikah  
Alamat : Jl. Trenggilis Gg Banjar no. 3, RT. 01, RW. 02, Kel. Blooto,  
Kec. Prajurit Kulon, Mojokerto  
No. HP : +6285646614219  
E-mail : [enggarkp@gmail.com](mailto:enggarkp@gmail.com)

**PENDIDIKAN FORMAL**

1. SDN. Miji 1 Mojokerto : 2002-2008
2. SMPN 1 Mojokerto : 2008-2011
3. SMAN 2 Mojokerto : 2011-2014
4. S1 Teknik Eletro : 2014-2018

Universitas Brawijaya

Demikian riwayat hidup ini saya buat dengan sebenarnya.

Malang, 27 Juli 2018

Enggar Kabisafira Prawimuliasta



*Teriring Ucapan Terima Kasih kepada:  
Ayahanda dan Ibunda tercinta*



## RINGKASAN

**Enggar Kabisafira Prawimuliasta**, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2018, *Penggerak Jari Robot Menggunakan Sinyal Electromyogram (EMG) Pada Lengan Bawah Anterior*, Dosen Pembimbing: Ponco Siwindarto

Kebutuhan untuk dapat hidup normal dengan memiliki anggota badan yang lengkap adalah kebutuhan semua manusia. Namun tidak semuanya beruntung memiliki karunia tersebut. Tidak sedikit diantara kita yang terlahir tidak sempurna atau dalam hidupnya mengalami kejadian yang menyebabkan kehilangan anggota badan. Jari adalah salah satu anggota badan yang memiliki peranan vital untuk melakukan tugas-tugas dasar seperti menggenggam, makan, menulis, dll.

Otot penggerak jari tengah tangan manusia adalah otot *Flexor Carpiradialis* dan untuk jari jempol adalah otot *Brachioradialis* yang terletak pada bagian lengan bawah. Meskipun sudah kehilangan jari-jari, namun otak kita masih mampu melakukan gerakan kontraksi dan relaksasi pada jaringan otot tersebut. Alat ini bekerja atas teori tersebut, dengan membaca sinyal *myoelectric* yang kemudian dikondisikan agar dapat diproses oleh mikrokontroler untuk menggerakkan jari-jari robot.

Dari pengujian yang dilakukan, sinyal otot yang dibaca sudah dapat diterjemahkan menjadi gerakan jari-jari robot dengan tingkat keberhasilan 100%. Rata - rata respon kondisi relaksasi pada keseluruhan jari 0,632 detik dan kondisi kontraksi untuk keseluruhan jari 0,175 detik. Untuk rata – rata respon kondisi kontraksi pada jari tengah dan jari jempol relaksasi adalah 59,85 ms. Untuk rata – rata respon jari jempol kontraksi dan jari tengah relaksasi adalah 97 ms.

Kata kunci: *Electromyography, Flexor Carpiradialis, Brachioradialis, Jari-jari robot.*



## SUMMARY

**Enggar Kabisafira Prawimuliasta**, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering Universitas Brawijaya, July 2018, Robot Finger Drive Using Electromyogram Signal (EMG) on Anterior Forearms, Academic Supervisor: Dr. Ir. Ponco Siwindarto, M.Eng.Sc.

*The need to be able to live a normal life by having a complete limb is a need for all humans. But not all are lucky to have that gift. Not a few among us who are born imperfect or in his life experienced events that cause loss of limb. Finger is a member of the body which has a vital role to perform basic tasks such as grapping, eating, writing, etc.*

*Muscle activator of human middle fingers, Flexor Carpiradialis and for thumb, Brachioradialis is located on the forearm. Although if we lost our fingers, our brains are still able to perform contraction and relaxation of that muscle tissue. It works on the theory, by sensing the myoelectric signals and then conditioned to be processed by a microcontroller to drive robot fingers.*

*From the tests, this system can translate muscle signal into movement of the fingers robot with a 100% success rate. Average response time for the condition of relaxation all fingers is 0.632 s and for a condition of contraction all fingers is 0.175 s. Average respon time for middle finger contraction and thumb relaxation is 59.58 ms. Average respon time for thumb contraction and middle finger relaxation is 97 ms.*

**Keywords:** Electromyography, Flexor Carpiradialis, Brachioradialis, Robot fingers

## PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya dan perkenan-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.

Karya ini tidak mungkin selesai tanpa restu dan dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih sedalam-dalamnya yang tidak terhingga kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak H. Mulyo Slamet, S.Pd, M.Pd dan Ibu Hj. Endang Puji Astutik, S.Pd, M.Pd atas pengorbanan dan doa restunya sehingga penulis dapat menuntut ilmu sampai jenjang sarjana. Serta, kedua adik Fahry Malian Atsani Muliasta, M. Daffa Tsalasmuliasta dan budhe Anik Sulastri, Titik Sriwilujeng atas segala doa, dan dukungan kepada penulis hingga saat ini.
2. Bapak Hadi Suyono, S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
3. Ibu Ir. Nurussa'adah, M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
4. Bapak Ali Mustofa, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Sarjana Teknik Elektro Universitas Brawijaya.
5. Bapak Raden Arief Setyawan, S.T., M.T. selaku Ketua Kelompok Dosen Keahlian Elektronika Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya yang selalu membantu dalam memudahkan setiap hal yang ada di jurusan.
6. Bapak Dr. Ir. Ponco Siwindarto, M.Eng.Sc sebagai pembimbing, ditengah kesibukan beliau selalu memberikan waktu untuk diskusi dengan tulus, sabar memberikan masukan yang sungguh berharga.
7. Goegoes Dwi Nusantoro S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik atas segala bimbingan, nasehat dan motivasi yang telah diberikan.
8. Waru Djuriatno, S.T., M.T. dan Ahmad Dulhadi, S.T. selaku Kalab dan Laboran Laboratorium Sistem Digital atas bantuan, fasilitas, dan keramahannya selama penulis menjadi asistem laboratorium dan pengerjaan skripsi.
9. Para Dosen Pengajar Program Studi Teknik Elektro Universitas Brawijaya, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan bekal ilmu pada penulis dalam menyelesaikan studi.

10. Putri Nandani Alifah, S.Kep, Ners yang telah memberi bantuan, saran, dukungan, semangat, motivasi, dan doa dalam proses pengerjaan skripsi.
11. Keluarga besar Workshop Divisi Robotika angkatan 2012, 2013, 2015, 2016 khususnya (Wahyu, Muis, Hafidin, Esa, Tommy, Andy, Rizky, Octa, Meilan, Lutfi, Upik, Titi, Nola, Lele, Gilank, Gilang, Dion, Ojik, Abdan, Ion) yang telah memberikan pengalaman dan menemani setiap malam hari selama 3 tahun.
12. Keluarga besar Asisten Laboratorium Sistem Digital angkatan 2012, 2013, 2015, 2016 khususnya (Ilham, Muis, Upik, Hasan, Rifki, Lele, Harahap, Dion, Regi) terima kasih atas kerjasama dan pengalaman selama penulis menjadi asisten.
13. Mas Rizki Firmansyah, S.T. yang juga ikut dalam membimbing secara online dalam pengerjaan skripsi.
14. Keluarga besar Konsentrasi Teknik Elektronika Universitas Brawijaya khususnya angkatan 2014.
15. Keluarga Besar Dioda atas segala dukungan dan motivasinya selama penulis di perkuliahan.
16. Dan semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Sekiranya Allah SWT membalas kebaikan semua pihak yang turut membantu skripsi ini terselesaikan. Akhirnya, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, namun semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua. Amin, Terima kasih.

Malang, Juli 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

|   |            |
|---|------------|
| <b>PENGANTAR .....</b>                                  | <b>i</b>   |
| <b>DAFTAR ISI .....</b>                                 | <b>iii</b> |
| <b>DAFTAR TABEL.....</b>                                | <b>vii</b> |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>                              | <b>ix</b>  |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>                            | <b>xi</b>  |
| <b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>                          | <b>1</b>   |
| 1.1 Latar belakang.....                                 | 1          |
| 1.2 Rumusan Masalah.....                                | 2          |
| 1.3 Batasan Masalah.....                                | 2          |
| 1.4 Tujuan .....  | 2          |
| 1.5 Manfaat .....                                       | 2          |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>                     | <b>3</b>   |
| 2.1 Jari Robot Manipulator .....                        | 3          |
| 2.2 Motor Servo SG90 .....                              | 4          |
| 2.3 <i>Electromyography (EMG)</i> .....                 | 5          |
| 2.4 <i>Surface Electrode</i> .....                      | 9          |
| 2.5 Penguat <i>Electromyogram (EMG)</i> AT-04-001 ..... | 10         |
| 2.6 Penguat <i>Electromyogram (EMG)</i> V3.....         | 12         |
| 2.7 Penguat Instrumentasi AD8226 .....                  | 13         |
| 2.8 Full Wave Rectified .....                           | 15         |
| 2.9 Filter.....   | 16         |
| 2.9.1 High-Pass Filter (HPF).....                       | 17         |
| 2.9.2 Low-Pass Filter (LPF) .....                       | 17         |
| 2.10 Arduino .....                                      | 19         |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>                                     | <b>21</b> |
| 3.1 Penentuan Spesifikasi Alat.....                                       | 21        |
| 3.2 Perancangan dan Pembuatan Alat .....                                  | 21        |
| 3.2.1 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Keras ( <i>Hardware</i> ).....  | 21        |
| 3.2.2 Perancangan Perangkat Keras Hardware.....                           | 22        |
| 3.2.3 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Lunak ( <i>Software</i> ) ..... | 26        |
| 3.3 Pengujian Alat .....  | 27        |
| 3.3.1 Perangkat Keras .....   | 27        |
| 3.3.2 Pengujian Sub Sistem .....  | 28        |
| 3.3.3 Pengujian Keseluruhan Sistem .....                                  | 28        |
| 3.4 Penyusunan Kesimpulan .....   | 28        |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>                                  | <b>29</b> |
| 4.1 Pengujian Penguat <i>Electromyogram</i> (EMG) AT-04-001 .....         | 29        |
| 4.1.1 Tujuan.....   | 29        |
| 4.1.2 Alat yang Digunakan .....   | 29        |
| 4.1.3 Prosedur Pengujian .....  | 30        |
| 4.1.4 Hasil Pengujian .....   | 30        |
| 4.2 Pengujian Frekuensi <i>cut-off</i> AT – 04 - 001.....                 | 31        |
| 4.2.1 Tujuan.....   | 31        |
| 4.2.2 Alat yang Digunakan .....   | 32        |
| 4.2.3 Prosedur Pengujian .....  | 32        |
| 4.2.4 Hasil Pengujian .....   | 32        |
| 4.3 Pengujian Penguat <i>Electromyogram</i> (EMG) Muscle Sensor V3.....   | 34        |
| 4.3.1 Tujuan.....   | 34        |
| 4.3.2 Alat yang Digunakan .....   | 35        |
| 4.3.3 Prosedur Pengujian .....  | 35        |
| 4.3.4 Hasil Pengujian.....  | 35        |

|   |           |
|---|-----------|
| 4.4 Pengujian Frekuensi <i>cut-off Muscle Sensor V3</i> .....           | 36        |
| 4.4.1 Tujuan.....   | 36        |
| 4.4.2 Alat yang Digunakan .....   | 37        |
| 4.4.3 Prosedur Pengujian.....   | 37        |
| 4.4.4 Hasil Pengujian.....  | 37        |
| 4.5 Pengujian Sinyal <i>Electromyogram (EMG)</i> Pada Jari Tengah ..... | 39        |
| 4.5.1 Tujuan.....   | 39        |
| 4.5.2 Alat yang Digunakan .....   | 40        |
| 4.5.3 Prosedur Pengujian.....   | 40        |
| 4.5.4 Hasil Pengujian.....  | 41        |
| 4.6 Pengujian Sinyal <i>Electromyogram (EMG)</i> Pada Jari Jempol.....  | 41        |
| 4.6.1 Tujuan.....   | 41        |
| 4.6.2 Alat yang Digunakan.....  | 42        |
| 4.6.3 Prosedur Pengujian.....   | 42        |
| 4.6.4 Hasil Pengujian.....  | 42        |
| 4.7 Pengujian Secara Keseluruhan .....                                  | 43        |
| 4.7.1 Tujuan.....   | 43        |
| 4.7.2 Prosedur Percobaan .....  | 43        |
| 4.7.3 Hasil Pengujian.....  | 44        |
| <b>BAB V PENUTUP.....</b>   | <b>49</b> |
| 5.1 Kesimpulan .....  | 49        |
| 5.2 Saran.....  | 50        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>   | <b>51</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>  | <b>53</b> |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 2.1 Karakteristik Motor Servo SG90.....   | 5  |
| Tabel 2.2 <i>Bandwidth</i> yang direkomendasikan untuk <i>EMG Amplifiers</i> .....    | 9  |
| Tabel 2.3 Terminal keluaran AT 04 001 .....   | 10 |
| Tabel 2.4 Karakteristik AT 04 001 .....   | 11 |
| Tabel 2.5 Tabel terminal <i>Muscle Sensor V3</i> .....                                | 13 |
| Tabel 2.6 Terminal keluaran IC AD8226.....  | 14 |
| Tabel 2.7 Karakteristik IC AD8226 .....   | 15 |
| Tabel 4.1 Hasil Pengujian Penguat Electromyogram (EMG) AT – 04 – 001 .....            | 31 |
| Tabel 4.2 Hasil Pengujian Frekuensi <i>cut-off</i> pada AT – 04 – 001.....            | 33 |
| Tabel 4.3 Hasil Pengujian Penguat Electromyogram (EMG) <i>Muscle Sensor V3</i> .....  | 36 |
| Tabel 4.4 Hasil Pengujian Frekuensi <i>cut-off</i> pada <i>Muscle Sensor V3</i> ..... | 38 |
| Tabel 4.5 Hasil Respon Waktu Keseluruhan Sistem.....                                  | 47 |



## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| <i>Gambar 2.1</i> Motor Servo SG90 .....  | 5  |
| <i>Gambar 2.2</i> Neuron Motorik yang Menempel pada Unit Motorik.....   | 6  |
| <i>Gambar 2.3</i> Distribusi Potensial Otot .....   | 7  |
| <i>Gambar 2.4</i> Bentuk Fisik <i>Surface Electrode</i> dan Kabel Konektor EMG .....                            | 9  |
| <i>Gambar 2.5</i> Bentuk AT 04 001 .....  | 10 |
| <i>Gambar 2.6</i> Posisi tepat penempatan elektroda pada otot .....   | 11 |
| <i>Gambar 2.7</i> Bentuk <i>Muscle Sensor V3</i> .....  | 12 |
| <i>Gambar 2.8</i> Diagram Pin <i>Muscle Sensor V3</i> .....   | 12 |
| <i>Gambar 2.9</i> Bentuk IC AD8226 .....  | 13 |
| <i>Gambar 2.10</i> Diagram pin AD8226.....  | 14 |
| <i>Gambar 2.11</i> Rangkaian penyearah <i>Muscle Sensor V3</i> .....  | 15 |
| <i>Gambar 2.12</i> Sinyal keluaran <i>Muscle Sensor V3</i> .....  | 16 |
| <i>Gambar 2.13</i> Rangkaian dan karakteristik <i>High-Pass Filter</i> .....                                    | 17 |
| <i>Gambar 2.14</i> Rangkaian dan Karakteristik <i>Low-Pass Filter</i> .....                                     | 18 |
| <i>Gambar 2.15</i> <i>Board</i> Arduino Uno berbasis ATmega 328P .....  | 19 |
| <i>Gambar 3.1</i> Blok diagram desain Sistem EMG.....   | 22 |
| <i>Gambar 3.2</i> Desain Keseluruhan Mekanik Jari Robot.....  | 23 |
| <i>Gambar 3.3</i> Desain Mekanik Masing-masing Jari.....  | 24 |
| <i>Gambar 3.4</i> Posisi Potensiometer pada AT – 04 – 001 .....   | 24 |
| <i>Gambar 3.5</i> Skematik Rangkaian Penguat Instrumentasi.....   | 25 |
| <i>Gambar 3.6</i> Diagram alir <i>Software</i> .....  | 27 |
| <i>Gambar 4.1</i> Grafik Respon Frekuensi <i>cut-off</i> pada AT – 04 – 001 .....                               | 34 |
| <i>Gambar 4.2</i> Grafik Respon Frekuensi <i>cut-off</i> pada <i>Muscle Sensor V3</i> .....                     | 39 |
| <i>Gambar 4.3</i> Posisi Otot Jari Tengah .....   | 40 |
| <i>Gambar 4.4</i> Karakteristik Sinyal <i>myoelectric</i> Pada Jari Tengah .....                                | 41 |
| <i>Gambar 4.5</i> Posisi Otot Jari Tengah .....   | 42 |
| <i>Gambar 4.6</i> Karakteristik Sinyal <i>myoelectric</i> Pada Jari Jempol.....                                 | 43 |
| <i>Gambar 4.7</i> Pemasangan <i>Surface Electrode</i> .....   | 44 |
| <i>Gambar 4.8</i> Karakteristik sinyal <i>myoelectric</i> pada jari tengah dan jempol ketika<br>relaksasi ..... | 45 |

Gambar 4.9 Karakteristik sinyal *myoelectric* pada jari tengah dan jempol ketika berkontraksi..... 45

Gambar 4.10 Karakteristik sinyal *myoelectric* pada jari tengah dan jempol ketika berkontraksi dan relaksasi secara bergantian ..... 46



**DAFTAR LAMPIRAN**

LAMPIRAN 1 Dokumentasi Alat..... 53

LAMPIRAN 2 Grafik Nilai ADC Jari Jempol dan Jari Tengah ..... 57

LAMPIRAN 3 Listing Program ..... 61

LAMPIRAN 4 Gambar Rangkaian Muscle Sensor V3 ..... 69

LAMPIRAN 5 *Datasheet* AD8226 ..... 71

LAMPIRAN 6 *Datasheet* AT – 04 – 001 ..... 75



## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar belakang

Semua manusia pasti menginginkan untuk dapat hidup normal dan memiliki anggota badan yang lengkap. Hal tersebut merupakan suatu kebutuhan bagi semua umat manusia. Namun sangat disayangkan karena tidak semua manusia tercipta dengan sempurna atau dalam perjalanan hidupnya dia menemui suatu keadaan yang membuat dia harus melanjutkan hidup dengan suatu ketidaksempurnaan anggota badan.

