

**RANCANG BANGUN TANGAN ROBOT YANG DIKENDALIKAN  
SINYAL EMG MENGGUNAKAN GERAKAN LENGAN**

**LAPORAN TUGAS AKHIR**

LAPORAN INI DISUSUN UNTUK MEMENUHI SALAH SATU SYARAT  
MEMPEROLEH GELAR SARJANA S1 (S1)  
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG



Disusun oleh:

**MUHAMMAD DANI ARIFIN**

NIM. 30602000028

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

**UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**

**2024**

***DESIGN OF A ROBOT HANDS CONTROLLED BY EMG SIGNALS USING  
ARM MOVEMENTS***

***FINAL ASSIGNMENT REPORT***

***THIS REPORT IS COMPILED TO FULFILL ONE OF THE REQUIREMENTS  
TO OBTAIN A BACHELOR'S DEGREE (S1)  
ELECTRICAL ENGINEERING STUDY PROGRAM  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG***



*Compiled by:*

**MUHAMMAD DANI ARIFIN**

NIM. 30602000028

***DEPARTEMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING***

***ACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY***

***UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG***

**2024**

## LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

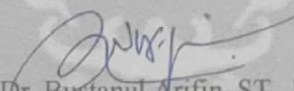
Laporan Tugas Akhir dengan judul "RANCANG BANGUN TANGAN ROBOT YANG DIKENDALIKAN SINYAL EMG MENGGUNAKAN GERAKAN LENGAN" ini disusun oleh:

Nama : Muhammad Dani Arifin  
NIM : 30602000028  
Program Studi : Teknik Elektro

Telah disahkan dan disetujui oleh dosen pembimbing pada:

Hari : Jum'at  
Tanggal : 06 September 2024

Pembimbing I

  
Dr. Bustanul Arifin, ST., MT.  
NIDN : 0614117701

Mengetahui,

Ka. Program Studi Teknik Elektro

  
Jenny Putri Elapsari, S.T., M.T.  
NIDN : 0607018501

## LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Laporan Tugas Akhir dengan judul “RANCANG BANGUN TANGAN ROBOT YANG DIKENDALIKAN SINYAL EMG MENGGUNAKAN GERAKAN LENGAN” ini telah dipertahankan di depan Penguji sidang Tugas Akhir pada:

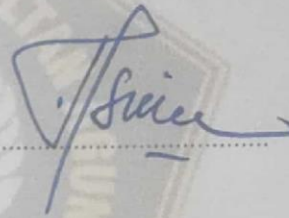
Hari : Jum'at

Tanggal : 06 September 2024

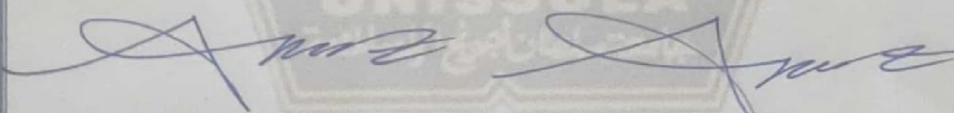
Tim Penguji

Tanda Tangan

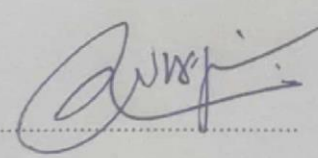
Dr. Ir. Muhammad Khosyi'in,  
ST.,MT., IPM.  
NIDN : 0625077901  
Ketua



Ir, Arief Marwanto, ST., M.Eng.,  
Ph.D.  
NIDN : 0628097501  
Penguji I



Dr. Bustanul Arifin, S.T., M.T.  
NIDN : 0614117701  
Penguji II



## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Dani Arifin  
NIM : 30602000028  
Jurusan : Teknik Elektro  
Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir yang diajukan dengan judul **“RANCANG BANGUN TANGAN ROBOT YANG DIKENDALIKAN SINYAL EMG MENGGUNAKAN GERAKAN LENGAN”** adalah hasil karya sendiri, tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi lain maupun ditulis dan diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacul dalam daftar pustaka. Tugas Akhir ini adalah milik saya segala bentuk kesalahan dan kekeliruan dalam Tugas Akhir ini adalah tanggung jawab saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sadar dan penuh tanggung jawab.

Semarang, 9 September 2024

Yang Menyatakan



Muhammad Dani Arifin

## PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muhammad Dani Arifin

NIM : 30602000028

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknologi Industri

Dengan ini saya menyerahkan karya ilmiah berupa Tugas Akhir dengan judul **“RANCANG BANGUN TANGAN ROBOT YANG DIKENDALIKAN SINYAL EMG MENGGUNAKAN GERAKAN LENGAN”** dan menyetujui menjadi hak milik Universitas Islam Sultan Agung serta memberikan hak bebas royalti non-eksklusif untuk disimpan, dialih mediakan, dikelola dalam pangkalan data dan publikasinya di internet atau media lain untuk kepentingan akademis selama tetap mencantumkan nama penulis sebagai pemilik Hak Cipta.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta/ Plagiarisme dalam karya ilmiah ini, maka segala bentuk tuntutan hukum yang timbul akan saya tanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Universitas Islam Sultan Agung

Semarang, 9 September 2024

Yang Menyatakan



Muhammad Dani Arifin

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Puja dan puji Syukur yang mendalam senantiasa penulis haturkan kepada Allah subhanahu wata'ala, atas nikmat iman, nikmat islam, nikmat sehat, yang telah diberikan kepada penulis, sholawat seta salam selalu tercurahkan kepada Baginda Agung, Rasulullah Nabi Muhammad Shallallahu alaihi wassalam, yang syafa'atnya selalu menjadi harapan seluruh umatnya kelak di Yaumul akhir. Dengan diselesaikannya Laporan Tugas Akhir ini, penulis mempersembahkan laporan Tugas Akhir ini kepada kedua orangtua penulis, sebagai bukti rasa kasih saya untuk kedua orang tua yang senantiasa memberikan dukungan materil maupun non materil, semangat, dan kasih sayang. Dengan terselesaikannya Tugas Akhir ini, penulis sudah bisa memenuhi kepercayaan kedua orang tua, selama menjadi mahasiswa di Universitas Islam Sultan Agung.

Tidak lupa penulis persembahkan laporan Tugas Akhir ini kepada Dosen pembimbing Bapak Dr. Bustanul Arifin, ST. MT. yang telah memfasilitasi, memberikan pengarahan kepada penulis hingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini. Tidak lupa pula kepada seluruh rekan-rekan penulis Teknik Elektro 2020, penulis ucapkan banyak terimakasih atas dukungan, semangat, dan segala bantuan dalam bentuk apapun, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Salam Hormat, penulisng dan cinta atas kepercayaan yang telah diberikan kepada penulis.

## HALAMAN MOTTO

Orang tua adalah pahlawan sejati dalam setiap cerita kehidupan. Mereka adalah sosok yang tanpa lelah berjuang demi kebahagiaan dan kesejahteraan anak-anak mereka. Dari hari-hari awal kelahiran hingga saat anak-anak mereka tumbuh dewasa, perjuangan orang tua adalah bentuk kasih sayang yang paling tulus dan abadi. Kehidupan yang penuh tantangan dan pengorbanan yang dilakukan orang tua adalah cermin dari cinta yang mendalam. Mereka berkorban waktu, tenaga, dan terkadang bahkan impian mereka sendiri demi melihat anak-anak mereka bahagia dan sukses.

Setiap doa dan harapan yang dipanjatkan oleh orang tua adalah bentuk usaha mereka untuk memastikan bahwa anak-anak mereka tidak hanya menjadi individu yang baik, tetapi juga sukses di dunia dan akhirat.

Setiap langkah kecil kita yang sukses adalah hasil dari doa dan perjuangan orang tua. Marilah kita selalu menghargai, mencintai, dan berterima kasih kepada mereka dengan sepenuh hati. Menghormati dan menyayangi orang tua adalah bagian dari ajaran Islam yang mulia. Semoga kita selalu diberikan kekuatan untuk membalas semua pengorbanan mereka dengan kebaikan dan perhatian yang setara.



## KATA PENGANTAR

*Bismillahirrahmanirrahim*

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Alhamdulillah puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan Rahmat dan Nikmatnya sehingga masih berkesempatan untuk menuntut ilmu dalam keadaan sehat wal'afiat, Shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada baginda Rasulullah Muhammad SAW, semoga kelak kita mendapatkan syafaatnya. Aamiin Ya Rabbal Alamin.

Penyusunan Tugas Akhir ini adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Fakultas Teknologi Industri di Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dalam penulisan Tugas Akhir ini tentunya banyak pihak yang memberikan bantuan secara moril maupun materil. Oleh karena itu, penulis menyampaikan upacara terima kasih yang tiada hingganya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan ridhonya serta memberikan ketabahan, kesabaran dan kelapangan hati serta pikiran dalam menimba ilmu.
2. Kedua orang tua, yakni bapak Bambang Surya dan ibu Yeti Murdiani yang telah memberikan dukungan baik materil maupun non materil dan tidak pernah berhenti mendo'akan di setiap sholatnya.
3. Saudara sekandung, kedua kakak penulis tercinta Septiyan Kurniawan dan Nur Fauzi, yang selalu mendoa'akan, memberi semangat dan selalu membuat penulis selalu bangkit dan optimis.
4. Bapak Prof. Dr. Gunarto SH., MHum. selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
5. Ibu Dr. Hj. Novi Marlyana, S.T., M.T. Selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
6. Ibu Jenny Putri Hapsari, S.T., M.T. Selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
7. Bapak Dr. Bustanul Arifin, ST. MT. selaku dosen pembimbing yang memberikan ilmu yang bermanfaat, memberikan banyak arahan, dan dengan sabar membimbing, sehingga dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

8. Bapak Dr. Muhammad Khosyi'in, S.T., M.T. Selaku Koordinator Tugas Akhir Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung.
9. Seluruh dosen dan karyawan Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung Semarang atas ilmu, bimbingan, dan dukungan dalam penyusunan tugas akhir ini.
10. Teman Teknik Elektro angkatan 2020 senantiasa memberikan dukungan, semangat, dan doa.
11. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu atas segala dukungan, semangat, ilmu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa di dalam penyusunan laporan ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu kritik dan saran sangat diharapkan untuk mencapai hasil yang lebih baik. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak pada terutama Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang dan dapat menambah wawasan.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.*

Semarang, 9 September 2024



Muhammad Dani Arifin

## DAFTAR ISI

LAPORAN TUGAS AKHIR .....	i
<i>FINAL PROJECT</i> .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING .....	iii
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI .....	iv
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS .....	v
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vii
HALAMAN MOTTO .....	viii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xiv
ABSTRAK .....	xv
<i>ABSTRACT</i> .....	xvi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....	5
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2 Dasar Teori .....	8
2.2.1 Robot .....	8
2.2.2 Otot .....	13
2.2.2 Gerakan Lengan .....	13
2.2.3 Elektromiografi (EMG) .....	15

2.2.4 Elektroda .....	16
2.2.5 Penguatan Elektromiograf.....	18
2.2.6 Servo.....	21
2.2.7 Arduino Uno.....	22
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>24</b>
3.1 Metode Penelitian .....	24
3.2 Prinsip Kerja / Sistem Model.....	25
3.3. Desain Tangan Robot .....	26
3.4 Pengambilan Sinyal EMG .....	28
3.5 Perancangan Perangkat Keras.....	29
3.5.1 Perancangan Muscle Sensor V3.....	30
3.5.2 Perancangan Pemroses.....	31
3.5.3 Perancangan Rangkaian Servo.....	32
3.6. Perancangan Perangkat Lunak.....	33
3.6.1 Perancangan Program Sensor Otot.....	33
3.6.2. Perancangan Program Gerakan Servo.....	34
<b>BAB IV ANALISA DAN HASIL.....</b>	<b>36</b>
4.1 Hasil Pembuatan Tangan Robot .....	36
4.2 Pengujian Sinyal Otot .....	37
4.3 Pengujian Pengegaman Tangan Robot.....	41
4.4 Pengujian Servo .....	47
4.5 Pengujian Tangan Robot dengan Sensor Otot.....	50
4.5.1 Spons .....	51
4.5.2 Botol Sampo.....	51
4.5.3 Botol Saus Tomat.....	52
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>54</b>
5.1 Kesimpulan .....	54
5.2 Saran .....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>56</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>58</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2. 1</b> Revolute dan prismatic.[7].....	9
<b>Gambar 2. 2</b> Tangan humanoid ASIMO [8].....	10
<b>Gambar 2. 3</b> Desain Tangan Tim Pizarro [8].....	10
<b>Gambar 2. 4</b> Model Tangan Statis Dengan Metode Transformasi Cali [9].....	11
<b>Gambar 2. 5</b> Model Tangan De Laurentis [9].....	11
<b>Gambar 2. 6</b> Desain tangan dari tim Borghesan [10] .....	12
<b>Gambar 2. 7</b> Gerakan lengan ekstensi-fleksi [5].....	15
<b>Gambar 2. 8</b> Elektroda Permukaan Ag AgCl[11] .....	17
<b>Gambar 2. 9</b> (a) Letak elektroda pada otot triceps brachii, (b) Letak elektroda pada otot biceps brachii [12].....	18
<b>Gambar 2. 10</b> Rangkaian penguat instrumentasi [11] .....	19
<b>Gambar 2. 11</b> Rangkaian High Pass Filter orde [11].....	20
<b>Gambar 2. 12</b> Rangkaian Low Pass Filter orde 2 [11] .....	21
<b>Gambar 2. 13</b> Sinyal PWM pada servo [7].....	22
<b>Gambar 3. 1</b> Flowchart Penelitian Tugas Akhir .....	24
<b>Gambar 3. 2</b> Blok Diagram Prinsip Kerja .....	25
<b>Gambar 3. 3</b> Tangan Robot rakitan InMoov [14] .....	27
<b>Gambar 3. 4</b> Mekanika tangan robot [14].....	27
<b>Gambar 3. 5</b> (a) Jari tangan robot kondisi relaksasi, (b) Kondisi kontraksi [1] .....	28
<b>Gambar 3. 6</b> Blok Diagram Sistem Rangkaian Prototype .....	29
<b>Gambar 3. 7</b> Rangkaian Sensor Muscle V3.....	31
<b>Gambar 3. 8</b> Pin Input dan Pin Output Arduino Uno .....	32
<b>Gambar 3. 9</b> Servo MG995 [16] .....	33
<b>Gambar 3. 10</b> Peletakan servo pada bagian lengan [14].....	33
<b>Gambar 4. 1</b> Hasil Perakitan Tangan Robot .....	36
<b>Gambar 4. 2</b> Penempatan Elektroda pada bagian lengan bawah .....	37
<b>Gambar 4. 3</b> Grafik Sinyal EMG pada saat Tangan Membuka .....	37
<b>Gambar 4. 4</b> Grafik Sinyal EMG pada saat Tangan Menggenggam .....	38
<b>Gambar 4. 5</b> Penempatan Elektroda pada bagian otot bisep.....	39
<b>Gambar 4. 6</b> Grafik Sinyal EMG pada saat otot bisep turun .....	39
<b>Gambar 4. 7</b> Grafik Sinyal EMG pada saat otot bisep naik.....	40
<b>Gambar 4. 8</b> Tangan robot sedang memegang botol sampo.....	42
<b>Gambar 4. 9</b> Tangan robot sedang memegang sikat baju .....	43
<b>Gambar 4. 10</b> Tangan robot sedang memegang spons .....	44
<b>Gambar 4. 11</b> Tangan robot memegang botol saus tomat .....	45
<b>Gambar 4. 12</b> Tangan robot memegang botol isi air .....	46
<b>Gambar 4. 13</b> Peletakan posisi servo .....	48

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2. 1</b> Spesifikasi Arduino Uno [13].....	23
<b>Tabel 4. 1</b> Spesifikasi tangan robot. ....	36
<b>Tabel 4. 2</b> Spesifikasi barang yang digunakan tangan robot menggenggam.....	42
<b>Tabel 4. 3</b> Percobaan Tangan Robot pada saat memegang botol sampo.....	43
<b>Tabel 4. 4</b> Hasil Percobaan Tangan Robot pada saat memegang sikat baju.....	44
<b>Tabel 4. 5</b> Hasil Percobaan Tangan Robot pada saat memegang spons .....	45
<b>Tabel 4. 6</b> Hasil Percobaan Tangan Robot pada saat memegang botol saus tomat .....	46
<b>Tabel 4. 7</b> Hasil Percobaan Tangan Robot pada saat memegang botol isi air.....	47
<b>Tabel 4. 8</b> Percobaan servo saat menggenggam spons .....	48
<b>Tabel 4. 9</b> Percobaan servo saat menggenggam sikat baju.....	49
<b>Tabel 4. 10</b> Percobaan servo saat menggenggam botol sampo .....	49
<b>Tabel 4. 11</b> Percobaan servo saat menggenggam botol saus tomat.....	50
<b>Tabel 4. 12</b> Percobaan servo saat menggenggam botol isi air.....	50
<b>Tabel 4. 13</b> Percobaan pada spons.....	51
<b>Tabel 4. 14</b> Percobaan pada botol sampo .....	52
<b>Tabel 4. 15</b> Percobaan pada botol saus tomat.....	52



## ABSTRAK

Perkembangan teknologi robotika, terutama robot humanoid, terus maju pesat. Salah satu tantangan utamanya adalah meniru gerakan kompleks tangan manusia. Temuan ini diharapkan menjadi dasar untuk prostetik masa depan yang lebih efektif. Teknologi ini menunjukkan bahwa sistem ini mampu mendekati gerakan alami manusia, menawarkan potensi besar dalam pengembangan prostetik yang lebih responsif dan adaptif, meski masih ada keterbatasan pada umpan balik sensorik. Temuan ini diharapkan menjadi dasar untuk prostetik masa depan yang lebih efektif.

