



KONTROL ROBOT MANIPULATOR BERDASARKAN PERGERAKAN LENGAN MANUSIA MENGGUNAKAN ELECTROMYOGRAPHY

SKRIPSI

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:

Hanifa Nur Halimah

NIM: 165150300111018



PROGRAM STUDI TEKNIK KOMPUTER
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG

2020

PENGESAHAN

KONTROL ROBOT MANIPULATOR BERDASARKAN PERGERAKAN LENGAN MANUSIA MENGGUNAKAN ELECTROMYOGRAPHY SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :

Hanifa Nur Halimah

NIM: 165150300111018

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
9 Juli 2020

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I



Rizal Maulana, S.T., M.T., M.Sc.
NIK: 2016078910091001

Dosen Pembimbing 2



Gembong Edm Setyawan, S.T., M.T.
NIK: 2012087612011001

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Informatika



Tri Astoto Kurniawan, S.T., M.T., Ph.D

NIP: 19710518 200312 1 001

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah skripsi ini 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 disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar referensi.

Apabila ternyata didalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur plagiasi, saya bersedia skripsi ini digugurkan dan gelar akademik yang telah saya peroleh (sarjana) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 09 Juli 2020



Hanifa Nur Halimah

NIM: 165150300111018

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmat dan hidayahNya sehingga naskah skripsi yang berjudul “Kontrol Robot Manipulator Berdasarkan Pergerakan Lengan Manusia Menggunakan *Electromyography*” ini dapat terselesaikan.

Penulis menyadari bahwa laporan ini tidak akan berhasil tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada:

1. Ibu Ir. Rosida Nurrahmi dan Drs. Bapak Bambang Samodro Wicaksono, M.M. selaku Orang tua penulis serta Nurin Fadhilla, S.T. dan Aisyah Nur kamila selaku saudara kandung penulis, yang telah mendukung dan tidak pernah berhenti memberikan dukungan, doa, dan semangat hingga skripsi ini dapat terselesaikan.
2. Bapak Rizal Maulana, S.T., M.T., M. Sc., dan Bapak Gembong Edhi Setyawan, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing skripsi yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran sehingga skripsi ini terselesaikan.
3. Bapak Tri Astoto Kurniawan, S.T., M.T., Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Informatika.
4. Dwiki Nuridhuha, S.T., Hafiz Nul Hakim, S.T., dan Ricky Zefani Aria Zurendra, S.T., yang telah membantu penulis saat mengalami kendala dan dukungan kepada penulis.
5. Dewi Amalia dan Rahma Tiara Puteri, S.T., selaku sahabat penulis yang selalu memberi semangat dan selalu mengingatkan banyak hal kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih banyak kekurangan karena keterbatasan kemampuan dan ilmu yang dimiliki oleh penulis, sehingga saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan dan akan penulis terima dengan senang hati. Akhir kata penulis berharap skripsi ini dapat membawa manfaat bagi pembaca.

Malang, 9 Juli 2020

Penulis

hanifanurhalimah@gmail.com



ABSTRAK

Hanifa Nur Halimah, Kontrol Robot Manipulator Berdasarkan Pergerakan Lengan Manusia Menggunakan *Electromyography*

Pembimbing: Rizal Maulana, S.T., M.T., M. Sc dan Gembong Edhi Setyawan, S.T., M.T.

Perkembangan inovasi di bidang kedokteran sangat pesat, salah satunya adalah robot bedah. Robot bedah merupakan robot yang digunakan untuk membantu proses pembedahan sehingga proses pembedahan yang dilakukan oleh dokter terbantu. Keuntungan dari robot bedah adalah cepat, meminimalisir gerakan yang tidak diinginkan, dan mengurangi penyebaran bakteri. Robot bedah dalam permasalahan ini nantinya memiliki *design* dengan bentuk layaknya lengan robot. Pergerakan lengan robot didasarkan dari pergerakan lengan dokter dengan membaca sinyal *electromyography* (EMG) yang dihasilkan oleh kontraksi otot melalui elektroda. Sensor myoware akan membaca sinyal EMG pada otot lengan. Sinyal keluaran myoware akan dibaca oleh arduino nano untuk menggerakkan lengan robot. Servo AX-12 sebagai lengan robot yang memiliki 4 derajat kebebasan. Sinyal yang dikeluarkan sensor memiliki *noise* yang dapat mengganggu pendeteksian, sehingga diperlukan penghalusan sinyal menggunakan filter eksponensial yang memiliki bobot 0,4. Setelah melakukan penghalusan sinyal, perubahan derajat pada sinyal akan dideteksi dengan menggunakan metode klasifikasi *if-else*. Dari hasil pengujian didapatkan nilai batas atas 0,892463V dan batas bawah 0 untuk gerakan lengan lurus; nilai batas atas 1,591854 dan batas bawah 0,892463V untuk gerakan lengan 45°; batas atas 2,291921V dan batas bawah 1,591854V untuk gerakan lengan 90°; batas atas 3,496667V dan batas bawah 2,291921V untuk gerakan lengan 135°; dan batas atas 5V dan batas bawah 3,496667V untuk gerakan lengan 145°. Hasil pengujian akurasi sistem dalam menentukan sudut gerakan lengan manusia didapatkan nilai akurasi sebesar 84% yang mana diambil dari 5 kali percobaan tiap sudut oleh 3 subjek.

Kata kunci: *electromyography*, robot manipulator, *if-else*



ABSTRACT

Hanifa Nur Halimah, Control of Manipulator Robot Based on Human Arm Movement Using Electromyography

Supervisors: Rizal Maulana, S.T., M.T., M. Sc dan Gembong Edhi Setyawan, S.T., M.T.

One of the rapidly growing medical innovations is the surgical robot. Robotic technology will help doctors during a surgical procedure. The advantages of robotic surgery include faster recovery, minimal scarring, and smaller incisions, resulting in a reduced risk of infection. A surgical robot, in this case, is made in the form of a manipulator robot. The manipulator robot matches the doctor's movement by reading the electromyography (EMG) signal produced by muscle contraction through the electrodes. Myoware sensor detects EMG signals of arm muscles. Myoware output signal read by Arduino Nano so that the manipulator robot moves. Robot manipulator was designed to have 4 Degree of Freedom and implemented using servo dynamixel AX-12A. Output of the signal EMG are reprocessed using an exponential filter to obtain a more accurate signal which has a weight of 0.4. The signals that have been processed will be analyzed the amplitude to determine the type of arm movement performed. From the test results obtained an upper limit value of 0.892463V and a lower limit of 0 for straight arm movements; upper limit values of 1.591854 and lower limits of 0.892463V for 45 ° arm movements; upper limit 2.291921V and lower limit 1.591854V for 90 ° arm movements; upper limit 3.496667V and lower limit 2.291921V for 135 ° arm movements; and the upper limit is 5V and the lower limit is 3.496667V for 145 ° arm movements. the system has an accuracy of 84% in determining the type of arm movement which had taken from 5 attempts each angle by 3 subjects.

Keyword: electromyography, manipulator robot, if-else



DAFTAR ISI

PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
PRAKATA.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Pembahasan.....	4
BAB 2 LANDASAN KEPUSTAKAAN.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka/Isi Landasan Pustaka.....	5
2.2 Dasar Teori.....	10
2.2.1 Robot Manipulator.....	10
2.2.2 Otot Manusia.....	11
2.2.3 Instrumentasi Medis.....	12
2.2.4 Filter Eksponensial.....	14
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	15
3.1 Tipe Penelitian.....	15
3.2 Strategi dan Rancangan Penelitian.....	15
3.2.1 Metode Umum.....	15
3.2.2 Subyek Penelitian.....	16
3.2.3 Lokasi.....	16
3.2.4 Teknik Pengumpulan Data.....	16
3.2.5 Teknik Analisis dan Pembahasan.....	17



3.2.6 Peralatan Pendukung yang Digunakan	17
BAB 4 rekayasa kebutuhan	18
4.1 Gambaran Umum Sistem.....	18
4.2 Batasan Sistem.....	18
4.3 Kebutuhan Sistem.....	19
4.3.1 Kebutuhan Fungsional.....	19
4.3.2 Kebutuhan Non Fungsional.....	19
BAB 5 PERancangan dan implementasi.....	27
5.1 Perancangan Sistem.....	27
5.1.1 Perancangan Peletakan Elektroda dan Sensor pada Lengan Manusia	27
5.1.2 Perancangan Prototype Robot Manipulator.....	27
5.1.3 Perancangan Perangkat Keras	28
5.1.4 Perancangan Perangkat Lunak.....	30
5.2 Implementasi sistem.....	37
5.2.1 Implementasi Peletakan Elektroda dan Sensor pada Lengan Manusia	37
5.2.2 Implementasi Prototype Robot Manipulator.....	38
5.2.3 Implementasi Perangkat Keras	38
5.2.4 Implementasi Perangkat Lunak.....	39
BAB 6 Pengujian	44
6.1 Pengujian Filter Eksponensial	44
6.1.1 Tujuan Pengujian.....	44
6.1.2 Prosedur Pengujian	44
6.1.3 Hasil Pengujian	44
6.1.4 Analisis Pengujian.....	46
6.2 Pengujian Amplitudo Otot Lengan	46
6.2.1 Tujuan Pengujian.....	46
6.2.2 Prosedur Pengujian	46
6.2.3 Hasil Pengujian	46
6.2.4 Analisis Pengujian.....	50
6.3 Pengujian Fungsionalitas Servo AX-12.....	50



6.3.1 Tujuan Pengujian.....	50
6.3.2 Prosedur Pengujian.....	50
6.3.3 Hasil Pengujian.....	50
6.3.4 Analisis pengujian.....	52
6.4 Pengujian Kesesuaian Gerakan Otot Lengan dengan Lengan Robot.....	52
6.4.1 Tujuan Pengujian.....	52
6.4.2 Prosedur Pengujian.....	53
6.4.3 Hasil Pengujian.....	53
6.4.4 Analisis Pengujian.....	57
6.5 Pengujian Waktu komputasi Sistem.....	57
6.5.1 Tujuan Pengujian.....	57
6.5.2 Prosedur Pengujian.....	57
6.5.3 Hasil Pengujian.....	58
6.5.4 Analisis Pengujian.....	62
BAB 7 Penutupan.....	63
7.1 Kesimpulan.....	63
7.2 Saran.....	64
Daftar referensi.....	65
LAMPIRAN a source code program.....	67
lampiran b foto pengujian.....	70
lampiran C data latih.....	73



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Tinjauan Penelitian Sebelumnya.....	5
Tabel 4.1 Spesifikasi Sensor Myoware.....	20
Tabel 4.2 Spesifikasi Servo AX-12.....	25
Tabel 5.1 Pin Skematik Sistem.....	29
Tabel 5.2 Rata-Rata Nilai Puncak.....	33
Tabel 5.3 Hasil Nilai X.....	33
Tabel 5.4 Batas Atas dan Batas Bawah.....	33
Tabel 5.5 Derajat pada Servo.....	35
Tabel 5.6 Alamat Pengiriman Perintah Pergerakan Servo AX-12.....	37
Tabel 5.7 Inisialisasi Variabel.....	39
Tabel 5.8 Implementasi Sistem Utama.....	40
Tabel 5.9 Pogram Filter eksponensial.....	41
Tabel 5.10 Pogram <i>If-else</i>	42
Tabel 5.11 Pogram Pengiriman Perintah Pergerakan servo.....	43
Tabel 6.1 Subjek Satu.....	46
Tabel 6.2 Subjek Dua.....	47
Tabel 6.3 Subjek Tiga.....	48
Tabel 6.4 Akurasi Nilai Amplitudo.....	49
Tabel 6.5 Pengujian Nilai Sudut Servo.....	52
Tabel 6.6 Data Hasil Keseluruhan Sistem Subjek 1.....	53
Tabel 6.7 Data Hasil Keseluruhan Subjek 2.....	54
Tabel 6.8 Data Hasil Keseluruhan Sistem Subjek 3.....	55
Tabel 6.9 Hasil Akurasi Nilai Keseluruhan Sistem.....	56
Tabel 6.10 Sudut 0°.....	58
Tabel 6.11 Sudut 45°.....	58
Tabel 6.12 Sudut 90°.....	59
Tabel 6.13 Sudut 135°.....	60
Tabel 6.14 Sudut 145°.....	61
Tabel 6.15 Rata-Rata Waktu Komputasi.....	61



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pemasangan Elektroda.....	7
Gambar 2.2 Sinyal EMG Menggunakan Filter Eksponensial.....	7
Gambar 2.3 Peletakan Sensor Myoware	8
Gambar 2.4 Robot Humanoid	9
Gambar 2.5 Hasil Flex Sensor.....	10
Gambar 2.6 Hasil Sensor EMG	10
Gambar 2.7 Robot Manipulator.....	11
Gambar 2.8 Otot Manusia.....	12
Gambar 2.9 Otot Bisep.....	12
Gambar 2.10 Sistem Instrumentasi Medis.....	13
Gambar 2.11 Otot Lengan	14
Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian.....	16
Gambar 4.1 Blok Diagram Sistem.....	18
Gambar 4.2 Pad Elektroda	20
Gambar 4.3 Sensor Myoware	20
Gambar 4.4 Skematik Sensor Myoware.....	21
Gambar 4.5 Pin Arduino Nano.....	22
Gambar 4.6 Arduino Nano.....	23
Gambar 4.7 LED RGB.....	23
Gambar 4.8 Warna LED RGB	24
Gambar 4.9 Sevo AX-12	24
Gambar 4.10 Robot Bioloid.....	25
Gambar 4.11 Arduino IDE	26
Gambar 5.1 Tata Letak Sensor dan Elektroda.....	27
Gambar 5.2 Arah Sudut Servo.....	27
Gambar 5.3 Perancangan Pengemasan Perangkat Keras.....	28
Gambar 5.4 Skematik Sistem.....	29
Gambar 5.5 Diagram Alir Keseluruhan Sistem.....	30
Gambar 5.6 Zona Sinyal Otot Lengan	31