Manusia dapat berjalan, berbicara, bergerak, bernafas, jantung yang berdenyut serta berbagai aktifitas hidup di dalam tubuh merupakan peristiwa yang erat hubungannya dengan masalah listrik. Bagian tubuh manusia, khususnya saraf dan otot dalam menjalankan fungsinya erat berhubungan dengan fenomena listrik. Dengan demikian, sesungguhnya manusia merupakan satu sistem biolistrik yang sangat menarik untuk dipelajari.

Kelompok otot utama untuk menggerakkan jari-jari terletak pada lengan bagian bawah (*forearm*). Karenanya, banyak korban amputasi yang masih bisa mengontrol gerakan jari meskipun sebenarnya mereka sudah tidak memilikinya. Otot-otot ini masih bisa berkontraksi dan menghasilkan sinyal *myoelectric* yang dapat dibaca melalui permukaan kulit (Keating, 2014).

Kontraksi atau aktivitas otot disebabkan oleh rangsangan potensial listrik dari sel saraf. Sinyal biolistrik otot dapat disadap dan dianalisa sebagai salah satu diagnosa untuk mengetahui aktivitas otot dan kelainan yang terjadi pada otot (Hanjaya, 2017). Alat yang dipergunakan untuk menyadap sinyal biolistrik otot dan untuk mengukur aktivitas otot disebut *electromyograph* (EMG). *Electromyography* adalah teknik untuk memeriksa dan merekam aktivitas sinyal otot, grafik yang dihasilkannya disebut *electromyogram*.

Skripsi ini merupakan pengembangan terhadap skripsi yang ditulis oleh Rizky Firmansyah pada tahun 2017. Pada skripsi tersebut dibahas pergerakan 4 jari robot yang digerakkan sinyal *myoelectric* pada otot *Flexor Digitorum Superficialis* (Rizky, 2017). Namun pada skripsi tersebut tidak terdapat suatu sistem yang bisa menggerakkan jari jempol pada robot yang digunakan, hanya sebatas 4 jari pada tangan selain jari jempol sebagai parameter gerakan jari pada lengan bawah anterior secara bersamaan.

Maka, pada skripsi ini akan dibahas mengenai perancangan rangkaian pengendali sinyal yang dapat menerjemahkan sinyal *myoelectric* sehingga dapat diproses oleh mikrokontroler untuk menggerakkan 2 jari robot.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

- 1) Otot manakah yang berperan dalam menggerakkan jari jempol dan jari tengah?
- 2) Bagaimana merancang dan membuat rangkaian pengondisi sinyal yang dapat menerjemahkan sinyal *myoelectric* sehingga dapat diproses oleh mikrokontroler?
- 3) Bagaimana merancang dan membuat jari-jari robot yang dapat digerakkan oleh sinyal otot untuk melakukan gerakan dasar menggenggam dan membuka?

## 1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan pada permasalahan yang telah dirumuskan, maka hal-hal yang berkaitan dengan alat akan diberikan batasan sebagai berikut:

- 1) Sistem dicoba pada penulis dengan keadaan anggota badan lengkap.
- 2) Pembahasan mekanik jari-jari robot tidak dibahas secara mendalam.
- 3) Pengujian gerakan otot hanya dilakukan pada jari tengah, dan jari jempol.
- 4) Elektroda yang digunakan adalah surface electrode.
- 5) Pengujian terhadap elektroda tidak dilakukan karena elektroda yang digunakan bersifat sekali pakai.
- 6) Rangkaian catu daya yang digunakan tidak dibahas dalam skripsi ini.

## 1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui otot – otot pada lengan bawah yang berperan untuk menggerakkan jari secara menggenggam dan membuka. Merancang dan membuat rangkaian pengendali sinyal yang dapat menerjemahkan sinyal *myoelectric* sehingga dapat diproses oleh mikrokontroler untuk menggerakkan jari-jari robot melakukan gerakan membuka dan menutup telapak tangan.

## 1.5 Manfaat

Penulis berharap agar penelitian ini dapat menciptakan alat pendeteksi sinyal biolistrik otot dengan mempertimbangkan kualitas sinyal yang disadap, dan dapat direalisasikan dalam bentuk tangan robot sehingga dapat digunakan untuk para disabilitas tangan dan juga dapat dikembangkan untuk keperluan lain.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Jari Robot Manipulator

Robot lengan atau yang lebih dikenal dengan manipulator robot adalah salah satu jenis robot yang paling banyak digunakan oleh industri. Ataupun sering dikatakan sebaliknya sebuah robot manipulator industri umumnya sering disebut sebagai lengan robot.

Teknologi Robot Manipulator yang berbentuk mirip dengan lengan manusia dan berfungsi membantu pekerjaan manusia yaitu dengan mengaplikasikan lengan robot tersebut didalam dunia industri, dapat digunakan sebagai pemindah barang dengan berat barang berskala kecil maupun besar, dengan kecepatan dan ketepatan yang akurat, pengendaliannya pun bisa berupa otomatis atau secara manual. Otomatis robot merupakan robot yang dapat bergerak sesuai dengan sistem gerakannya tanpa harus ada campur tangan manusia. Manual robot merupakan robot yang bergerak sesuai dengan sistem gerakannya tapi dengan bantuan operator sebagai pengendalinya.

Lengan robot pada umumnya terdiri dari bahu, persendian dan tangan yang bisa berupa sebuah gripper atau tangan yang memiliki jari seperti halnya tangan manusia sebagai pengambil objek. Bagian tangan robot dikenal sebagai manipulator tangan, yaitu sistem gerak yang berfungsi untuk manipulasi (memegang, mengambil, mengangkat, memindahkan, mengolah) objek. Untuk melakukan pengambilan objek lengan robot ini dilengkapi dengan gripper (pemegang) yang berupa jari-jari seperti halnya jari manusia. Lengan robot didesain agar dapat mengikuti gerak sesuai dengan gerakan yang dilakukan oleh gerakan lengan manusia,

Sistem mekanik ini terdiri dari susunan *link* (rangka) dan *joint* (engsel) yang mampu menghasilkan gerakan yang terkontrol dan dihubungkan dengan sendi-sendi dan dapat melakukan gerakan-gerakan secara bebas. Beberapa istilah dalam manipulator robot yaitu :

1. *Joint* ( Sendi ) yaitu koneksi antar *link* yang dapat menentukan pergerakan.
2. *Link* merupakan bagian-bagian kerangka yang kaku yang dihubungkan secara bersamaan sehingga membentuk suatu rangkaian kinematic.

Secara umum manipulator lengan robot itu terdiri dari mekanikal tangan (*Mechanical Arm*). Mekanikal tangan merupakan pembentukan utama konstruksi pada lengan robot, dimana pembentukannya disesuaikan dengan kebutuhan dari lengan robot dan pengendali lengan robot tersebut.

*End-Effector* merupakan suatu komponen pada lengan robot yang mempunyai fungsi mecengkram suatu objek tertentu untuk di pegang atau di pindahkan (Sharon, 1992). Jenis-jenis *End-Effector* diantara lain *Gripper* dan *Tools*. Namun pada skripsi kali ini hanya akan dibahas *End-Effector* robot tipe *Gripper* yang didesain menyerupai jari tengah dan jari jempol pada manusia.

## 2.2 Motor Servo SG90

Motor Servo adalah sebuah motor dengan sistem *closed feedback* dimana posisi dari motor akan diinformasikan kembali pada rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo (Fadhli, 2016). Struktur perangkatnya terdiri dari sebuah motor, rangkaian gigi, potensiometer dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan besarnya sudut putar yang diinginkan. Sedangkan sudut dari sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirimkan melalui sinyal pwm yang telah disediakan. Motor servo biasanya hanya bergerak mencapai sudut tertentu saja dan tidak bergerak kontinyu seperti motor DC maupun motor stepper. Tetapi motor servo dapat dimodifikasi agar dapat bergerak kontinyu.

Pada sebuah robot, motor servo ini sering digunakan untuk bagian kaki, lengan dan bagian lainnya yang bergerak terbatas dan sangat membutuhkan torsi cukup besar. Motor servo bergerak dua arah, yaitu searah jarum jam dan berlawanan arah jarum jam.

Pada Skripsi kali ini akan digunakan motor servo bertipe SG90. Sebuah motor servo kecil dan ringan yang cukup kuat untuk menggerakkan jari – jari robot. Motor servo ini mampu berputar sekitar 180 derajat (90 derajat di setiap arah). Bentuk dari Servo SG90 bisa ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Motor Servo SG90  
Sumber: TowerPro, 2009

Karakteristik dari Motor Servo SG90 ditunjukkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1  
Karakteristik Motor Servo SG90

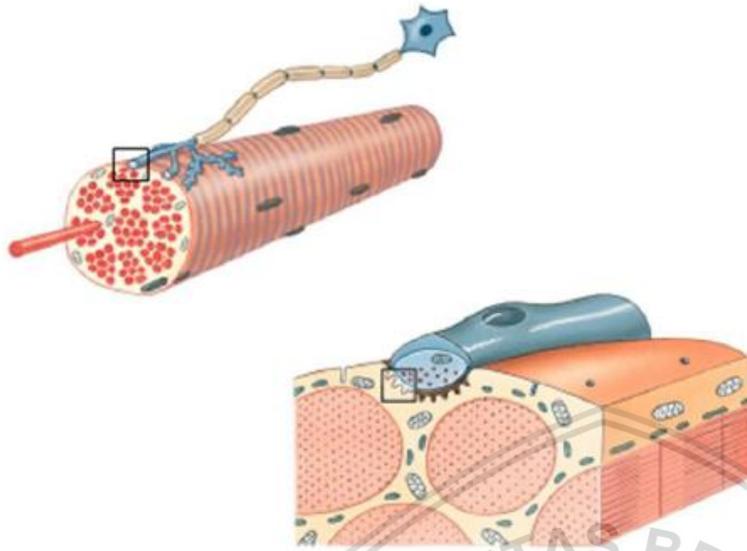
| Karakteristik          | Nilai            | Satuan       |
|------------------------|------------------|--------------|
| Berat                  | 9                | g            |
| Dimensi                | 22.2 x 11.8 x 31 | mm           |
| Torsi                  | 1.8              | Kgf.cm       |
| Operating voltage      | 4.8 (~5)         | V            |
| Dead Bandwidth         | 10               | $\mu$ s      |
| Range temperatur kerja | 0 - 55           | $^{\circ}$ C |

Sumber : TowerPro, 2009

### 2.3 Electromyography (EMG)

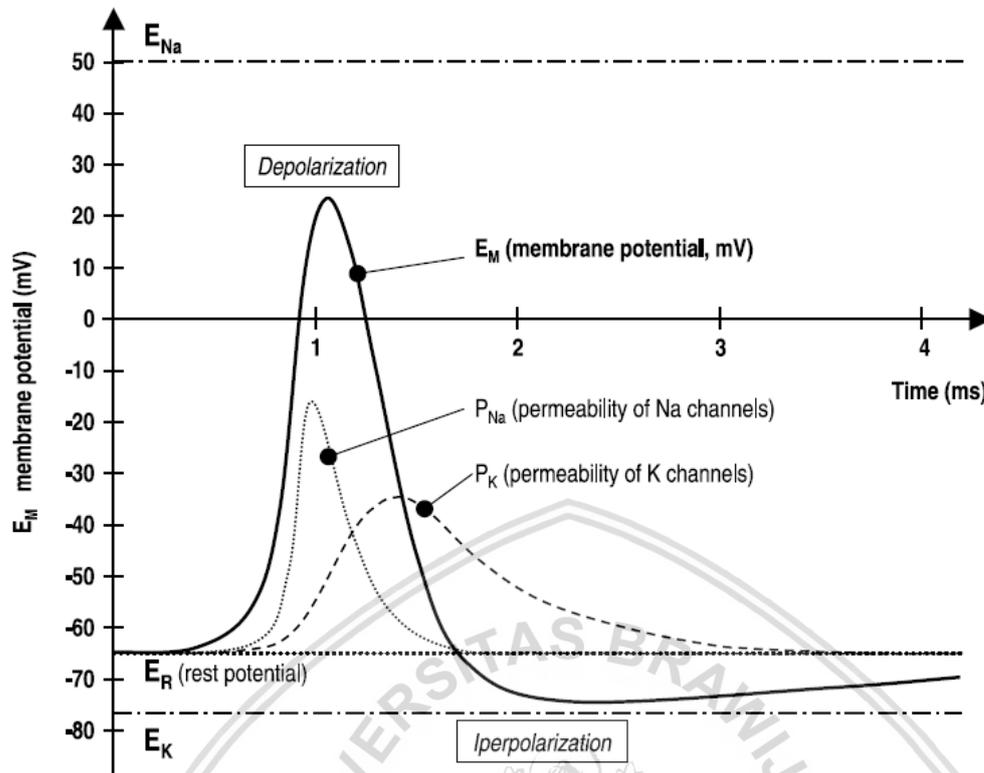
Kontraksi dan relaksasi yang dilakukan otot dikendalikan oleh pusat sistem syaraf. Pusat sistem syaraf mengirim sinyal melalui neuron motorik menuju kelompok sel otot, yang disebut fiber. Pengelompokan sel-sel otot dan neuron motorik yang menopangnya disebut unit motorik (dasar dari blok sistem otot, bagian terkecil dari jaringan otot). Sinyal dari neuron motorik mengakibatkan reaksi kimia yang mengubah potensial membran fiber otot. Jika ambang potensial tercapai maka *motor unit action potential (MUAP)* terjadi, mengakibatkan aktifasi elektrik yang menyebar ke seluruh permukaan fiber otot pada tingkat

kurang lebih 3-5 m/s. Menyebabkan adanya kontraksi otot (Martini, 2005). Bentuk neuron motorik yang menempel pada unit motorik ditampilkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Neuron Motorik yang Menempel pada Unit Motorik  
Sumber: (Martini:2005)

Ketika *microelectrode* dimasukkan kedalam sel otot akan terukur tegangan *rest potential* sebesar sekitar  $-85\text{mV}$  hingga puncak kira-kira  $+30\text{mV}$  tergantung lingkungan diluar sel otot tersebut. Untuk pengukuran dari permukaan kulit terukur nilai  $20\text{--}2000\text{ uV}$  pada nilai puncaknya. Besarnya potensial yang dihasilkan bergantung pada jumlah ion yang melewati membran (Rizky, 2017). Impuls elektrik yang tersebar sepanjang neuron motorik tiba pada persimpangan *neuromuscular* dan menentukan rangsangan pada membran fiber otot. Massa jenis muatan (*depolarization zone*) sesuai dengan distribusi potensialnya. *Action potential* dihasilkan di dalam sel yang dapat dirangsang. Permeabilitas untuk ion sodium dan potassium secara kualitatif ditunjukkan sebagai fungsi waktu. Dinamika permeabilitas membran untuk jenis ion yang berbeda menentukan bentuk *action potential*. Bentuk distribusi potensial otot ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Distribusi Potensial Otot  
Sumber: (Rizky, 2017)

*Depolarization zones* tersebar sepanjang fiber otot dari persimpangan *neuromuscular* hingga ujung tendon. Kecepatan menyebar *action potential* bergantung pada diameter dan tipe fiber otot dan disebut sebagai *conduction velocity*. Pada persimpangan *neuromuscular* dan tendon *action potential* dihasilkan dan dipadamkan. Meskipun fenomena ini masih kontroversial (Rizky, 2017).