Penelitian ini berfokus pada pengembangan tangan robot yang digerakkan oleh sinyal elektromiografi (EMG) dari aktivitas otot. Sistem yang dikembangkan menggunakan sinyal EMG yang diambil melalui elektroda permukaan untuk menggerakkan motor servo sebagai aktuator tangan robot. Sistem ini bertujuan meniru gerakan tangan manusia secara lebih alami dan presisi, yang dapat digunakan untuk prostetik canggih.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengujian tangan robot dalam menggenggam berbagai objek menunjukkan variasi dalam persentase keberhasilan tergantung pada berat dan dimensi objek. Tangan robot dapat menggenggam lebih dari 80% itu ketika berak dari sebuah objek memiliki kurang lebih 100 gram memiliki diameter lebih besar dari 4 cm tetapi ketika dalam menggenggam sebuah objek yang memiliki berat lebih dari 200 gram yang memiliki diameter lebih dari 5 cm tangan robot tidak bisa memegang dengan benar dan mudah lepas.

**Kata Kunci:** Robot Humanoid, Elektromiografi (EMG), Tangan Robot Prostetik.

## ABSTRACT

*The development of robotics technology, especially humanoid robots, continues to advance rapidly. One of the main challenges is to imitate the complex movements of human hands. This finding is expected to be the basis for more effective future prosthetics. This technology shows that this system is able to approach natural human movements, offering great potential in the development of more responsive and adaptive prosthetics, although there are still limitations in sensory feedback. This finding is expected to be the basis for more effective future prosthetics.*

*This research focuses on the development of a robotic hand driven by electromyography (EMG) signals from muscle activity. The developed system uses EMG signals captured through surface electrodes to drive servo motors as actuators of the robotic hand. This system aims to mimic human hand movements more naturally and precisely, which can be used for advanced prosthetics.*

*The results showed that testing the robotic hand in grasping various objects showed variations in the percentage of success depending on the weight and dimensions of the object. The robotic hand had 70% success in grasping an empty shampoo bottle (weight: 25 grams; dimensions: 4.5 cm x 3.5 cm x 17.5 cm), 100% on a clothes brush (weight: 40 grams; dimensions: 10.5 cm x 4.3 cm x 2.5 cm) and a sponge (weight: 6 grams; dimensions: 9.5 cm x 7 cm x 2.5 cm), 80% on a ketchup bottle (weight: 100 grams; dimensions: diameter 4 cm x height 17 cm), and 20% on a bottle filled with water (weight: 200 grams; dimensions: diameter 5.5 cm x height 23 cm). This shows that the shape and weight of the object greatly affect the ability of the robotic hand to grasp perfectly.*

**Keywords:** *Humanoid Robot, Electromyography (EMG), Prosthetic Robot Hand*



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Teknologi di era modern berkembang pesat dan semakin terintegrasi dalam berbagai aspek kehidupan sehari-hari. Salah satu perkembangan teknologi yang menarik adalah evolusi robot humanoid, yang dirancang untuk meniru fitur fisik dan gerakan manusia. Robot jenis ini menarik minat banyak peneliti, terutama dalam pengembangan ortosis dan prostetik manusia, karena potensinya untuk meniru gerakan dan tingkah laku manusia secara alami. Salah satu tantangan utama dalam pengembangan robot humanoid adalah merancang dan membangun tangan robot yang mampu mereplikasi tangan manusia. Tangan manusia sendiri merupakan mekanisme biologis yang sangat kompleks, terdiri dari 29 tulang, 34 otot, dan 123 ligamen yang bekerja sama untuk menghasilkan gerakan yang presisi dan bervariasi. Tantangan besar dalam meniru struktur dan fungsi tangan manusia menjadi fokus penelitian banyak ahli, terutama dalam membangun tangan robot menggunakan komponen mekanis.[1].

Pada kasus amputasi tangan dan penggunaan tangan prostetik, muncul tantangan lain, yaitu mentransfer informasi secara dua arah antara otak manusia dan tangan prostetik. Transfer informasi ini sangat penting agar tangan prostetik dapat bergerak secara natural sesuai keinginan pengguna. Meski demikian, tantangan ini belum sepenuhnya teratasi. Untuk mengurangi keterbatasan tersebut, penelitian terbaru mengusulkan penggunaan teknologi elektromiografi (EMG) sebagai solusi potensial. EMG menggunakan elektroda permukaan untuk mendeteksi sinyal listrik dari otot, yang kemudian digunakan untuk menggerakkan tangan prostetik. Teknologi ini memungkinkan seseorang yang diamputasi untuk mengontrol tangan prostetik dengan menggunakan sinyal dari otot sisa di lengan mereka.[2].

Walaupun teknologi tangan prostetik sudah cukup maju, masih ada tantangan besar, terutama dalam memberikan umpan balik sensorik yang alami. Desain yang memungkinkan adanya umpan balik sensorik yang konsisten masih jarang ditemui karena teknik yang matang belum sepenuhnya dikembangkan. Oleh karena itu,

diperlukan penelitian lebih lanjut untuk menciptakan sistem kendali tangan robot yang tidak hanya mampu meniru gerakan tangan manusia dengan sempurna, tetapi juga mengintegrasikan teknologi EMG agar tangan prostetik dapat dioperasikan secara efektif oleh penggunanya.[3].

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dilakukanlah penelitian dengan judul “Rancang Bangun Tangan Robot yang Dikendalikan Sinyal Emg Menggunakan Gerakan Lengan” Dalam penelitian ini dirancang dan dibuat alat berbentuk tangan robot yang nantinya akan digerakkan oleh sistem sensor otot berbasis EMG. Sistem ini diharapkan dapat meniru fungsi tangan manusia dengan lebih baik, serta menjadi solusi yang efektif dalam pengembangan prostetik yang lebih canggih dan responsif.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini, antara lain :

1. Bagaimana merancang dan membangun prototype sistem kendali untuk tangan robot?
2. Bagaimana EMG diterapkan untuk prototype sistem kendali tangan robot?

### **1.3 Batasan Masalah**

Pembatasan masalah pada penelitian ini meliputi.

1. Tangan robot tidak dapat digerakkan lateral jari dan derajat kebebasan yang lebih tinggi pada persendian jari. Dan gerakan hanya menggenggam dan melepas objek
2. Pengembangan tangan robot dengan perangkat keras menggunakan motor servo dan menggunakan EMG.
3. Pengembangan tangan robot menggunakan bahan Plastik PLA dengan teknologi 3D Printing
4. Perancangan sistem kendali menggunakan Arduino IDE

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari pembuatan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Membuat prototype sistem kendali tangan robot berbasis EMG.
2. Menganalisis sinyal hasil penerapan EMG pada sistem kendali tangan robot.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari perancangan ini adalah :

1. Untuk mengetahui perangkat keras mekanik dan elektronik untuk tangan robot.
2. Untuk mengetahui sistem kendali tangan robot dengan mikrokontroler yang digerakkan dengan EMG.

#### 1.6 Sistematika Penulisan

Dalam melakukan penelitian ini, metodologi yang terstruktur dengan baik digunakan untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif tentang bahan dan proses yang terlibat dalam penyelesaian proyek akhir. Kerangka kerja penelitian diuraikan sebagai berikut:

##### BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini mencakup beberapa bagian utama, termasuk latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi, struktur penulisan, dan relevansi.

##### BAB II : KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab ini menjelaskan tentang penelitian sebelumnya kemudian dasar teori yang nantinya menjadi dasar untuk penelitian ini

##### BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini mencakup beberapa bagian utama, termasuk latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi, struktur penulisan, dan relevansi.

**BAB IV : ANALISA DAN HASIL**

Bab ini menyajikan hasil yang diperoleh dari pengujian setiap blok sistem sebagai satu unit lengkap.

**BAB V : PENUTUP**

Bab ini membahas kesimpulan yang diambil dari analisis, menyoroti keterbatasan kinerja alat dan memberikan saran untuk perbaikan dan pengembangan di masa mendatang.



## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka ini menggunakan berbagai referensi dan berfungsi sebagai pembandingan dengan penelitian sebelumnya. Berikut ini adalah beberapa penelitian yang membahas judul atau topik serupa.

- (a) Penelitian yang berjudul **Perancangan Dan Implementasi Tangan Robot Buatan Dengan Menggunakan Elektromiogram** disusun oleh Ezra Meliora Nainggolan, Angga Rusdinar dan Unang Sunarya yang bertujuan mengganti tangan robotik dikembangkan yang beroperasi dengan menginterpretasikan sinyal otot menggunakan sensor elektromiogram (EMG), yang merekam data kontraksi otot. Desain tersebut menggabungkan motor servo, di mana kecepatan dan sudut dapat disesuaikan berdasarkan data gaya tangan selama tindakan mencengkeram dan mengangkat. Meskipun masih ada perbedaan desain, khususnya dalam pergeseran frekuensi batas untuk LPF dan HPF, kinerja keseluruhan memenuhi harapan. Sinyal elektromiogram diperkuat 500 kali, yang memungkinkan mikrokontroler memproses nilai ADC yang dihasilkan dan menggerakkan motor servo. Variasi gaya dan gerakan menghasilkan nilai ADC berkisar antara 500 hingga 800. Tangan robotik mencapai akurasi 80% dalam meniru gerakan tangan [4].
- (b) Penelitian yang berjudul **Prototyping of EMG-Controlled Prosthetic Hand with Sensory System** disusun oleh Ivan I. Borisov, Olga V. Borisova, Sergei V. Krivosheev, Roman V. Oleynik dan Stanislav S. Reznikov yang bertujuan tangan prostetik yang agak terintegrasi yang dilengkapi dengan mesin komentar untuk melakukan interferensi antara pria dan gadget. Sistem kontrol yang terintegrasi terdiri dari subsistem kontrol gerakan dan subsistem sensorik. Subsistem kontrol gerakan sangat penting karena merupakan subsistem sensorik untuk setiap orang yang diamputasi yang menggunakan tangan prostetik dan algoritma kontrolnya. Berkat banyaknya sensor, memungkinkan untuk memperoleh kontrol yang lebih tinggi pada falang dan, khususnya, ujung

jari. Untuk mendapatkan pemahaman tentang tekanan serakah tangan prostetik, perangkat umpan balik sensorik antara orang yang diamputasi dan alat diusulkan. Sensor tekanan mengirimkan fakta tentang gaya pegangan dekat dengan pengontrol, potensiometer, dan sensor efek koridor mengirimkan data tentang peran falang dan sudut sendi, sementara pengontrol mengubah sinyal tersebut menjadi intensitas getaran motor getar, peringatan suara yang diberikan dengan menggunakan speaker piezo tentang posisi tangan. Selain itu, informasi visual memudahkan orang yang diamputasi untuk memanipulasi tangan palsu. Motor getar terletak di permukaan lengan orang yang diamputasi dalam gelang unik. Oleh karena itu, masukan informasi bersama dengan tiga saluran fakta yang tidak memihak, membuat manipulasi tangan menjadi jauh lebih mudah. Melalui sinyal getaran, orang yang diamputasi mampu merasakan seberapa kuat ia memegang suatu barang [3].

- (c) Penelitian yang berjudul **Desain Dan Implementasi Lengan Robot Berbasis Electromyogram Untuk Orang Berkebutuhan Khusus** disusun Ardhan Dwi Meitrika Surachman, Mohammad Ramdhani, ST., MT., dan Rhamdan Nugraha, S.Pd., MT Metode yang digunakan dalam penelitian ini untuk mencatat aktivitas listrik yang dihasilkan otot rangka disebut elektromiografi. Untuk membuat elektromiogram (EMG), alat perekam sinyal yang dikenal sebagai elektromiograf digunakan dalam prosedur EMG. Dimungkinkan untuk membantu mereka yang memiliki kebutuhan unik dengan menggunakan strategi ini. untuk meningkatkan kualitas hidup. Pada tugas akhir ini dibuat bantuan gerakan tangan berbasis EMG untuk membantu individu berkebutuhan khusus dengan gerakan tangan tertentu. Elektroda merekam impuls otot tangan (bisept), yang diperkuat dan disaring oleh modul EMG. Sinyal yang dihasilkan berfungsi sebagai input mikrokontroler. Motor servo kemudian digerakkan oleh mikrokontroler sesuai dengan keadaan input yang ditentukan. Lengan robot bergerak dalam gerakan mengangkat ketika lengan terfleksi dan berkontraksi. Sedangkan lengan robot berjalan lurus sesuai dengan kondisi tangan saat melakukan ekstensor. Alat ini dapat berfungsi berdasarkan masukan dengan metode yang telah dijelaskan di atas, dan dapat

menghasilkan keluaran berupa gerakan lengan robot yang mudah digunakan. Hal ini ditunjukkan dengan nilai penguatan rata-rata modul EMG sebesar 825 kali lipat. Tingkat keberhasilan alat ini adalah 83,33% untuk penggunaan tangan fleksor dan 76,67% untuk penggunaan tangan ekstensor [2].

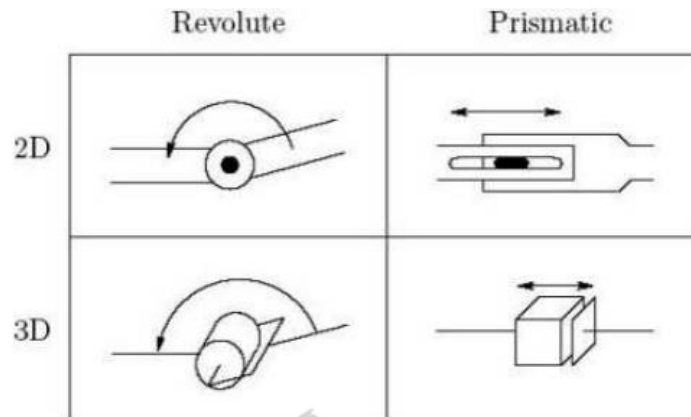
- (d) Penelitian yang berjudul **Pengkondisian Sinyal Electromyography Sebagai Identifikasi Jenis Gerakan Lengan Manusia** disusun Rizal Maulana dan Rekyan Regasari Mardi Putri Penelitian ini berfokus pada penggunaan sinyal biomedis, yaitu sinyal yang dihasilkan di dalam tubuh manusia dan berisi informasi tentang kondisi jaringan atau organ. Elektromiografi (EMG) merupakan salah satu teknik yang digunakan untuk merekam sinyal biomedis, khususnya untuk mengumpulkan informasi yang terkait dengan gerakan otot lengan. Sinyal EMG mencerminkan gerakan lengan, tetapi sinyal yang ditangkap oleh elektroda sering kali tercampur dengan derau dari berbagai sumber, sehingga menghasilkan deteksi yang kurang optimal. Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan sistem yang mampu membaca sinyal EMG dan menyaring derau. Dalam penelitian ini, dirancang rangkaian pengkondisian sinyal yang meliputi penguat instrumentasi, *High Pass Filter* (HPF), dan *Low Pass Filter* (LPF). Rangkaian ini memproses sinyal yang dideteksi oleh elektroda yang dipasang pada lengan manusia. Keluaran dari rangkaian pengkondisian sinyal disempurnakan lebih lanjut menggunakan filter eksponensial untuk memperoleh sinyal yang lebih bersih dan akurat. Sinyal yang diproses kemudian dianalisis amplitudonya untuk menentukan jenis gerakan lengan yang dilakukan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai amplitudo rata-rata untuk berbagai gerakan lengan adalah sebagai berikut: 0,166 V untuk lengan lurus, 0,588 V untuk posisi lengan 45°, 1,049 V untuk posisi lengan 90°, 1,367 V untuk posisi lengan 135°, dan 1,647 V untuk posisi lengan 180°. Sistem mencapai akurasi 86,67% dalam mengidentifikasi jenis gerakan lengan [5].