Gambar 5.7 Diagram Alir Filter Eksponensial	32
Gambar 5.8 Diagram Alir If-else	34
Gambar 5.9 Nilai Sudut pada Servo	35
Gambar 5.10 Diagram Alir Pengiriman Perintah Pergerakan Servo	36
Gambar 5.11 Implementasi Peletakan Sensor	37
Gambar 5.12 Implementasi Prototype Robot Manipulator	38
Gambar 5.13 Implementasi Perangkat Keras	38
Gambar 6.1 Filter Eksponensial 0,1	44
Gambar 6.2 Filter Eksponensial 0,4	45
Gambar 6.3 Filter Eksponensial 0,7	45
Gambar 6.4 145^0	50
Gambar 6.5 135^0	51
Gambar 6.6 90^0	51
Gambar 6.7 45^0	51
Gambar 6.8 0^0	52
Gambar 6.9 Pengujian Keseluruhan Sistem	53



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan inovasi teknologi di abad 20 sangatlah pesat, salah satunya dalam bidang kedokteran. Berbagai macam teknologi mulai dikembangkan agar mempermudah dokter dalam proses pengobatan. Teknologi tersebut salah satunya adalah robot bedah. Robot bedah adalah sistem robot yang berfungsi untuk melakukan prosedur pembedahan (Joshi, 2012). Ketika saat dokter melakukan proses bedah, dokter dapat melakukan kesalahan seperti gerakan yang dapat membahayakan pasien seperti operasi ortopedi, laparosopi dan lainnya. Dengan adanya robot, robot dapat menggunakan alat bedah yang dipakai lebih kecil daripada tangan manusia sehingga menghasilkan sayatan yang kecil dan robot bedah tidak rentan terhadap guncangan atau gerakan yang tidak diinginkan oleh dokter (Nichols, 2019). Sayatan kecil pada pasien dapat mengurangi kehilangan darah dan meninggalkan luka kecil. Oleh sebab itu, pasien mampu memulihkan luka lebih cepat dan memiliki lebih sedikit bekas luka (Joshi, 2012). Dokter juga dapat melihat kondisi pasien dan rekaman medis selama melakukan operasi. Dokter tidak perlu meninggalkan operasi untuk menyentuh *keyboard* atau *mouse* komputer yang bisa menambah waktu operasi serta meningkatkan resiko penyebaran bakteri penyebab infeksi (Kyson, Nifong, & Chitwood, 2003). Tidak jarang, operasi membutuhkan waktu yang lama, sehingga membuat dokter bedah lelah dan dapat melakukan kesalahan dalam proses pembedahan. Dokter umumnya melakukan operasi dengan berdiri selama berjam-jam selama operasi berlangsung. Dengan adanya robot bedah, dokter bedah dapat melakukan operasi dengan kondisi duduk (Nichols, 2019). Disamping itu, proses penanganan akan kegiatan bedah ini membutuhkan waktu yang relatif cepat atau *real time* serta gerakan yang sesuai mengingat pentingnya hal yang hendak ditangani yakni operasi.

Robot bedah dalam permasalahan ini memiliki *design* dengan bentuk layaknya lengan robot. Pergerakan lengan robot didasarkan dari pergerakan lengan dokter (Judkins, et al., 2006). Pergerakan lengan dokter dapat dibaca dengan sinyal electromyography (EMG) yang dihasilkan oleh kontraksi otot melalui elektroda. Sinyal EMG dapat melakukan pendeteksian gerakan dari otot tubuh manusia yang dianalisis dari sinyal listrik dari kontraksi otot. Dokter bedah melakukan pergerakan Ketika melakukan pembedahan salah satunya perubahan pada sudut siku. Penelitian ini mendeteksi sudut lengan siku sebesar 0, 45, 90, 135 dan 180 menggunakan sinyal EMG. Sinyal EMG yang diinginkan perlu melakukan perancangan pengkondisian sinyal berupa *hardware* maupun *software* yaitu penguat instrumentasi 416 kali dan *low pass 5 Hz* sedangkan *software* berupa filter eksponensial dengan menggunakan nilai bobot sebesar 0,1; 0,4; 0,7. Rangkaian ini digunakan untuk memproses sinyal yang dihasilkan oleh elektroda yang ditempatkan pada lengan manusia. Sinyal yang telah diproses akan dianalisis besar amplitudonya untuk dapat ditentukan jenis gerakan lengan yang sedang dilakukan. Nilai sudut yang diteliti harus memiliki nilai akurasi tinggi dikarenakan



ketika melakukan gerakan salah bisa mengakibatkan hal fatal pada pasien. (Maulana & Putri, 2018). Pergerakan lengan manusia memiliki perbedaan yang signifikan berdasarkan jenis kelamin maupun usia. Usia produktif sekitar 20 tahun memiliki otot yang baik sedangkan jenis kelamin laki-laki memiliki nilai EMG lebih tinggi daripada perempuan (Faiz, Maulana, & Utaminingrum, 2018).

Pada kesempatan ini peneliti akan melakukan penelitian untuk menentukan jenis gerakan pada sudut lengan manusia dan mengimplementasikannya pada sebuah robot manipulator. Berdasarkan bahasan di atas, penelitian ini dilakukan sebagai dasar bagi penelitian selanjutnya sehingga harapannya dapat dikembangkan untuk menyelesaikan permasalahan dalam bidang dokter bedah tersebut. Penerapan ilmu biomedis diperlukan untuk melakukan salah satu pendeteksian sinyal fisiologi yaitu EMG. EMG dapat melakukan pendeteksian sudut yang dibentuk dari gerakan lengan manusia, namun sinyal yang dihasilkan dari elektroda masih tercampur oleh sinyal *noise* yang dihasilkan oleh beberapa sumber. Sinyal *noise* yang dibaca oleh elektroda terdiri dari berbagai rentang frekuensi. Akibatnya pendeteksian sinyal EMG menjadi terganggu. Selain itu sinyal yang terbaca oleh elektroda terbilang minim yaitu memiliki satuan microvolt sehingga untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan sistem yang terdiri dari penguat sinyal dan filter *low pass*. Penguat sinyal diperlukan untuk menguatkan sinyal yang semula memiliki satuan mikrovolt menjadi volt sedangkan *low pass* filter untuk meloloskan frekuensi sinyal dari otot bicep dan meredam frekuensi lainnya atau *noise*. Dalam penelitian ini digunakan sensor myoware untuk akuisisi sinyal EMG. Sensor myoware memiliki rangkaian yang diperlukan untuk membaca sinyal EMG. Rangkaian tersebut meliputi rangkaian penguat instrumentasi, penyearah gelombang, *highpass*, *low pass* dan *non inverting*. Sehingga sensor myoware dapat mendapatkan nilai dari pembacaan sinyal otot. Setelah didapat sinyal EMG, pengkategorian sinyal dilakukan dengan menggunakan klasifikasi *if-else* untuk mengetahui pergerakan yang dilakukan oleh tubuh manusia. *If-else* akan menghasilkan data yang telah ditentukan penelitian. *If-else* memiliki waktu komputasi yang cepat (Faiz, Maulana, & Utaminingrum, 2019). Setelah mendapatkan data, selanjutnya akan mengirim data ke robot manipulator. Data yang diterima oleh robot manipulator nantinya akan dieksekusi dalam bentuk gerakan sesuai gerakan yang terjadi pada lengan manusia. Robot manipulator ini memiliki 4 DoF yang terdiri dari 4 servo yang menyerupai bentuk lengan manusia. Penelitian ini merupakan penelitian dasar yang nantinya dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya sehingga robot bedah berdasarkan lengan dokter dengan menggunakan EMG dapat dicapai.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana nilai bobot filter eksponensial yang paling optimal dalam meredam *noise* sinyal EMG?
2. Bagaimana tingkat akurasi *output* sensor myoware yang telah dilakukan penyaringan menggunakan filter eksponensial dalam membedakan sudut 0° , 45° , 90° , 135° , dan 145° otot lengan?



3. Bagaimana tingkat akurasi servo AX-12 untuk membentuk sudut 0° , 45° , 90° , 135° , dan 145° lengan robot?
4. Bagaimana tingkat akurasi pergerakan sudut 0° , 45° , 90° , 135° , dan 145° lengan robot terhadap pergerakan otot lengan manusia menggunakan klasifikasi *if-else*?
5. Bagaimana waktu komputasi pergerakan sudut 0° , 45° , 90° , 135° , dan 145° otot lengan manusia ke lengan robot?

1.3 Tujuan

1. Mengetahui nilai bobot filter eksponensial yang optimal dalam meredam *noise* pada sinyal EMG.
2. Mengetahui tingkat akurasi sensor myoware untuk mengenali sudut 0° , 45° , 90° , 135° , dan 145° gerakan otot lengan menggunakan filter eksponensial.
3. Mengetahui tingkat akurasi sudut 0° , 45° , 90° , 135° , dan 145° lengan robot menggunakan servo AX-12.
4. Mengetahui tingkat akurasi sistem dalam pergerakan sudut 0° , 45° , 90° , 135° dan 145° lengan robot dan pergerakan otot lengan manusia menggunakan klasifikasi *if-else*.
5. Mengetahui waktu komputasi pergerakan sudut 0° , 45° , 90° , 135° , dan 145° otot lengan manusia ke lengan robot.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk pengembangan penelitian dalam dunia robot bedah yaitu merancang robot manipulator yang dapat dikendalikan oleh sinyal EMG sehingga bisa melakukan gerakan sesuai dengan gerakan yang diinginkan.

1.5 Batasan Masalah

Agar pembahasan yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilakukan dengan fokus dan terarah, maka perlu ditetapkan beberapa batasan permasalahan, antara lain:

1. Pengenalan pergerakan lengan terdiri dari 5 gerakan lengan yaitu 0° , 45° , 90° , 135° , dan 145° .
2. Pengujian menggunakan 3 elektroda yang terletak pada otot lengan atas atau bicep.
3. Pengujian dilakukan terhadap subjek berjenis kelamin laki-laki agar nilai EMG yang didapat lebih seragam.
4. Pengujian dilakukan pada posisi duduk dan tangan mengempal.



1.6 Sistematika Pembahasan

Uraian singkat untuk mengenai struktur penulisan pada masing-masing bab adalah sebagai berikut :

Bab 1 Pendahuluan

Memberi penjelasan latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah dan sistematika pembahasan dari “Kontrol Robot Manipulator Berdasarkan Pergerakan Lengan Manusia Menggunakan *Electromyography*”.

Bab 2 Landasan Kepustakaan

Pada bab ini menjelaskan tentang dasar teori yang mendukung untuk melakukan penelitian judul “Kontrol Robot Manipulator Berdasarkan Pergerakan Lengan Manusia Menggunakan *Electromyography*”. Pada bab ini juga menjelaskan penelitian serupa yang telah dilakukan.

Bab 3 Metodologi

Membahas tentang alur kerja yang dilakukan dalam penulisan antara lain studi literatur, analisis kebutuhan sistem, perancangan, implementasi, pengujian, analisa hasil dan terakhir pembambilan kesimpulan.

Bab 4 Rekayasa Kebutuhan

Menguraikan secara rinci terkait dengan Gambaran umum sistem, analisis kebutuhan fungsional dan nonfungsional terkait dengan “Kontrol Robot Manipulator Berdasarkan Pergerakan Lengan Manusia Menggunakan *Electromyography*”.

Bab 5 Perancangan dan Implementasi

Menjelaskan tentang proses perancangan alat sistem kontrol manipulator robot menggunakan EMG sampai implementasi perangkat keras dan perangkat lunak serta metode dalam melakukan klasifikasi jenis sinyal EMG.

Bab 6 Pengujian dan Analisis

Bab ini akan menjelaskan hasil pengujian yang dilakukan untuk menjawab rumusan masalah yang telah dibahas sebelumnya. Pengujian dilakukan sesuai prosedur agar mendapat hasil yang diharapkan. Setelah pengujian selesai, maka analisis data dari hasil yang telah diuji untuk menjawab rumusan masalah.

Bab 7 Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian sistem kontrol robot manipulator menggunakan EMG yang menjawab dari rumusan masalah. Selain itu berisi juga saran untuk penelitian selanjutnya menjadi lebih baik lagi.



BAB 2 LANDASAN KEPUSTAKAAN

2.1 Tinjauan Pustaka/Isi Landasan Pustaka

Dalam pengerjaan penelitian, penulis melakukan tinjauan pustaka yang berkaitan dengan “Kontrol Robot Manipulator Berdasarkan Pergerakan Lengan Manusia Menggunakan *Electromyography*”.

Tabel 2.1 Tinjauan Penelitian Sebelumnya

No.	Nama penulis (Tahun), Judul Penelitian	Perbedaan		
		Persamaan	Penelitian terdahulu	Rencana penelitian
1.	Faiz, A., Maulana, R., Utaminigrum, F. (2019) Sistem Pengenalan Lengan Menggunakan <i>Exponential Moving Average</i> dengan Metode Berbasis EMG	Menggunakan algoritma <i>if- else</i>	Menggunakan sensor ad8232	Menggunakan sensor myoware
2.	Maulana, R., Putri, R. R. M. (2018) Pengkondisian Sinyal <i>Electromyography</i> Sebagai Identifikasi Jenis Gerakan Lengan Manusia.	Filter eksponensial	Rangkaian instrumentasi EMG	Menggunakan sensor myoware
3.	Khadim, A. S. N., Abdul-Sattar, M. M., Falah, H. S. (2017) <i>Surface Electromyography Signal Collecting Strategy for Artificial Hand Controlling Purposes.</i>	Menggunakan sensor myoware dan peletakan di otot bisep dan tangan menggengam	Menggenggam saja	Menggenggam dan menentukan sudut
4.	Fahmi, H. Z., Maulana, R., Kurniawan, W. (2017) Implementasi Keseimbangan Robot Humanoid	Rangkaian sevo lengan 4 DoF	Mengendalikan servo menggunakan cm 510	Mengendalikan servo menggunakan arduino



	Menggunakan Sensor <i>Accelerometer</i> dan <i>Gyroscope</i> dengan <i>Complementary Filter</i> .			
5.	Faidallah, E. M., et al. (2014) <i>Control and Modeling a Robot Arm Via EMG and Flex Signals</i>	Menggunakan sensor EMG	Mnggunakan sensor fleks untuk mengukur sudut lengan dan EMG untuk mengukur kepala tangan	EMG mengukur sudut lengan