*Electromyography* adalah teknik yang digunakan untuk mendeteksi dan merekam *MUAP* dengan menempelkan elemen konduktif (elektroda) pada permukaan kulit yang menyelubungi otot yang bersangkutan (metode ini disebut *surface EMG*) atau dengan cara membaca langsung dari dalam otot (metode ini memerlukan jarum). Elektroda yang ditancapkan langsung ke otot memungkinkan pembacaan *MUAP* secara lebih terperinci pada area cakupan yang relatif kecil. Berbanding terbalik dengan metode *surface EMG* yang mampu membaca aktifitas otot dari area yang lebih luas. *Surface EMG (sEMG)* lebih baik digunakan untuk mengumpulkan data yang berupa: berbagai aspek perilaku otot; pola aktivitas sementara, atau ketahanan otot secara keseluruhan atau kelompok otot; lokasi dari zona persarafan; panjang dan arah fiber; dan pengukuran yang sangat akurat dari kecepatan konduksi fiber otot. *sEMG* juga tidak memerlukan pengawasan medis, relatif nyaman

diaplikasikan dan aplikasi yang lebih mudah daripada menggunakan elektroda jarum, meskipun mayoritas digunakan untuk otot-otot superficial, memiliki batasan dalam merekam aktifitas otot dinamis dan memiliki masalah dengan pembacaan sinyal otot yang berhimpitan. (Mademli, 2010).

*Ambient noise* terbentang di range frekuensi yang lebar tapi dominan pada range 50Hz atau 60Hz dimana sumber *noise* paling umum dari *noise* rangkaian elektrik dan bersangkutan dengan *noise* dari sumber tegangan. Dengan prosedur penyiapan kulit dan elektroda yang benar dan penggunaan *differential amplifier* yang memiliki nilai CMMR setidaknya 100dB pada frekuensi 50-60Hz dapat meminimalisir terjadinya *noise* (Clancy *et al*, 2002).

*Motion artifact* adalah tipe *noise* yang disebabkan pergerakan dari antarmuka antara kulit dan elektroda. Umumnya berada pada rentang frekuensi 1-10Hz. *Noise* ini dapat diminimalisir dengan menggunakan *high pass filter*. Seperti telah disebutkan sebelumnya, *noise* ini juga dapat dihindari dengan prosedur pemasangan elektroda yang benar.

*DC offset potential*. Keluarnya minyak dan sel kulit mati dapat meningkatkan impedansi dari kulit terluar, sehingga mengakibatkan terjadi beda potensial antara kulit dan elektroda sebesar 200-300mV. Gejala ini umum terjadi dan dapat diminimalisir dengan prosedur pemasangan elektroda yang benar. Biasanya pembersihan kulit melibatkan pasta khusus yang abrasif dan konduktif untuk menghilangkan sel kulit mati atau dengan usapan alkohol untuk membersihkan kulit (Quach, 2007)

*Muscle crosstalk* adalah fenomena sinyal yang terekam pada suatu otot sebenarnya tercipta dari otot sekitarnya dan terekam pada elektroda. Hal ini dapat diminimalisir dengan pemilihan ukuran elektroda yang sesuai kebutuhan dan menempatkannya dengan teliti (Clancy *et al*, 2002).

*Inherent noise* terdapat pada tiap rangkaian elektrik. *Noise* yang dihasilkan dapat mencapai frekuensi ribuan Hertz. Meskipun *noise* jenis ini tidak dapat dihilangkan, komponen elektrik modern memiliki kecenderungan menghasilkan *noise* tidak lebih dari 1,5mV RMS (tergantung masukan) pada sinyal dalam rentang 20-500 Hz (Clancy *et al*, 2002).

Sistem pembacaan sinyal otot yang baik harus menggunakan frekuensi sampling yang cukup tinggi untuk mendapatkan data penting terbanyak. Dalam hal ini *filtering* akan menghindari *noise-noise* yang mungkin terjadi. Rekomendasi *high* dan *low* frekuensi *cut-off* untuk sistem EMG ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2  
*Bandwidth* yang direkomendasikan untuk *EMG Amplifiers*

| Electrode Type and Application         | Recommended High-Pass Filter (Hz) | Recommended Low-Pass Filter (Hz) |
|--|-----------------------------------|----------------------------------|
| Surface electrode                      |                                   |                                  |
| for EMG spectral analysis              | < 10                              | 500                              |
| for movement analysis                  | 10–20                             | 500                              |
| for special wideband applications      | 10–20                             | 1.000                            |
| Wire electrode                         |                                   |                                  |
| for general applications               | 20                                | 1.000                            |
| for signal decomposition               | 1.000                             | 10.000                           |
| Monopolar and bipolar needle electrode |                                   |                                  |
| for general applications               | 20                                | 1.000                            |
| for signal decomposition               | 1.000                             | 10.000                           |
| Single fiber electrode                 | 20                                | 10.000                           |
| Macroelectrode                         | 20                                | 10.000                           |

Sumber: (Rizky, 2017)

Dalam penelitian lebih lanjut yang dilakukan pada tahun 2012 menemukan bahwa range sinyal otot berada pada range DC – 1000Hz, namun sinyal yang kuat berada pada range 50-350Hz. Dengan menetapkan frekuensi *cut-off* pada nilai 500Hz akan menjamin sistem akan mendapatkan performa yang optimal karena informasi penting dalam sinyal tidak akan hilang dan frekuensi yang lebih tinggi juga akan terfilter (Duvnjak, 2012).

#### 2.4 *Surface Electrode*

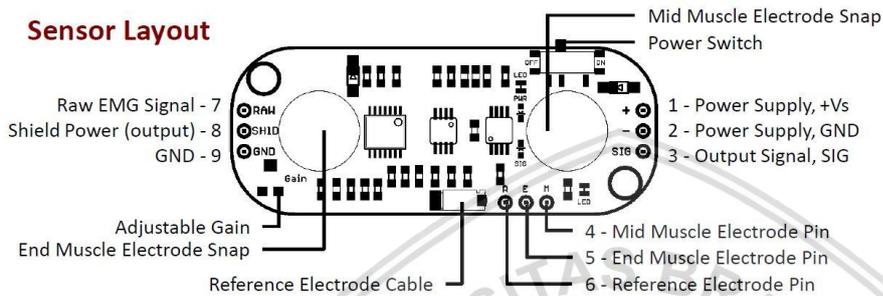
*Surface Electrode* adalah sebuah alat yang mampu mendeteksi besaran biopotensial seperti *electrocardiogram (ECG)* dan *electromyogram (EMG)* melalui permukaan kulit dari tubuh manusia. Ada arus listrik yang mengalir sepanjang tubuh manusia yang diakibatkan oleh aliran ion seperti potassium, klorit, dan sodium dalam fiber otot. Aliran ion ini dapat dideteksi oleh elektroda dan dikonversi dalam aliran elektron (Duvnjak, 2012). Tampilan fisik *surface electrode* dan kabel konektor EMG ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Bentuk Fisik *Surface Electrode* dan Kabel Konektor EMG

## 2.5 Penguat *Electromyogram* (EMG) AT-04-001

AT-04-001 merupakan penguat instrumentasi dengan akurasi tinggi yang dibuat oleh Myoware. AT-04-001 memiliki *noise* yang rendah dan nilai CMRR yang tinggi, yaitu 110dB (Myoware, 2015). Nilai CMRR yang tinggi ini dapat meminimalisir *error* yang dapat terjadi akibat penguatan penguat instrumentasi. Bentuk AT-04-001 ditunjukkan pada Gambar 2.5. Serta tabel terminal AT-04-001 ditunjukkan pada Tabel 2.3.



Gambar 2.5 Bentuk AT 04 001

Sumber : Myoware, 2015

Tabel 2.3  
Terminal keluaran AT 04 001

| No | Nama | Deskripsi                      |
|----|------|--------------------------------|
| 1  | +    | Catu daya (+Vs)                |
| 2  | -    | Catu daya (GND)                |
| 3  | SIG  | Keluaran sinyal                |
| 4  | M    | Pin untuk elektroda mid muscle |
| 5  | E    | Pin untuk elektroda end muscle |
| 6  | R    | Pin untuk elektroda refrensi   |
| 7  | RAW  | Raw EMG signal                 |
| 8  | SHID | Shield power (output)          |
| 9  | GND  | Ground                         |

Sumber : Myoware, 2015

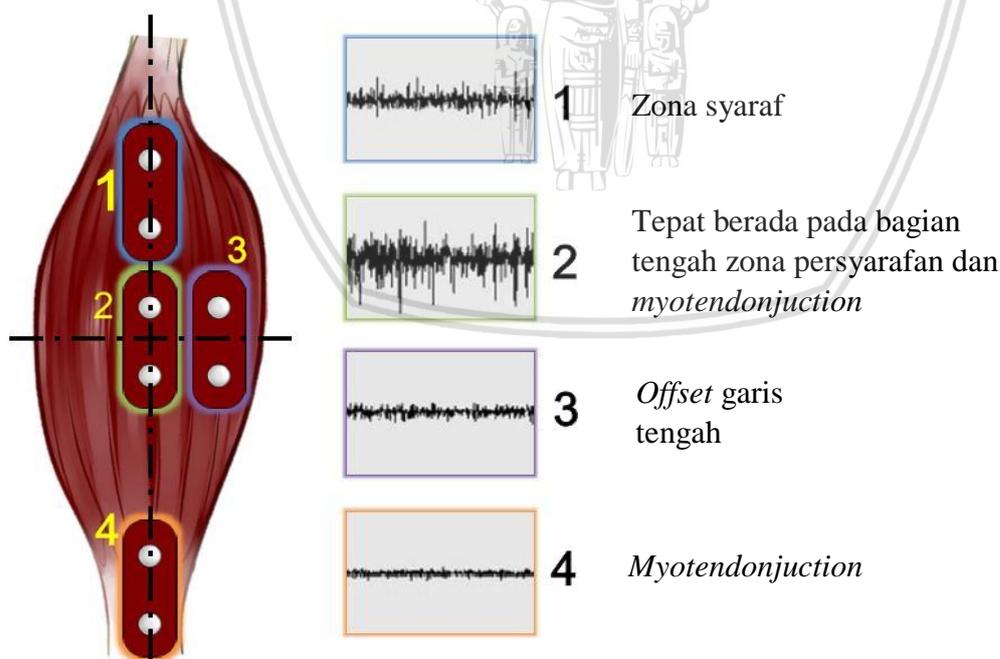
Karakteristik dari AT 04 001 ditunjukkan dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4  
Karakteristik AT 04 001

| Karakteristik                 | Nilai             | Satuan     |
|-------------------------------|-------------------|------------|
| Common mode rejection ratio   | 110               | dB         |
| Arus Suplai                   | 9                 | mA         |
| Tegangan suplai               | $\pm 3,3 - \pm 5$ | V          |
| Pengaturan Gain potensiometer | 0,01 – 100.000    | $\Omega$   |
| Tegangan sinyal keluaran      | 0 - $+V_s$        | V          |
| Impedansi masukan             | 110               | G $\Omega$ |
| Bias Input                    | 1                 | pA         |

Sumber : Myoware, 2015

Posisi dan orientasi elektroda memiliki efek yang sangat besar pada kekuatan sinyal. Elektroda harus ditempatkan di tengah – tengah bagian otot dan harus sejajar dengan orientasi *muscle fiber*. Menempatkan elektroda di lokasi lain akan mengurangi kekuatan dan kualitas pembacaan pada sinyal *electromyogram* (EMG) karena pengurangan jumlah unit motor yang diukur dan gangguan yang dikaitkan dengan *crossstalk*. Posisi penempatan elektroda yang benar, ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 Posisi tepat penempatan elektroda pada otot  
Sumber : Myoware, 2015

AT-04-001 ini dirancang untuk digunakan secara langsung dengan mikrokontroler. Oleh karena itu, keluaran utama dari AT-04-001 bukan sinyal RAW EMG melainkan sinyal

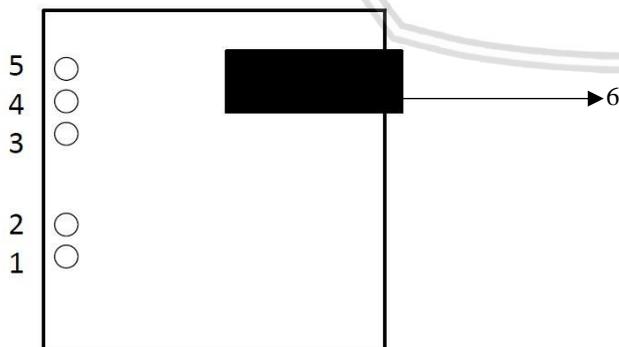
yang sudah diperkuat, *rectified*, dan dapat terintegrasi dengan baik pada *analog to digital converter* (ADC) mikrokontroler.

## 2.6 Penguat *Electromyogram* (EMG) V3

*Muscle sensor V3* merupakan penguat *electromyogram* (EMG) dengan akurasi tinggi yang dibuat oleh Advancer Technologies. *Muscle Sensor V3* ini merupakan penguat *electromyogram* (EMG) yang biasa digunakan dalam bidang robotika maupun dalam bidang kesehatan. Berbeda dengan AT-04-001, *Muscle sensor V3* tidak mengandalkan *gain* pada potensiometer saja, melainkan terdapat penguatan lain yang sudah terintegrasi pada penguat instrumentasi utamanya. Bentuk dari *Muscle Sensor V3* bisa dan juga diagram pin ditunjukkan pada Gambar 2.7 dan Gambar 2.8. Serta tabel terminal *Muscle Sensor V3* ditunjukkan pada Tabel 2.5.



Gambar 2.7 Bentuk Muscle Sensor V3  
Sumber : AdvancerTechnologies, 2013



Gambar 2.8 Diagram Pin Muscle Sensor V3  
Sumber : AdvancerTechnologies, 2013

Tabel 2.5  
Tabel terminal Muscle Sensor V3

| No | Nama | Deskripsi                               |
|----|------|---|
| 1  | GND  | Ground                                  |
| 2  | SIG  | Sinyal Keluaran                         |
| 3  | -Vs  | Catu daya negatif                       |
| 4  | GND  | Catu daya (ground)                      |
| 5  | +Vs  | Catu daya positif                       |
| 6  | IN   | Port kabel sinyal <i>Electromyogram</i> |

Sumber : AdvancerTechnologies, 2013

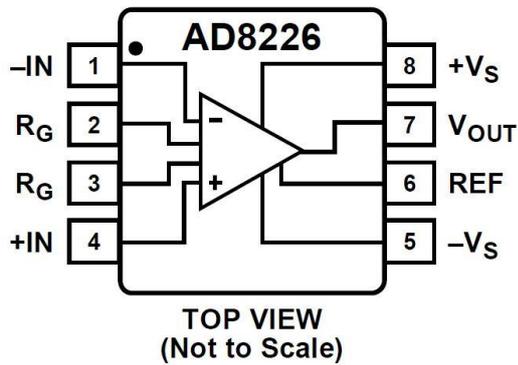
## 2.7 Penguat Instrumentasi AD8226

AD8226 merupakan penguat instrumentasi yang menjadi penguat utama pada penguat *electromyogram* (EMG) V3. AD8226 merupakan penguat instrumentasi dengan akurasi tinggi yang dibuat oleh Analog Devices. AD8226 umum digunakan dalam rangkaian instrumentasi medis. Memiliki *noise* yang rendah dan nilai CMRR yang relatif tinggi, yaitu minimal 90dB pada  $G = 100$  (Analog Devices, 2011:1). Bentuk IC dan diagram pin AD8226 ditunjukkan pada Gambar 2.9 dan Gambar 2.10. Serta tabel terminal AD8226 ditunjukkan pada Tabel 2.6.



Gambar 2.9 Bentuk IC AD8226

Sumber : Analog Devices, 2011



Gambar 2.10 Diagram pin AD8226  
Sumber :Analog Devices, 2011

Tabel 2.6  
Terminal keluaran IC AD8226

| No      | Nama | Deskripsi                            |
|---------|------|--------------------------------------|
| 1       | -IN  | Masukan negatif op-amp               |
| 2 dan 3 | RG   | Pin pengaturan Gain Resistor penguat |
| 4       | +IN  | Masukan positif op-amp               |
| 5       | -Vs  | Catu daya negatif op-amp             |
| 6       | REF  | Referensi masukan op-amp             |
| 7       | OUT  | Keluaran op-amp                      |
| 8       | +VS  | Catu daya positif op-amp             |

Sumber : Analog Devices, 2011

Besarnya penguatan dari IC AD8226 dapat diatur melalui pemilihan besar nilai  $R_G$ .