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Robot

Permintaan akan kecepatan dan presisi tinggi dalam manufaktur telah mendorong kemajuan teknologi di berbagai sektor, yang membutuhkan alat dengan akurasi dan presisi tinggi yang dapat beroperasi secara otomatis. Salah satu alat tersebut adalah robotika. Istilah "robotika" berasal dari kata Ceko "robota," yang berarti bekerja. Istilah ini pertama kali diperkenalkan oleh penulis fiksi ilmiah Czech, Karel Capek untuk menggambarkan "manusia" buatan berkaki dua yang dirancang untuk membantu tugas-tugas yang menuntut fisik [6]. Robot biasanya terdiri dari dua komponen utama: rangka dan manipulator. Manipulator adalah bagian yang berinteraksi langsung dengan objek atau target, sedangkan rangka, atau badan, meliputi struktur robot yang mendukung gerakan manipulator. Dengan demikian, robot dapat didefinisikan sebagai manipulator yang dapat diprogram ulang dan serbaguna yang dimaksudkan untuk menangani material, komponen, peralatan, atau perangkat khusus dengan menjalankan tugas melalui gerakan yang telah diprogram sebelumnya. Secara umum, tubuh robot dapat dibagi menjadi bagian-bagian utama, yaitu lengan (*link*) dan sendi (*joint*). Sendi menghubungkan lengan, dan bersama-sama membentuk rantai kinematik. Ada dua bentuk sendi yang paling umum, yaitu sendi putar dan sendi linier (*prismatic joint*) yang dapat diilustrasikan pada Gambar 2. 1. Pada rangka manusia, sendi putar merupakan jenis sendi yang paling umum. Jika kita perhatikan lengan atau siku, keduanya berputar seperti engsel pintu, yang mana satu sisi akan berputar pada titik pertemuan dan sisi lainnya tetap.

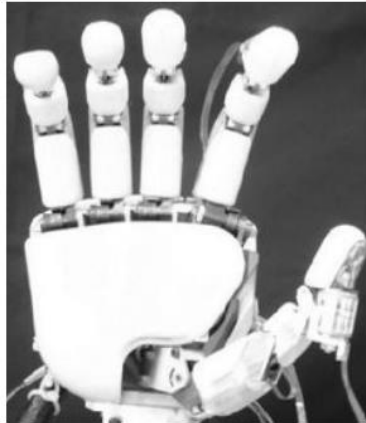




**Gambar 2. 1** Revolute dan prismatic.[7]

Robot dengan  $n$  sendi dapat memiliki  $n + 1$  segmen yang terhubung. Ada beberapa cara untuk mengklasifikasikan berbagai jenis lengan robot, tetapi salah satu metode yang paling berwawasan adalah dengan memeriksa derajat kebebasan (DoF) mereka. Gambar 2.1 menunjukkan robot dengan lima DoF dan efektor ujung berbentuk cakar. Dapat diamati bahwa robot ini memiliki lima sendi, masing-masing berpotensi menjadi sendi putar, dan enam segmen kaku.

Pada robot humanoid, manipulator dapat dirancang menyerupai tangan manusia, menawarkan tingkat fleksibilitas dan ketangkasan yang mirip dengan tangan manusia, sehingga lebih canggih dibandingkan dengan jenis manipulator lainnya. Gambar 2.2 mengilustrasikan tangan humanoid milik ASIMO, yang memiliki struktur mirip manusia dan dilengkapi dengan sensor taktil pada setiap ujung jari. Berdasarkan konsep tautan dan sendi pada robot, setiap jari dapat memiliki setidaknya 3 derajat kebebasan. Sensor taktil memungkinkan robot untuk mengukur jumlah gaya yang diberikan pada ujung jari saat menggenggam benda [8].



**Gambar 2. 2** Tangan humanoid ASIMO [8]

Banyak peneliti yang ingin mencetak tangan humanoid secara 3D terinspirasi oleh kemajuan teknologi pencetakan 3D, yang memungkinkan pencetakan tanpa bergantung pada bentuk yang telah ditentukan sebelumnya. Tim Pizarro telah mengerjakan proyek untuk mendesain tangan humanoid yang dicetak 3D sepenuhnya tanpa memerlukan perakitan. Mereka menggunakan printer 3D Objet Connex350, yang menggunakan teknologi pencetakan 3D multimaterial PolyJet. Bentuk manufaktur aditif ini menggunakan polimer yang diawetkan dengan sinar UV lapis demi lapis. Karena printer mendukung pencetakan multimaterial, "tulang" dan "kulit" tangan dapat diproduksi menggunakan resin *VeroWhitePlus* yang kaku dan resin *TangoBlack* yang fleksibel, seperti pada gambar 2. 3 [8].



**Gambar 2. 3** Desain Tangan Tim Pizarro [8]

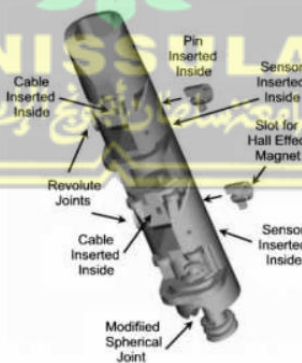
Literatur juga menyoroti studi yang difokuskan pada pencetakan 3D berbagai jenis sambungan tanpa melibatkan tangan manusia atau model yang diartikulasikan lainnya. Studi oleh Cali menyelidiki teknik untuk mengubah model jaring statis menjadi versi 3D yang dibagi menjadi bagian-bagian yang dapat dicetak dan

diartikulasikan yang tidak memerlukan perakitan. Namun, metode ini terbukti terutama berguna untuk membuat model "berpose", seperti pada Gambar 2. 4 [9].

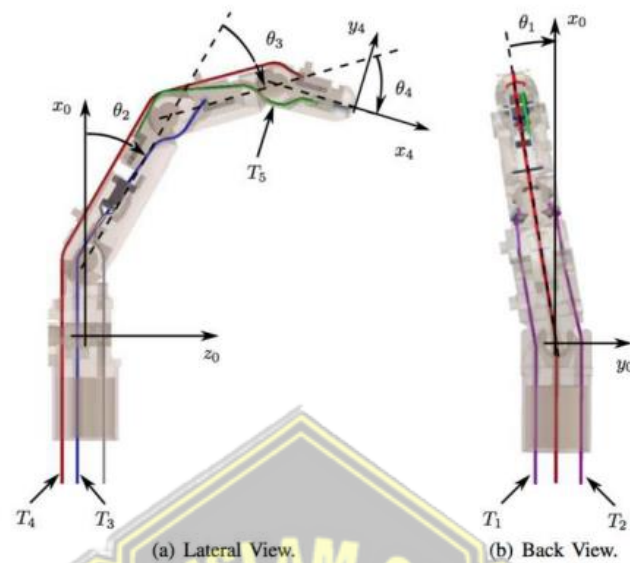


**Gambar 2. 4** Model Tangan Statis Dengan Metode Transformasi Cali [9]

Makalah De Laurentis meneliti metode untuk merancang langsung versi tangan humanoid yang dirender dalam bentuk 3D. Pendekatan ini mencakup slot untuk penempatan sensor, pegas beban untuk tegangan jari, dan sambungan kabel untuk memfasilitasi kontraksi, seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 2.5. Selain itu, pendekatan yang lebih berorientasi pada tata letak mekanis dirinci dalam penelitian Tim Borghesan, yang menampilkan model yang digerakkan oleh tendon yang memerlukan lima tendon per jari. Contoh desain ini terletak pada Gambar 2. 5 [9].



**Gambar 2. 5** Model Tangan *De Laurentis* [9]



**Gambar 2. 6** Desain tangan dari tim Borghesan [10]

Tim Borghesan menggunakan lima kabel tegangan untuk mencapai aktuasi yang sangat mirip dengan gerakan tangan manusia sungguhan. Dalam penelitian mereka, mereka secara khusus menggunakan kabel tegangan  $T_4$  dan  $T_3$ , seperti yang digambarkan pada Gambar 2.6, untuk memfasilitasi ekstensi dan kontraksi jari [10].

Pendekatan lain untuk mencetak lengan robotik yang kurang bertenaga melibatkan pengurangan jumlah aktuator daripada derajat kebebasan. Penelitian Raymond difokuskan pada pencetakan 3D tangan berjari empat hanya dengan satu aktuator, yang memungkinkan gripper untuk menangani berbagai macam objek geometris. Desain Raphael menciptakan tangan antropomorfik yang kurang bertenaga menggunakan bahan yang sesuai. Desain telapak tangan yang fleksibel memungkinkan ibu jari menyentuh ujung keempat jari lainnya.

### 2.2.2 Otot

Otot adalah jaringan yang mampu berkontraksi, sehingga memungkinkan terjadinya gerakan. Sistem otot terdiri dari tendon, jaringan otot, dan ligamen. Kontraksi otot menghasilkan tekanan yang cukup untuk menggerakkan organ-organ tubuh. Kontraksi ini dipicu oleh sinyal dari otak melalui neuron motorik dan serat otot, yang bersama-sama membentuk unit motorik. Setiap otot terdiri dari berbagai unit motorik dengan jenis serat yang berbeda. Neuron motorik menerima sinyal yang menyebabkan kontraksi dalam satu unit motorik. Ketegangan otot muncul dari kontraksi kelompok otot, dan penambahan beban akan meningkatkan kekuatan otot. Selain itu, energi otot dipengaruhi oleh lokasi dan jalur tekanan yang diberikan.

### 2.2.2 Gerakan Lengan

Gerakan otot biasanya melibatkan dua jenis tindakan utama berdasarkan karakteristik fungsionalnya: tindakan yang berlawanan (antagonis) dan gerakan simultan (sinergis). Pada otot yang berlawanan, satu otot berkontraksi sementara yang lain berelaksasi, yang mengakibatkan gerakan tulang. Ketika otot yang berkontraksi berelaksasi dan otot yang berlawanan berkontraksi, tulang kembali ke posisi semula. Contohnya adalah bicep dan trisep di lengan. Sebaliknya, otot sinergis adalah kelompok dua atau lebih otot yang bekerja sama untuk mencapai fungsi umum, seperti otot interkostal yang terlibat dalam pernapasan [11].

Beberapa jenis gerakan otot tubuh berhubungan dengan sifat aksi otot yang disebutkan sebelumnya:

a. Fleksi dan Ekstensi

Fleksi adalah gerakan yang memperkecil sudut antara dua bagian tubuh, seperti menekuk lutut, siku, atau jari. Di sisi lain, ekstensi adalah gerakan yang memperbesar sudut antara bagian tubuh, sehingga secara efektif meluruskan lutut, siku, atau jari.

b. Abduksi dan Adduksi

Abduksi adalah gerakan bagian tubuh menjauhi garis tengah tubuh, seperti mengangkat lengan atau kaki ke samping. Adduksi adalah gerakan bagian tubuh ke arah garis tengah tubuh, seperti membawa lengan atau kaki kembali ke pusat tubuh. Contohnya termasuk menggerakkan kaki terpisah saat melangkah atau melambaikan tangan dari sisi ke sisi.

c. Depresi dan Elevasi

Depresi mengacu pada gerakan yang menurunkan bagian tubuh, sedangkan elevasi melibatkan gerakan menaikkan bagian tubuh. Misalnya, depresi dapat terlihat saat bahu diturunkan, dan elevasi terlihat saat bahu diangkat. Contoh yang melibatkan otot-otot di mulut adalah membuka dan menutup mulut, di mana depresi terjadi saat mulut terbuka dan elevasi terjadi saat mulut tertutup.

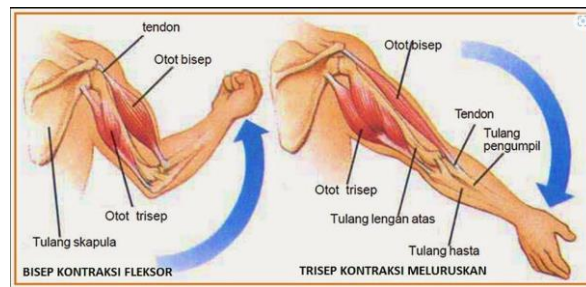
d. Supinasi dan Pronasi

Supinasi adalah gerakan memutar lengan sehingga telapak tangan menghadap ke atas atau ke depan. Sebaliknya, pronasi adalah gerakan memutar lengan sehingga telapak tangan menghadap ke bawah atau ke belakang.

e. Inversi dan Eversi

Inversi adalah gerakan yang memiringkan telapak kaki ke dalam, ke arah garis tengah tubuh. Eversi adalah gerakan yang memiringkan telapak kaki ke luar, menjauh dari garis tengah.

Salah satu gerakan yang difasilitasi oleh jaringan otot lengan, yang melibatkan bicep dan trisep, adalah gerakan ekstensi-fleksi. Gerakan ini melibatkan gerakan menekuk dan meluruskan: gerakan ayunan ke depan disebut sebagai antefleksi, sedangkan ayunan ke belakang disebut retrofleksi atau ekstensi.



**Gambar 2. 7** Gerakan lengan ekstensi-fleksi [5]

### 2.2.3 Elektromiografi (EMG)

Elektromiografi (EMG) adalah metode yang digunakan untuk mengukur dan merekam aktivitas listrik yang dihasilkan oleh sinyal otot. EMG adalah alat perekam bioelektrik yang membantu menilai aktivitas otot motorik. Jaringan otot motorik, sejenis otot lurik, memainkan peran penting dalam menggerakkan kerangka dan dicirikan oleh kontrol sukarela. Tidak seperti otot otomatis, otot motorik memerlukan rangsangan dari otak, yang disalurkan melalui saraf, dan aktivitasnya dipengaruhi oleh niat individu [12].

EMG dilakukan menggunakan alat yang disebut elektromiograf, yang menghasilkan rekaman yang dikenal sebagai elektromiogram. Proses ini mendeteksi potensi listrik yang dihasilkan oleh sel otot saat diaktifkan baik secara elektrik maupun neurologis. EMG adalah teknik yang difokuskan pada perekaman sinyal mioelektrik, yang muncul dari perubahan fisiologis di daerah membran serat otot.

EMG biasanya direkam menggunakan elektroda yang dipasang pada permukaan kulit atau, lebih sering, elektroda jarum yang dimasukkan langsung ke otot. Elektroda permukaan dapat sekali pakai, berpelekat, atau dapat digunakan kembali dan mengukur tegangan yang dihasilkan oleh kontraksi serat otot. Teknik EMG yang paling banyak digunakan adalah Elektromiografi Permukaan, metode non-invasif yang merekam aktivitas listrik jaringan otot selama kontraksi dan relaksasi.

#### 2.2.4 Elektroda

Sensor elektroda yang dipasang pada kulit dan pori-pori dirancang untuk mendeteksi biolistrik yang dipancarkan oleh tubuh manusia melalui area tersebut. Dalam rangkaian listrik, arus listrik dibawa oleh elektron, sedangkan di dalam tubuh, arus listrik dibawa oleh ion dalam elektrolit. Elektroda berfungsi sebagai transduser, yang mengubah arus ion menjadi arus elektron. Hal ini memungkinkan elektroda berfungsi sebagai pemancar ion ke saluran ion.