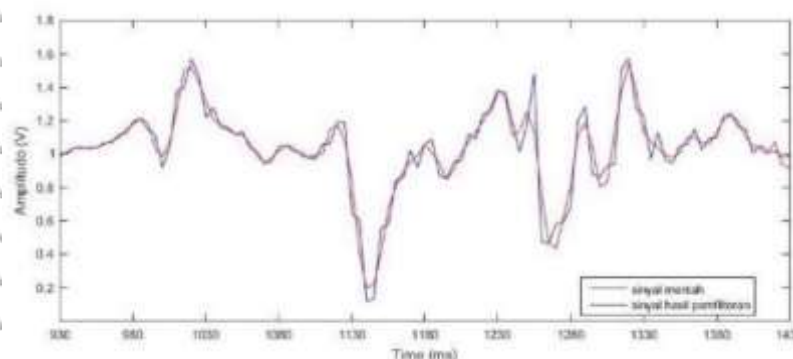
Penelitian yang telah dilakukan oleh Faiz, Maulana, & Utaminingrum (2019) membahas pembacaan lengan manusia dengan cara EMG. Sensor yang digunakan adalah sensor ad8232. Elektroda ditempel di lengan otot bicep dan siku sebagai referensi yang mana dapat dilihat pada Gambar 2.1. Setelah mendapatkan data, sinyal akan difilter menggunakan *exponential moving average*. Lalu gerakan akan diklasifikasikan menggunakan metode *if-else*. Hasil dari percobaan yang telah dilakukan antara lain menggunakan *exponential moving average* dan tanpa menggunakan *exponential moving average* dengan nilai akurasi berturut-turut 54% dan 46%. Akurasi sistem pengenalan pergerakan lengan keseluruhan, pengenalan dapat dipengaruhi oleh jenis kelamin. Pada jenis kelamin laki-laki memiliki akurasi yang cenderung lebih besar daripada akurasi jenis kelamin perempuan. Rendahnya akurasi keseluruhan sistem diakibatkan pada subjek yang tidak tepat waktu melakukan perubahan pergerakan sehingga sensor mendapat nilai perubahan derajat lain. Selain itu, sensor yang dipakai yaitu ad8323 merupakan jenis digunakan untuk elektrokardiogram (EKG). Sensor EKG dan sensor EMG memiliki perbedaan dari nilai frekuensi yang dipakai. Sensor EKG memiliki nilai rentang frekuensi 5-11 Hz (Hakim, 2017). Sedangkan sensor EMG dipakai sekitar 1-5Hz (Maulana & Putri 2018). Selain itu, peletakkan sensor ad832 pada otot bicep menggunakan kabel panjang sehingga dapat menyebabkan noise yang diakibatkan oleh kabel. Selain itu jarak pemasangan elektroda antara V+ dan V- memungkinkan terjadi perbedaan peletakan elektroda dikarenakan penggunaan kabel elektroda. Jika memakai sensor myoware, *noise* kabel dapat dikurangi serta jarak elektroda antara V+ dan V- sama karena elektroda dipasangkan menjadi satu dengan sensor myoware tanpa menggunakan kabel. Hal tersebut memungkinkan pembacaan sinyal EMG yang lebih akurat. Berdasarkan ketiga permasalahan tersebut, peneliti merencanakan untuk menggunakan sensor myoware sebagai sensor EMG. Pada penelitian ini memakai metode klasifikasi *if-else* yang mana menurut peneliti tersebut, waktu komputasi yang dibutuhkan relatif cepat dan mudah diterapkan.



Gambar 2.1 Pemasangan Elektroda

Sumber: Faiz, Maulana, & Utaminingrum (2019)

Peneliti kedua yang dilakukan oleh Maulana & Putri (2018), merupakan penelitian untuk membaca sinyal EMG. Sinyal otot akan melalui filter perangkat keras serta perangkat lunak. Filter perangkat keras dilakukan dengan cara menggunakan rangkaian penguat instrumentasi, *low pass* dan *high pass* dengan rentang 1.5Hz sampai 5 Hz. Setelah itu sinyal akan di filter secara perangkat lunak dengan menggunakan metode filter eksponensial yang diimplementasikan pada aplikasi matlab. Menurut peneliti, filter eksponensial berfungsi untuk mengurangi *noise* pada sinyal. Filter eksponensial yang digunakan dalam penelitian ini memiliki nilai bobot sebesar 0.4. Hasil Sinyal EMG yang telah di filter Eksponensial dapat dilihat pada Gambar 2.2. Hasil dari penelitian ini didapatkan nilai amplitudo rata-rata pada gerakan yaitu 0° sebesar 0.166V, 45° sebesar 0.588V, 90° sebesar 1.049V, 135° sebesar 1.367 dan gerakan 180° sebesar 1.647V. Penelitian ini dilakukan dengan pengujian sebanyak 15 kali percobaan dan didapatkan kegagalan sebanyak 2 kali. Sehingga memiliki akurasi yang tinggi yaitu sebesar 86.67%. Rencana pada penelitian ini, peneliti akan menggunakan filter eksponensial seperti halnya penelitian Maulana dan Putri tetapi implementasi filter dilakukan pada arduino. Filter tersebut ditujukan agar sinyal yang dihasilkan oleh sensor memiliki nilai akurasi yang tinggi.

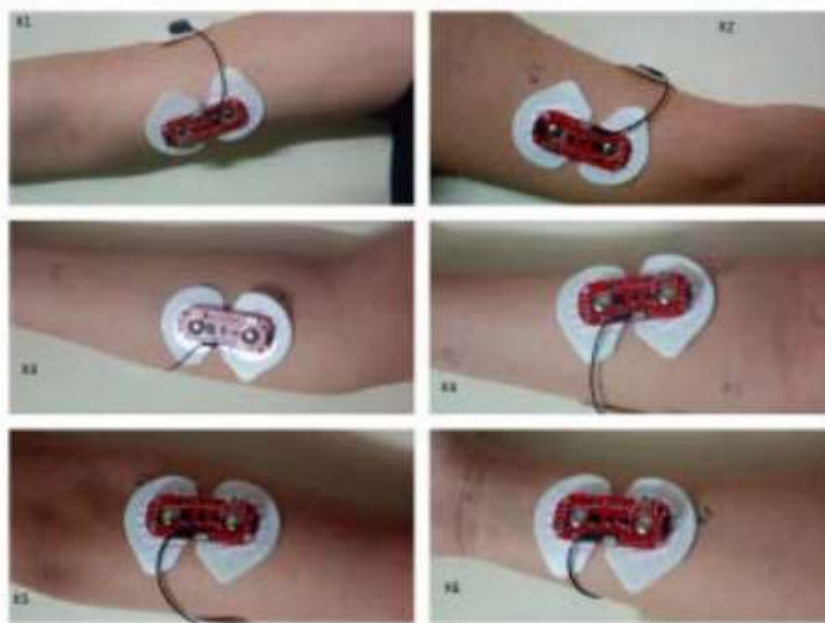


Gambar 2.2 Sinyal EMG Menggunakan Filter Eksponensial

Sumber: Maulana & Putri (2018)



Penelitian yang dilakukan oleh Kadhim, Abdul-Sattar, & Falah (2017) meneliti tentang sinyal EMG terhadap orang sehat dan orang di amputasi menggunakan sensor myoware yang diharapkan dapat menggantikan lengan manusia yang hilang. Penelitian ini mencari peletakan yang paling mendekati dengan nilai amputasi dan nilai tertinggi agar dapat membedakan dengan baik. peletakan sensor terdiri dari otot bicep, otot trisep, *flexor carpi ulnaris*, *brachioradialis*, dan *flexor digiorum sublimis*. Peletakkan sensor myoware dapat dilihat pada Gambar 2.3. Tangan akan melakukan gerakan gengam dan tidak gengam. Hasil dari masing masing peletakan yaitu 310, 150, 200, 150, 200, 250. sedangkan orang yang di amputasi akan diukur hanya bicep dan trisep. Orang amputasi sendiri dibagi menjadi 2 bagian yaitu yang masih ada lengan bawah dan yang tidak ada lengan bawah. Hasil lengan bawah memiliki nilai 220 dan 220 sedangkan yang tidak memiliki lengan bawah memiliki nilai 200 dan 150. Penelitian ini menghasilkan kesimpulan bahwa bagian bicep memiliki nilai *threshold* yang terlihat perbedaannya. Oleh karena itu, peneliti menggunakan peneliti khadim, &et al sebagai dasar penggunaan sensor myoware karena sensor mampu membaca sinyal otot bicep dengan baik.



Gambar 2.3 Peletakan Sensor Myoware

Sumber: Kadhim, Abdul-Sattar, & Falah (2017)

Pada penelitian keempat oleh Fahmi, Maulana, & Kurniawan (2017) untuk mengendalikan robot *humanoid* menggunakan cm 510 sebagai subcontroler dan Raspberry Pi 3 Model B sebagai mikroprosesor. Robot *humanoid* ini terdiri dari 18 servo dan dibagi menjadi 5 bagian yaitu tangan kanan, tangan kiri, kaki kanan, dan kaki kiri. Penelitian ini membuat robot humanoid berdasarkan kerangka servo yang berasal dari bioloid. Kerangka ini diciptakan untuk menyerupai halnya bentuk manusia. Robot humanoid dapat dilihat pada Gambar 2.3. Servo yang dipakai yaitu servo dynamixel dengan jenis AX-12. Servo AX-12 dapat melakukan gerakan sudut



dengan ketelitian sebesar 0,29 derajat dan memiliki kecepatan sebesar 59 rpm. Komunikasi servo AX-12 menggunakan komunikasi serial atau UART. Kecepatan komunikasi servo dapat diatur hingga mencapai 1Mbps. Robot humanoid pada penelitian ini dikontrol menggunakan CM-510 yang mana memiliki kemampuan untuk mengatur atau membaca informasi dari servo. Pada penelitian ini, peneliti membutuhkan mikrokontroler yang dapat melakukan pembacaan sensor myoware. CM-510 memiliki kemampuan mengontrol servo tetapi tidak dapat digunakan untuk membaca sensor myoware. Sehingga, peneliti merencanakan untuk menggunakan arduino yang dapat membaca sensor myoware dan dapat mengontrol servo AX-12. Komunikasi servo AX-12 menggunakan komunikasi serial atau UART sehingga memungkinkan servo berkomunikasi dengan arduino dan servo lainnya. Kecepatan komunikasi pada arduino memiliki nilai maksimum yang sama dengan kebutuhan servo yaitu sebesar 1Mbps. Selain itu, robot humanoid yang diteliti oleh Fahmi, Maulana, & Kurniawan memiliki struktur lengan seperti halnya manusia. Oleh karena itu, peneliti akan menggunakan kerangka bioloid serta servo AX-12 untuk membentuk lengan robot.



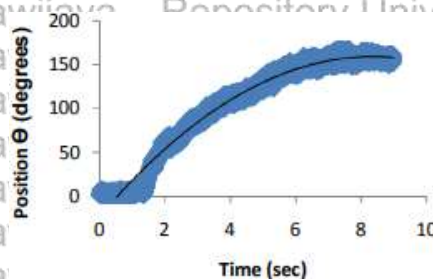
Gambar 2.4 Robot Humanoid

Sumber: Fahmi, Maulana, & Kurniawan (2017)

Penelitian Kelima yang telah dilakukan oleh Faidallah, et al. (2014) berisi tentang penggunaan 2 sensor yaitu sensor EMG dan sensor flex. Sensor EMG digunakan untuk membaca sinyal otot lengan sedangkan sensor flex digunakan untuk mengukur nilai sudut. Penelitian ini menghasilkan bahwa pemakaian flex sensor membutuhkan waktu relatif lama yaitu 8 detik untuk 145 derajat pada lengan siku dan 6 detik untuk 110 derajat pada pergelangan tangan yang dapat dilihat pada Gambar 2.5. Kemudian hasil genggam tangan menghasilkan nilai amplitudo 0.45 sedangkan tangan tidak menggenggam menghasilkan nilai 0.15. Hasil tangan menggenggam dapat dilihat pada Gambar 2.6. Dari hasil tersebut

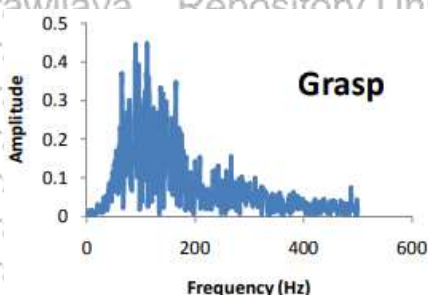


memberikan kesimpulan bahwa sensor EMG dapat memberikan informasi yang sangat berguna tentang aktivitas otot manusia.



Gambar 2.5 Hasil Flex Sensor

Sumber : Faidallah, et al. (2014)



Gambar 2.6 Hasil Sensor EMG

Sumber: Faidallah, et al. (2014)

Berdasarkan penelitian diatas, sinyal EMG merupakan pembacaan sinyal otot. Sinyal otot ini digunakan untuk menentukan sudut lengan. Penelitian ini akan menggunakan sensor myoware sebagai pendeteksi sinyal otot lengan dikarenakan sensor myoware memiliki penguat sebesar 240 kali, frekuensi yang dipakai dibawah 2 Hz. Setelah mendapatkan nilai sinyal otot maka akan di filter menggunakan filter eksponensial yang diharapkan dapat mendapatkan nilai sinyal EMG lebih akurat. Jenis gerakan otot lengan akan ditentukan menggunakan algoritma *if-else* diharapkan memiliki akurasi waktu cepat dan tepat sasaran. Selanjutnya, setelah mendapatkan jenis gerakan pada otot lengan maka akan diteruskan ke lengan robot menggunakan servo AX-12. Penggunaan servo AX-12 yang dirancang berdasarkan lengan humanoid dari standar yang diberikan oleh bioloid dikarenakan sesuai dengan jenis gerakan pada lengan manusia. Servo AX-12 memiliki komunikasi UART yang mana dapat ditemukan di mikrokontroler arduino. Sehingga diperlukan mikrokontroler arduino saja untuk menjalankan sistem ini.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Robot Manipulator

Robot adalah piranti pembantu kerja manusia yang beroperasi berdasarkan masukan pada *input device*. Robot terdiri dari mekanik yang dikendalikan oleh komputer. Unit pengendali robot bekerja berdasarkan sinyal dari sensor dan



masukannya yang diinginkan oleh pengguna (Setiawan, 2015). Robot manipulator merupakan salah satu jenis dari robot. Robot manipulator merupakan jenis robot yang mewakili sebagian anggota tubuh makhluk hidup misalnya seperti robot lengan (Zurendra, Maulana, & Fitriyah 2020). Robot manipulator terdiri dari *joint* dan *link*. *Joint* adalah bagian robot yang mampu melakukan pergerakan seperti motor. Sedangkan *link* merupakan bagian robot yang menghubungkan antar *joint* seperti plastik. Robot manipulator dapat bergerak secara *revolute joint* dan *prismatic joint*. Pergerakan *revolute joint* merupakan pergerakan secara memutar seperti servo motor dan *prismatic joint* arah pergerakan secara memanjang dan memendek. Di dunia robot, terdapat istilah yang sering digunakan yaitu *Degrees of Freedom* (DoF) yang merupakan derajat kebebasan robot pada satu sumbu. Pada robot manipulator jumlah *joint* akan memiliki nilai sama dengan jumlah DoF (Setiawan, 2015). Pada Gambar 2.7 merupakan contoh robot manipulator.