Besar nilai  $R_G$  dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.1

$$R_G = \frac{49,4k}{G-1} \quad (2.1)$$

Karakteristik dari IC AD8226 ditunjukkan dalam Tabel 2.7

Tabel 2.7  
Karakteristik IC AD8226

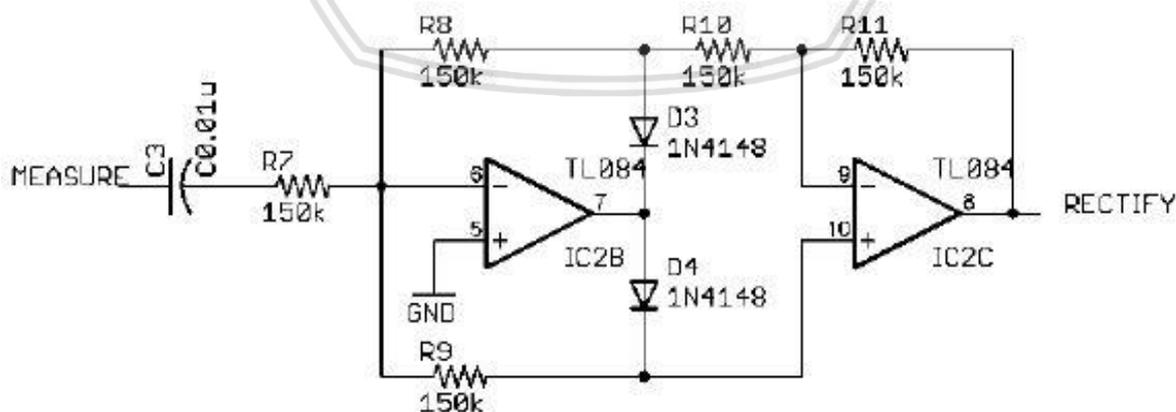
| Karakteristik                       | Nilai              | Satuan             |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------|
| Common mode rejection ratio (G=100) | 90                 | dB                 |
| Bandwidth                           | 20                 | kHz                |
| Tegangan suplai                     | $\pm 3,5 - \pm 18$ | V                  |
| Tegangan masukan (max)              | $\pm V_s$          | V                  |
| Tegangan masukan diferensial (max)  | $+V_s/\text{Gain}$ | V                  |
| Range temperatur kerja              | $-40 - +125$       | $^{\circ}\text{C}$ |

Sumber : Analog Devices, 2011

## 2.8 Full Wave Rectified

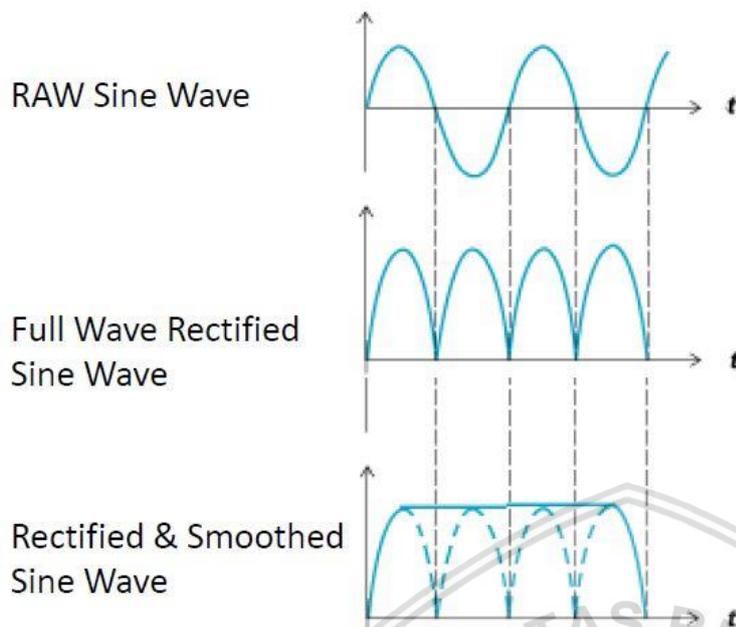
Sinyal *myoelectric* memiliki bentuk sinyal sinusoida yang artinya sinyal tersebut terbentang dari tegangan positif hingga tegangan negatif. Agar dapat diproses lebih lanjut sinyal negatif dari sinyal *myoelectric* perlu dihilangkan. Salah satu cara untuk menghilangkan sinyal negatif adalah dengan menggunakan rangkaian penyearah.

Pada *Muscle sensor V3* terdapat rangkaian full wave rectified yang dapat menyearahkan sinyal *electromyogram* (EMG). Gambar rangkaian penyearah pada *muscle sensor V3* ditunjukkan pada Gambar 2.11 dan gambar sinyal keluaran yang sudah disearahkan ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2.11 Rangkaian penyearah *Muscle Sensor V3*

Sumber : AdvancerTechnologies, 2013



Gambar 2.12 Sinyal keluaran *Muscle Sensor V3*  
 Sumber : AdvancerTechnologies, 2013

## 2.9 Filter

Tidak semua sinyal yang didapat dari pembacaan *surface* electrode yang dikuatkan oleh penguat instrumentasi berisi informasi penting. Maka dari itu diperlukan rangkaian filter untuk menyaring *noise* dari sinyal dan menyisakan informasi yang sesungguhnya.

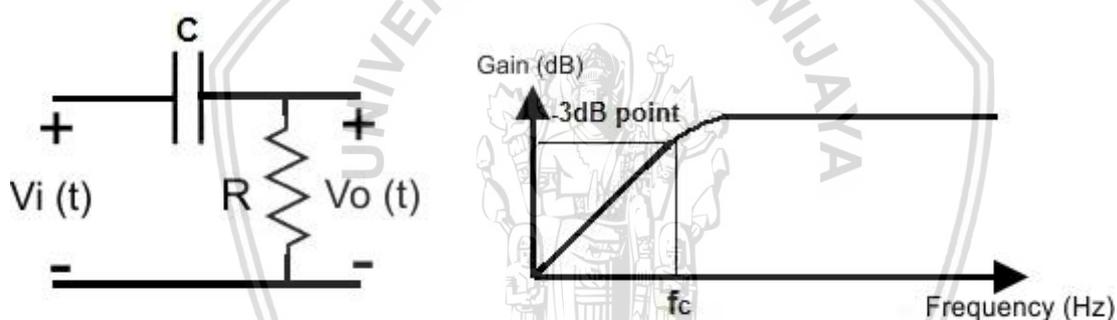
Filter digunakan untuk melewatkan sinyal pada frekuensi tertentu. Kemudian, frekuensi yang tidak dilewatkan dilewatkan ke ground rangkaian atau dikembalikan ke sumbernya. Ada 2 macam filter, filter pasif dan filter aktif. Perbedaannya terletak pada komponen yang digunakan. Menurut karakteristik responnya, filter dibagi lagi menjadi 4 macam, *high-pass filter*, *low-pass filter*, *band-pass filter*, *band-stop filter* (Gabrielson, 2008). Dalam skripsi ini *high-pass filter* pasif dan *low-pass filter* pasif akan digunakan untuk melewatkan sinyal pada frekuensi tertentu. Komponen yang digunakan untuk membuat filter pasif adalah komponen-komponen pasif, seperti resistor, kapasitor dan induktor. Keuntungan menggunakan filter pasif adalah tidak diperlukannya catu daya. Hal ini dikarenakan filter pasif tidak mengandung komponen aktif sama sekali. Filter pasif juga dapat digunakan pada frekuensi tinggi, karena tidak menggunakan op-amp yang memiliki batasan *bandwidth*. Filter pasif dapat digunakan pada aplikasi yang melibatkan arus atau tegangan yang relatif besar yang mampu diatasi perangkat aktif.

*Noise* yang dihasilkan filter pasif relatif kecil bila dibandingkan dengan filter aktif yang menggunakan komponen aktif. *Noise* dari filter pasif dihasilkan oleh panas yang dihasilkan komponen resistif. Karena kesederhanaan dan keuntungan inilah filter pasif masih sering digunakan (Demopoulos, 2012).

### 2.9.1 High-Pass Filter (HPF)

*High-pass filter* adalah filter yang melewatkan sinyal diatas frekuensi *cut-off* nya. Filter ini memiliki karakteristik memiliki impedansi tinggi dibawah frekuensi *cut-off* nya. Umumnya, HPF digunakan untuk menghalangi sinyal DC dari rangkaian. HPF juga bisa digunakan untuk menghilangkan *noise* dari catu daya. Jika dikombinasikan deng *low-pass filter*, HPF bisa digunakan sebagai *band-pass filter* (Demopoulos, 2012).

Gambar 2.13 menunjukkan rangkain dak karakteristik *high-pass filter* pasif. Besar nilai frekuensi *cut-off* dari HPF ditunjukkan pada Persamaan 2.2.



Gambar 2.13 Rangkaian dan karakteristik *High-Pass Filter*

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R}{1/sC+R}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{sCR}{1+sCR}$$

$$\left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right| = \left| \frac{j\omega CR}{1+j\omega CR} \right| = \frac{j\omega CR}{\sqrt{1^2+(j\omega CR)^2}}$$

$$\omega CR = 1$$

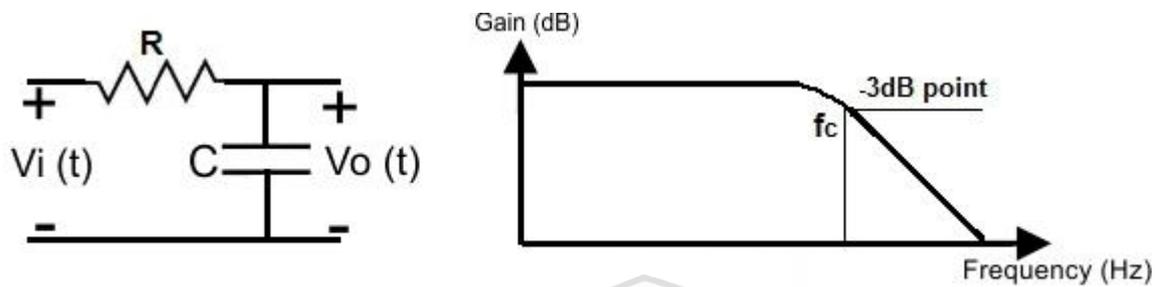
$$\omega = \frac{1}{RC} ; \omega = 2\pi f_c$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \text{ Hz} \quad (2.2)$$

### 2.9.2 Low-Pass Filter (LPF)

*Low-pass Filter* adalah filter yang melewatkan sinyal dibawah frekueansi *cut-off* nya. Karakteristik filter ini ialah memiliki impedansi yang tinggi pada frekuensi diatas frekueansi

*cut-off* nya. LPF digunakan untuk mengatasi masalah *noise* yang timbul pada sumber sinyal yang memuat frekuensi yang secara signifikan lebih besar dari frekuensi sumber tersebut (Demopoulos, 2012). Gambar 2.14 menunjukkan rangkaian dan karakteristik *low-pass filter* pasif. Besar nilai frekuensi *cut-off* dari LPF ditunjukkan pada Persamaan 2.3.



Gambar 2.14 Rangkaian dan Karakteristik Low-Pass Filter

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1/sC}{1/sC+R}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{1+sCR}$$

$$\left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right| = \left| \frac{1}{1+j\omega CR} \right| = \frac{1}{\sqrt{1+(j\omega CR)^2}}$$

$$\omega CR = 1$$

$$\omega = \frac{1}{RC} ; \omega = 2\pi f_c$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \text{ Hz}$$

(2.3)



## 2.10 Arduino

Arduino adalah sebuah board mikrokontroler yang berbasis ATmega 328p. Arduino memiliki fitur dasar Atmega 328p dengan koneksi USB, jack power, kepala ICSP, dan tombol *reset*. Bentuk *board* Arduino terlihat pada Gambar 2.15. Arduino dapat dikoneksikan dengan komputer menggunakan kabel USB. Arduino ditulis memakai bahasa C++ yang sudah dimodifikasi dalam arduino IDE nya. Catu daya yang dipakai 5 V. Hanya butuh 100  $\mu$ s (0,0001 s) untuk membaca input analog (ADC), jadi maksimum nilai yang dapat dibaca adalah 10.000 kali dalam 1 detik



Gambar 2.15 Board Arduino Uno berbasis ATmega 328P  
Sumber : SM, 2017





## BAB III

### METODE PENELITIAN

Penyusunan proposal ini didasarkan pada masalah yang bersifat aplikatif, yaitu perencanaan dan perealisasiian alat agar dapat bekerja sesuai dengan yang direncanakan dengan mengacu pada rumusan masalah. Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasiikan alat yang dirancang adalah penentuan spesifikasi alat, studi literatur, perancangan dan pembuatan alat, pengujian alat, dan pengambilan kesimpulan.

#### 3.1 Penentuan Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat secara global ditetapkan terlebih dahulu sebagai acuan dalam perancangan selanjutnya. Spesifikasi alat yang direncanakan yaitu:

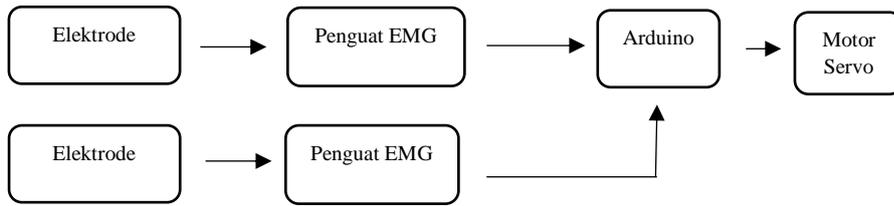
- 1) Gelombang otot yang disadap berkisar antara 20-500 Hz, dengan amplitudo tegangan 0-10 mV<sub>p-p</sub>.
- 2) Menggunakan *surface electrode* sebagai pembaca sinyal otot.
- 3) Penguat instrumentasi yang digunakan adalah AD8226 dan AT-04-001.
- 4) Frekuensi *cut-off* 20 Hz pada *high-pass filter*.
- 5) Frekuensi *cut-off* 500 Hz pada *low-pass filter*.
- 6) Mikrokontroler yang digunakan adalah *Arduino*.
- 7) Aktuator penggerak jari robot adalah motor servo *SG90*.

#### 3.2 Perancangan dan Pembuatan Alat

Perancangan dan pembuatan alat dalam skripsi ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu *hardware* dan *software*.

##### 3.2.1 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Keras (*Hardware*)

Secara garis besar, blok diagram perancangan *hardware* sistem secara keseluruhan ditunjukkan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Blok diagram desain Sistem EMG

Penjelasan blok diagram :

- Elektrode* dipakai untuk mengkonversi sinyal – sinyal listrik dalam tubuh (dibawa oleh ion-ion elektrolit tubuh) ke dalam bentuk beda potensial dalam penghantar elektrode.
- Penguat *Electromyogram* (EMG); rangkaian ini digunakan untuk memperkuat sinyal hasil sadapan elektrode karena hasil sinyal sadapan elektrode sangat rendah, berkisar 0-10 mV.
- Arduino* ; adalah sebuah board mikrokontroler yang mempunyai ADC internal dengan resolusi 10 bit. ADC (*analog – digital converter*) adalah pengubah sinyal analog menjadi sinyal digital, dan kemudian dapat di transferkan ke PC
- Motor servo SG90 sebagai penggerak jari-jari robot sesuai perintah mikrokontroler.

### 3.2.2 Perancangan Perangkat Keras Hardware

Perancangan perangkat keras alat penggerak jari-jari robot dengan masukan sinyal otot terbagi menjadi beberapa bagian, antara lain:

- Perancangan jari – jari robot.
- Perancangan penguat EMG AT – 01 – 004.
- Perancangan penguat EMG *Muscle Sensor V3*.

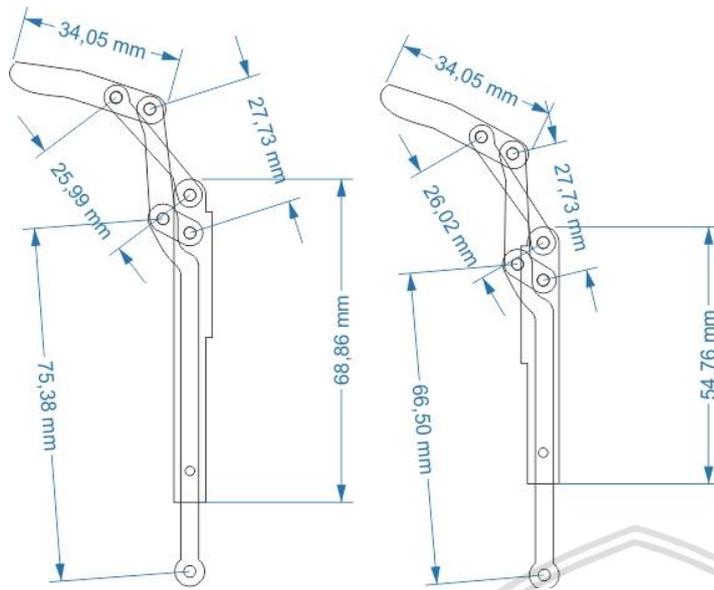
#### a. Perancangan jari – jari robot

Jari-jari robot yang akan digerakkan dengan sinyal otot didesain menggunakan aktuator motor servo bertipe SG90. Servo ini memiliki ukuran yang kecil namun memiliki torsi 1,8 kgf.cm yang kuat untuk menggerakkan jari – jari robot yang berukuran kecil. Mikrokontroler yang mengatur pergerakan motor servo adalah Arduino Uno. Antarmuka antara Servo *SG90* dan *Arduino uno* sudah disediakan pada pin pwm dan dapat langsung digunakan.