Ada dua jenis elektroda utama yang digunakan untuk mendeteksi sinyal mioelektrik: elektroda invasif dan non-invasif. Elektroda invasif, seperti elektroda jarum, dimasukkan langsung ke dalam otot. Elektroda non-invasif, di sisi lain, dipasang pada permukaan kulit atau pori-pori, sehingga populer karena sifatnya yang tidak merusak. Contoh elektroda non-invasif adalah elektroda Ag|AgCl dasar.

Elektroda permukaan yang digunakan untuk mendeteksi sinyal mioelektrik harus memiliki karakteristik khusus. Elektroda tersebut harus tidak terpolarisasi untuk mencegah polarisasi selama pengukuran. Elektroda Ag|AgCl dianggap aman karena tidak melepaskan polutan saat bersentuhan dengan kulit. Selain itu, elektroda tersebut harus memiliki sifat perekat, yang memastikan daya rekat yang baik pada kulit untuk meminimalkan artefak gerakan. Elektroda ini juga memiliki kemampuan offset yang sangat rendah, yang berkontribusi pada pembacaan yang lebih akurat.

Jenis elektroda ini memiliki lapisan AgCl yang diendapkan pada basa Ag. Ion klorida (Cl) dalam elektrolit dan lapisan AgCl dapat diubah menjadi aliran elektron di pelat Ag dan kawat penghubung. Banyak elektroda kontemporer yang menggabungkan lapisan elektrolit gel padat, yang memberikan sifat perekat dan stabilitas.



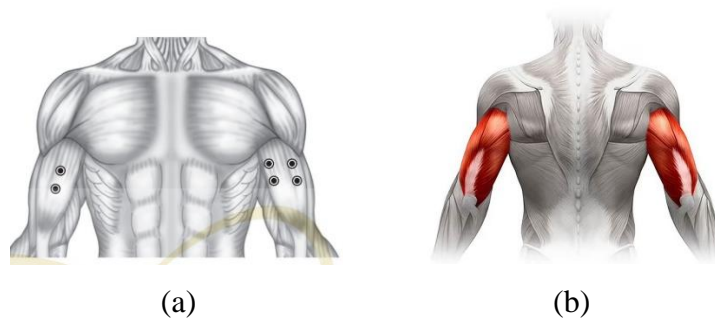


**Gambar 2. 8** Elektroda Permukaan Ag|AgCl[11]

Elektroda biasanya ditempatkan langsung pada otot yang diinginkan dengan menempelkannya ke permukaan kulit untuk mendeteksi sinyal gerakan otot. Dalam deteksi sinyal mioelektrik, tiga elektroda digunakan: dua diposisikan pada daerah otot dengan impedansi tinggi, dan satu ditempatkan pada daerah dengan impedansi rendah. Sinyal yang ditangkap oleh elektroda ini menggambarkan aktivitas listrik gabungan dari daerah yang dicakupnya. Karena kontraksi dan relaksasi otot di daerah tersebut tidak terjadi secara bersamaan, sinyal yang terekam tampak acak. Selain itu, salah satu elektroda berfungsi sebagai ground, terhubung ke daerah dengan resistansi tubuh rendah, seperti jari kaki atau telinga.

Terdapat beberapa metode untuk mendeteksi penempatan elektroda, yaitu monopolar dan bipolar. Deteksi monopolar paling efektif melibatkan satu elektroda aktif dan memberikan catatan tentang perubahan potensial di dalam lokasi deteksi. Pendekatan deteksi ini mengharuskan elektroda kedua diposisikan pada lokasi aktif termasuk pergelangan tangan atau kaki. Deteksi bipolar, dua elektroda ditempatkan pada jarak tertentu sehingga terdapat perbedaan kemampuan di antara kedua elektroda. Perbedaan kemampuan ini menghilangkan noise sehingga sinyal dengan kualitas yang lebih baik diterima.

Adapun letak pemasangan elektroda Ag|AgCl pada otot biceps brachii dan otot triceps brachii seperti pada Gambar 2.9 (a) dan Gambar 2.9 (b) berikut ini.



**Gambar 2. 9** (a) Letak elektroda pada otot triceps brachii, (b) Letak elektroda pada otot biceps brachii [12]

### 2.2.5 Penguatan Elektromiograf

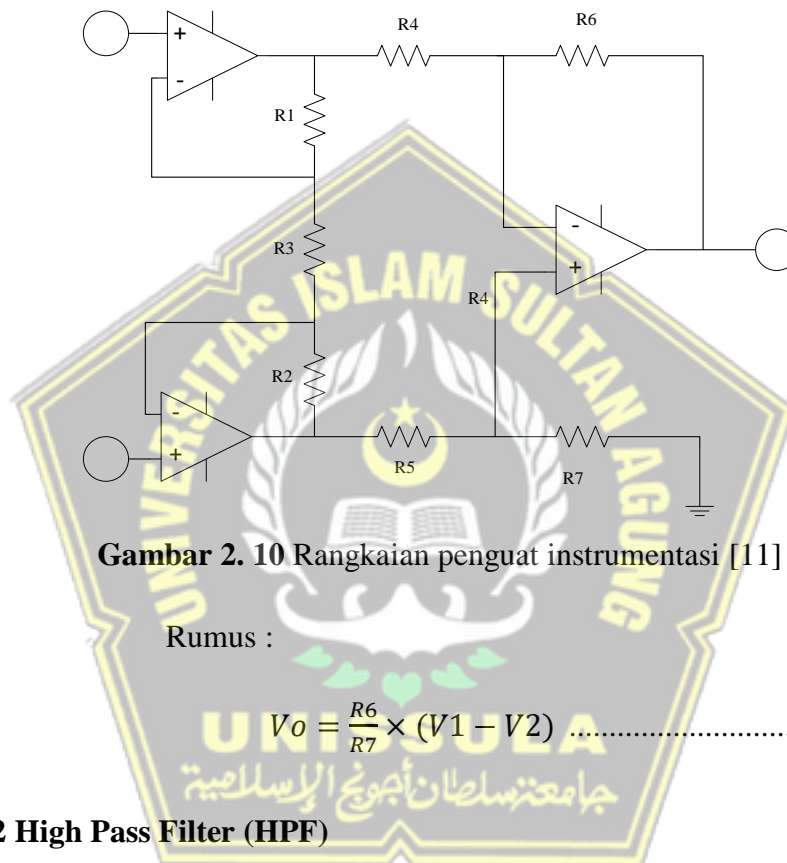
Sinyal elektromiograf (EMG) ditangkap dari elektroda yang dipasang pada lengan manusia. Sinyal ini biasanya berada dalam rentang mikrovolt dan memerlukan amplifikasi untuk pengukuran yang akurat. Untuk mencapai hal ini, digunakan sistem amplifikasi elektromiograf, yang mencakup penguat instrumentasi beserta High Pass Filter (HPF) dan Low Pass Filter (LPF).

#### 2.2.5.1 Penguat Daya / Op Amp

Penguat instrumentasi adalah penguat diferensial khusus yang dikenal karena impedansi masukannya yang tinggi dan keluaran yang terisolasi. Penguat ini secara khusus dirancang untuk memperkuat sinyal diferensial yang sangat kecil. Tidak seperti penguat diferensial konvensional, yang mengandalkan umpan balik resistif eksternal untuk menentukan penguatan loop tertutup, penguat instrumentasi menggunakan resistor umpan balik internal. Umpan balik internal ini secara efektif diisolasi dari terminal masukan, yang menerima sinyal masukan melalui dua masukan diferensial, V1 dan V2 [11].

Penguat instrumentasi memiliki parameter kunci yang dikenal sebagai Common Mode Rejection Ratio (CMRR). CMRR mengukur seberapa efektif penguat menolak sinyal yang umum untuk kedua input. Ini didefinisikan sebagai rasio antara gain diferensial (memperkuat perbedaan antara input) dan gain mode

umum (memperkuat sinyal yang umum untuk kedua input). Idealnya, penguat instrumentasi akan memiliki CMRR tak terbatas, tetapi dalam praktiknya, op-amp biasanya memiliki CMRR sekitar 4200 dB. Interferensi atau noise yang memengaruhi kedua input secara merata diminimalkan oleh rasio ini. Jika tegangan input  $V_1$  dan  $V_2$  sama, tegangan output ideal ( $V_{Output}$ ) harus 0 Volt. Gambar 2.10 mengilustrasikan rangkaian penguat instrumentasi [11].



**Gambar 2. 10** Rangkaian penguat instrumentasi [11]

Rumus :

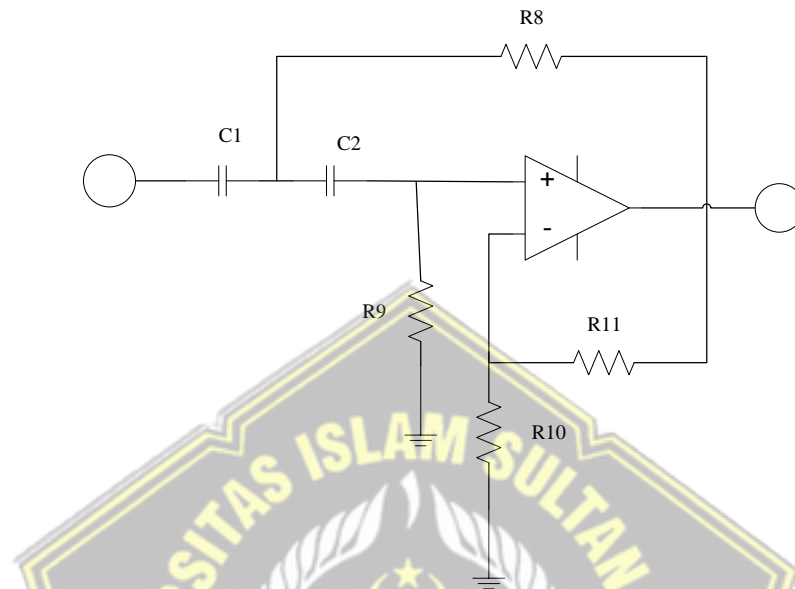
$$V_o = \frac{R_6}{R_7} \times (V_1 - V_2) \dots\dots\dots(2.1)$$

### 2.2.5.2 High Pass Filter (HPF)

*High Pass Filter* dirancang untuk menghilangkan komponen frekuensi rendah dari sinyal sekaligus membiarkan frekuensi yang lebih tinggi lewat. Filter ini bekerja dengan meredam amplitudo sinyal di bawah frekuensi batas tertentu, sementara frekuensi di atas batas ini dibiarkan lewat dengan redaman minimal.. [11]

Dalam rangkaian EMG, sinyal otot menjangkau rentang frekuensi yang luas, yang berpotensi mencapai ratusan Hz. Akan tetapi, informasi yang paling relevan terkandung dalam rentang frekuensi yang lebih sempit, yaitu 1,5 hingga 5 Hz. Akibatnya, *High Pass Filter* (HPF) harus dirancang dengan frekuensi batas

1,5 Hz untuk menyaring derau frekuensi rendah secara efektif. Rangkaian HPF yang digunakan dalam filter penguatan EMG adalah filter high-pass aktif orde kedua, seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 2. 11 [11].



Gambar 2. 11 Rangkaian *High Pass Filter* orde [11]

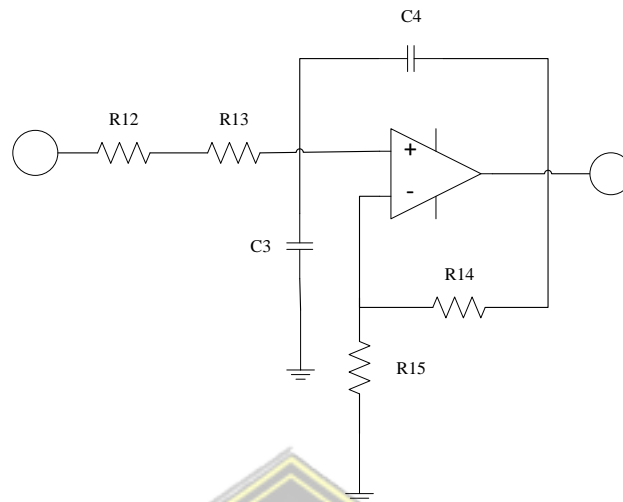
Rumus :

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_{10} C_2} \dots \dots \dots (2.2)$$

### 2.2.5.3 Low Pass Filter (LPF)

Rangkaian *Low Pass Filter* (LPF) digunakan untuk membuang komponen frekuensi tinggi dari suatu sinyal sambil membiarkan komponen frekuensi rendah lewat. Rangkaian ini melewatkan amplitudo sinyal dengan frekuensi di bawah frekuensi batas tertentu dan meredam sinyal dengan frekuensi di atas frekuensi batas tersebut.

Mengingat frekuensi sinyal otot terbatas pada kisaran 1,5 Hz hingga 5 Hz, *Low Pass Filter* (LPF) harus dirancang dengan frekuensi batas 5 Hz. LPF ini akan secara efektif menghilangkan frekuensi yang lebih tinggi dari 5 Hz. Rangkaian LPF yang digunakan untuk pemrosesan sinyal EMG adalah filter low-pass aktif orde kedua, seperti yang digambarkan pada Gambar 2.12 [11].



**Gambar 2. 12** Rangkaian Low Pass Filter orde 2 [11]

Rumus

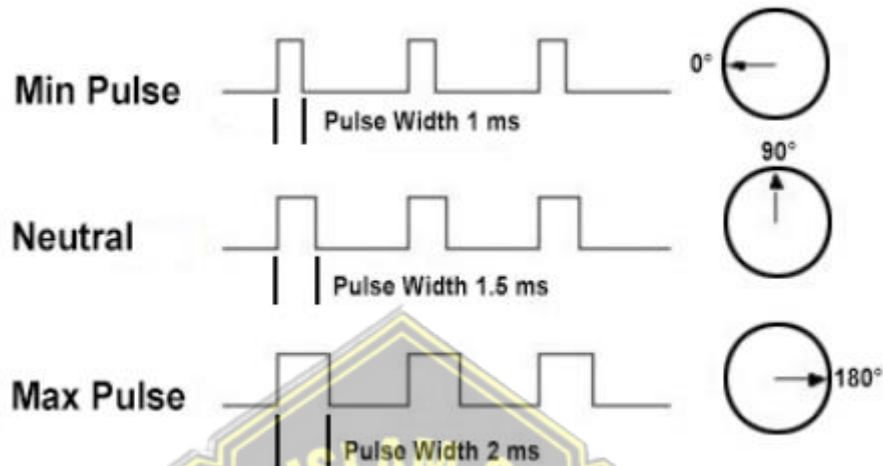
$$f_{cf} = \frac{1}{2\pi R_{15} C_3} \dots \dots \dots (2.3)$$

### 2.2.6 Servo

Servo adalah motor listrik dengan sistem kontrol loop tertutup, di mana posisi motor terus-menerus diumpankan kembali ke sirkuit kontrol untuk menyesuaikan poros keluaran secara tepat ke posisi yang diinginkan. Servo bertindak sebagai aktuator yang menyediakan torsi tinggi dan biasanya dilengkapi dengan serangkaian roda gigi untuk memperkuat torsi dan mengurangi kecepatan rotasi (diukur dalam putaran per menit atau rpm). Komponen utama servo meliputi motor DC, rangkaian roda gigi, potensiometer, dan unit kontrol digital. Potensiometer mengukur sudut rotasi poros, dan sistem kontrol digital menyesuaikan posisi poros berdasarkan sinyal yang masuk. Motor DC mengubah energi listrik menjadi energi mekanik, dengan satu medan magnet yang dibuat oleh magnet permanen dan yang lainnya oleh arus yang mengalir melalui kumparan motor. Interaksi medan magnet ini menghasilkan torsi, yang menggerakkan rotasi motor.