Gambar 2.7 Robot Manipulator

Sumber: Robots (2020)

2.2.2 Otot Manusia

Otot merupakan jaringan dalam tubuh manusia dan hewan yang mana digunakan untuk menggerakkan organ tubuh seperti Ketika manusia berbicara, bernafas, menjaga postur tubuh, dan sebagainya. Karakteristik jaringan otot terdiri dari 3 bagian, yaitu otot rangka, otot polos, dan otot jantung. Tipe otot terdiri dari otot rangka, otot polos, dan otot jantung. Berat badan manusia terdiri dari 40% berisi otot rangka dan 10% terdiri dari otot jantung dan otot polos. Otot jantung merupakan otot untuk mengendalikan kerja jantung manusia sedangkan otot polos terdapat di dinding pembuluh darah, saluran kemih, saluran cerna, dan uterus. Otot rangka merupakan otot yang terdapat di kerangka tubuh manusia yang memiliki fungsi untuk pergerakan seperti otot bicep. Otot dapat bergerak karena asupan energi dan oksigen. Otot kerangka membutuhkan energi dan oksigen lebih besar daripada otot polos dan otot jantung. Otot rangka dapat

bergerak dengan secara sadar sedangkan otot polos dan otot jantung tidak sadar (dapat bergerak sendiri)(Abdurachman, et al., 2019). Gambar otot secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 2.8.

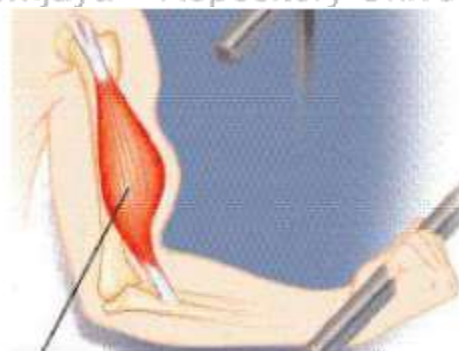


Gambar 2.8 Otot Manusia

Sumber: Teachpe (2020)

2.2.2.1 Otot Bicep

Otot lengan atas terdiri dari otot bicep dan otot trisep. Otot tersebut merupakan salah satu jenis dari otot rangka. Otot bicep terletak di bagian lengan atas manusia sedangkan otot trisep terletak di bagian bawah lengan manusia. Otot ini berfungsi menggerakkan lengan dan tangan agar dapat mengangkat beban berat. Ketika ditekuk otot bicep pada lengan manusia akan kontraksi (otot membesar dan memendek) sedangkan otot trisep relaksasi (otot memanjang dan kecil, begitu juga sebaliknya Ketika manusia meluruskan tangan maka otot bicep akan kontraksi dan bicep relaksasi (Abdurachman, et al., 2019). Otot bicep bisa dilihat pada Gambar 2.9.



otot bicep

Gambar 2.9 Otot Bicep

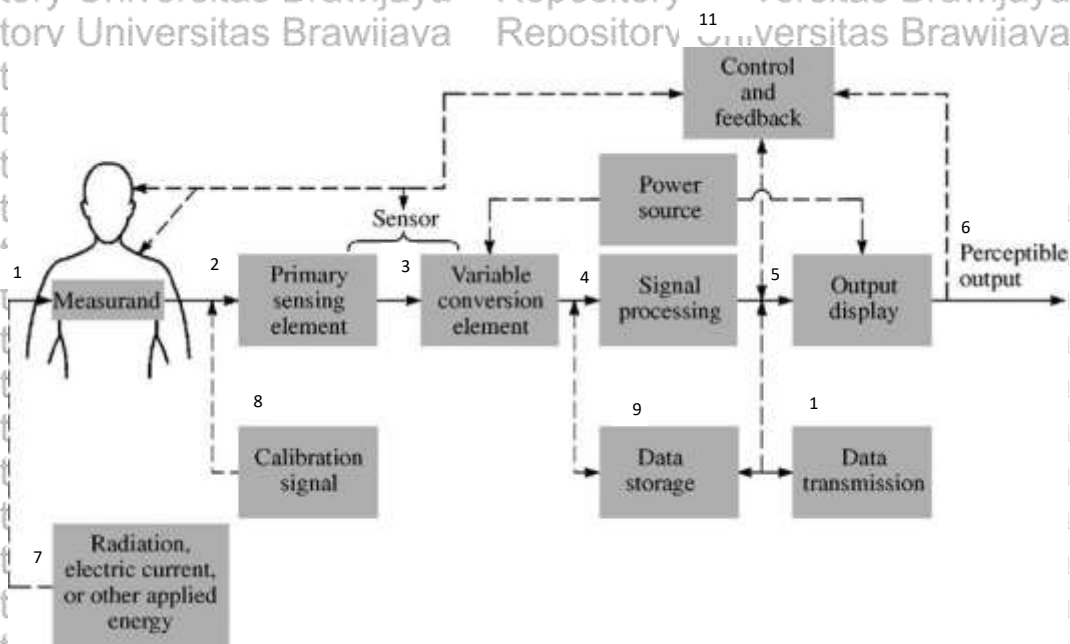
Sumber: Abdurachman, et al. (2019)

2.2.3 Instrumentasi Medis

Instrumentasi medis adalah peralatan elektronika yang digunakan dalam medis. Sistem instrumentasi medis terdiri dari *measurand*, sensor, pengkondisian sinyal, dan hasil keluaran berupa digital atau analog yang ditampilkan berupa

audio atau visual. Selain itu, elemen yang dapat ditambahkan yaitu pengiriman data dan penyimpanan data, elemen ini tidak wajib ada. Gambaran tentang sistem instrumentasi medis dapat dilihat pada Gambar 2.10. Garis putus pada Gambar tidak wajib ada.

Biosinyal merupakan sel saraf dan sel otot mengeluarkan sinyal. Biosinyal memiliki fungsi pada sistem biologis mengeluarkan sinyal yang diukur dan dianalisa agar mendapatkan informasi yang dibutuhkan seperti denyut nadi dan lainnya. Macam macam biosinyal adalah mekanik (tekanan darah), termal (temperature), listrik (EEG/ECG/EMG/EOG), konduktansi (sel syaraf), dan optic (X-ray) (Clark, et al., 1998).



Gambar 2.10 Sistem Instrumentasi Medis

Sumber: Clark, et al. (1998)

Keterangan:

1. Sistem organ manusia yang akan diukur.
2. Unsur penginderaan.
3. Pengubah variabel.
4. Pengkondisian sinyal untuk mengolah data yang diperoleh, seperti penguat sinyal.
5. Tampilan hasil nilai yang dibaca.
6. Keluaran yang terlihat.
7. Alat bantu agar dapat membaca sistem organ tubuh manusia seperti radiasi, arus listrik, dan energi lainnya.
8. Kalibrasi sinyal agar dapat dibaca oleh sensor.
9. Penyimpanan hasil pembacaan sistem.

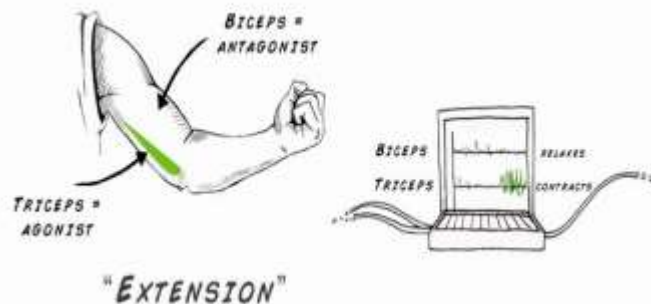


10. Petukaran data sistem.

11. Memberikan kontrol dan umpan balik kepada subjek.

2.2.3.1 Elektromiografi.

Elektromiografi (EMG) digunakan untuk mengukur aktifitas listrik pada serat otot. Otot ketika berkeja terdapat pertukaran ion-ion yang melewati membrane neuron sehingga terdapat aksi potensial. Amplitudo EMG memiliki rentang sekitar 20-2000 mikrovolt. Sinyal EMG dapat dibaca menggunakan 2 elektroda yang ditempelkan pada permukaan kulit yang ingin dideteksi elektroda diletakkan di otot bicep yang saling bedekatan dan sejajar dengan serat otot, dan satu elektroda sebagai ground diletakkan dekat siku tepatnya bagian samping otot bicep bagian dalam (Clark, et al., 1998). Pada Gambar 2.11 merupakan salah satu proses pembacaan EMG.



Gambar 2.11 Otot Lengan

Sumber: Mallardsgroups (2020)

2.2.4 Filter Eksponensial

Filter eksponensial merupakan salah satu filter menggunakan *software* seperti matlab, filter ini merupakan filter *rekursif linier* untuk mengurangi *noise* seperti EMG. Filter sebelumnya masih terdapat *noise* yang memengaruhi nilai amplitudo dari sinyal tersebut (Maulana & Putri, 2018). Persamaan eksponensial dapat dilihat pada persamaan 2.1

$$y = w \times x_n + ((1 - w) \times y_{n-1}) \quad (2.1)$$

Keterangan:

$y_{(n)}$: hasil filter eksponensial

$y_{(n-1)}$: hasil filter eksponensial sebelumnya

$x_{(n)}$: masukan filter eksponensial

w : koefisien pembobotan filter



BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tipe Penelitian.

Tipe penelitian ini merupakan penelitian yang memiliki sifat implementatif pengembangan. Implementatif berisi tentang analisis data serta melakukan penerapan pada perangkat keras dan perangkat lunak. Pengembangan ini dilakukan dikarenakan oleh kekurangan atau permasalahan dari penelitian sebelumnya dengan tujuan untuk mengembangkan penelitian sebelumnya sehingga permasalahan dapat diselesaikan.

3.2 Strategi dan Rancangan Penelitian

Penelitian ini agar dapat berjalan dengan maksimal maka diperlukan strategi dan rancangan penelitian yang baik, yang mana akan dijelaskan pada subab berikut ini.

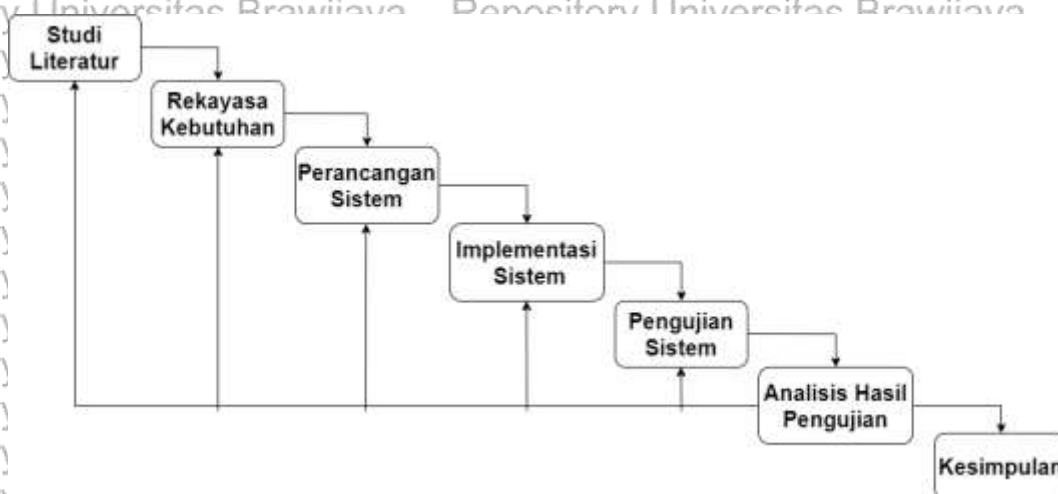
3.2.1 Metode Umum

Metodologi penelitian berisi metode yang digunakan dalam melakukan penelitian tentang “Kontrol Robot Manipulator Berdasarkan Pergerakan Lengan Manusia Menggunakan *Electromyography*” tipe penelitian ini adalah implementatif pengembangan dengan pendekatan perancangan melalui proses yang utuh mulai dari analisis perancangan sampai pengujian. Metode penelitian yang digunakan pada skripsi dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 3.1

Hal yang pertama kali dilakukan sebelum melakukan penelitian, maka diperlukan melakukan studi literatur. Studi literatur digunakan untuk landasan dasar dan penguat teori yang diambil di jurnal, buku, paper dan lain sebagainya. Literatur yang dipakai dalam penelitian ini adalah robot manipulator, rekayasa biomedis, instrumentasi, filter eksponensial, dan *if-else*. Kedua yaitu rekayasa kebutuhan, rekayasa kebutuhan dilakukan ketika telah melakukan studi literatur. Agar menciptakan sistem yang dapat berjalan sesuai dengan yang diharapkan, maka diperlukan analisis kebutuhan yang akan digunakan pada sistem penelitian ini. Rekayasa kebutuhan terdiri dari kebutuhan fungsional, kebutuhan perangkat keras dan kebutuhan perangkat lunak. Ketiga, perancangan sistem. Perancangan sistem dilaksanakan ketika rekayasa kebutuhan sistem telah didapat. Perancangan sistem menggabungkan perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Perancangan ini bertujuan untuk sistem yang akan dikerjakan dapat berjalan sesuai tujuan. Keempat, penerapan implementasi sistem mengacu pada perancangan yang telah dibuat pada subab perancangan. Pada tahap ini mengharuskan fungsi dapat berjalan yang diinginkan. Kelima, pengujian dan analisis. Setelah sistem telah di implementasi akan dilanjutkan dengan pengujian, tahap ini dilakukan agar dapat berjalan yang telah diinginkan atau belum dan apakah sudah sesuai menjawab di rumusan masalah. Jika belum maka harus kembali pada subab perancangan sistem dan implementasi apakah ada kesalahan atau perbaikan. Jika sudah maka dilakukan analisis sistem dari pengujian sistem



yang telah dilaksanakan. Terakhir, kesimpulan dan saran. Pengambilan kesimpulan dapat dilaksanakan ketika hasil pengujian telah selesai dan mengacu pada rumusan masalah. Selain itu terdapat saran yang digunakan untuk membantu penelitian lanjut dikemudian hari.



Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian

3.2.2 Subyek Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan melibatkan subjek dengan ciri laki-laki berusia kurang lebih 20 tahun. Laki laki yang memiliki usia remaja memiliki otot yang baik dikarenakan masih dalam pertumbuhan dan aktif dalam kegiatan. Selain itu, penelitian ini dilakukan pada jenis kelamin laki-laki dikarenakan otot laki laki dan perempuan berbeda sehingga diharapkan rentang amplitudo memiliki nilai yang seragam. Perbedaan nilai otot berdasarkan jenis kelamin dan usia memiliki nilai yang berbeda (Faiz, Maulana, & Utaminingrum 2018).

3.2.3 Lokasi

Penelitian ini dilakukan di ruangan laboratorium robotika dan sistem tertanam Fakultas Ilmu Komputer Universitas Brawijaya Malang.

3.2.4 Teknik Pengumpulan Data

Dalam mengumpulkan data dilakukan dengan cara pengambilan secara langsung pada otot lengan manusia. Pembacaan dilakukan dengan meletakkan 3 elektroda yaitu 1 sebagai V+ 1 sebagai V- dan 1 *ground*. Data yang diambil merupakan data masing masing gerakan meliputi sudut sebesar 0°, 45°, 90°, 135°, 145°. Sudut 145° merupakan sudut maksimal pada otot lengan maupun lengan robot ketika ditekuk. Pada tiap tiap gerakan, pembacaan nilai otot dalam kurun waktu satu detik. Data latih didapat dari pembacaan nilai otot 6 subjek berjenis kelamin laki-laki. Data latih tersebut digunakan sebagai dasar pengetahuan sistem kontrol robot manipulator dengan *input* EMG.



3.2.5 Teknik Analisis dan Pembahasan

Teknik analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan mengujikan secara langsung terhadap sistem. Pengujian tersebut nantinya akan digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pada penelitian ini. Pengujian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengujian nilai bobot filter eksponensial yang paling baik.
2. Pengujian akurasi nilai amplitudo dengan nilai sudut lengan.
3. Pengujian akurasi nilai sudut servo.
4. Pengujian akurasi antara gerakan otot lengan dengan lengan robot.
5. Pengujian waktu komputasi sistem.

3.2.6 Peralatan Pendukung yang Digunakan

Peralatan pendukung yang akan digunakan dalam penelitian agar dapat berjalan sesuai dengan sistem maka diperlukan perangkat keras dan perangkat lunak. Peralatan yang dibutuhkan untuk perangkat keras adalah:

1. Pad elektroda.
2. Sensor myoware
3. Arduino nano
4. LED RGB
5. Servo AX-12
6. Kabel
7. Kerangka robot bioloid

Perangkat yang dibutuhkan untuk perangkat lunak:

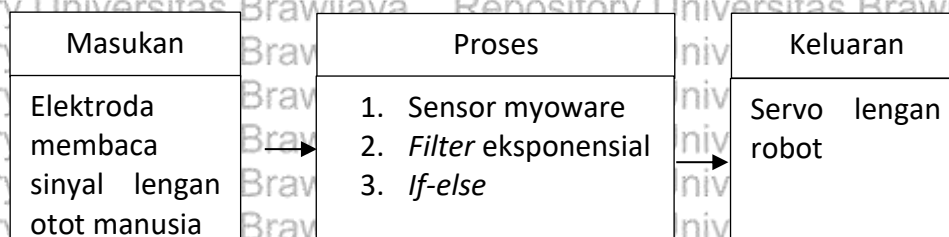
1. Arduino IDE



BAB 4 REKAYASA KEBUTUHAN

4.1 Gambaran Umum Sistem

Penelitian membuat sistem robot manipulator dengan *input* EMG menggunakan metode *if-else*. sistem ini akan mengenali gerakan otot manusia yang akan diteruskan ke lengan robot atau robot manipulator. Robot ini memiliki 4 DoF sesuai dengan tangan yang juga memiliki 4 DoF juga. Sistem dapat mengenali 5 macam gerakan sudut lengan manusia yaitu 0° , 45° , 90° , 135° , dan yang terakhir 145° . Ketika manusia melakukan gerak tersebut maka robot juga melakukan hal yang sama.



Gambar 4.1 Blok Diagram Sistem

Pada penelitian ini, terdiri dari *input* proses dan *output* yang mana terdapat pada Gambar 4.1. Masukan sistem berupa elektroda. Elektroda akan membaca sinyal terdapat di lengan manusia. Dikarenakan yang dibaca memiliki tegangan yang kecil dan memiliki frekuensi yang banyak maka perlu di proses dengan sensor myoware. Sensor myoware akan memperkuat sinyal otot dan meloloskan sinyal otot frekuensi 106Hz. Selanjutnya sensor akan menyearahkan gelombang menjadi positif sehingga tegangan dapat dibaca oleh mikrokontroler. Setelah melalui penyearah gelombang, sensor myoware akan meloloskan sinyal otot dibawah 2Hz. Terakhir nilai sinyal otot akan diperkuat sesuai resistansi potensio. Setelah mendapatkan hasil tegangan, akan masuk klasifikasi *if-else* yang mana hasil akan memasuki parameter yang telah ditentukan. Setelah hasil jenis gerakan berhasil ditentukan, maka robot manipulator yang disusun dari 4 servo akan bergerak sesuai gerakan tangan.

4.2 Batasan Sistem

Penelitian ini memiliki Batasan sistem agar dapat berjalan dengan semestinya, antara lain:

1. Elektroda yang dipasang pada otot lengan manusia terdiri dari V_{-} , V_{+} , dan *ground*.
2. Skenario pengambilan data yaitu dalam 1 gerakan yang ditentukan dengan rentang waktu kurang lebih 1 detik.
3. Pergerakan dilakukan secara *non continue* yaitu harus meluruskan lengan ketika mulai dan selesai melakukan pergerakan sudut.



4.3 Kebutuhan Sistem

Pada subab ini berisis analisa mengenai kebutuhan apa saja yang dibutuhkan oleh sistem agar mendapatkan hasil yang diinginkan. Kebutuhan sistem ini terdiri dari kebutuhan non fungsional dan fungsional maupun secara perangkat keras dan perangkat lunak.

4.3.1 Kebutuhan Fungsional

Kebutuhan fungsional berisi proses apa saja yang tersedia oleh sistem kepada pengguna. Berikut kebutuhan fungsional:

1. Sistem dapat mengakusisi sinyal EMG pada otot bicep.

Pada poin pertama sistem harus dapat membaca sinyal emg pada otot lengan menggunakan tiga elektroda. Dua elektroda berfungsi sebagai pembandingan sinyal otot dan satu elektroda digunakan untuk ground. Dua elektroda akan ditempel pada lengan bicep dan satu elektroda ditempel pada sisi siku. Sinyal EMG yang dibaca oleh elektroda merupakan input dari sistem.

2. Sistem dapat meredam noise pada sinyal EMG.

Sinyal EMG memiliki noise pembacaan sehingga sistem harus dapat menghilangkan sinyal yang tidak dibutuhkan dan menguatkan tegangan agar sistem dapat berfungsi sesuai dengan yang direncanakan. Filter dalam sistem ini dilakukan dari sisi hardware dan software. Filter bagian Hardware terdiri dari penguat instrumentasi dan filter low pass untuk menghilangkan frekuensi yang tidak diinginkan. Filter bagian software menggunakan filter eksponensial yang akan menghasilkan sinyal EMG yang lebih halus. Filter eksponensial didapat dari nilai sebelum dan nilai sesudah.

3. Sistem dapat membedakan gerakan otot berdasarkan sudut lengan manusia.

Setelah medapatkan sinyal yang diinginkan, sistem juga harus dapat membedakan sudut lengan manusia yaitu 0° , 45° , 90° , 135° , dan 145° . Gerakan sudut lengan dapat dibedakan dengan membaca nilai tegngan sensor.

4. Sistem robot dapat membentuk sudut yaitu 0° , 45° , 90° , 135° , dan 145° .

Robot manipulator yang terdiri dari 4 buah servo harus dapat melakukan gerakan sudut 0° , 45° , 90° , 135° , dan 145° berdasar nilai yang dikirim ke servo.

5. Sistem dapat melakukan penentuan jenis gerakan dengan if-else.

Sistem akan membaca nilai EMG dari sensor berupa tegangan. Nilai tegangan yang berbeda-beda pada setiap gerakan lengan manusia akan di proses menggunakan seleksi kondisi if-else. Sistem dapat membedakan sudut 0° , 45° , 90° , 135° , dan 145° berdasarkan nilai batas atas dan batas bawah yang telah dihitung sehingga sudut dapat dibedakan.

6. Keseluruhan pergerakan robot mengikuti pergerakan lengan.

Sistem dapat menggerakkan robot manipulator yang mana mengikuti pergerakan lengan manusia membentuk sudut 0° , 45° , 90° , 135° , dan 145° .

4.3.2 Kebutuhan Non Fungsional

4.3.2.1 Kebutuhan Perangkat Keras

1. Pad Elektroda



Pad elektroda digunakan untuk membaca sinyal dalam tubuh manusia. Pad elektroda dapat dilihat pada Gambar 4.2. Merek yang dipakai yaitu onedot dengan jenis ukuran anak-anak. Diameter pada elektroda yaitu 30mm. Ukuran ini cocok dengan ukuran sensor yang memiliki jarak antara peletakan elektroda satu dengan yang lain berdekatan. Elektroda memiliki tingkat sensitif dikarenakan terdapat zat AG/AGCL. Elektroda aman digunakan pada kalangan umum dikarenakan bebas dari pvc dan latex (OneMed-Medicom, 2020).



Gambar 4.2 Pad Elektroda

2. Sensor Myoware

Sensor myoware merupakan sensor EMG keluaran terbaru. Sensor ini merupakan perbaikan dari sensor sebelumnya yang memiliki kabel elektroda panjang sehingga dapat menimbulkan *noise*. Sedangkan sensor ini dibuat secara lebih ringkas yakni dengan cara mengurangi perkabelan. Jarak antara V- dan V+ tetap sama sehingga meminimalisir kesalahan peletakan antara V- dan +. Elektroda yang dipakai pada sensor ini memiliki ukuran anak-anak sehingga minimalis dan praktis. Spesifikasi sensor myoware dapat dilihat pada Tabel 4.1. Gambar 4.3 merupakan Gambar dari sensor myoware.



Gambar 4.3 Sensor Myoware

Sumber: Advancer-Technologies (2015)

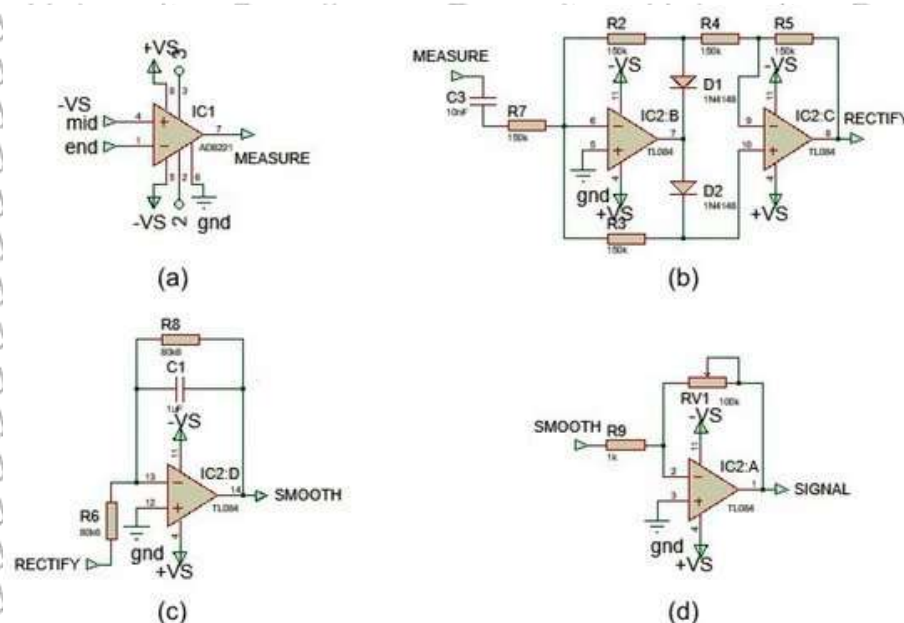
Tabel 4.1 Spesifikasi Sensor Myoware

Model alat	Design yang dapat dipakai tubuh manusia.
Sumber daya	2.9V-5.7V (disarankan 3,3V atau 5V)
	Pelindungan pembalikan polaritas pada sumber daya.
Model keluaran	EMG Envelope

	Raw EMG
Pengaturan penguatan	0,01 -100k (disarankan 50k)

Sumber: Advancer-Technologies (2015)

Sinyal EMG memiliki keluaran sekitar 20-2000 mikrovolt. Sinyal tersebut sangat sulit dibaca dan dibedakan sehingga diperlukan penguat instrumentasi. Penguat ini menggunakan IC AD 8221 dengan pengali sebesar 240 kali sehingga sinyal dapat dibaca dan dibedakan dengan mudah. Selanjutnya, sinyal yang didapat masih memiliki noise yang tidak diinginkan serta memiliki sinyal negatif. Agar sinyal dapat dibaca, sinyal *noise* akan difilter dengan meloloskan frekuensi dibawah 106 Hz. Lalu sinyal negatif perlu diubah menjadi positif menggunakan rangkaian *full wave rectifier*. Setelah itu, sinyal yang sudah searahkan perlu difilter Kembali dengan meloloskan sinyal dibawah 2Hz. Terakhir, sinyal yang akan dikeluarkan dapat diperkuat sesuai dengan yang diinginkan sehingga keluaran amplitudo bekisar 0-5V sesuai input yang di masukkan. Keluaran 0-5V dapat dibaca oleh arduino menggunakan pin analog (Addante, et al., 2020). Skematik rangkaian sensor myoware dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Skematik Sensor Myoware

Sumber: Addante, et al. (2020)

Keterangan rangkaian pada sensor myoware:

- Rangkaian penguat instrumentasi menggunakan IC ad8221 dengan nilai besaran 240 kali.
- Rangkaian *high pass* tetapi yang dilewatkan yaitu yang bawahnya yang memiliki besaran 106Hz. Setelah itu, sinyal diperbaiki dengan rangkaian *full wave rectifier*.
- Rangkaian *low pass* filter dengan besaran 2 Hz.
- Rangkaian penguat yang memiliki nilai *gain* yang dapat diatur oleh potensiometer.