Mekanik penggerak jari-jari robot dibuat dengan bahan mika akrilik dengan ketebalan 2mm. Masing-masing jari dihubungkan dengan motor servo. Untuk gerakan jari-jari membuka, servo akan diam pada titik tengahnya, dan untuk mempertahankan jari agar terus membuka digunakan karet pentil yang menahan posisi jari-jari tersebut. Sedangkan untuk gerakan menggenggam servo akan menarik tali yang terhubung dengan ujung jari sehingga sendi-sendi jari akan menekuk dan menghasilkan gerakan menggenggam. Desain keseluruhan mekanik jari dan desain masing-masing jari robot ditunjukkan pada Gambar 3.2 dan desain masing-masing jari robot ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.2 Desain Keseluruhan Mekanik Jari Robot

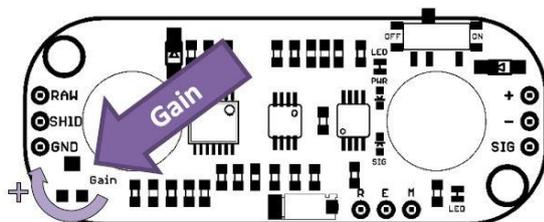


Gambar 3.3 Desain Mekanik Masing-masing Jari

#### b. Perancangan Penguat EMG AT – 04 – 001

Penguatan sinyal pertama kali dilakukan oleh penguat instrumentasi. Penguatan ini tidak bisa dilakukan dengan penguat instrumentasi sembarangan karena penguatan yang dilakukan harus memiliki kepresisian yang tinggi, maka dari itu diperlukan op-amp dengan nilai CMRR yang tinggi. AT-04-001 merupakan penguat instrumentasi dengan akurasi tinggi yang dibuat oleh Myoware. AT-04-001 memiliki *noise* yang rendah dan nilai CMRR yang tinggi, yaitu 110dB. Nilai CMRR yang tinggi ini dapat meminimalisir *error* yang dapat terjadi akibat penguatan penguat instrumentasi.

Pada penguat *Electromyogram* (EMG) AT – 04 – 001 terdapat sebuah potensiometer yang digunakan untuk pengaturan gain. Posisi potensiometer yang digunakan untuk pengaturan gain pada penguat *Electromyogram* (EMG) AT – 04 – 001 ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Posisi Potensiometer pada AT – 04 – 001

Nilai hambatan pada potensiometer AT – 04 – 001 berada pada range 0,01  $\Omega$  sampai dengan 100 k $\Omega$ . Untuk mendapatkan gain yang diinginkan, Advancer Technologies menyediakan persamaan sebagai berikut :

$$G = \frac{R_G}{1k\Omega} \quad (3-1)$$

Sinyal *myoelectric* yang terukur tegangan *rest potential* pada permukaan kulit ketika bernilai 20–2000 uV pada nilai puncaknya. Besarnya potensial yang dihasilkan bergantung pada jumlah ion yang melewati membran. Maka dari itu dibutuhkan penguatan sebesar 100x. Dengan menggunakan nilai  $G$  sebesar 100x, maka dengan persamaan 3-1 didapatkan nilai  $R_G$  sebesar:

$$R_G = G \times 1k\Omega$$

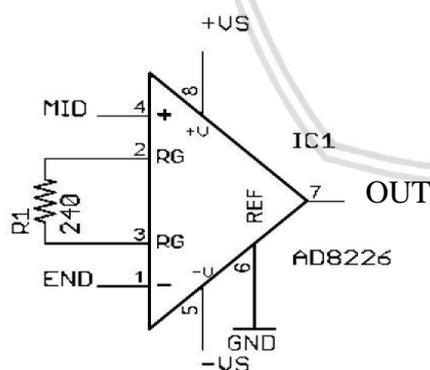
$$R_G = 100 \times 1k\Omega$$

$$R_G = 100k\Omega$$

Maka potensiometer pada AT – 04 – 001 diatur sedemikian rupa sehingga nilai  $R_G$  yang digunakan sebesar 100k $\Omega$  dan didapatkan penguatan yang sebesar 100x.

### c. Perancangan Penguat EMG Muscle Sensor V3

Penguatan sinyal pertama kali dilakukan oleh penguat instrumentasi. Penguatan ini tidak bisa dilakukan dengan op-amp sembarangan karena penguatan yang dilakukan harus memiliki kepresisian yang tinggi, maka dari itu diperlukan op-amp dengan nilai CMRR yang tinggi. IC AD8226 dipilih karena memiliki nilai CMRR yang relatif tinggi yaitu 90dB, selain itu AD8226 memang didesain untuk rangkaian instrumentasi medis. Besar penguatan dari IC AD8226 dapat dihitung dengan menentukan besar nilai  $R_G$ , begitu pula sebaliknya. Skematik rangkaian AD8226 ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Skematik Rangkaian Penguat Instrumentasi

Nilai dari  $R_G$  dapat dihitung menggunakan Persamaan 2.1:

$$R_G = \frac{49,4k}{G-1} \quad (3-2)$$

Dengan menggunakan nilai  $G$  sebesar 206x, maka nilai dari  $R_G$  didapat sebesar:

$$R_G = \frac{49,4k}{206-1}$$

$$R_G = \frac{49,4k}{205}$$

$$R_G = 240,9756 \Omega$$

Nilai resistor yang paling mendekati nilai 240,97  $\Omega$  adalah 240 $\Omega$ , maka resistor dengan nilai 240 $\Omega$  digunakan dalam rangkaian ini sehingga penguatan pada AD8226 yang didapat sebesar 206,83 $\times$ .

Namun pada *muscle sensor V3* terdapat potensiometer yang digunakan untuk mengatur gain pada sinyal keluarannya. Untuk nilai hambatan pada potensiometer akan digunakan nilai  $R_{Gain}$  sebesar 2,5K $\Omega$ . Dengan persamaan yang sudah disediakan oleh Advancer Technologies :

$$G_{total} = G_{AD8226} \times \frac{2,5K\Omega}{1K\Omega} \quad (3-3)$$

$$G_{total} = 206,83 \times \frac{2,5K\Omega}{1K\Omega}$$

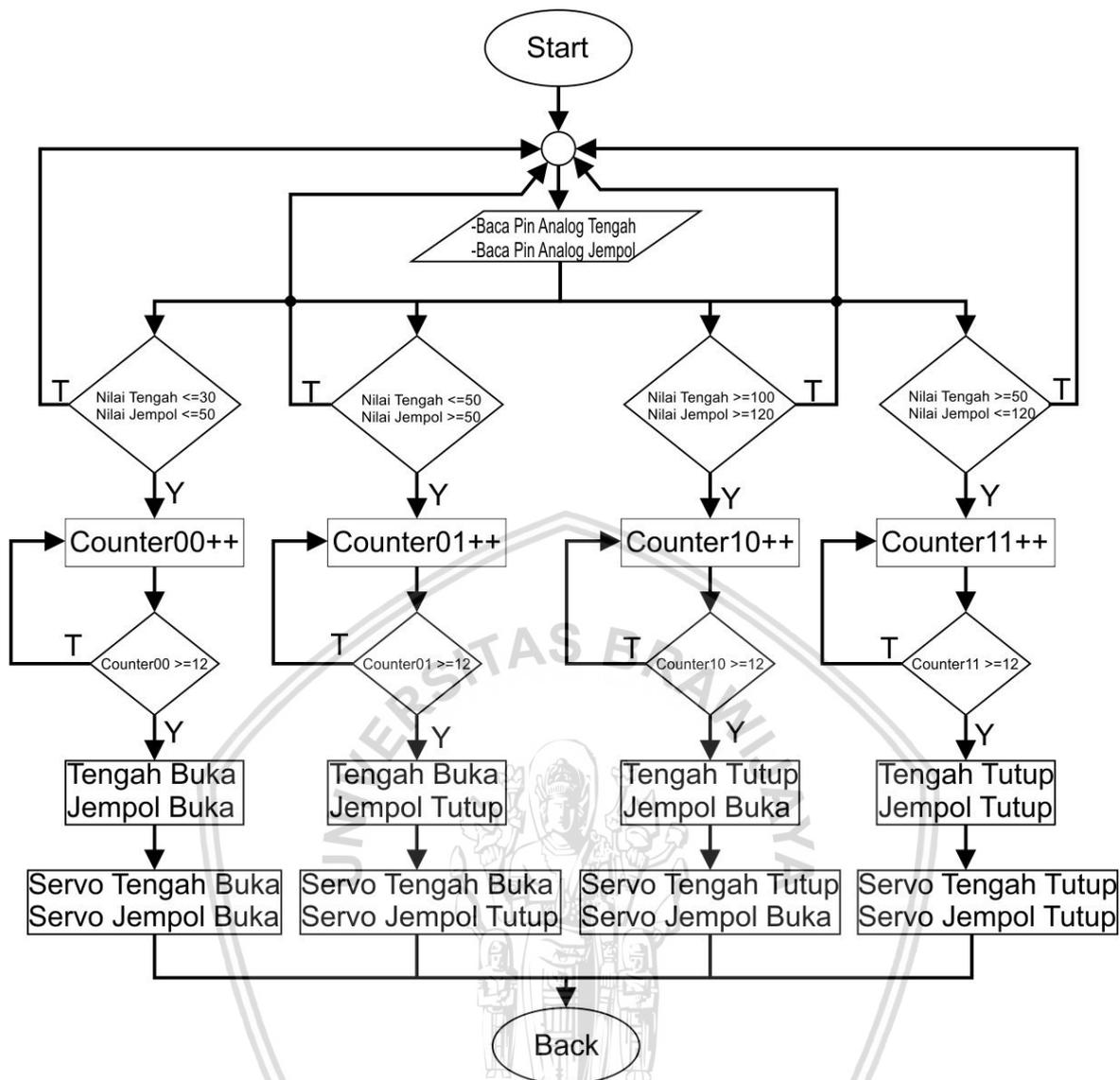
Sehingga pada *muscle sensor V3* akan mendapatkan gain sebesar 517,075 $\times$ .

### 3.2.3 Perancangan dan Pembuatan Perangkat Lunak (*Software*)

Perancangan perangkat lunak ini bertujuan untuk mengolah data. Arduino dengan ATmega 328p nya digunakan sebagai DAQ (*Data acquisition*), menampung data analog hasil pengukuran, kemudian melakukan proses sampling ADC. Data digital dari ADC dikirim ke komputer melalui *interface* USB. Penulisan *software* ke Arduino memakai bahasa C++ yang dimodifikasi untuk Arduino. Data ini di proses lebih lanjut untuk dapat menggerakkan motor servo.

Penjelasan diagram alir *software* pada Gambar 3.2 adalah sebagai berikut:

Besaran tegangan dari rangkaian analog akan dihubungkan ke pin analog pada arduino. Kemudian, pada pemrograman Arduino, pin analog tengah dan pin analog jempol diperiksa apakah ada data yang muncul atau tidak. Bila terdapat data, maka nilai dari analog tengah maupun jempol akan dihitung dan dibandingkan dengan nilai *threshold* yang tersedia. Bila nilai pada *threshold* sudah terpenuhi, maka *counter* akan berjalan sesuai dengan nilai *threshold* mana yang terpenuhi. Counter00 untuk keadaan tengah dan jempol sama – sama membuka, Counter01 untuk keadaan tengah membuka dan jempol menutup, Counter10 untuk keadaan tengah menutup dan jempol membuka, dan Counter11 untuk keadaan tengah dan jempol sama – sama menutup. Jika nilai *counter* sudah terpenuhi, maka servo akan bergerak sesuai keadaan masing – masing. Servo digerakkan melalui pin PWM pada Arduino. Sistem akan bekerja bila ada catu daya.



Gambar 3.6 Diagram alir Software

### 3.3 Pengujian Alat

Untuk menganalisis kinerja alat apakah sesuai dengan yang direncanakan maka dilakukan pengujian sistem pada masing – masing blok dan secara keseluruhan.

#### 3.3.1 Perangkat Keras

Untuk pengujian perangkat keras, pengujian dilakukan pada beberapa bagian sesuai blok diagram alat yang ditunjukkan dalam Gambar 3.1. Pengujian ini bertujuan untuk menguji apakah tiap-tiap blok sistem telah sesuai dengan seluruh sistem yang direncanakan. Pengujian yang dilakukan meliputi:

- 1) Penguat *electromyogram* (EMG)

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui besar penguatan yang dilakukan oleh penguat *electromyogram* (EMG) dengan frekuensi sinyal yang berbeda-beda. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *function generator* sebagai masukan dan osiloskop sebagai penampil sinyal keluaran.

2) Pengujian Frekuensi *cut-off* penguat *electromyogram* (EMG)

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui besar *bandwidth* frekuensi sinyal dan nilai frekuensi *cut-off* dari *high-pass filter* dan *low-pass filter* pada penguat *electromyogram* (EMG) dengan frekuensi sinyal yang berbeda-beda. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *function generator* sebagai masukan dan osiloskop sebagai penampil sinyal keluaran.

### 3.3.2 Pengujian Sub Sistem

Untuk pengujian sub sistem, pengujian dilakukan dengan cara mensimulasikan gerakan pada jari tengah dan jari jempol secara individu untuk menganalisis respons yang dihasilkan. Respons ini berupa sinyal karakteristik dari masing – masing jari jempol dan tengah. Sinyal karakteristik inilah yang digunakan untuk menentukan nilai – nilai *threshold* untuk mengidentifikasi setiap gerakan pada jari jempol dan tengah.

### 3.3.3 Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan dengan menyambungkan blok perangkat keras dan mengoperasikan sistem kemudian dapat dianalisis apakah alat ini bekerja sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan. Setelah perangkat keras dan juga sub sistem yaitu masing – masing jari robot telah beroperasi seperti yang diharapkan. Sistem dikatakan berhasil jika perangkat keras dan sub sistem yang ada telah tersinergi dan bekerja sebagai sebuah sistem yang sesuai dengan spesifikasi rancangan.

## 3.4 Penyusunan Kesimpulan

Kesimpulan didapat berdasarkan hasil realisasi sistem *electromyograph* sebagai penggerak jari robot.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sistem diperlukan untuk menganalisis kinerja alat apakah sesuai dengan yang direncanakan. Pengujian dilakukan pada masing-masing blok dengan masukan ideal dari *function generator* pada perancangan *hardware* dan pengujian sebagian blok sistem untuk mengetahui besar penguatan ke-3 yang dibutuhkan dan besar nilai histeresis yang akan digunakan serta pengujian keseluruhan untuk mengetahui *software* dapat bekerja dengan baik atau tidak.

Pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengujian penguat *electromyogram* (EMG) AT-04-001.
2. Pengujian Frekuensi *cut-off* AT-04-001.
3. Pengujian penguat *electromyogram* (EMG) *Muscle Sensor V3*.
4. Pengujian Frekuensi *cut-off Muscle Sensor V3*.
5. Pengujian sinyal *electromyogram* (EMG) pada jari tengah.
6. Pengujian sinyal *electromyogram* (EMG) pada jari jempol.
7. Pengujian secara keseluruhan.

#### 4.1 Pengujian Penguat Electromyogram (EMG) AT-04-001

##### 4.1.1 Tujuan

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui penguatan pada AT-04-001.

##### 4.1.2 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam pengujian ini meliputi:

1. *Function Generator*
2. AT-04-001
3. Kabel jumper
4. Osciloskop

### 4.1.3 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan masukan dari AT-04-001 dengan keluaran *Function Generator* yang berfungsi untuk memberikan tegangan masukan sinusoida. Keluaran dari AT-04-001 dihubungkan pada masukan Osciloskop yang berfungsi untuk mengamati sinyal keluaran yang diuji. Hasil keluaran kemudian dicatat untuk kemudian dihitung besar penguatan masing – masing data.