Motor servo dikontrol melalui sinyal modulasi lebar pulsa (PWM), di mana lebar pulsa menentukan sudut putaran poros. Misalnya, lebar pulsa 1,5 milidetik (ms) memposisikan poros motor servo pada sudut 90 derajat. Lebar pulsa yang lebih pendek dari 1,5 ms menggerakkan poros ke posisi 0 derajat (berlawanan arah

jarum jam), sedangkan lebar pulsa yang lebih panjang dari 1,5 ms memutar poros ke posisi 180 derajat (searah jarum jam).



**Gambar 2. 13** Sinyal PWM pada servo [7]

Saat sinyal PWM diberikan, poros servo bergerak ke posisi yang ditentukan dan tetap di sana. Jika gaya eksternal mencoba mengubah posisi poros, sistem kontrol loop tertutup dalam servo bekerja untuk melawan tekanan ini menggunakan mekanisme internalnya. Namun, untuk menjaga poros motor servo pada posisi yang diinginkan secara konsisten, sinyal PWM harus diperbarui setiap 20 milidetik. Tanpa sinyal periodik ini, servo mungkin tidak mempertahankan posisinya secara akurat.

Terdapat 2 macam servo, yaitu servo putaran posisional dan servo putaran non-stop. Servo putaran fungsi merupakan servo yang paling umum mempunyai poros putar setengah lingkaran (0 - 180 derajat).

### 2.2.7 Arduino Uno

Arduino Uno adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega328. Papan ini memiliki 14 pin input/output digital, yang 6 di antaranya dapat digunakan untuk output PWM, dan 6 pin input analog. Papan ini mencakup osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, jack daya, header ICSP, dan tombol reset. Papan ini dapat diberi

daya dengan menghubungkannya ke komputer melalui kabel USB atau menggunakan adaptor AC-ke-DC atau baterai [13].

Masing-masing dari 14 pin digital pada Arduino Uno dapat berfungsi sebagai input atau output. Hal ini dikelola menggunakan fungsi `pinMode()`, `digitalWrite()`, dan `digitalRead()`. Pin-pin ini beroperasi pada 5 volt, dapat mengalirkan atau menerima arus maksimum 40 mA, dan menyertakan resistor pull-up (yang terputus secara default) dengan resistansi 20-50 kOhm [13].

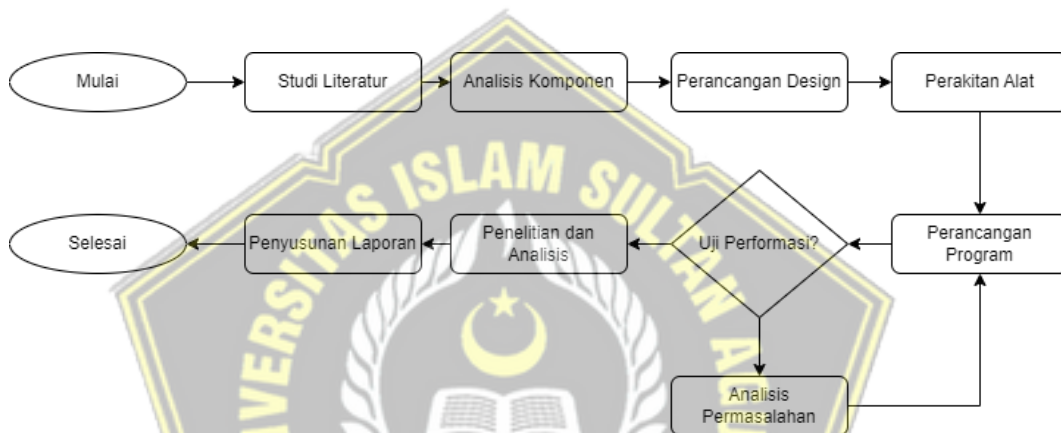
**Tabel 2. 1** Spesifikasi Arduino Uno [13]

Mikrokontroler	ATmega 328
Tegangan Pengoperasian	5 V
Tegangan Input yang disarankan	7 – 12 V
Batas Tegangan Input	6 - 20 V
Jumlah pin I/O digital	14 pin digital (6 diantaranya menyediakan keluaran PWM)
Jumlah pin input Analog	6 pin
Arus DC tiap pin I/O	40 mA
Arus DC untuk pin 3,3 V	50 mA
Memori Flash	32 KB (ATmega328) sekitar 0,5 KB digunakan oleh bootloader
SRAM	2 KB (ATmega 328)
EPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Kegiatan penelitian dilakukan melalui beberapa tahap yaitu melakukan studi literatur, analisis komponen, desain konsep, perakitan alat, pengawasan, tes kinerja, penelitian dan membuat laporan. Gambar 3.1 mengilustrasikan flowchart pelaksanaan penelitian tugas akhir.



**Gambar 3. 1** Flowchart Penelitian Tugas Akhir

Penjelasan dari Gambar 3.1 yaitu bagaimana nantinya pembuatan dari penelitian akhir tentang pembuatan tangan prostetik yang dikendalikan sinyal emg menggunakan gerakan lengan langkah-langkah sebagai berikut

a. Studi literatur

Tujuan studi pustaka adalah untuk mengumpulkan informasi dan meninjau teori-teori mendasar yang relevan dari buku-buku, jurnal ilmiah, atau manual yang terkait dengan penelitian yang sedang berlangsung.

b. Analisis komponen

Analisis komponen melibatkan pemeriksaan komponen-komponen yang diperlukan untuk mengembangkan tangan prostetik yang dikendalikan sinyal emg menggunakan gerakan lengan. Setelah studi literatur, analisis



komponen dilakukan untuk menyusun daftar komponen yang diperlukan, yang kemudian dibeli.

c. Desain Konsep

Setelah komponen-komponen yang diperlukan diperoleh, langkah selanjutnya adalah merancang prototipe tangan prostetik yang dikendalikan sinyal emg.

d. Perakitan alat

Perakitan alat dilakukan setelah desain yang dirancang telah sesuai dan pembuatan program dari komponen yang dapat bekerja otomatis.

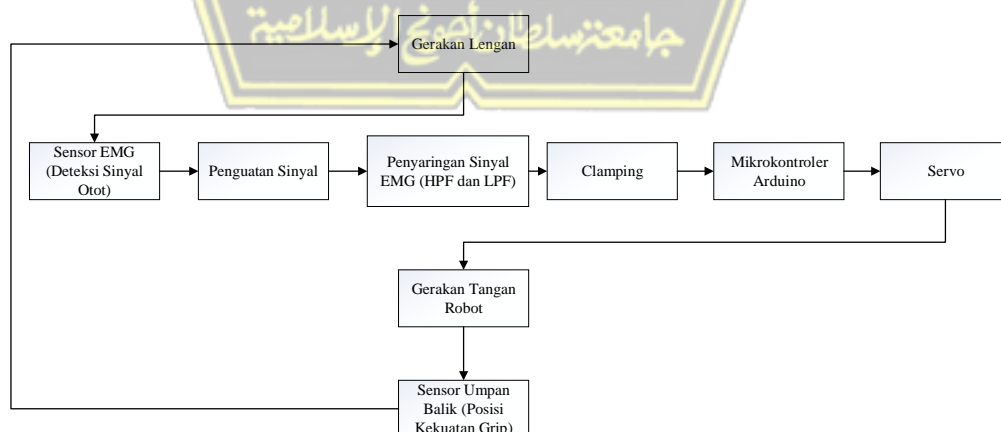
e. Uji Performa

Mengevaluasi performa alat yang telah dirakit. Jika performa tidak memuaskan, lanjut ke langkah Perancangan Program. Jika performa memuaskan, lanjut ke langkah Penelitian dan Analisis

f. Penelitian dan Analisis

Setelah dilakukan pengujian dan analisis, diperoleh data untuk menilai apakah prototipe sistem tangan prostetik yang dikendalikan sinyal emh dapat beroperasi secara optimal dan mengevaluasi efisiensi sistem pengaman ini. Selanjutnya dilakukan pembahasan berdasarkan data yang diperoleh.

### 3.2 Prinsip Kerja / Sistem Model



**Gambar 3. 2** Blok Diagram Prinsip Kerja

Pada Gambar 3.2 dijelaskan pertama elektroda dipasang pada lengan pada bagian bisep lalu mencoba menggerakkan lengan menghasilkan agar aktivitas otot yang memproduksi sinyal listrik. Lalu Sensor EMG mendeteksi sinyal listrik yang dihasilkan oleh otot saat menggerakkan lengan. Sinyal listrik yang ditangkap oleh sensor EMG diperkuat untuk meningkatkan amplitudo sehingga lebih mudah diproses di tahap berikutnya. Sinyal yang diperkuat kemudian disaring menggunakan High-Pass Filter (HPF) dan Low-Pass Filter (LPF) untuk menghilangkan noise dan komponen frekuensi yang tidak diinginkan. Setelah menghilangkan noise masuk tahap Clamping, ini proses penyesuaian atau pembatasan sinyal, agar sinyal yang masuk ke mikrokontroler tetap dalam rentang yang sesuai. Mikrokontroler Arduino memproses sinyal yang diterima, menginterpretasikan sinyal ini untuk menghasilkan perintah kontrol yang sesuai. Arduino kemudian mengirimkan perintah ini ke servo. Servo menerima perintah dari Arduino dan menggerakkan mekanisme tangan robot sesuai dengan perintah yang diterima. Tangan robot melakukan gerakan fisik sesuai dengan perintah yang diterima dari servo, yang berdasarkan pada sinyal EMG yang diproses oleh mikrokontroler Arduino. Pada tangan robot akan mengukur kekuatan grip dan memberikan sudut aktuator, memberikan informasi umpan balik mengenai status gerakan yang sedang dilakukan. Setelah menyesuaikan gerakan tangan robot. Mikrokontroler Arduino memproses umpan balik ini untuk memperbaiki dan menyesuaikan perintah gerakan berikutnya. Berdasarkan umpan balik yang diterima, sistem melakukan penyesuaian secara real-time untuk meningkatkan akurasi dan responsivitas gerakan tangan robot.

### **3.3. Desain Tangan Robot**

Dalam mendesain tangan robot, metode tradisional melibatkan penggunaan perangkat lunak gambar teknik atau alat CAD, yang dapat memakan waktu dan memerlukan keterampilan khusus. Untuk mempercepat proses, Anda dapat menggunakan versi perangkat lunak alternatif yang tersedia gratis untuk umum dan memulai pengembangan dari sana. Pendekatan ini dapat membantu menyederhanakan proses desain. Seperti Gambar 3. 3.



**Gambar 3. 3** Tangan Robot rakitan InMoov [14]

Tangan robotik, yang didasarkan pada model InMoov, memungkinkan kontrol gerakan jari yang presisi dengan menggerakkan masing-masing jari secara individual menggunakan tendon untuk kontraksi dan ekstensi. Dengan menggabungkan motor servo dan memungkinkan integrasi sensor, kontrol yang lancar atas gerakan tangan dan tekanan yang diberikan dipastikan. Desain seukuran aslinya memudahkan pengangkatan benda berat, karena meniru proporsi tangan manusia dewasa dengan susunan sendi yang lengkap. Hal ini diilustrasikan dalam Gambar 3.4.



**Gambar 3. 4** Mekanika tangan robot [14]

Komponen merah adalah sendi jari-jari, dan dapat menggunakan servo pada setiap sendi untuk memindahkan masing-masing bagian jari. Akan tetapi, skala jari-jari sangat kecil dan untuk mendapatkan servo kecil dengan torsi tinggi bisa jadi harganya sangat mahal. Akibatnya, diperlukan metode alternatif untuk mendapatkan gaya yang cukup pada ujung jari guna melakukan gerakan menggenggam [14].

Dengan menggunakan sistem katrol, tekanan dapat disalurkan melalui tali, yang mengubah gaya putar servo menjadi tegangan tali. Dalam pengaturan ini, servo, yang ditunjukkan pada Gambar 3.5 (a), menarik tali yang diikatkan pada falang distal. Ketika servo berputar searah jarum jam, ia menarik tali, yang menciptakan tegangan yang menyebabkan jari menekuk atau berkontraksi, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3.5 (b). Sebaliknya, memutar servo berlawanan arah jarum jam menyebabkan jari lurus atau tetap di tempatnya. Teknik tegangan tali ini memungkinkan servo diposisikan di area lengan bawah, yang memungkinkan penggunaan servo berukuran sedang.



(a)

(b)

**Gambar 3.5** (a) Jari tangan robot kondisi relaksasi, (b) Kondisi kontraksi [1]

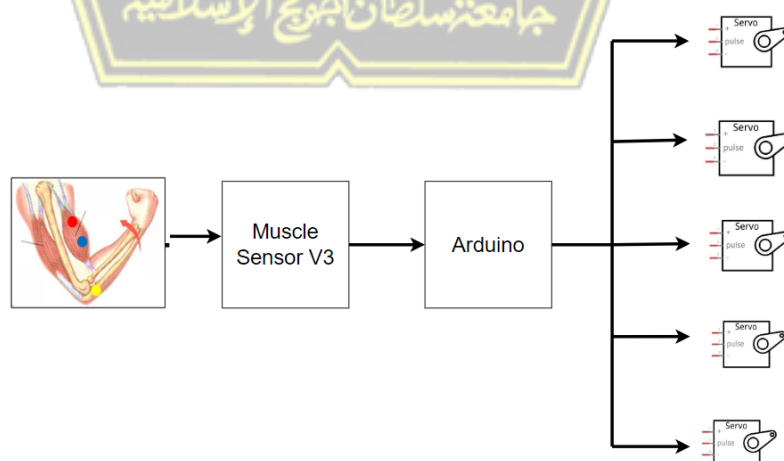
### 3.4 Pengambilan Sinyal EMG

Proses pengambilan sinyal EMG dimulai dengan pemasangan elektroda pada bagian lengan atas dan bawah untuk mendeteksi aktivitas listrik yang dihasilkan oleh kontraksi otot. Sinyal yang dihasilkan oleh elektroda ini kemudian diperkuat menggunakan rangkaian penguat untuk memastikan sinyal memiliki amplitudo

yang memadai untuk diproses lebih lanjut. Setelah itu, sinyal diperhalus melalui proses filtrasi menggunakan High-Pass Filter (HPF) dan Low-Pass Filter (LPF) guna menghilangkan noise dan komponen frekuensi yang tidak diinginkan. Tahapan berikutnya adalah clamping, yaitu pembatasan sinyal ke dalam rentang yang sesuai sebelum akhirnya sinyal tersebut diteruskan ke mikrokontroler Arduino. Sinyal yang sudah diproses ini kemudian ditampilkan secara real-time melalui **Serial Plotter** untuk dianalisis lebih lanjut.

### 3.5 Perancangan Perangkat Keras

Perangkat elektronik untuk pembuatan tangan robot membutuhkan beberapa komponen utama, yaitu servo motor, sensor Muscle V3, dan mikrokontroler Arduino. Servo motor berfungsi untuk menggerakkan bagian-bagian mekanik tangan robot, memungkinkan gerakan yang presisi dan terkendali. Sensor Muscle V3 digunakan untuk mendeteksi sinyal listrik dari otot (sinyal EMG) yang kemudian diterjemahkan menjadi perintah gerakan oleh sistem. Mikrokontroler Arduino bertindak sebagai otak dari sistem, mengolah data dari sensor dan mengontrol servo motor sesuai dengan sinyal yang diterima, sehingga tangan robot dapat bergerak sesuai dengan gerakan otot pengguna. Kombinasi dari komponen-komponen ini memungkinkan tangan robot untuk beroperasi secara efisien dan responsif, meniru gerakan tangan manusia dengan akurasi yang tinggi.