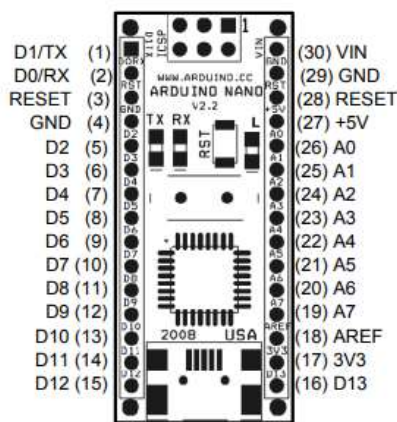


3. Arduino Nano

Arduino adalah sebuah mikrokontroler berbasis ATmega328 yang dibuat dalam sebuah papan. Arduino nano merupakan salah satu jenis dari produk yang dikeluarkan oleh arduino yang memiliki ukuran kecil sebesar 1.7 x 0,73 inci. Pengguna hanya perlu menghubungkan sebuah arduino ke komputer menggunakan USB tipe B. Arduino nano dilengkapi dengan bootloader, sehingga USB dapat digunakan untuk mengunggah kode program dari komputer atau memiliki sarana komunikasi tanpa menggunakan serial/rs323. USB tersebut juga digunakan untuk menyalakan sebuah arduino. Selain menggunakan USB tersebut, komunikasi serial dapat menggunakan 2 buah pin yaitu pin RX untuk menerima dan TX untuk mengirim data. Program arduino pun telah dilengkapi dengan *serialport library* yang dapat memudahkan programmer untuk membuat program.

Arduino memiliki aplikasi pemrograman tersendiri yaitu arduino IDE. bahasa pemrograman yang digunakan adalah bahasa C. Bahasa pemrograman C merupakan bahasa *user-friendly* yang digunakan di masyarakat karena mudah dimengerti. Selain itu, pemrograman arduino bersifat *open source* bebas, sehingga banyak terdapat banyak pihak yang bebas dalam mengembangkan arduino. Arduino Uno dilengkapi dengan sebuah polyfuse yang dapat direset untuk melindungi arduino dari komputer terhadap hubungan singkat maupun arus berlebih. Jika Arduino menarik arus lebih besar dari 500 mA dari USB, maka fuse ini akan putus secara otomatis sampai hubungan singkat atau kelebihan beban ini berhenti (arduino, 2020).

Selain itu penelitian ini membutuhkan 1 pin analog untuk membaca sensor myoware; 3 pin digital untuk menyalakan LED RGB; pin 3.3v untuk sumber tegangan LED RGB; pin 5v untuk sumber tegangan sensor myoware; ground digunakan untuk ground sensor, servo, LED; dan pin TX untuk mengirim data dari arduino nano ke servo AX12. Pengiriman komunikasi dapat mencapai 1 Mbps yang dibutuhkan dalam penelitian ini untuk pengiriman komunikasi dengan AX-12. Oleh sebab itu, arduino nano sudah mencukupi untuk jumlah pin PWM, pin catu daya, pin analog, pin TX.



Gambar 4.5 Pin Arduino Nano

Sumber: Arduino (2008)

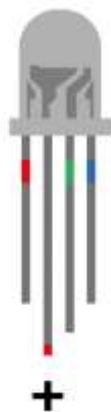


Gambar 4.6 Arduino Nano

Sumber: Arduino (2008)

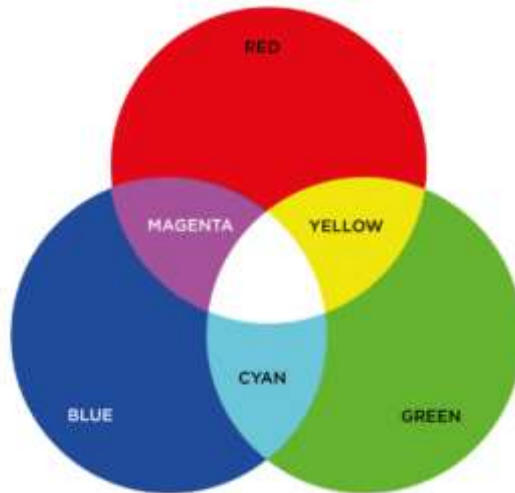
4. LED RGB

LED *red green blue* (RGB) dipakai dalam penelitian ini dikarenakan LED memiliki 3 warna dasar yaitu merah, hijau, dan biru. Kombinasi dari 3 warna tersebut dapat menghasilkan berbagai macam warna yaitu biru muda, ungu, kuning, dan putih. Warna LED akan keluar sesuai dengan tegangan yang dimasukkan pada pin LED. RGB LED yang dibutuhkan hanya 1 buah sehingga memudahkan penempatan pada sistem. Macam-macam warna dapat dilihat pada Gambar 4.7. LED RGB memiliki 4 pin, 3 pin untuk warna dasar dan 1 pin digunakan untuk VCC (anoda) atau GND (katoda) (ebotics, 2020) Gambar 4.8 merupakan pin LED RGB. Penelitian memakai LED RGB dikarenakan dapat menghasilkan berbagai warna dengan memainkan nilai pulse masing masing pada pin LED tersebut sehingga tidak memerlukan LED lebih banyak yang menyebabkan pemborosan tempat maupun penggunaan pin. Pin LED diatur menggunakan pin PWM yang terdapat pada pin digital arduino.



Gambar 4.7 LED RGB

Sumber: Ebotics (2020)



Gambar 4.8 Warna LED RGB

Sumber: Ebotics (2020)

5. Servo AX-12

Servo AX 12 adalah salah satu jenis akuator robot seri *dynamixel* yang menggabungkan motor DC, kontrol dan roda gigi. Servo ini memiliki torsi yang tinggi dan dibuat dari bahan yang berkualitas sehingga dapat memberi kekuatan dan menahan struktural yang diperlukan. Robot AX-12 juga memiliki *frame humanoid* sehingga cocok untuk *prototype* robot lengan. Spesifikasi servo AX 12 dapat dilihat pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.9 merupakan Gambar dari servo AX 12. Servo AX-12 memiliki komunikasi serial sehingga meringkas penggunaan kabel. Untuk membedakan antara servo satu dengan yang lain cukup dengan identitas pada servo yang dapat diatur sesuai keinginan. Dalam penelitian ini dibutuhkan 4 buah servo AX-12 untuk membuat 4DoF. Kecepatan pengiriman komunikasi yang dapat mencapai sebesar 1Mbps sehingga cocok digunakan untuk penelitian yang membutuhkan waktu komputasi yang cepat dan memiliki 59 rpm. Pengiriman AX-12 dapat menggunakan pin "data" sehingga tidak diperlukan tambahan servor untuk mengatur servo serta lebih ringkas. Pin "data" pada servo dihubungkan dengan pin TX pada arduino (robotis, 2020). Oleh sebab itu, komunikasi antara arduino dengan servo dapat dilakukan.



Gambar 4.9 Sevo AX-12

Sumber: Robotis (2020)



Tabel 4.2 Spesifikasi Servo AX-12

Macam	Spesifikasi
<i>Baudrate</i>	7843-1Mbps (disarankan 1Mbps)
Resolusi	0.29°
Derajat	0°-300°
Berat	54.6gram
Dimensi(lxtxd)	32mmx50mmx40mm
Rasio gear	254:1
Masukan tegangan	9V-12V
Bahan	Plastik

Sumber: Robotis (2020)

6. Kabel

Berdasarkan kamus KBBI, kabel adalah penghantar arus listrik. Kabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah kabel jumper dan kabel bioloid 3p. kabel jumper digunakan untuk menghubungkan antar komponen satu dengan yang lain seperti LED RGB dengan arduino. Sedangkan kabel bioloid 3p terdiri dari 3 pin, yaitu GND, VCC, dan data. Kabel bioloid digunakan untuk menghubungkan antar servo. Kabel bioloid dibutuhkan sebanyak 4 buah.

7. Kerangka Bioloid

Lengan robot dibuat menggunakan kerangka robot bioloid dari perusahaan robotis korea. Robot bioloid bertujuan untuk membuat robot *humanoid*. Kerangka ini memiliki berat yang ringan namun kuat atau tidak mudah patah. Kerangka bioloid didesain khusus untuk servo AX-12. Dikarenakan akan membuat lengan, maka dibutuhkan bagian lengan saja. Jenis frame yang dipakai adalah FP04-F3 2 buah, FP04-F9 1 buah, FP04-F1 2 buah, FP04-F4 1 buah, FP04-F11 1 buah. Robot bioloid dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Robot Bioloid

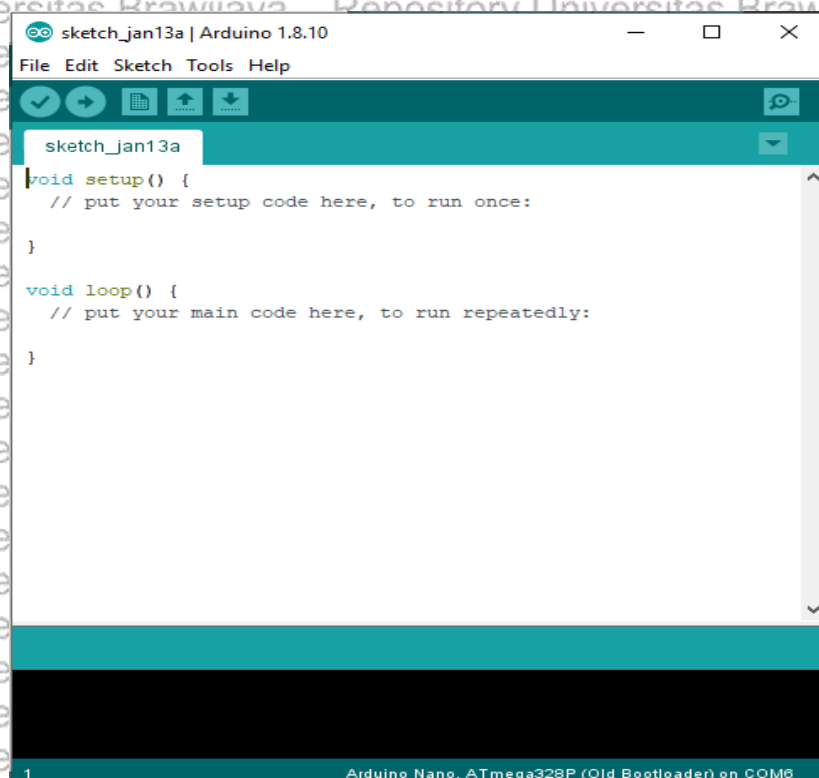
Sumber: Robotis (2020)



4.3.2.2 Kebutuhan Perangkat Lunak

1. Arduino IDE

Arduino ide (*integrated Development Environtment*) merupakan aplikasi dari perusahaan arduino berbasis *open source* untuk memudahkan menulis program pada mikrokontroler arduino yang dapat dijalankan windows. Gambar 4.11 merupakan tampilan awal aplikasi arduino IDE. Dikarenakan pada penelitian ini memakai mikrokontroler berupa arduino nano maka dibutuhkan aplikasi arduino IDE untuk melakukan pemrogram terhadap arduino.



Gambar 4.11 Arduino IDE



BAB 5 PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

5.1 Perancangan Sistem

Perancangan sistem membahas tentang proses perancangan sebuah sistem “Kontrol Robot Manipulator Berdasarkan Pergerakan Lengan Manusia Menggunakan *Electromyography*”. Perancangan sistem ini terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak.

5.1.1 Perancangan Peletakan Elektroda dan Sensor pada Lengan Manusia

Elektroda ditempelkan pada sensor myoware. Peletakan pada sensor myoware akan memengaruhi keluaran sinyal karena elektroda harus ditempatkan ditengah otot bicep dan selaras dengan orientasi serat otot. Sensor myoware jika dtempakan di tempat lain akan memengaruhi pada kekuatan dan kualitas sinyal sensor karena mengurangi jumlah unit motor yang diukur (Adavancer-Technologies, 2015) sensor myoware ditelakkan di otot bicep seperti pada Gambar 5.1.

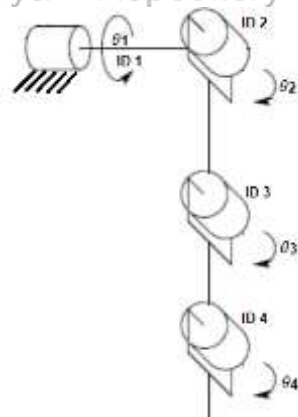


Gambar 5.1 Tata Letak Sensor dan Elektroda

Sumber : Adavancer-Technologies (2015)

5.1.2 Perancangan Prototype Robot Manipulator.

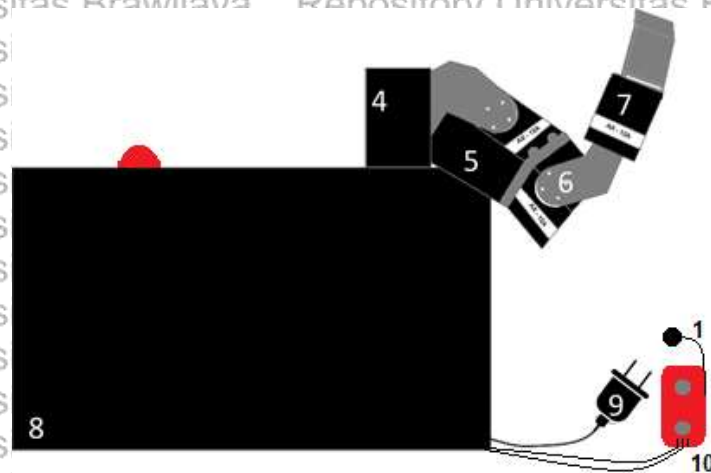
Perancangan *prototype* robot manipulator terdiri dari robot manipulator yang memiliki 4 derajat kebebasan. Pada Gambar 5.2 merupakan arah rotasi pada robot manipulator. Servo id1 dan 2 sebagai bahu tangan manusia. Servo id 3 sebagai siku manusia. Servo id 4 sebagai pergelangan tangan.