Rumus untuk pengujian perhitungan penguatan penguat instrumentasi adalah sebagai berikut :

- $A_v: V_o / V_i$  (4 - 1)

Keterangan :

$A_v$  : Penguatan

$V_o$  : Tegangan keluaran (V)

$V_i$  : Tegangan masukan (V)

Setelah didapat data penguatan yang dilakukan penguat instrumentasi kemudian dihitung besar *error* penguatan tersebut dengan rumus sebagai berikut:

- $\% Error : (|\overline{A_{pengukuran}} - A_{perancangan}| / A_{perancangan}) \times 100\%$  (4 - 2)

Keterangan:

$\overline{A_{pengukuran}}$  = rerata hasil penguatan pengukuran

$A_{perancangan}$  = nilai penguatan perancangan

### 4.1.4 Hasil Pengujian

Dari data yang diambil sebanyak 10 data dengan nilai frekuensi yang tetap, yaitu sebesar 200 Hz didapatkan besar penguatan yang dilakukan oleh penguat instrumentasi konstan sebesar  $98,948 \times$  penguatan. Data hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1  
 Hasil Pengujian Penguat *Electromyogram* (EMG) AT – 04 – 001

| Vin (Vp-p(mV))   | Vout (Vp-p(V)) | Vout / Vin |
|------------------|----------------|------------|
| 0,17             | 0,01680434     | 98,849057  |
| 0,23             | 0,022787692    | 99,076923  |
| 0,58             | 56,24711124    | 96,977778  |
| 1,04             | 0,10283        | 98,875     |
| 5                | 0,49642857     | 99,285714  |
| 11               | 1,088115886    | 98,919626  |
| 38               | 3,7924         | 99,8       |
| 58               | 5,78066686     | 99,66667   |
| 87               | 8,60361531     | 98,89213   |
| 116              | 11,50085364    | 99,14529   |
| Gain Rata - rata |                | 98,9488188 |

Dengan memasukkan nilai penguatan rata - rata yang didapat dari hasil pengujian dan nilai perancangan penguatan pada persamaan 4-2, maka besar nilai *error* didapat:

$$\% \text{ Error} = \frac{|98,9488188 - 100|}{100} \times 100\%$$

$$\% \text{ Error} = \frac{1,0511812}{100} \times 100\%$$

$$\% \text{ Error} = 1,05\%$$

Pengujian penguat *Electromyogram* (EMG) AT – 04 – 001 menunjukkan realisasi perancangan memiliki *error* sebesar 1,05% terhadap nilai penguatan perancangan.

## 4.2 Pengujian Frekuensi *cut-off* AT – 04 - 001

### 4.2.1 Tujuan

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui *bandwidth* frekuensi sinyal dan nilai frekuensi *cut-off* dari *high-pass filter* dan *low-pass filter* pada penguat *electromyogram* (EMG) AT – 04 – 001.

#### 4.2.2 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam pengujian ini meliputi:

1. *Function Generator*
2. AT – 04 – 001
3. Kabel jumper
4. Osciloskop

#### 4.2.3 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan masukan dari AT – 04 – 001 dengan keluaran *Function Generator* yang berfungsi untuk memberikan tegangan masukan sinusoida. Keluaran dari AT – 04 – 001 dihubungkan pada masukan Osciloskop yang berfungsi untuk mengamati sinyal keluaran yang diuji. Hasil keluaran kemudian dicatat untuk kemudian dihitung besar penguatan masing – masing data.

Prosedur pengujian penguat instrumentasi adalah sebagai berikut :

1. Tegangan *function generator* dibuat konstan sebesar 10 mVpp.
2. Frekuensi *function generator* diubah-ubah di sekitar range frekuensi *cut-off high-pass filter* dan *low-pass filter* yaitu di range 2-800 Hz.
3. Hasil keluaran dicatat untuk kemudian dihitung besar penguatan masing-masing data dalam satuan desibel.

Rumus untuk pengujian perhitungan penguatan *high-pass filter* dan *low-pass filter* pada penguat *electromyogram* (EMG) AT – 04 – 001 adalah sebagai berikut :

$$\bullet \quad A_v: V_o / V_i \quad (4 - 3)$$

Keterangan :

$A_v$  : Penguatan

$V_o$  : Tegangan keluaran (V)

$V_i$  : Tegangan masukan (V)

Setelah didapat nilai penguatan dikonversi ke dalam satuan desibel dengan rumus sebagai berikut:

$$\bullet \quad Gain = 20 \log \frac{V_o}{V_i} \quad (4 - 4)$$

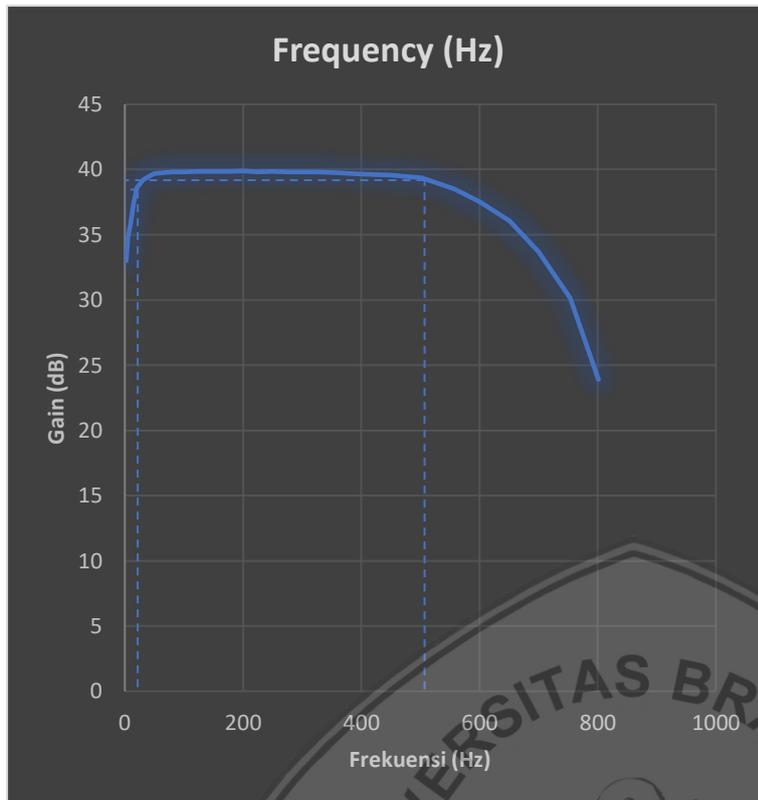
#### 4.2.4 Hasil Pengujian

Dari data yang diambil sebanyak 30× pengujian dengan range frekuensi antara 2-800Hz didapatkan nilai *Gain* pada frekuensi *cut-off high-pass filter* adalah 38,64 dB dan

pada frekuensi *cut-off low-pass filter* adalah 39,37 dB. Data hasil pengujian dan grafik respon *high-pass filter* dan *low-pass filter* ditampilkan pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.1

Tabel 4.2  
Hasil Pengujian Frekuensi *cut-off* pada AT – 04 – 001

| Frequency (Hz) | Vin (Vp-p(mV)) | Vout (Vp-p(V)) | Vout / Vin | Gain (dB) |
|----------------|----------------|----------------|------------|-----------|
| 2,23           | 10             | 0,447          | 44,7       | 33,01     |
| 5,11           | 10             | 0,549          | 54,9       | 34,79     |
| 10             | 10             | 0,621          | 62,1       | 35,86     |
| 15,13          | 10             | 0,752          | 75,2       | 37,52     |
| 20,49          | 10             | 0,856          | 85,6       | 38,64     |
| 25,51          | 10             | 0,881          | 88,1       | 38,89     |
| 30,77          | 10             | 0,913          | 91,3       | 39,21     |
| 40             | 10             | 0,939          | 93,9       | 39,45     |
| 49,97          | 10             | 0,965          | 96,5       | 39,69     |
| 80,01          | 10             | 0,978          | 97,8       | 39,81     |
| 99,78          | 10             | 0,981          | 98,1       | 39,83     |
| 125,4          | 10             | 0,982          | 98,2       | 39,84     |
| 150            | 10             | 0,985          | 98,5       | 39,86     |
| 175,6          | 10             | 0,984          | 98,4       | 39,85     |
| 200,43         | 10             | 0,988          | 98,8       | 39,89     |
| 225,86         | 10             | 0,98           | 98         | 39,82     |
| 249,21         | 10             | 0,982          | 98,2       | 39,84     |
| 275,82         | 10             | 0,981          | 98,1       | 39,83     |
| 301,08         | 10             | 0,98           | 98         | 39,82     |
| 324,97         | 10             | 0,979          | 97,9       | 39,81     |
| 350,41         | 10             | 0,977          | 97,7       | 39,79     |
| 400,32         | 10             | 0,961          | 96,1       | 39,65     |
| 451,02         | 10             | 0,952          | 95,2       | 39,57     |
| 502,38         | 10             | 0,931          | 93,1       | 39,37     |
| 557,25         | 10             | 0,845          | 84,5       | 38,53     |
| 600,06         | 10             | 0,752          | 75,2       | 37,52     |
| 650,77         | 10             | 0,637          | 63,7       | 36,08     |
| 699,98         | 10             | 0,484          | 48,4       | 33,69     |
| 753,41         | 10             | 0,321          | 32,1       | 30,13     |
| 801,29         | 10             | 0,157          | 15,7       | 23,91     |



Gambar 4.1 Grafik Respon Frekuensi *cut-off* pada AT – 04 – 001

Dari Tabel 4.2 dapat dibuat sebuah grafik pada Gambar 4.1, dengan sumbu X pada grafik yaitu Frekuensi (Hz) dari Tabel 4.2 dan sumbu Y pada grafik yaitu Gain (dB) dari Tabel 4.2. Dari grafik inilah bisa diketahui frekuensi *cut-off* pada AT – 04 – 001.

Dari grafik diatas terlihat bahwa frekuensi *cut-off high-pass filter* pada AT – 04 – 001 terletak pada frekuensi 20,49 Hz dan frekuensi *cut-off low-pass filter* pada AT – 04 – 001 terletak pada frekuensi 502,38 Hz. Bisa dilihat ketika nilai frekuensi (Hz) berada di luar dari *range* nilai frekuensi *cut-off* maka nilai Gain (dB) akan semakin turun. Dengan demikian nilai frekuensi *cut-off* dari alat sudah sesuai dengan karakteristik dari sinyal *electromyogram* (EMG).

### 4.3 Pengujian Penguat Electromyogram (EMG) Muscle Sensor V3

#### 4.3.1 Tujuan

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui penguatan pada *muscle sensor V3*.

### 4.3.2 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam pengujian ini meliputi:

1. *Function Generator*
2. *Muscle sensor V3*
3. Kabel jumper
4. Osciloskop

### 4.3.3 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan masukan dari *muscle sensor V3* dengan keluaran *Function Generator* yang berfungsi untuk memberikan tegangan masukan sinusoida. Keluaran dari *muscle sensor V3* dihubungkan pada masukan Osciloskop yang berfungsi untuk mengamati sinyal keluaran yang diuji. Hasil keluaran kemudian dicatat untuk kemudian dihitung besar penguatan masing – masing data.

Rumus untuk pengujian perhitungan penguatan penguat instrumentasi adalah sebagai berikut :

- $A_v: V_o / V_i$  (4 - 5)

Keterangan :

$A_v$  : Penguatan

$V_o$  : Tegangan keluaran (V)

$V_i$  : Tegangan masukan (V)

Setelah didapat data penguatan yang dilakukan penguat instrumentasi kemudian dihitung besar *error* penguatan tersebut dengan rumus sebagai berikut:

- $\% Error : (|A_{pengukuran} - A_{perancangan}| / A_{perancangan}) \times 100\%$  (4 - 6)

Keterangan:

$A_{pengukuran}$  = rerata hasil penguatan pengukuran

$A_{perancangan}$  = nilai penguatan perancangan

### 4.3.4 Hasil Pengujian

Dari data yang diambil sebanyak 10 data dengan nilai frekuensi yang tetap, yaitu sebesar 200 Hz didapatkan besar penguatan yang dilakukan oleh penguat instrumentasi konstan sebesar  $510,675 \times$  penguatan. Data hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3  
 Hasil Pengujian Penguat Electromyogram (EMG) Muscle Sensor V3

| Vin (Vp-p(mV))   | Vout (Vp-p(V)) | Vout / Vin  |
|------------------|----------------|-------------|
| 0,17             | 0,08685        | 510,882353  |
| 0,23             | 0,1167         | 507,391304  |
| 0,58             | 0,3027         | 521,902193  |
| 1,04             | 0,53938        | 518,634615  |
| 5                | 2,52032        | 504,064     |
| 11               | 5,67058        | 515,507273  |
| 38               | 18,94414       | 498,53      |
| 58               | 29,60038       | 510,351379  |
| 87               | 45,79345       | 526,361494  |
| 116              | 57,20275       | 493,127155  |
| Gain Rata - rata |                | 510,6751767 |

Dengan memasukkan nilai rerata penguatan yang didapat dari hasil pengujian dan nilai perancangan penguatan pada persamaan 4-6, maka besar nilai *error* didapat:

$$\% \text{ Error} = \frac{|510,6751767 - 517,075|}{517,075} \times 100\%$$

$$\% \text{ Error} = \frac{6,399}{517,075} \times 100\%$$

$$\% \text{ Error} = 1,23\%$$

Pengujian penguat *Electromyogram* (EMG) *Muscle Sensor V3* menunjukkan realisasi perancangan memiliki *error* sebesar 1,23% terhadap nilai penguatan perancangan.

#### 4.4 Pengujian Frekuensi *cut-off Muscle Sensor V3*

##### 4.4.1 Tujuan

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui *bandwidth* frekuensi sinyal dan juga nilai frekuensi *cut-off* dari *high-pass filter* dan *low-pass filter* pada penguat *electromyogram* (EMG) *muscle sensor V3*.

#### 4.4.2 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam pengujian ini meliputi:

1. *Function Generator*
2. *Muscle sensor V3*
3. Kabel jumper
4. Osciloskop

#### 4.4.3 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan masukan dari *muscle sensor V3* dengan keluaran *Function Generator* yang berfungsi untuk memberikan tegangan masukan sinusoida. Keluaran dari *muscle sensor V3* dihubungkan pada masukan Osciloskop yang berfungsi untuk mengamati sinyal keluaran yang diuji. Hasil keluaran kemudian dicatat untuk kemudian dihitung besar penguatan masing – masing data.

Prosedur pengujian penguat instrumentasi adalah sebagai berikut :

1. Tegangan *function generator* dibuat konstan sebesar 100 mVpp.
2. Frekuensi *function generator* diubah-ubah di sekitar range frekuensi *cut-off high-pass filter* dan *low-pass filter* yaitu di range 2-800 Hz.
3. Hasil keluaran dicatat untuk kemudian dihitung besar penguatan masing-masing data dalam satuan desibel.

Rumus untuk pengujian perhitungan penguatan *high-pass filter* dan *low-pass filter* pada penguat *electromyogram (EMG) muscle sensor V3* adalah sebagai berikut :

$$\bullet \quad A_v: V_o / V_i \quad (4 - 7)$$

Keterangan :

$A_v$  : Penguatan

$V_o$  : Tegangan keluaran (V)

$V_i$  : Tegangan masukan (V)

Setelah didapat nilai penguatan dikonversi ke dalam satuan desibel dengan rumus sebagai berikut:

$$\bullet \quad Gain = 20 \log \frac{V_o}{V_i} \quad (4 - 8)$$

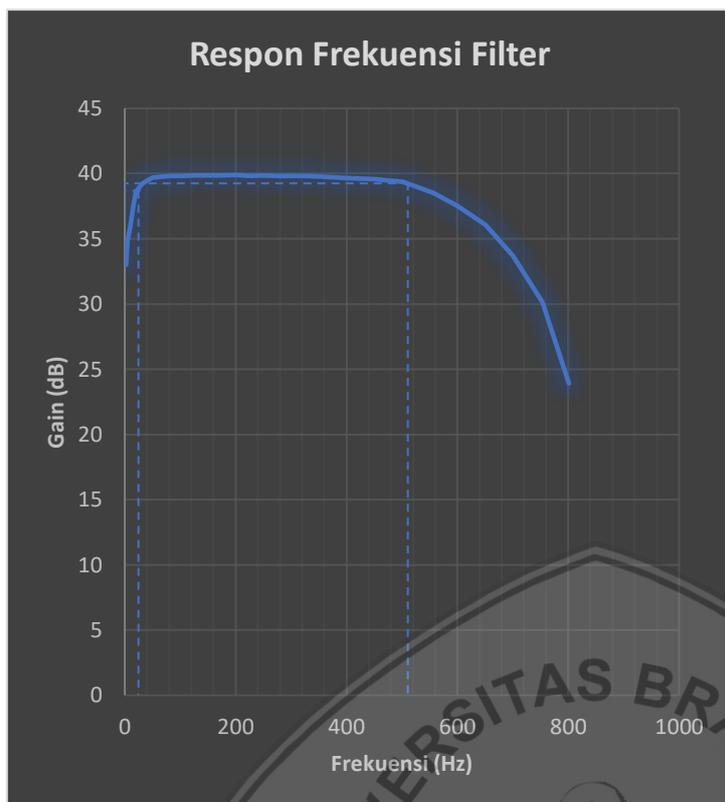
#### 4.4.4 Hasil Pengujian

Dari data yang diambil sebanyak 30× pengujian dengan range frekuensi antara 2-800Hz didapatkan nilai *Gain* pada frekuensi *cut-off high-pass filter* adalah 19,75 dB dan

pada frekuensi *cut-off low-pass filter* adalah 20,51 dB. Data hasil pengujian dan grafik respon *high-pass filter* dan *low-pass filter* ditampilkan pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.2