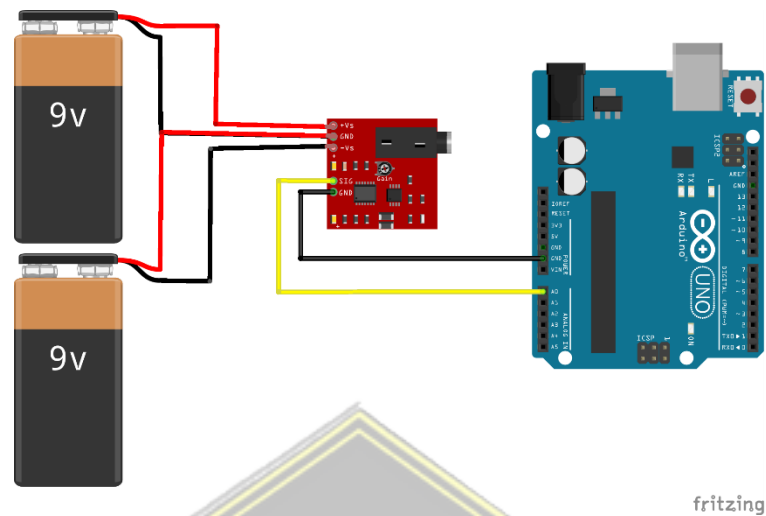


**Gambar 3. 6** Blok Diagram Sistem Rangkaian Prototype

Pada Gambar 3.6 dijelaskan elektroda akan dipasang pada lengan lalu dari gerakan atau aktivitas lengan akan menghasilkan sebuah sinyal EMG dari sinyal itu akan dikirim ke muscle sensor v3. Sensor ini berfungsi untuk menangkap sinyal EMG dan mengubahnya menjadi sinyal listrik yang dapat diproses oleh Arduino. Sinyal otot akan direkam menggunakan sensor otot (EMG) yang ditempatkan pada lengan atas dan lengan bawah. Sensor di lengan atas mendeteksi aktivitas otot bicep, sementara sensor di lengan bawah mencatat gerakan otot yang terkait dengan pergelangan tangan. Saat tangan menggenggam atau membuka, serta saat bicep bergerak naik atau turun, kedua sensor akan menangkap sinyal listrik yang dihasilkan oleh kontraksi dan relaksasi otot. Arduino akan mengonversi sinyal analog dari sensor menjadi data digital yang dapat ditampilkan melalui perangkat lunak monitoring, seperti Serial Monitor pada Arduino IDE. Data ini akan diolah dan divisualisasikan dalam bentuk grafik yang menunjukkan pola perubahan sinyal otot selama gerakan menggenggam, membuka tangan, serta gerakan pada otot bicep dan lengan bawah. Data ini sudah melalui penguatan yang nantinya akan di filter dan juga di clamping. Arduino bertugas menginterpretasikan sinyal EMG dan menghasilkan sinyal kendali untuk menggerakkan servo motor. Servo motor ini menerima sinyal kendali dari Arduino untuk menghasilkan gerakan mekanis. Setiap servo motor akan menggerakkan bagian tertentu dari tangan prostetik sesuai dengan sinyal EMG yang diterima dari otot.

### 3.5.1 Perancangan Muscle Sensor V3

Untuk mengukur aktivitas otot melalui potensi listrik, proyek akhir ini menggunakan Muscle Sensor V3. Sensor ini menggabungkan komponen AD8221 dan TL084 untuk memproses sinyal EMG. Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3.7, sensor ini ditenagai oleh sumber  $\pm 9$  volt. Modul ini memberikan penguatan sebesar 207 kali. Output dari sensor ini sudah dalam bentuk digital, sehingga siap untuk diproses langsung oleh mikrokontroler [15].

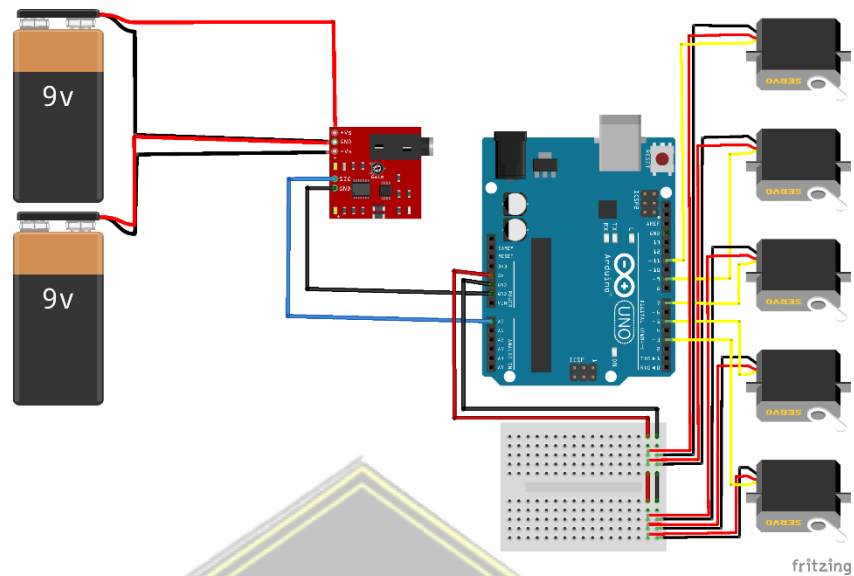


**Gambar 3. 7** Rangkaian Sensor Muscle V3

Pada Gambar 3.7 dijelaskan rangkaian sensor muscle V3 pada sensor muscle V3 memiliki 5 Pin yaitu +VS, GND, -VS, SIG, dan GND. Pada 3 PIN diatas yaitu +VS, GND, dan -VS dihubungkan pada 2 baterai 9V. Untuk 2 PIN dibawah yaitu SIG dan GND itu dihubungkan pada Arduino untuk PIN SIG dihubungkan ke A0 dan GND dihubungkan pada GND.

### 3.5.2 Perancangan Pemroses

Arduino berfungsi sebagai otak dari sistem elektronik, mengolah data dari sensor dan mengendalikan komponen lain seperti servo motor dengan menjalankan program yang telah diunggah. Sebagai mikrokontroler yang dapat diprogram, Arduino menerima input dari berbagai perangkat dan membuat keputusan berdasarkan logika yang telah ditetapkan dalam kode, sehingga memungkinkan interaksi yang kompleks dan otomatisasi dalam berbagai aplikasi.



**Gambar 3. 8** Pin Input dan Pin Output Arduino Uno

Pada Gambar 3.8 dijelaskan pada pin yang dipasang pada arduino yaitu pin A0 dan GND adalah Input sensor otot dan pada pin 3, 5, 7, 9, dan 11 yaitu pin untuk output servo.

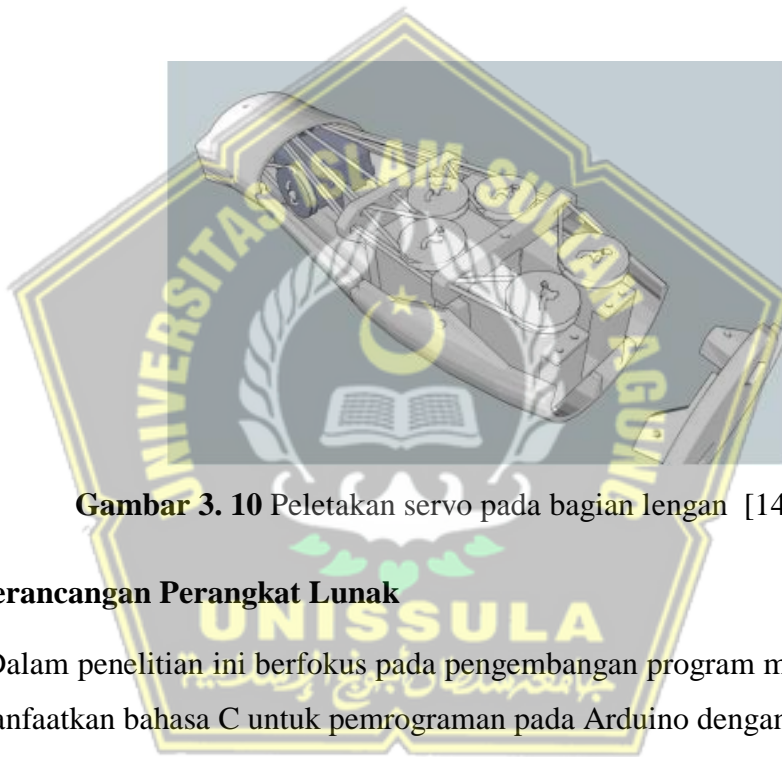
### 3.5.3 Perancangan Rangkaian Servo

Servo yang digunakan MG995 adalah motor servo populer dengan torsi tinggi dan kecepatan respon yang cepat, ideal untuk aplikasi robotik dan remote control (RC). Dilengkapi dengan gear metal yang memberikan daya tahan dan keandalan tinggi, MG995 mampu beroperasi dengan tegangan 4.8V hingga 7.2V, menawarkan rotasi hingga 180 derajat dengan kecepatan 0.16 detik/60 derajat pada 6.0V. Dengan dimensi kompak 40.7 x 19.7 x 42.9 mm dan berat 55 gram, servo ini cocok untuk proyek-proyek yang membutuhkan presisi dan kekuatan [16].





**Gambar 3. 9** Servo MG995 [16]



**Gambar 3. 10** Peletakan servo pada bagian lengan [14]

### 3.6. Perancangan Perangkat Lunak

Dalam penelitian ini berfokus pada pengembangan program mikrokontroler, memanfaatkan bahasa C untuk pemrograman pada Arduino dengan Arduino IDE (Integrated Development Environment). IDE ini bersifat multiplatform, kompatibel dengan berbagai sistem operasi termasuk Windows, Macintosh, dan Linux, dan bersifat open source, sehingga memungkinkan kontribusi yang luas dari pengembang di luar komunitas Arduino. Tujuan dari desain ini adalah untuk memprogram perangkat keras agar dapat mengoperasikan sistem secara efektif.

#### 3.6.1 Perancangan Program Sensor Otot

Perancangan program sederhana untuk sensor otot.

```
int SENSORPIN = A0; // Input sensor setelah penguatan, filter, dan clamping
```

```

int volts;
float filteredSignal;
const float alpha = 0.1; // Untuk low-pass filter, atur sesuai dengan kebutuhan
float previousSignal = 0;

void setup() {
  // Setup komunikasi serial
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // Baca nilai sensor yang sudah diperkuat, difilter, dan diklam
  volts = analogRead(SENSORPIN);

  // Penerapan filter low-pass (smoothing)
  //  $y[n] = \alpha * x[n] + (1 - \alpha) * y[n-1]$ 
  filteredSignal = alpha * volts + (1 - alpha) * previousSignal;
  previousSignal = filteredSignal;

  // Tampilkan hasil pembacaan sinyal yang difilter
  Serial.println(filteredSignal);

  delay(250); // Sesuaikan waktu delay sesuai kebutuhan sampling
}

```

Dalam program tersebut digunakan untuk melihat sinyal otot yang keluar untuk mengira sinyal otot yang keluar ketika otot rileks dan otot tegang

### 3.6.2. Perancangan Program Gerakan Servo

Perancangan program sederhana untuk sensor otot sebagai input dan servo sebagai output.

```

#include <Servo.h> // Tambahkan library untuk mengontrol servo

int SENSORPIN = A0; // Input sensor setelah penguatan, filter, dan clamping
int volts;
float filteredSignal;
const float alpha = 0.1; // Untuk low-pass filter, atur sesuai dengan kebutuhan
float previousSignal = 0;
int threshold = 300; // Threshold untuk menentukan genggam tangan
(sesuaikan nilai ini)

```

```

Servo servos[5]; // Buat array untuk 5 servo

void setup() {
  // Setup komunikasi serial
  Serial.begin(9600);

  // Attach servo pada pin yang diinginkan
  servos[0].attach(3); // Servo 1 pada pin 3
  servos[1].attach(5); // Servo 2 pada pin 5
  servos[2].attach(7); // Servo 3 pada pin 7
  servos[3].attach(9); // Servo 4 pada pin 9
  servos[4].attach(11); // Servo 5 pada pin 11
}

void loop() {
  // Baca nilai sensor yang sudah diperkuat, difilter, dan diklam
  volts = analogRead(SENSORPIN);

  // Penerapan filter low-pass (smoothing)
  //  $y[n] = \alpha * x[n] + (1 - \alpha) * y[n-1]$ 
  filteredSignal = alpha * volts + (1 - alpha) * previousSignal;
  previousSignal = filteredSignal;

  // Tampilkan hasil pembacaan sinyal yang difilter
  Serial.println(filteredSignal);

  // Deteksi apakah tangan menggenggam atau membuka
  if (filteredSignal > threshold) {
    // Jika sinyal di atas threshold (tangan menggenggam), gerakkan servo ke 0
    derajat
    for (int i = 0; i < 5; i++) {
      servos[i].write(0); // Gerakkan semua servo ke 0 derajat
    }
  } else {
    // Jika sinyal di bawah threshold (tangan membuka), gerakkan servo ke 180
    derajat
    for (int i = 0; i < 5; i++) {
      servos[i].write(180); // Gerakkan semua servo ke 180 derajat
    }
  }

  delay(250); // Sesuaikan waktu delay sesuai kebutuhan sampling
}

```

## BAB IV ANALISA DAN HASIL

### 4.1 Hasil Pembuatan Tangan Robot

Pada bagian ini, akan dijelaskan hasil akhir dari pembuatan tangan robot yang telah dirancang dan diimplementasikan. Gambar 4.1 menunjukkan tampilan akhir dari tangan robot yang telah selesai dibuat dan Tabel 4.1 menunjukkan daftar spesifikasi tangan robot.



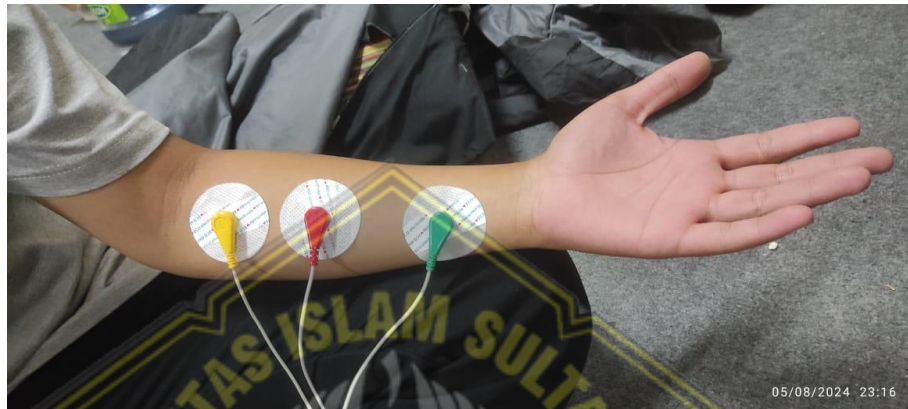
**Gambar 4. 1** Hasil Perakitan Tangan Robot

**Tabel 4. 1** Spesifikasi tangan robot.

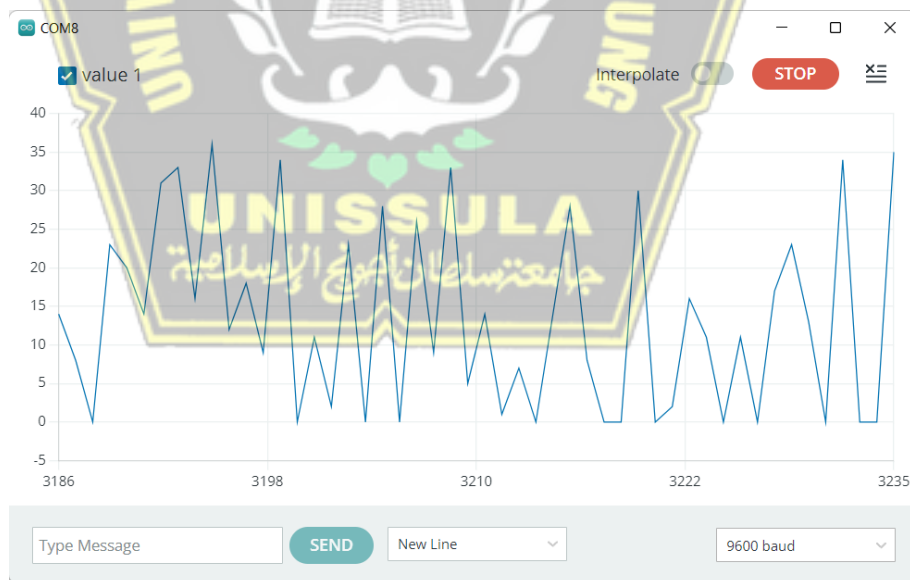
No	Spesifikasi	Deskripsi
1.	Berat Tangan Robot (Tanpa Servo)	379 gram
2.	Berat Kotor	654 gram
3.	Dimensi (Panjang, Lebar, dan Tinggi)	45cm x 10cm x 70cm

## 4.2 Pengujian Sinyal Otot

Pengujian kontraksi otot dilakukan dengan menguji sinyal electromyography (EMG) dari gerakan menggenggam tangan dan hasil otot bicep. Hasil dari pengujian kontraksi otot didapat dari data EMG yang ditampilkan oleh serial monitor Arduino.