Gambar 5.2 Arah Sudut Servo



Robot manipulator menempel pada kotak hitam yang berisi rangkaian pada perancangan perangkat keras. Terdapat dua kabel sebagai sumber daya yang pertama untuk 5V dan 12V. selain itu terdapat 3 kabel untuk terhubung dengan sensor myoware. Terdapat LED RGB sebagai petanda yang akan dilakukan gerakan sudut lengan. Antar servo satu dengan servo lain akan terhubung dengan *frame*. *Frame* yang dipakai adalah FP04-F3, FP04-F9, FP04-F1, FP04-F4, FP04-F11. Komunikasi satu servo dengan yang lainnya membutuhkan kabel bioloid 3 pin yang mana berfungsi sebagai tegangan masukan dan data. Kabel bioloid dibutuhkan sebanyak 4 buah. Pada Gambar 5.3 merupakan Gambaran prototype robot manipulator.



Gambar 5.3 Perancangan Pengemasan Perangkat Keras

Keterangan Gambar:

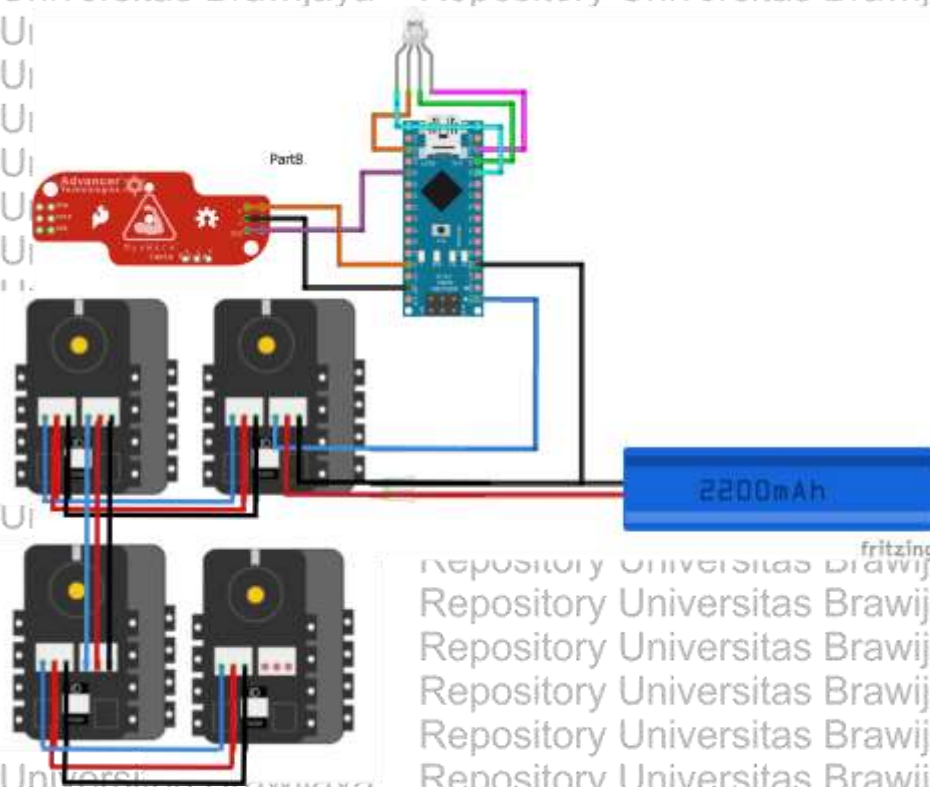
1. Pad elektroda sebagai *ground*.
2. Pad elektroda sebagai *V+*.
3. Pad elektroda sebagai *V-*.
4. Servo ID 1
5. Servo ID 2
6. Servo ID 3.
7. Servo ID 4.
8. Kotak hitam berisi rangkaian instrumentasi dan sebagai badan robot.
9. Steker.
10. Pin sensor myoware yang terdiri dari pin *signal*, *ground*, *VCC* (urutan dari sebelah kiri ke kanan)

5.1.3 Perancangan Perangkat Keras

Pada perancangan perangkat keras, terdiri dari alat sensor myoware, arduino nano, LED RGB, servo dynamixel sebanyak 4 buah, baterai 12Volt, dan *micro usb*. *Micro usb* arduino digunakan sebagai sumber daya arduino nano yaitu sebesar 5Volt sekaligus untuk mengunggah pemrograman dari komputer ke arduino. Sensor myoware dapat dinyalakan dengan input pin 5V dan ground pada arduino. Sensor myoware akan membaca sinyal otot melalui elektroda. Keluaran dari sensor myoware merupakan data berupa tegangan sehingga diperlukan pin yang dapat



membaca nilai tegangan yaitu pin analog (A0). LED RGB memiliki 4 pin yang dapat mengatur warna yang diinginkan melalui besaran tegangan pada masing masing pin LED. Oleh sebab itu, pin digital D9-D11 diperlukan sebagai PWM yang mampu mengatur besaran tegangan pada pin LED. LED RGB yang digunakan yaitu tipe katodha sehingga terhubung dengan pin 3.3V sebagai sumber tegangan. Servo AX-12 memiliki 6 pin antara lain VCC 2 buah, Ground 2 buah, dan data 2 buah. Pin data digunakan untuk komunikasi antara arduino atau servo lainnya menggunakan komunikasi serial atau UART. pengiriman data arduino ke servo dihubungkan ke pin TX pada arduino agar dapat berkomunikasi. Komunikasi antar servo juga dapat dari pin data satunya. Kecepatan komunikasi pada servo dibutuhkan sebesar 1 Mbps yang mana telah didukung oleh arduino nano. Servo AX-12 memiliki catu daya sebesar 12V. Sehingga pin VCC pada servo dihubungkan ke baterai 12V. pin ground pada servo dihubungkan dengan baterai dan servo agar arus kedua sumber daya yaitu antara baterai dengan arduino saling terhubung. Rangkaian penggunaan pada pin arduino, sensor, LED RGB dan servo dapat dilihat pada Gambar 5.4 dan dapat dilihat pada Tabel 5.1.



Gambar 5.4 Skematik Sistem

Tabel 5.1 Pin Skematik Sistem

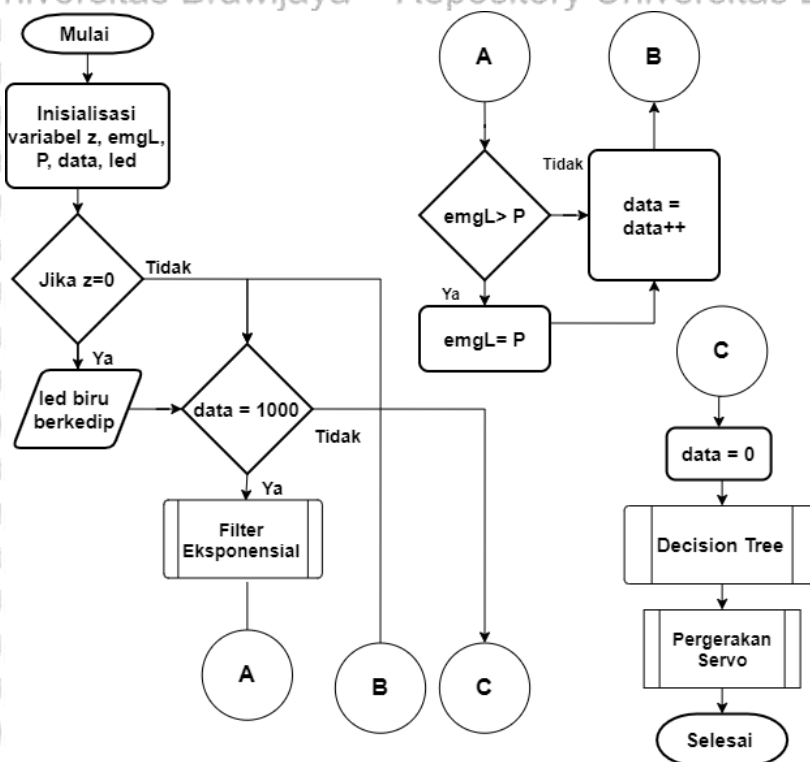
Arduino	Sensor	Sumber daya	Servo	LED
5v	5v	5v	-	-
GND	GND	GND	GND	GND
3.3v	-	-	-	3.3v



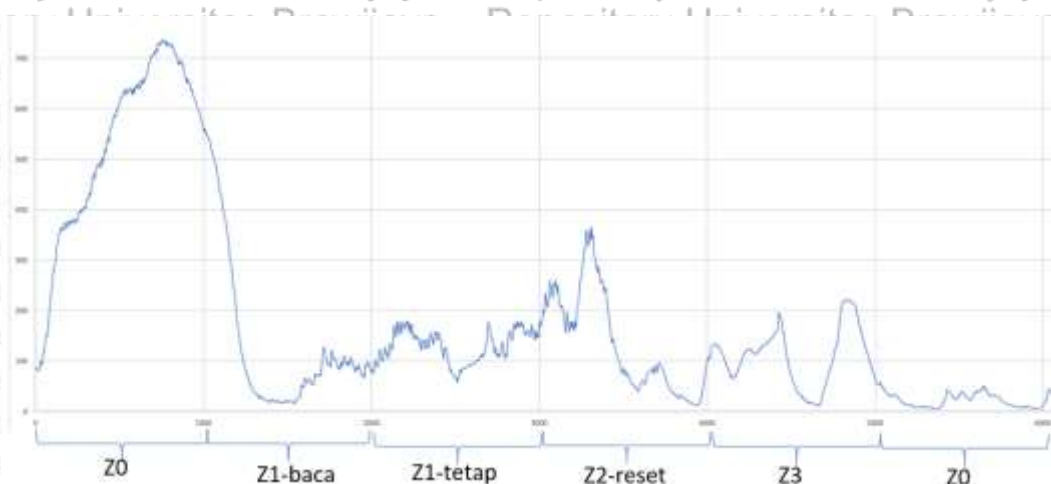
A0	Signal	-	-	-
TX	-	-	TX	-
-	-	12V	12V	-
D11	-	-	-	R
D10	-	-	-	G
D9	-	-	-	B

5.1.4 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan lunak dirancang menggunakan diagram alir bagaimana sistem ini berjalan. Gambar 5.5 merupakan diagram alir keseluruhan sistem. Sistem pertama kali akan melakukan inisialisasi variabel "Z", "emgL", "p", "data", dan "LED". Variabel "Z" merupakan data untuk membedakan bukit sinyal EMG antara satu dengan yang lain. Setiap pergerakan akan terdapat bukit, ketika diam saja akan menghasilkan nilai tetap sekitar 0 sampai 182.6. Nilai ini didapat dari nilai threshold pada gerakan 0 derajat. Nilai "Z" dapat dilihat pada Gambar 5.6. berikut macam macam kegunaan variabel data "Z" antara lain "Z0" untuk membaca nilai sudut, "Z1" untuk mencari nilai tetap, "Z2" untuk mencari nilai reset. "Z1-baca" dan "Z2-baca" merupakan nilai untuk mencari nilai pucak yang memenuhi kondisi variabel "Z" selanjutnya. Nilai data "Z" akan ditampilkan dengan cara menyalakan LED RGB.



Gambar 5.5 Diagram Alir Keseluruhan Sistem



Gambar 5.6 Zona Sinyal Otot Lengan

Perancangan nilai LED dibagi menjadi 3 warna yaitu:

1. "Z0" LED akan menyalakan kedip biru yang digunakan untuk menandakan gerakan pada lengan manusia.
2. "Z1" memberikan tanda dengan LED warna merah yang memiliki arti bawa nilai telah turun dibawah nilai puncak 0 derajat dan LED berwarna merah.
3. "Z2" memberikan tanda bahwa lengan kembali ke sudut 0° dan akan menghasilkan nilai puncak diatas 0°. Pada kondisi ini, LED akan berwarna hijau.
4. "Z3" memberikan tanda bahwa sinyal belum stabil dan LED akan berwarna ungu.

Variabel "data" digunakan untuk menghitung berapa banyak data yang telah diambil karena nilai sensor dibaca sebanyak 1000 kali. Data yang akan diambil yaitu sebanyak 1000 data dikarenakan ketika pengambilan data sampel, nilai puncak dan nilai tetap ditemukan dalam jangkauan 1000 data seperti pada Gambar 5.6. Nilai pada data ini akan difilter menggunakan filter eksponensial. Hasil keluaran dari filter eksponensial akan disimpan di variabel emgL. Nilai EmgL akan dibandingkan dengan nilai setelahnya untuk mencari nilai tertinggi dari 1000 data. Setelah itu nilai puncak yang telah di filter akan memasuki *if-else*. Nilai puncak akan disimpan pada variabel "p" terakhir, hasil dari *if-else* akan diteruskan ke pergerakan servo. Sub proses ini akan mengirim data ke servo untuk menggerakkan servo yang diinginkan.

5.1.4.1 Perancangan Filter Eksponensial

Pada subab ini akan membahas tentang filte eksponensial, diagram alir filter eksponensial dapat dilihat pada Gambar 5.7. Sinyal EMG diambil dari hasil pembacaan pin Analog dari sensor myoware. Sinyal yang dikeluarkan oleh sensor myoware merupakan nilai ADC (biner) yang mana merepresentasikan nilai

tegangan keluaran sensor. Oleh sebab itu, nilai ADC harus diubah menjadi tegangan dengan menggunakan persamaan 5.1.

$$V = \text{adc} \div 1023 \times 5 \quad (5.1)$$

Filter eksponensial merupakan filter *rekursif* linier yang dapat digunakan untuk mengurangi *noise* yang terdapat dalam sebuah sinyal. Filter eksponensial diperlukan karena nilai amplitudo pada sinyal keluaran sensor masih terdapat *noise* sehingga memengaruhi nilai amplitudo dari sinyal tersebut. *Noise* dapat direndam dengan mengatur besarnya faktor pengali atau "*w*" pada persamaan 2.1. Hasil dari pengolahan sinyal filter eksponensial akan disimpan di variabel *emgL*.