Tabel 4.4  
Hasil Pengujian Frekuensi *cut-off* pada *Muscle Sensor V3*

| Frequency (Hz) | Vin (Vp-p(MV)) | Vout (Vp-p(V)) | Vout / Vin | Gain (dB) |
|----------------|----------------|----------------|------------|-----------|
| 2,436          | 100            | 0,416          | 4,16       | 12,38     |
| 5              | 100            | 0,544          | 5,44       | 14,71     |
| 10             | 100            | 0,763          | 7,63       | 17,65     |
| 15             | 100            | 0,832          | 8,32       | 18,4      |
| 19,78          | 100            | 0,972          | 9,72       | 19,75     |
| 25,51          | 100            | 0,988          | 9,88       | 19,89     |
| 30,86          | 100            | 1,01           | 10,1       | 20,08     |
| 40             | 100            | 1,05           | 10,5       | 20,42     |
| 50,71          | 100            | 1,09           | 10,9       | 20,74     |
| 80,64          | 100            | 1,14           | 11,4       | 21,13     |
| 100,8          | 100            | 1,16           | 11,6       | 21,28     |
| 125            | 100            | 1,16           | 11,6       | 21,28     |
| 150,6          | 100            | 1,16           | 11,6       | 21,28     |
| 175            | 100            | 1,16           | 11,6       | 21,28     |
| 200            | 100            | 1,16           | 11,6       | 21,28     |
| 225,01         | 100            | 1,16           | 11,6       | 21,28     |
| 250,91         | 100            | 1,16           | 11,6       | 21,28     |
| 275            | 100            | 1,16           | 11,6       | 21,28     |
| 301,02         | 100            | 1,16           | 11,6       | 21,28     |
| 325,77         | 100            | 1,16           | 11,6       | 21,28     |
| 350            | 100            | 1,16           | 11,6       | 21,28     |
| 400,16         | 100            | 1,15           | 11,5       | 21,21     |
| 451,4          | 100            | 1,11           | 11,1       | 20,91     |
| 507,43         | 100            | 1,06           | 10,6       | 20,51     |
| 554,97         | 100            | 0,856          | 8,56       | 18,64     |
| 603,8          | 100            | 0,712          | 7,12       | 17,04     |
| 649,32         | 100            | 0,543          | 5,43       | 14,69     |
| 701,73         | 100            | 0,407          | 4,07       | 12,19     |
| 752,25         | 100            | 0,289          | 2,89       | 9,21      |
| 806,41         | 100            | 0,174          | 1,74       | 4,81      |



Gambar 4.2 Grafik Respon Frekuensi *cut-off* pada *Muscle Sensor V3*

Dari Tabel 4.4 dapat dibuat sebuah grafik pada Gambar 4.2, dengan sumbu X pada grafik yaitu Frekuensi (Hz) dari Tabel 4.4 dan sumbu Y pada grafik yaitu Gain (dB) dari Tabel 4.4. Dari grafik inilah bisa diketahui frekuensi *cut-off* pada *Muscle Sensor V3*.

Dari grafik diatas terlihat bahwa frekuensi *cut-off high-pass filter* pada *Muscle Sensor V3* terletak pada frekuensi 19,78Hz dan frekuensi *cut-off low-pass filter* pada *Muscle Sensor V3* terletak pada frekuensi 507,43Hz. Bisa dilihat ketika nilai frekuensi (Hz) berada di luar dari *range* nilai frekuensi *cut-off* maka nilai Gain (dB) akan semakin turun. Dengan demikian nilai frekuensi *cut-off* dari alat sudah sesuai dengan karakteristik dari sinyal *electromyogram* (EMG).

## 4.5 Pengujian Sinyal Electromyogram (EMG) Pada Jari Tengah

### 4.5.1 Tujuan

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah sistem yang telah dibuat dapat bekerja sesuai dengan perancangan. Parameter dalam pengujian ini adalah sistem pada jari tengah mampu mengolah sinyal otot menjadi sinyal digital berlogika *low* ketika jari tengah membuka. Selanjutnya berlogika *high* ketika jari tengah menutup, sistem mampu

mengidentifikasi gerakan membuka menutup dari masukan sinyal otot secara cepat dan akurat.

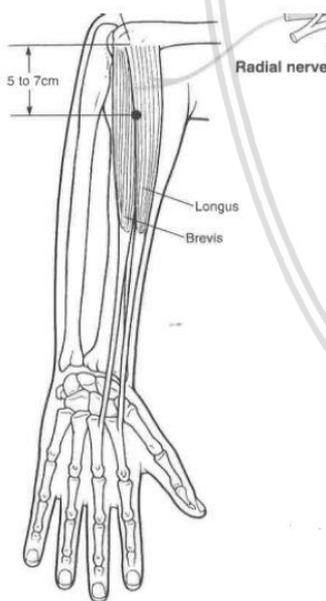
#### 4.5.2 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam pengujian ini meliputi:

1. *Surface Electrode*
2. AT-04-001
3. Arduino Uno
4. Kabel *jumper*

#### 4.5.3 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan memasang *surface electrode* di posisi otot untuk jari tengah dengan sesuai literatur sebagai sinyal masukan kemudian keseluruhan sistem dihubungkan untuk memantau sinyal keluaran. Hasil yang dicatat berupa gambar grafik respon karakteristik sinyal *myoelectric* pada jari tengah. Posisi otot pada jari tengah ditunjukkan pada Gambar 4.3.

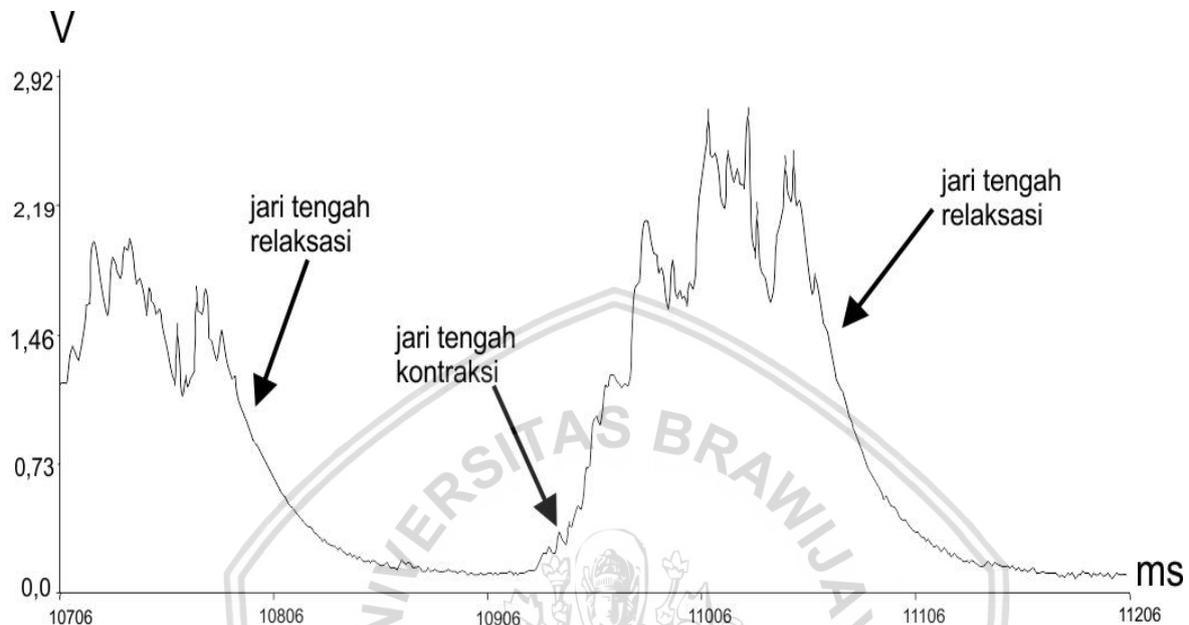


Gambar 4.3 Posisi Otot Jari Tengah

Pada Gambar 4.3 ditunjukkan otot yang digunakan untuk merekam sinyal *myoelectric* pada jari tengah adalah otot *Flexor Carpiradialis*.

#### 4.5.4 Hasil Pengujian

Hasil yang dicatat berupa gambar grafik respon karakteristik sinyal *myoelectric* pada jari tengah yang akan digunakan sebagai acuan untuk menjalankan keseluruhan sistem. Grafik karakteristik sinyal *myoelectric* pada jari tengah ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Karakteristik Sinyal *myoelectric* Pada Jari Tengah

Dari grafik tersebut dapat diketahui kondisi ketika jari tengah berkontraksi dan ketika relaksasi. Sehingga dapat diberikan nilai *threshold* pada sistem, ketika nilai sinyal analog pada jari tengah melebihi nilai 100 yaitu sebesar 0,48 V, maka lengan robot akan menutup. Sebaliknya, jika nilai sinyal analog pada jari tengah kurang dari 100, maka lengan robot akan membuka.

#### 4.6 Pengujian Sinyal Electromyogram (EMG) Pada Jari Jempol

##### 4.6.1 Tujuan

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah sistem yang telah dibuat dapat bekerja sesuai dengan perancangan. Parameter dalam pengujian ini adalah sistem pada jari jempol mampu mengolah sinyal otot menjadi sinyal digital berlogika *low* ketika jari jempol membuka. Selanjutnya berlogika *high* ketika jari jempol menutup, sistem mampu mengidentifikasi gerakan membuka menutup dari masukan sinyal otot secara cepat dan akurat.

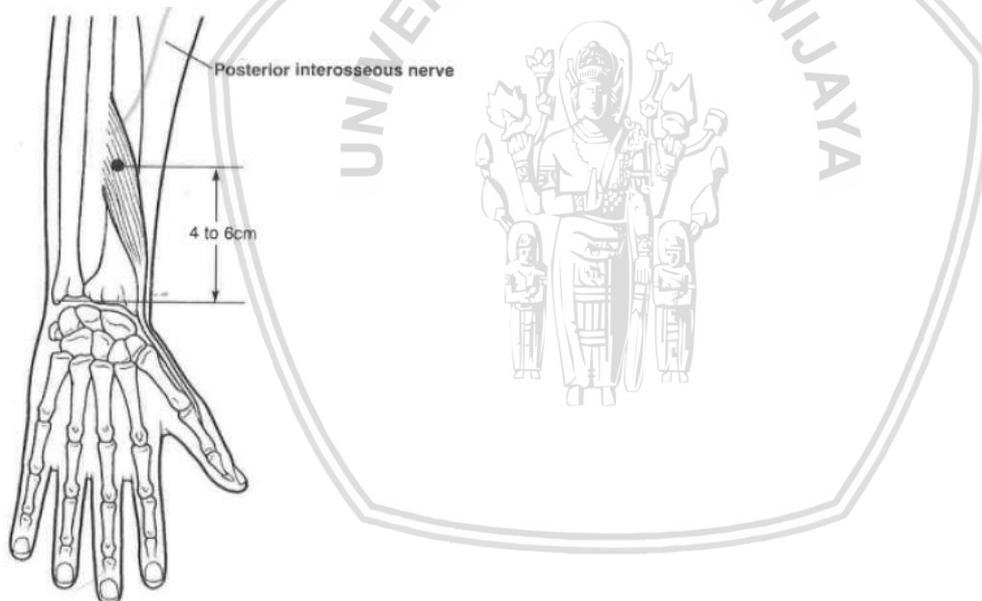
#### 4.6.2 Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam pengujian ini meliputi:

1. *Surface Electrode*
2. Baterai 9V 2 buah
3. AD8226
4. Arduino Uno
5. Kabel *jumper*

#### 4.6.3 Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan memasang *surface electrode* di posisi otot untuk jari jempol dengan sesuai literatur sebagai sinyal masukan kemudian keseluruhan sistem dihubungkan untuk memantau sinyal keluaran. Hasil yang dicatat berupa gambar grafik respon karakteristik sinyal *myoelectric* pada jari jempol. Posisi otot pada jari jempol ditunjukkan pada Gambar 4.5.

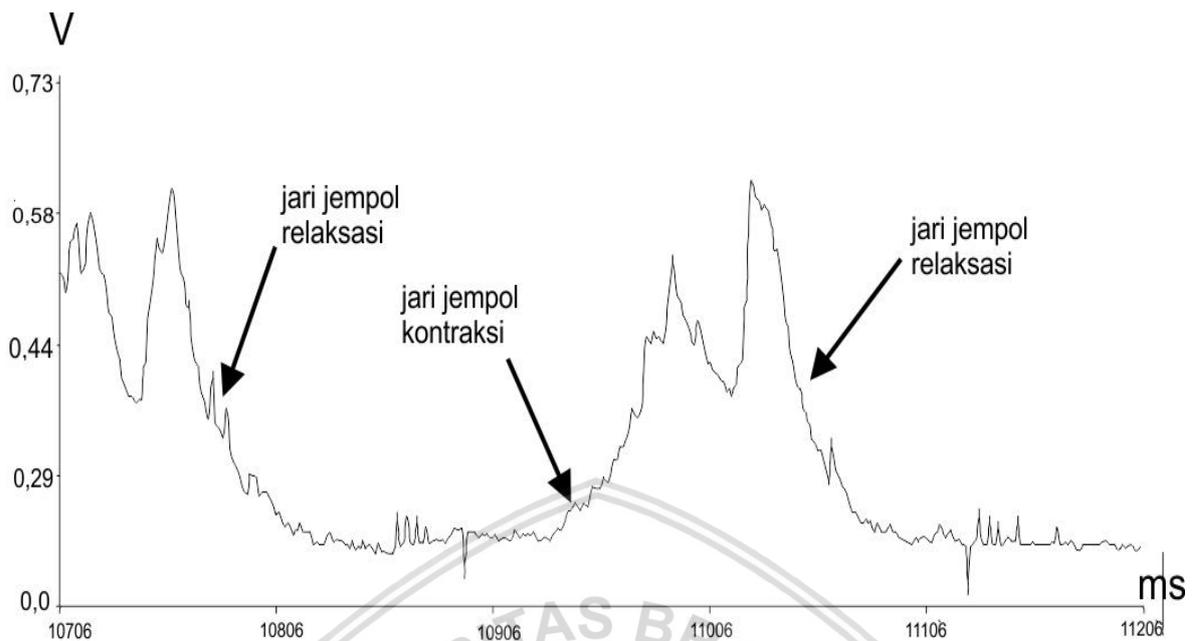


Gambar 4.5 Posisi Otot Jari Tengah

Pada Gambar 4.5 ditunjukkan otot yang digunakan untuk merekam sinyal *myoelectric* pada jari jempol adalah otot *Brachioradialis*.

#### 4.6.4 Hasil Pengujian

Hasil yang dicatat berupa gambar grafik respon karakteristik sinyal *myoelectric* pada jari jempol yang akan digunakan sebagai acuan untuk menjalankan keseluruhan sistem. Grafik karakteristik sinyal *myoelectric* pada jari jempol ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Karakteristik Sinyal *myoelectric* Pada Jari Jempol

Dari grafik tersebut dapat diketahui kondisi ketika jari tengah berkontraksi dan ketika relaksasi. Sehingga dapat diberikan nilai *threshold* pada sistem, ketika nilai sinyal analog pada jari jempol melebihi nilai 50 yaitu sebesar 0,24 V, maka lengan robot akan menutup. Sebaliknya, jika nilai sinyal analog pada jari jempol kurang dari 50, maka lengan robot akan membuka.

## 4.7 Pengujian Secara Keseluruhan

### 4.7.1 Tujuan

Tujuan pengujian keseluruhan adalah untuk mengetahui apakah sistem yang telah dibuat dapat bekerja sesuai dengan perancangan. Parameter dalam pengujian keseluruhan adalah sistem mampu mengolah sinyal otot menjadi sinyal digital berlogika *low* ketika keempat jari dan juga jempol membuka. Selanjutnya berlogika *high* ketika keempat jari dan juga jempol menutup, sistem mampu mengidentifikasi gerakan membuka menutup dari masukan sinyal otot secara cepat dan akurat.