**Gambar 4. 2** Penempatan Elektroda pada bagian lengan bawah



**Gambar 4. 3** Grafik Sinyal EMG pada saat Tangan Membuka

Dapat dilihat pada Gambar 4.3 sinyal EMG yang dapat diambil saat tangan membuka yaitu diantara 15-35 ADC Jika divoltase :

$$V = \frac{ADC}{1023} \times 3.3$$

$$V = \frac{15}{1023} \times 3.3$$

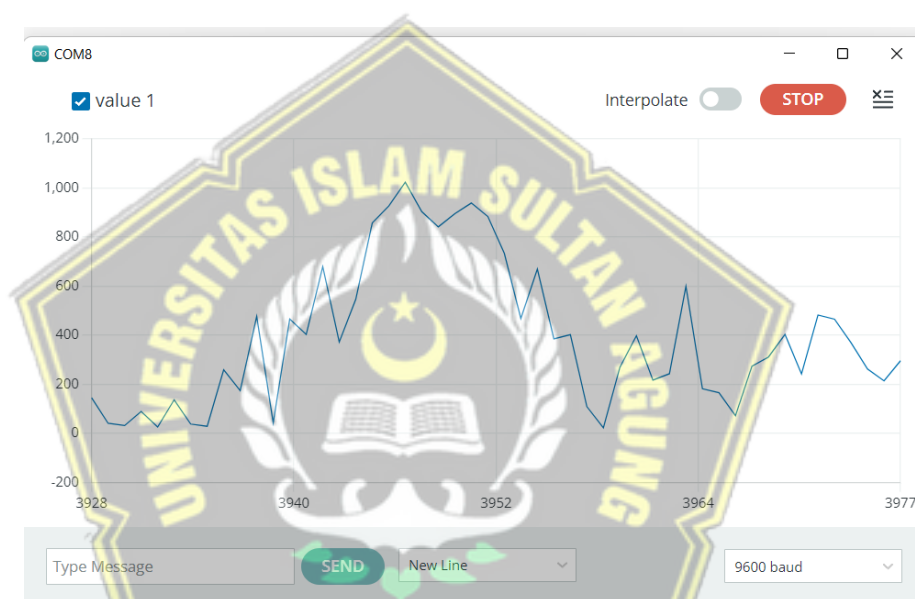
$$V = 0,04 V$$

$$V = \frac{ADC}{1023} \times 3.3$$

$$V = \frac{35}{1023} \times 3.3$$

$$V = 0,11 V$$

Berarti Nilai volt yang didapatkan sekitar 0,04 – 0.11 V



**Gambar 4. 4** Grafik Sinyal EMG pada saat Tangan Menggenggam

Dapat dilihat pada Gambar 4.4 sinyal EMG yang dapat diambil saat tangan menggenggam yaitu diantara 200-1000 ADC jika di voltase :

$$V = \frac{ADC}{1023} \times 3.3$$

$$V = \frac{200}{1023} \times 3.3$$

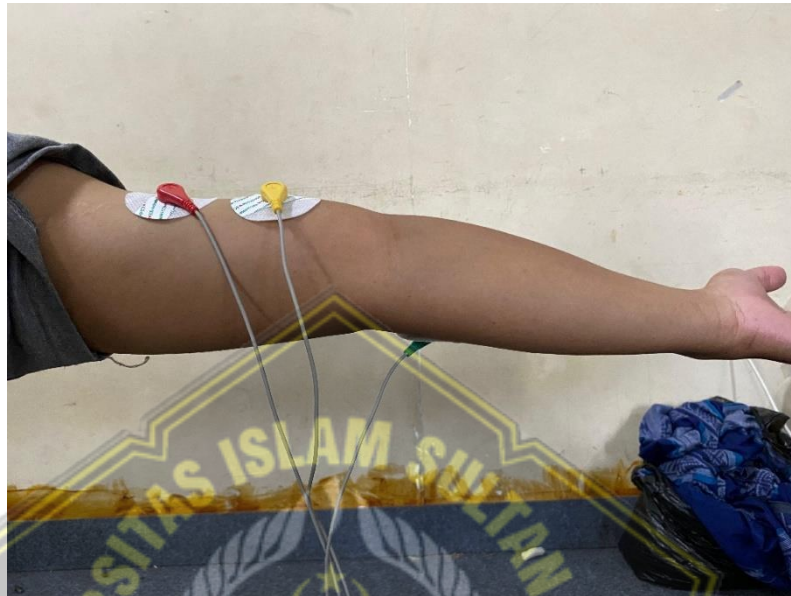
$$V = 0.6 V$$

$$V = \frac{ADC}{1023} \times 5$$

$$V = \frac{1000}{1023} \times 5$$

$$V = 3.2 V$$

Berarti Nilai volt yang didapatkan sekitar 0,6 – 3.2 V



**Gambar 4. 5** Penempatan Elektroda pada bagain otot bisep



**Gambar 4. 6** Grafik Sinyal EMG pada saat otot bisep turun

Dapat dilihat pada Gambar 4.6 sinyal EMG yang dapat diambil saat otot bisep turun yaitu diantara 0-12 ADC atau jika diubah pada voltase yaitu:

$$V = \frac{ADC}{1023} \times 3.3$$

$$V = \frac{0}{1023} \times 3.3$$

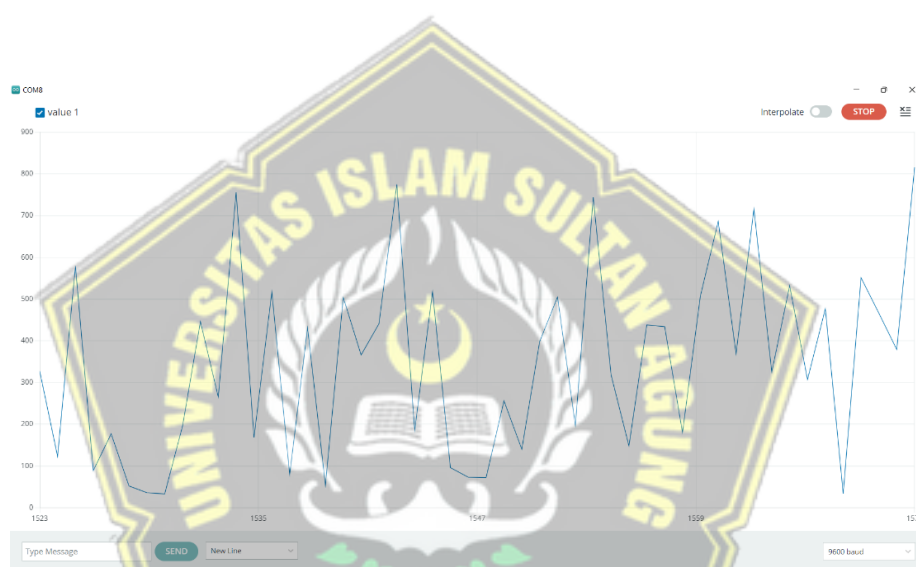
$$V = 0 \text{ V}$$

$$V = \frac{ADC}{1023} \times 3.3$$

$$V = \frac{12}{1023} \times 3.3$$

$$V = 0,03 \text{ V}$$

Berarti Nilai volt yang didapatkan sekitar 0 – 0.03 V



**Gambar 4. 7** Grafik Sinyal EMG pada saat otot bisep naik

Dapat dilihat pada Gambar 4.7 sinyal EMG yang dapat diambil saat otot bisep naik yaitu diantara 100-800 ADC atau jika diubah pada voltase yaitu :

$$V = \frac{ADC}{1023} \times 3.3$$

$$V = \frac{100}{1023} \times 3.3$$

$$V = 0,3 \text{ V}$$

$$V = \frac{ADC}{1023} \times 5$$

$$V = \frac{800}{1023} \times 5$$

$$V = 2.5 \text{ V}$$

Berarti Nilai volt yang didapatkan sekitar 0,3 – 2.5 V



Jika dihitung dari persamaan 2.1, 2.2. dan 2.3 tentang penguatan dan filter dapat dihitung

Penguatan pada persamaan 2.1

karena  $V_1=V_2=3.3$  V

$$V_o = \frac{R_6}{R_7} \times (V_1 - V_2)$$

$$V_o = \frac{150k}{150k} \times (3.3 - 3.3)$$

$$V_o = 0 \text{ V}$$

Ini untuk penguatan

dan untuk frekuensi cut off high pass dan Low pass pada persamaan 2.2 dan 2.3

1. high pass

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_{10} C_2}$$

$$f_c = \frac{1}{2.3.14.150k. 0.01\mu}$$

$$f_c = 0.11 \text{ Hz}$$

2. Low pass

$$f_{cf} = \frac{1}{2\pi R_{15} C_3}$$

$$f_{cf} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times 80,6k \times 1\mu}$$

$$f_{cf} = 0.0019 \text{ Hz}$$

#### 4.3 Pengujian Pengegaman Tangan Robot

Pengujian tangan robot menguji beberapa barang dan akan di uji pada berat berapa tangan robot ini tidak bisa lagi memegang benda objek. Setiap benda objek selalu berbeda dari segi bentuk dan berat.

**Tabel 4. 2** Spesifikasi barang yang digunakan tangan robot menggenggam

No	Barang	Berat	Dimensi
1.	Spons	6 gram	(panjang, lebar, tinggi) 9.5 cm x 7 cm x 2.5 cm.
2.	Botol Sampo Kosong	25 gram	(panjang, lebar, tinggi) 4.5 cm x 3.5 cm x 17.5 cm.
3.	Sikat Baju	40 gram	(panjang, lebar, tinggi) 10.5 cm x 4.3 cm x 2,5 cm
4.	Botol Saus Tomat	100 gram	(diameter, tinggi) 4 cm x 17 cm
5.	Botol Isi Air	200 gram	(diameter, tinggi) 5.5 cm x 23 cm

**Gambar 4. 8** Tangan robot sedang memegang botol sampo

**Tabel 4. 3** Percobaan Tangan Robot pada saat memegang botol sampo

No	Percobaan	Keterangan
1.	Percobaan 1	Berhasil
2.	Percobaan 2	Berhasil
3.	Percobaan 3	Berhasil
4.	Percobaan 4	Berhasil
5.	Percobaan 5	Berhasil
6.	Percobaan 6	Gagal
7.	Percobaan 7	Gagal
8.	Percobaan 8	Berhasil
9.	Percobaan 9	Berhasil
10.	Percobaan 10	Gagal

$$\text{Keberhasilan} = \frac{\text{Berhasil}}{\text{Percobaan}} \times 100\%$$

$$\text{Keberhasilan} = \frac{7}{10} \times 100\% = 70\%$$

**Gambar 4. 9** Tangan robot sedang memegang sikat baju

**Tabel 4. 4** Hasil Percobaan Tangan Robot pada saat memegang sikat baju

No	Percobaan	Keterangan
1.	Percobaan 1	Berhasil
2.	Percobaan 2	Berhasil
3.	Percobaan 3	Berhasil
4.	Percobaan 4	Berhasil
5.	Percobaan 5	Berhasil
6.	Percobaan 6	Berhasil
7.	Percobaan 7	Berhasil
8.	Percobaan 8	Berhasil
9.	Percobaan 9	Berhasil
10.	Percobaan 10	Berhasil

$$\text{Keberhasilan} = \frac{\text{Berhasil}}{\text{Percobaan}} \times 100\%$$

$$\text{Keberhasilan} = \frac{10}{10} \times 100\% = 100\%$$

**Gambar 4. 10** Tangan robot sedang memegang spons

**Tabel 4. 5** Hasil Percobaan Tangan Robot pada saat memegang spons

No	Percobaan	Keterangan
1.	Percobaan 1	Berhasil
2.	Percobaan 2	Berhasil
3.	Percobaan 3	Berhasil
4.	Percobaan 4	Berhasil
5.	Percobaan 5	Berhasil
6.	Percobaan 6	Berhasil
7.	Percobaan 7	Berhasil
8.	Percobaan 8	Berhasil
9.	Percobaan 9	Berhasil
10.	Percobaan 10	Berhasil

$$\text{Keberhasilan} = \frac{\text{Berhasil}}{\text{Percobaan}} \times 100\%$$

$$\text{Keberhasilan} = \frac{10}{10} \times 100\% = 100\%$$

**Gambar 4. 11** Tangan robot memegang botol saus tomat

**Tabel 4. 6** Hasil Percobaan Tangan Robot pada saat memegang botol saus tomat

No	Percobaan	Keterangan
1.	Percobaan 1	Berhasil
2.	Percobaan 2	Berhasil
3.	Percobaan 3	Berhasil
4.	Percobaan 4	Berhasil
5.	Percobaan 5	Gagal
6.	Percobaan 6	Berhasil
7.	Percobaan 7	Gagal
8.	Percobaan 8	Berhasil
9.	Percobaan 9	Berhasil
10.	Percobaan 10	Berhasil

$$\text{Keberhasilan} = \frac{\text{Berhasil}}{\text{Percobaan}} \times 100\%$$

$$\text{Keberhasilan} = \frac{8}{10} \times 100\% = 80\%$$



**Gambar 4. 12** Tangan robot memegang botol isi air

**Tabel 4. 7** Hasil Percobaan Tangan Robot pada saat memegang botol isi air

No	Percobaan	Keterangan
1.	Percobaan 1	Berhasil
2.	Percobaan 2	Gagal
3.	Percobaan 3	Gagal
4.	Percobaan 4	Gagal
5.	Percobaan 5	Gagal
6.	Percobaan 6	Gagal
7.	Percobaan 7	Gagal
8.	Percobaan 8	Gagal
9.	Percobaan 9	Gagal
10.	Percobaan 10	Berhasil

$$\text{Keberhasilan} = \frac{\text{Berhasil}}{\text{Percobaan}} \times 100\%$$

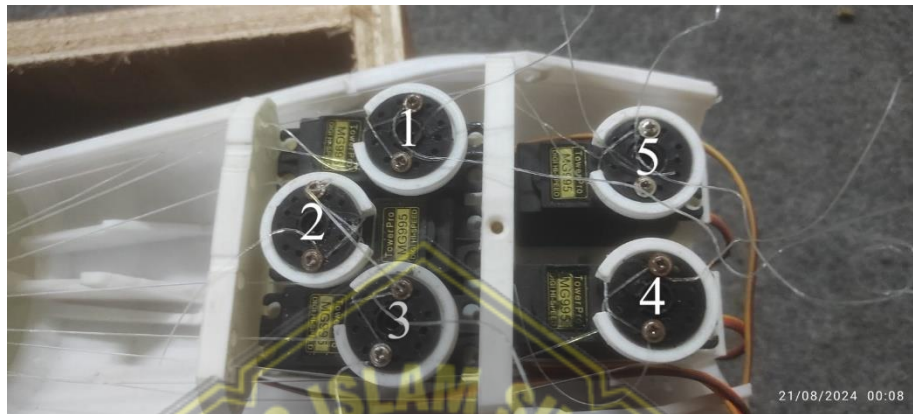
$$\text{Keberhasilan} = \frac{2}{10} \times 100\% = 20\%$$

Dari beberapa pengujian tangan robot dalam memegang sebuah benda objek dapat dilihat dari beberapa bahwa menjelaskan bentuk objek juga berpengaruh pada tangan robot jika semakin besar diameter atau panjang lebar tangan robot tidak mampu memegang barang objek dengan sempurna.

#### 4.4 Pengujian Servo

Percobaan ini dilakukan untuk menguji sistem kendali servo pada setiap jari tangan robot dengan hanya menggunakan sudut 0 derajat. Tujuan percobaan adalah untuk memastikan apakah setiap jari sudah dapat bergerak ke posisi 0 derajat, yaitu ketika jari dalam kondisi kontraksi penuh. Pengujian dilakukan dengan memberikan nilai PWM yang sesuai untuk mencapai sudut tersebut. Hasil

pengujian menunjukkan bahwa setiap jari dapat bergerak dengan akurat ke posisi 0 derajat sesuai dengan perintah yang diberikan, memastikan bahwa kondisi kontraksi jari tercapai sesuai yang diinginkan.



**Gambar 4. 13** Peletakan posisi servo

Gambar 4.13 dijelaskan Servo yang dihubungkan pada tiap-tiap jari memiliki label 1-5. Untuk label 1 menghubungkan jari telunjuk, label 2 menghubungkan jari tengah, label 3 menghubungkan jari manis, label 4 menghubungkan jari jempol, label 5 menghubungkan jari kelingking. Setelah ini akan dicoba tiap servo apakah servo akan bergerak 0 derajat karena keadaan awal servo pada 180 derajat. Untuk mencari persentase erro menggunakan rumus MAE.

MAE (Mean Absolute Error)

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \dots\dots\dots (4.1)$$

Ket :

n = jumlah servo

$y_i$  = Nilai asli sudut

$\hat{y}_i$  = Nilai Prediksi

**Tabel 4. 8** Percobaan servo saat menggenggam spons



Servo	Nilai asli sudut	Nilai Sudut Prediksi
Servo 1	0°	0°
Servo 2	0°	0°
Servo 3	0°	0°
Servo 4	0°	0°
Servo 5	0°	0°

$$MAE = \frac{0 + 0 + 0 + 0 + 0}{5} = 0\%$$

**Tabel 4. 9** Percobaan servo saat menggenggam sikat baju

Servo	Nilai asli sudut	Nilai Sudut Prediksi
Servo 1	0°	0°
Servo 2	0°	0°
Servo 3	0°	0°
Servo 4	0°	0°
Servo 5	0°	0°

$$MAE = \frac{0 + 0 + 0 + 0 + 0}{5} = 0\%$$

**Tabel 4. 10** Percobaan servo saat menggenggam botol sampo

Servo	Nilai asli sudut	Nilai Sudut Prediksi
Servo 1	35°	0°
Servo 2	35°	0°
Servo 3	15°	0°
Servo 4	15°	0°
Servo 5	5°	0°

$$MAE = \frac{35 + 35 + 15 + 15 + 5}{5} = 21\%$$

**Tabel 4. 11** Percobaan servo saat menggenggam botol saus tomat

Servo	Nilai asli sudut	Nilai Sudut Prediksi
Servo 1	35°	0°
Servo 2	35°	0°
Servo 3	15°	0°
Servo 4	15°	0°
Servo 5	5°	0°

$$MAE = \frac{35 + 35 + 15 + 15 + 5}{5} = 21\%$$

**Tabel 4. 12** Percobaan servo saat menggenggam botol isi air

Servo	Nilai asli sudut	Nilai Sudut Prediksi
Servo 1	45°	0°
Servo 2	45°	0°
Servo 3	35°	0°
Servo 4	20°	0°
Servo 5	5°	0°

$$MAE = \frac{45 + 45 + 35 + 20 + 5}{5} = 30\%$$

#### 4.5 Pengujian Tangan Robot dengan Sensor Otot

Pengujian dilakukan dengan menggunakan sinyal otot, di mana tangan robot merespons sinyal tersebut dengan melakukan gerakan menggenggam. Percobaan menggunakan benda objek seperti spons, botol sampo kosong, dan botol saus tomat. Percobaan ini akan dilakukan sebanyak 10 kali.

#### 4.5.1 Spons

Percobaan ini akan dilakukan sebanyak 10 kali menggunakan spons. Spons ini memiliki berat 6 gram dan dimensi (panjang, lebar, tinggi) 9.5 cm x 7 cm x 2.5 cm.

**Tabel 4. 13** Percobaan pada spons

No	Percobaan	Keterangan
1.	Percobaan 1	Berhasil
2.	Percobaan 2	Berhasil
3.	Percobaan 3	Berhasil
4.	Percobaan 4	Berhasil
5.	Percobaan 5	Berhasil
6.	Percobaan 6	Berhasil
7.	Percobaan 7	Berhasil
8.	Percobaan 8	Berhasil
9.	Percobaan 9	Berhasil
10.	Percobaan 10	Berhasil

$$\text{Keberhasilan} = \frac{\text{Berhasil}}{\text{Percobaan}} \times 100\%$$

$$\text{Keberhasilan} = \frac{10}{10} \times 100\% = 100\%$$

#### 4.5.2 Botol Sampo

Percobaan ini akan dilakukan sebanyak 10 kali menggunakan botol. Botol sampo ini memiliki berat 25 gram dan dimensi (panjang, lebar, tinggi) 4.5 cm x 3.5 cm x 17.5 cm.

**Tabel 4. 14** Percobaan pada botol sampo

No	Percobaan	Keterangan
1.	Percobaan 1	Berhasil
2.	Percobaan 2	Gagal
3.	Percobaan 3	Gagal
4.	Percobaan 4	Berhasil
5.	Percobaan 5	Gagal
6.	Percobaan 6	Gagal
7.	Percobaan 7	Gagal
8.	Percobaan 8	Berhasil
9.	Percobaan 9	Berhasil
10.	Percobaan 10	Berhasil

$$\text{Keberhasilan} = \frac{\text{Berhasil}}{\text{Percobaan}} \times 100\%$$

$$\text{Keberhasilan} = \frac{5}{10} \times 100\% = 50\%$$

#### 4.5.3 Botol Saus Tomat

Percobaan ini akan dilakukan sebanyak 10 kali menggunakan botol saus tomat. Botol saus tomat ini memiliki berat 100 gram dan dimensi (diameter, tinggi) 4 cm x 17 cm.

**Tabel 4. 15** Percobaan pada botol saus tomat

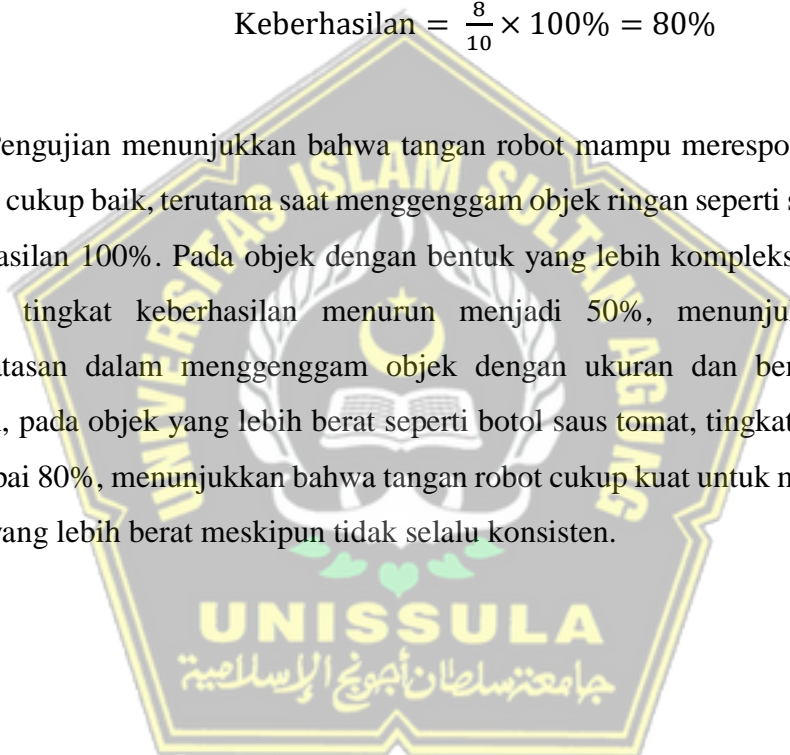
No	Percobaan	Keterangan
1.	Percobaan 1	Berhasil
2.	Percobaan 2	Berhasil
3.	Percobaan 3	Berhasil
4.	Percobaan 4	Berhasil
5.	Percobaan 5	Berhasil

6.	Percobaan 6	Berhasil
7.	Percobaan 7	Gagal
8.	Percobaan 8	Berhasil
9.	Percobaan 9	Berhasil
10.	Percobaan 10	Gagal

$$\text{Keberhasilan} = \frac{\text{Berhasil}}{\text{Percobaan}} \times 100\%$$

$$\text{Keberhasilan} = \frac{8}{10} \times 100\% = 80\%$$

Pengujian menunjukkan bahwa tangan robot mampu merespons sinyal otot dengan cukup baik, terutama saat menggenggam objek ringan seperti spons, dengan keberhasilan 100%. Pada objek dengan bentuk yang lebih kompleks seperti botol sampo, tingkat keberhasilan menurun menjadi 50%, menunjukkan adanya keterbatasan dalam menggenggam objek dengan ukuran dan bentuk tertentu. Namun, pada objek yang lebih berat seperti botol saus tomat, tingkat keberhasilan mencapai 80%, menunjukkan bahwa tangan robot cukup kuat untuk menggenggam objek yang lebih berat meskipun tidak selalu konsisten.



## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap sinyal emg dan tangan robot, beberapa kesimpulan dapat diambil:

1. Pengujian sinyal otot menunjukkan bahwa sinyal EMG yang dihasilkan saat tangan membuka berada di kisaran 15-35 ADC (0.04-0.11 V), sedangkan saat tangan menggenggam sinyal berada di kisaran 200-1000 ADC (0.6-3.2 V). Pada otot bicep, sinyal EMG saat otot bicep turun berada di antara 0-12 ADC (0-0.03 V), dan saat otot bicep naik di antara 100-800 ADC (0.3-2.5 V). Hal ini menunjukkan bahwa ada perbedaan yang signifikan dalam sinyal EMG antara keadaan relaksasi dan kontraksi otot.
2. Pengujian tangan robot dalam menggenggam berbagai objek menunjukkan variasi dalam persentase keberhasilan, tergantung pada berat, dimensi, dan karakteristik fisik objek, Tangan robot dapat menggenggam lebih dari 80% itu ketika berat dari sebuah objek memiliki kurang lebih 100 gram memiliki diameter lebih besar dari 4 cm tetapi ketika dalam menggenggam sebuah objek yang memiliki berat lebih dari 200 gram yang memiliki diameter lebih dari 5 cm tangan robot tidak bisa memegang dengan benar dan mudah lepas. yang menunjukkan bahwa bentuk dan berat objek mempengaruhi kemampuan tangan robot untuk menggenggam dengan sempurna, baik dalam mode otomatis maupun saat dikendalikan oleh sinyal otot.
3. Pengujian menunjukkan bahwa sistem kendali servo pada tangan robot berfungsi akurat pada posisi 0 derajat dan objek ringan seperti spons dan sikat, dengan MAE 0%. Namun, untuk objek yang lebih besar seperti botol sampo, botol saus tomat, dan botol berisi air, terjadi peningkatan error hingga MAE 30%, menandakan bahwa sistem kesulitan beradaptasi dengan perubahan sudut yang lebih besar, sehingga memerlukan perbaikan lebih lanjut.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan dan optimasi lebih lanjut dari tangan robot ini:

1. Tali yang digunakan untuk menggerakkan jari-jari tangan robot harus dipilih dengan cermat agar memiliki kekuatan yang cukup serta elastisitas yang minimal. Tali yang kendur dapat menyebabkan gerakan jari menjadi tidak akurat dan mengurangi kemampuan menggenggam. Oleh karena itu, disarankan menggunakan tali dengan bahan yang kuat dan tidak mudah melar, serta melakukan penyesuaian secara berkala untuk menjaga kekencangan tali.
2. Sinyal EMG yang dihasilkan dari elektroda cenderung berubah-ubah tergantung pada posisi dan tekanan elektroda. Untuk mendapatkan sinyal yang lebih konsisten, diperlukan kalibrasi dan penyesuaian yang tepat sebelum uji coba. Menggunakan elektroda dengan kualitas yang baik dan menempatkannya dengan benar pada otot target sangat disarankan untuk meningkatkan akurasi hasil.
3. Untuk meningkatkan kemampuan tangan robot dalam menggenggam objek, terutama objek yang licin atau berbentuk kompleks, disarankan menambahkan lapisan perekat atau bahan anti-slip pada permukaan telapak tangan. Hal ini akan membantu meningkatkan cengkeraman dan mengurangi risiko objek terlepas saat dipegang.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Zahra, T. Thamrin, and P. Jaya, "Rancang Bangun Robot Humanoid Penari Gending Sriwijaya Menggunakan Modul Easyvr3," *Voteteknika (Vocational Tek. Elektron. dan Inform.,* vol. 5, no. 2, 2017, doi: 10.24036/voteteknika.v5i2.8498.
- [2] A. D. M. Surachman, M. Ramdhani, R. Nugraha, and S. Pd, "Desain Dan Implementasi Lengan Robot Berbasis Design and Implementation of Robotic Arm Based," *e-Proceeding Eng.,* vol. 4, no. 2, pp. 1572–1579, 2017.
- [3] I. I. Borisov, O. V. Borisova, S. V. Krivosheev, R. V. Oleynik, and S. S. Reznikov, "Prototyping of EMG-Controlled Prosthetic Hand with Sensory System," vol. 50, no. 1, pp. 16027–16031, 2017, doi: 10.1016/j.ifacol.2017.08.1915.
- [4] E. M. Nainggolan, A. Rusdinar, U. Sunarya, F. T. Elektro, U. Telkom, and J. Telekomunikasi, "Perancangan Dan Implementasi Tangan Robot Buatan Dengan Menggunakan Elektromiogram Design and Implementation Artificial Hand Robot Using," *e-Proceeding Eng.,* vol. 2, no. 2, pp. 2150–2157, 2015.
- [5] R. Maulana and R. R. M. Putri, "Pengkondisian Sinyal Electromyography sebagai Identifikasi Jenis Gerakan Lengan Manusia," *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.,* vol. 5, no. 3, p. 297, 2018, doi: 10.25126/jtiik.201853829.
- [6] Y. Howell and K. Capek, "Karel Capek in 1984 Recommended Citation," vol. 3, pp. 121–151, 1984, [Online]. Available: <http://scholarship.richmond.edu/mlc-faculty-publications>
- [7] A. Falih, "Rancang Bangun Sistem Teleoperasi Lengan Robot Menggunakan Sensor Taktil," *Univ. Indones.,* no. 1, pp. 1–72, 2020.
- [8] S. Shigemi, *ASIMO and Humanoid Robot Research at Honda.* 2018. doi: 10.1007/978-94-007-6046-2\_9.
- [9] J. Cali *et al.*, "3D-printing of non-assembly, articulated models," *ACM Trans. Graph.,* vol. 31, no. 6, 2012, doi: 10.1145/2366145.2366149.
- [10] G. Borghesan, G. Palli, and C. Melchiorri, "Design of tendon-driven robotic



- fingers: Modeling and control issues,” *Proc. - IEEE Int. Conf. Robot. Autom.*, pp. 793–798, 2010, doi: 10.1109/ROBOT.2010.5509899.
- [11] A. Yulhanapis *et al.*, “Dengan Bangun dan Analisis Elektromiografi Dengan Menggunakan Elektroda Ag | AgCl,” Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, 2021.
- [12] I. Pratiwi, “Letak Elektroda Elektromiografi pada Upper Extermity Muscle,” *Pros. Semin. Nas. TEKNOIN 2014*, pp. 10–27, 2014.
- [13] R. H. Sudhan, M. G. Kumar, A. U. Prakash, S. A. R. Devi, and S. P., “Arduino Atmega-328 Microcontroller,” *Ijireeice*, vol. 3, no. 4, pp. 27–29, 2015, doi: 10.17148/ijireeice.2015.3406.
- [14] S. Broota, “Building of Inmoov Robotic Arm for Performing Various Operations,” *Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol.*, vol. 10, no. 1, pp. 205–212, 2022, doi: 10.22214/ijraset.2022.39804.
- [15] A. Technologies, “Three-lead Differential Muscle / Electromyography Sensor for Microcontroller Applications,” *Datasheet*, no. February 2013, p. 5, 2013.
- [16] Torq Pro & Tower Pro, “MG995 High Speed Metal Gear Dual Ball Bearing Servo,” no. 6 V, p. 2, 2016, [Online]. Available: <http://www.servodatabase.com/servo/towerpro/mg995>