### 4.7.2 Prosedur Percobaan

Pengujian dilakukan dengan memasang *surface electrode* di posisi sesuai literatur sebagai sinyal masukan kemudian keseluruhan sistem dihubungkan untuk memantau sinyal

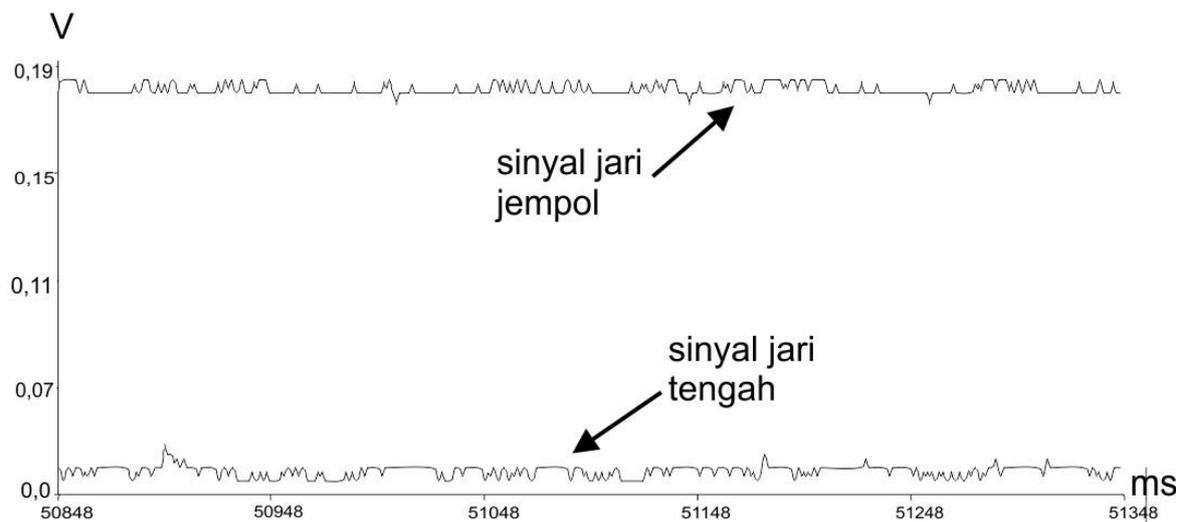
keluaran. Hasil yang dicatat berupa kecepatan respon dan tingkat keberhasilan sistem dalam menerjemahkan gerakan jari-jari manusia menjadi gerakan jari-jari robot. Posisi pemasangan *surface electrode* Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Pemasangan *Surface Electrode*

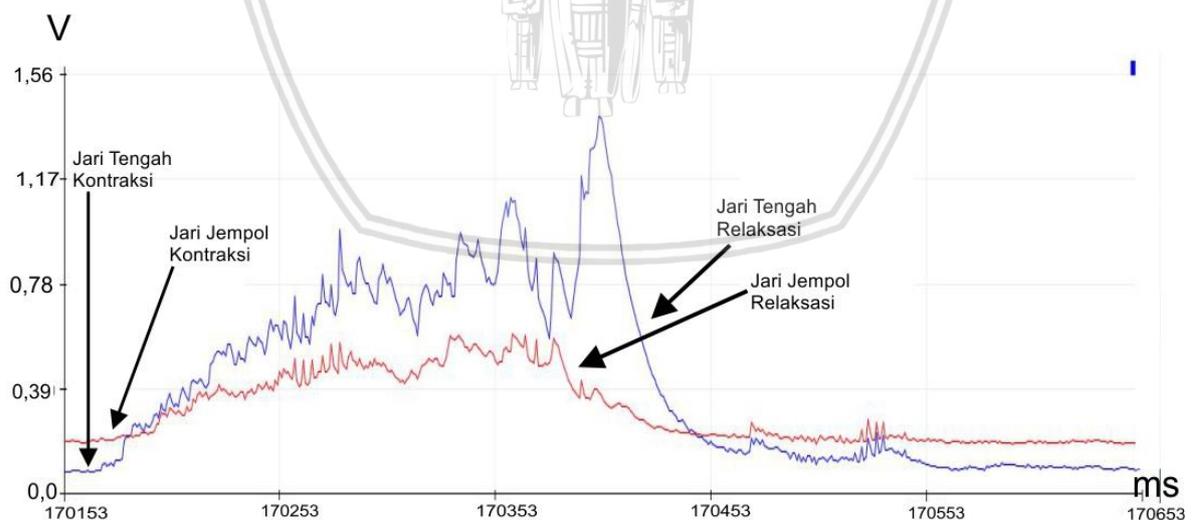
### 4.7.3 Hasil Pengujian

Pengujian keseluruhan memberikan hasil yang baik. Sistem mampu memproses sinyal myoelectric menjadi sinyal yang mampu diproses oleh mikrokontroler serta sistem mampu menerjemahkan gerakan jari-jari manusia menjadi gerakan jari-jari robot secara cepat dan akurat. Adapun hasil pembacaan sinyal untuk sinyal myoelectric ketika jari jempol dan juga jari tengah sama – sama relaksasi ditunjukkan dalam Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Karakteristik sinyal *myoelectric* pada jari tengah dan jempol ketika relaksasi

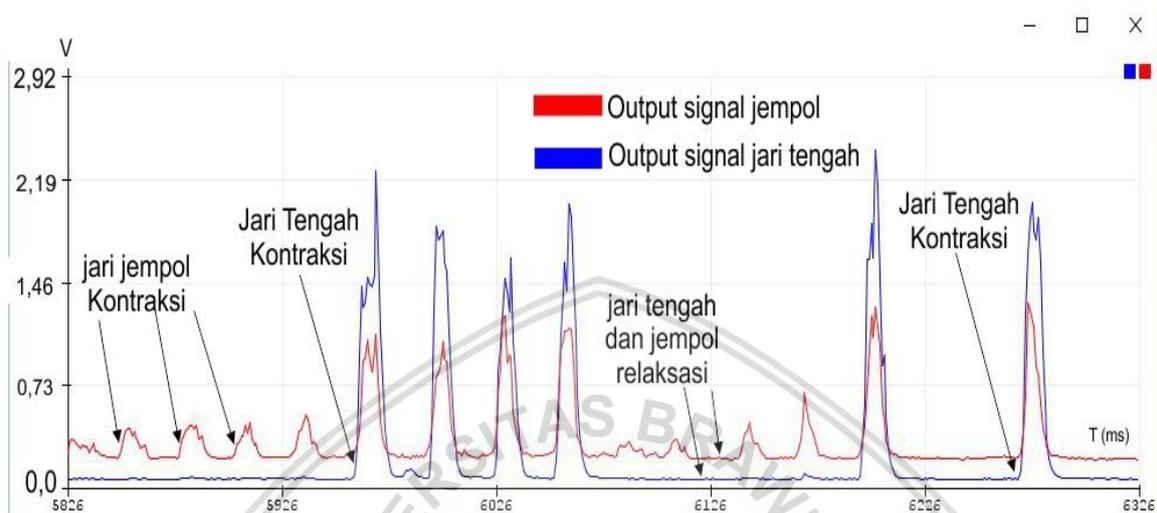
Pada Gambar 4.8 ditunjukkan hasil pembacaan sinyal *myoelectric* pada jari jempol dan jari tengah ketika kedua jari relaksasi. Grafik yang berada di atas merupakan respon karakteristik sinyal dari jari jempol ketika relaksasi. Grafik yang berada di bawah merupakan respon karakteristik sinyal dari jari tengah ketika relaksasi. Adapun hasil pembacaan sinyal untuk sinyal *myoelectric* ketika jari jempol dan juga jari tengah sama – sama berkontraksi ditunjukkan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Karakteristik sinyal *myoelectric* pada jari tengah dan jempol ketika berkontraksi

Pada Gambar 4.9 ditunjukkan hasil pembacaan sinyal *myoelectric* pada jari jempol dan jari tengah ketika kedua jari berkontraksi. Grafik warna merah merupakan respon karakteristik sinyal dari jari jempol ketika berkontraksi. Grafik warna biru merupakan respon

karakteristik sinyal dari jari tengah ketika berkontraksi. Adapun hasil pembacaan sinyal untuk sinyal *myoelectric* ketika jari jempol dan juga jari tengah berkontraksi dan relaksasi secara bergantian ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Karakteristik sinyal *myoelectric* pada jari tengah dan jempol ketika berkontraksi dan relaksasi secara bergantian

Pada Gambar 4.10 ditunjukkan hasil pembacaan sinyal *myoelectric* pada jari jempol dan jari tengah ketika kedua jari berkontraksi dan relaksasi secara bergantian. Grafik warna merah merupakan respon karakteristik sinyal dari jari jempol ketika berkontraksi dan relaksasi. Grafik warna biru merupakan respon karakteristik sinyal dari jari tengah ketika berkontraksi dan relaksasi.

Sedangkan untuk keandalan sistem hasil yang dicatat berupa persentase keberhasilan dalam menerjemahkan sinyal masukan serta kecepatan respon ditampilkan pada Tabel 4.5. Kecepatan respon dihitung dengan cara menggunakan fasilitas milis yang terdapat pada Arduino. Milis pada arduino memiliki satuan *milliseconds*.

Tabel 4.5  
Hasil Respon Waktu Keseluruhan Sistem

| Tangan    |           | Robot     |           | Respon Waktu<br>(ms) |
|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------|
| Tengah    | Jempol    | Tengah    | Jempol    |                      |
| kontraksi | relaksasi | kontraksi | relaksasi | 93                   |
| relaksasi | kontraksi | relaksasi | kontraksi | 124                  |
| kontraksi | kontraksi | kontraksi | kontraksi | 277                  |
| relaksasi | relaksasi | relaksasi | relaksasi | 445                  |
| kontraksi | relaksasi | kontraksi | relaksasi | 24                   |
| relaksasi | kontraksi | relaksasi | kontraksi | 78                   |
| kontraksi | kontraksi | kontraksi | kontraksi | 189                  |
| relaksasi | relaksasi | relaksasi | relaksasi | 814                  |
| kontraksi | relaksasi | kontraksi | relaksasi | 32                   |
| relaksasi | kontraksi | relaksasi | kontraksi | 95                   |
| kontraksi | kontraksi | kontraksi | kontraksi | 182                  |
| relaksasi | relaksasi | relaksasi | relaksasi | 625                  |
| kontraksi | relaksasi | kontraksi | relaksasi | 84                   |
| relaksasi | kontraksi | relaksasi | kontraksi | 90                   |
| kontraksi | kontraksi | kontraksi | kontraksi | 149                  |
| relaksasi | relaksasi | relaksasi | relaksasi | 811                  |
| kontraksi | relaksasi | kontraksi | relaksasi | 62                   |
| relaksasi | kontraksi | relaksasi | kontraksi | 108                  |
| kontraksi | kontraksi | kontraksi | kontraksi | 146                  |
| relaksasi | relaksasi | relaksasi | relaksasi | 506                  |
| kontraksi | relaksasi | kontraksi | relaksasi | 70                   |
| relaksasi | kontraksi | relaksasi | kontraksi | 96                   |
| kontraksi | kontraksi | kontraksi | kontraksi | 149                  |
| relaksasi | relaksasi | relaksasi | relaksasi | 490                  |
| kontraksi | relaksasi | kontraksi | relaksasi | 54                   |
| relaksasi | kontraksi | relaksasi | kontraksi | 88                   |
| kontraksi | kontraksi | kontraksi | kontraksi | 135                  |
| relaksasi | relaksasi | relaksasi | relaksasi | 736                  |

Tabel yang berwarna putih merupakan respon waktu ketika jari tengah kontraksi, tabel berwarna biru merupakan respon waktu ketika jari jempol kontraksi. Tabel berwarna kuning merupakan respon waktu ketika kedua jari kontraksi secara bersamaan dan tabel berwarna hijau merupakan respon waktu ketika kedua jari relaksasi secara bersamaan.

Dari data yang didapat terlihat bahwa sistem mampu menerjemahkan masukan dengan tingkat keberhasilan 100% dengan rata - rata respon kondisi relaksasi pada keseluruhan jari 632 ms dan kondisi kontraksi untuk keseluruhan jari 175 ms. Untuk rata – rata respon kondisi kontraksi pada jari tengah dan jari jempol relaksasi adalah 59,85 ms. Untuk rata – rata respon jari jempol kontraksi dan jari tengah relaksasi adalah 97 ms.



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis dari penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada pengujian sinyal *myoelectric* pada jari tengah dan jari jempol, dapat diketahui otot yang digunakan untuk merekam sinyal *myoelectric* pada jari tengah dan jempol masing – masing adalah otot *Flexor Carpiradialis* dan *Brachioradialis*.
2. Untuk dapat memproses sinyal *myoelectric* menjadi sinyal yang dapat diproses oleh mikrokontroler diperlukan sebuah sistem yang tersusun atas elektroda dan rangkaian penguat *electromyogram* (EMG). Didalam rangkaian penguat *electromyogram* (EMG) sudah terdapat rangkaian penguat instrumentasi, *high-pass filter*, dan *low pass filter*. Penguat *electromyogram* (EMG) AT – 04 – 001 memiliki *error* penguatan sebesar 1,05%, *high-pass filter* dan *low-pass filter* pada AT – 04 - 001 memiliki frekuensi *cut-off* masing – masing yang terletak pada frekuensi 20,49Hz dan 502,38Hz. Penguat *electromyogram* (EMG) *Muscle Sensor V3* memiliki *error* penguatan sebesar 1,23%, *high-pass filter* dan *low-pass filter* pada *Muscle Sensor V3* memiliki frekuensi *cut-off* masing – masing yang terletak pada frekuensi 19,78Hz dan 507,43Hz. Mayoritas *error* didapat karena penggunaan komponen – komponen yang memiliki nilai toleransi relatif tinggi.
3. Untuk menggerakkan jari – jari robot dengan sinyal *myoelectric* diperlukan motor sebagai aktuatornya, dalam kasus ini motor yang digunakan adalah motor servo bertipe SG90 yang diatur pergerakannya menggunakan mikrokontroler Arduino Uno melalui antarmuka Pin PWM yang sudah tersedia pada Arduino Uno. Mekanik penggerak jari-jari robot dibuat dengan bahan mika akrilik dengan ketebalan 2mm yang masing-masing jarinya dihubungkan dengan motor servo. Pada pengujian keseluruhan sistem diketahui bahwa sistem sudah berjalan sesuai harapan yang mampu menerjemahkan masukan sinyal *myoelectric* menjadi gerakan jari-jari robot dengan tingkat keberhasilan 100%. Respon dari sistem juga relatif cepat dengan rata - rata respon kondisi relaksasi pada keseluruhan jari 632 ms dan kondisi kontraksi untuk keseluruhan jari 175 ms. Untuk rata – rata respon kondisi kontraksi pada jari tengah

dan jari jempol relaksasi adalah 59,85 ms. Untuk rata – rata respon jari jempol kontraksi dan jari tengah relaksasi adalah 97 ms.

## 5.2 Saran

Untuk penelitian ke depannya, ada beberapa saran dalam pengembangan lebih lanjut dari sistem yang telah dibuat antara lain:

1. Skripsi ini dapat dikembangkan dengan membuat robot humanoid yang menyerupai tangan manusia sungguhan dan juga dengan menambahkan penguat *electromyogram* (EMG) pada masing – masing jari.
2. Pada dasarnya semua otot – otot jari pada lengan bagian bawah saling berhubungan, maka diperlukan parameter lain untuk menentukan masing – masing jari sedang kontraksi atau relaksasi, bisa dengan menggunakan sensor gaya atau dengan elektroda yang jauh lebih kecil.



## DAFTAR PUSTAKA

- AdvancerTechnologies. 2013. *Muscle Sensor V3*. Mountain View
- Analog Devices, 2011. *Wide Supply Range, Rail – to – Rail Output Instrumentation Amplifier AD8226*. Massachusetts
- Clancy, E. A. dkk. 2002. *Sampling, Noise–reduction and Amplitude Estimation Issues in Surface Electromyography*. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 12. Worcester : Worcester Polytechnic Institute.
- Demopoulos, H.G. 2012. *Analog Electronic Filters*. Lithuania: Springer.
- Duvnjak, Dejan. dkk. 2012. *Myoelectric Controlled Prosthetic Hand*. Tesis. Tidak dipublikasikan. Ottawa: University of Ottawa.
- Dzil Ikram, Fadhli. 2016. *Rancang Bangun Lengan Robot Pengikut Pergerakan Lengan dan Jari Manusia Menggunakan Flex Sensor*. Skripsi tidak diterbitkan. Padang : Universitas Andalas
- Firmansyah, Rizki. 2017. *Perancangan Sistem Electromyography (EMG) Sebagai Penggerak Jari Robot*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Gabrielson, B.C. 2008. *Basic Active and Passive Filters*. Maryland: Security Engineering Services.
- Hanjaya, Rayven. 2017. *Perancangan Electromyograph (EMG) Untuk Identifikasi Gerakan Jari Pada Lengan Bawah Anterior*. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Keating, Jennifer. 2014. *Relating Forearm Muscle Eelectrical Activity to Finger Forces*. Thesis. Worcester : Worcester Polytechnic Institute.
- Mademli, Lida. 2010. *The physiological background of EMG*. Centre of Research & Technology – Hellas Informatics & Telematics Institute.
- Martini, Frederic H. 2005. *Muscle Tissue Anatomy & Physiology. Chapter 10*. San Francisco: Benjamin Cummings.
- Myoware. 2015. *3-Lead Muscle / Electromyography Sensor for Microcontroller Applications Muscle Sensor AT – 04 – 001*. Mountain View
- Sharon, D. Dkk. 1992. *Robot dan Otomasi Industri*. Jakarta : PT. Gramedia
- SM. 2017. *Arduino Uno Rev 3*. <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno> (13 Desember 2017)

TowerPro. 2009. *SG90 Micro Servo*. Taipei

Quach, Jee Hong. 2007. *Surface Electromyography: Use, Design & Technological Overview*. Montreal: Concordia University.