Gambar 5.7 Diagram Alir Filter Eksponensial

5.1.4.2 Perancangan *If-else*

Pada subbab ini akan membahas tentang *if-else*, diagram alir *if-else* dapat dilihat pada Gambar 5.8. *If-else* digunakan untuk klasifikasi jenis gerakan lengan manusia ke lengan robot. Sistem ini dapat mengenal 5 sudut pada lengan manusia yaitu 0° , 45° , 90° , 135° dan 145° . Untuk dapat membedakan sinyal otot antar satu dengan yang lain, nilai *threshold* diperlukan sebagai nilai pembeda. Nilai *threshold* didapat dari selisih antara nilai rata rata puncak data sampel dan dibagi 2 seperti pada persamaan 5.2. Pada Tabel 5.2 merupakan rata rata nilai puncak pada 6 subjek sampel yang telah difilter eksponensial sebesar 0,4. Tabel 5.3 hasil dari persamaan 5.3 dan 5.4. Tabel 5.4 hasil dari perhitungan untuk mencari nilai *threshold*. Kecuali



untuk sudut 0° nilai batas bawah bernilai 0V dan batas atas untuk sudut 145° bernilai 5V.

$$\frac{\bar{p}_a - \bar{p}_b}{2} = x \quad (5.2)$$

$$\text{Batas atas a} = \bar{p}_a - x \quad (5.3)$$

$$\text{Batas bawah b} = \bar{p}_b + x \quad (5.4)$$

Keterangan:

$\bar{p}_a$: rata rata puncak derajat sebelum b.

$\bar{p}_b$: rata rata puncak derajat sesudah a.

Batas atas a: batas atas sudut a.

Batas bawah b: batas bawah sudut b.

Tabel 5.2 Rata-Rata Nilai Puncak

Derajat	0°	45°	90°	135°	145°
Rata rata nilai puncak	0,448925V	1,336001V	1,847707V	2,736136V	4,257199V

Rata-rata nilai puncak yang diperoleh merupakan hasil dari rata rata nilai puncak data 6 sampel yang dilakukan masing-masing sudut dilakukan sebanyak 5 kali. Data sampel pada penelitian ini dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 5.3 Hasil Nilai X

Derajat	Perhitungan X
0° dan 45°	$X = (1,336001 - 0,448925) / 2$ $X = 0,443538V$
45° dan 90°	$X = (1,847707 - 1,336001) / 2$ $X = 0,255853V$
90° dan 135°	$X = (2,736136 - 1,847707) / 2$ $X = 0,444215V$
135° dan 145°	$X = (4,257199 - 2,736136) / 2$ $X = 0,760531V$

Variabel X merupakan hasil dari perhitungan menggunakan persamaan 5.2. yang mana rata rata nilai puncak sudut dari Tabel 5.2.

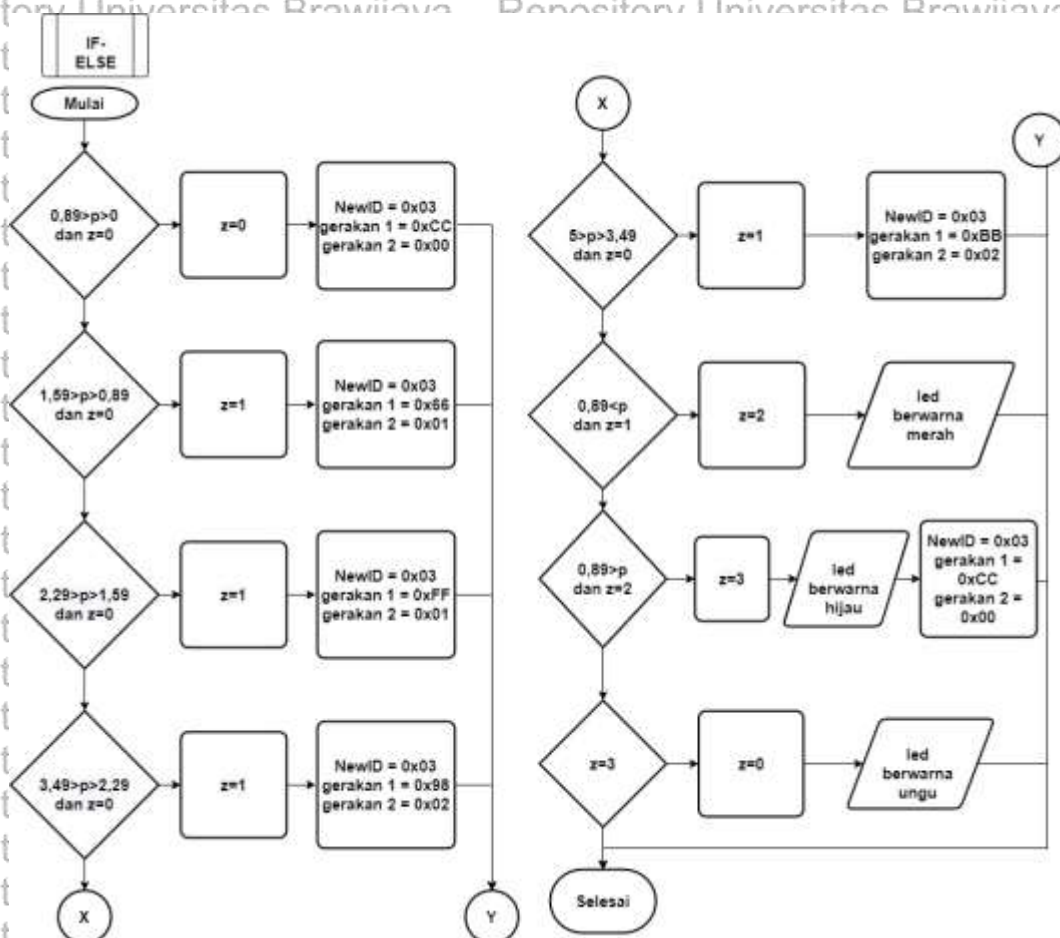
Tabel 5.4 Batas Atas dan Batas Bawah

Derajat	Batas atas (V)	Batas bawah (V)
---------	-------------------	--------------------



0°	0,892463	0
45°	1,591854	0,892463
90°	2,291921	1,591854
135°	3,496667	2,291921
145°	5	3,496667

Tabel 5.4 merupakan hasil perhitungan dari persamaan 5.3 dan 5.4. hasil tersebut akan digunakan sebagai nilai *threshold* untuk menentukan jenis gerakan lengan manusia.



Gambar 5.8 Diagram Alir If-else

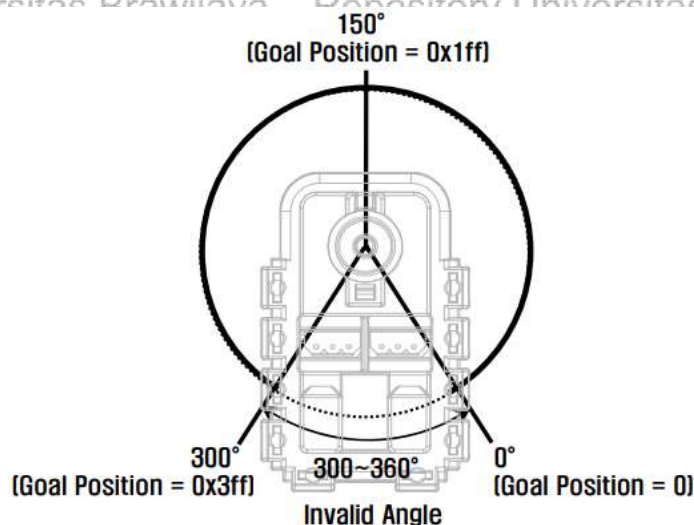
Nilai sudut lengan manusia di kategorikan menggunakan nilai batas atas dan batas bawah yang telah dihitung. Nilai batas atas dan batas bawah didapat dari persamaan 5.2. hasil dari persamaan tersebut ditampilkan pada Tabel 5.3. Tabel 5.4 merupakan hasil dari perhitungan untuk batas atas dan batas bawah. batas atas menggunakan persamaan 5.3 dan batas bawah menggunakan persamaan 5.4. Nilai ini akan digunakan untuk menentukan nilai sudut seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.8. Sudut 0 memiliki nilai batas sebesar 0V sampai 0.89V, sudut 45 memiliki nilai batas sebesar 0,89V sampai 1,59V; sudut 90 memiliki nilai sebesar 2,29V sampai 1,59V; sudut 135 memiliki nilai sebesar 3,4V sampai 2,2V; dan sudut



145 memiliki nilai sebesar 3,49V sampai 5V. nilai sudut ini digunakan untuk menentukan jenis gerakan sudut lengan yang nantinya akan menentukan jenis gerakan lengan robot. NewID, gerakan 1, dan gerakan2 merupakan pengiriman paket data alamat yang diinginkan berdasarkan klasifikasi. Untuk menentukan nilai pada gerakan 1 dan 2 berdasarkan pada Tabel 5.5.

5.1.4.3 Perancangan Pengiriman Perintah Pergerakan Servo

Pada subab ini akan membahas tentang perancangan pengiriman data dari arduino ke servo. Pengiriman tersebut diperlukan agar robot dapat digerakkan sesuai sudut yang diinginkan. Keadaan pertama yang dilakukan adalah robot dalam keadaan tegap. Servo AX 12 ini memiliki perubahan derajat maksimal sebesar 300° atau 1023 yang mana nilai diubah menjadi *Analog to Digital Converter* (ADC). Sedangkan nilai titik tengah yaitu sebesar 150° atau 512 nilai ADC. Kemudian untuk nilai tegap pada sistem ini dirancang dengan nilai 512. Perubahan sudut servo dapat dilihat pada Gambar 5.9. Servo ID 3 dirancang berbeda dengan semestinya dikarenakan lubang pada servo tidak sesuai terhadap lubang *frame*. Hal tersebut menyebabkan lengan robot tidak dapat membentuk garis lurus. Sehingga penambahan nilai sudut sebesar 60° diperlukan pada servo ID 3 yaitu setiap kelipatan 0° , 45° , 90° , 135° dan 145° . Nilai hasil sudut servo ID 3 dapat dilihat pada Tabel 5.5.



Gambar 5.9 Nilai Sudut pada Servo

Sumber: Robotis (2020)

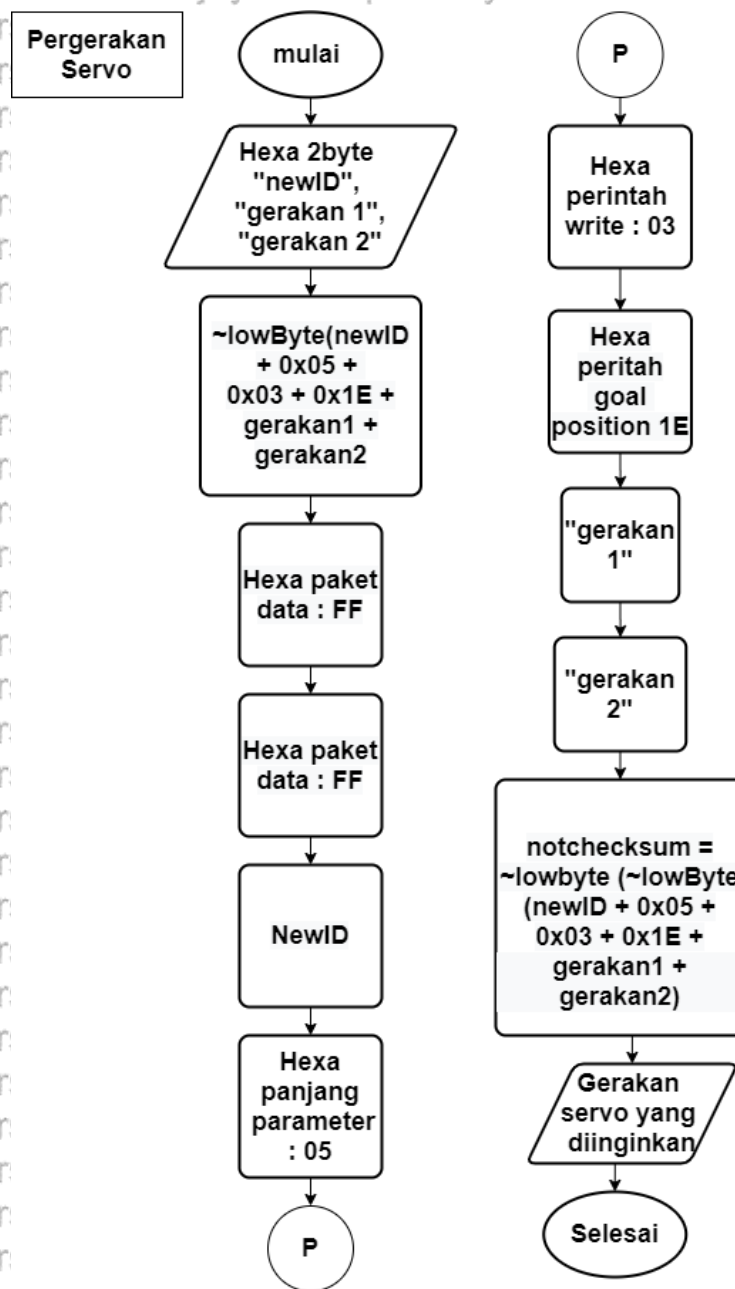
Tabel 5.5 Derajat pada Servo

Sudut	Sudut + 60	Data (Desimal)	Data (Heksa)
0°	60°	204	CC
45°	105°	358	166
90°	150°	511	1FF
135°	195	664	298



145°	205°	700	2BB
------	------	-----	-----

Proses pengubahan sudut servo dilakukan dengan cara pengiriman data menuju servo. Urutan data dapat dilihat pada Tabel 5.6. yang mana merupakan contoh perintah pergerakan untuk servo ID1 pada sudut 150°. Sudut 150° memiliki nilai ADC sebesar 512 atau memiliki nilai heksa 200. Selanjutnya nilai tsb akan diubah menjadi nilai heksa 4bit agar dapat dikenali servo yaitu "02" dan "00". Jadi alamat yang dikirim yaitu 0xFF, 0xFF, 01, 05, 03, 1E, 00, 02, not (01 + 05 + 03 + 1E + 00 + 02). Lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5.6. diagram alir pergerakan servo dapat dilihat pada Gambar 5.10.



Gambar 5.10 Diagram Alir Pengiriman Perintah Pergerakan Servo.

Gambar 5.10 merupakan diagram alir pengiriman perintah pergerakan servo. Penjelasan setiap instruksi dapat dilihat pada Tabel 5.6

Tabel 5.6 Alamat Pengiriman Perintah Pergerakan Servo AX-12

FF	Identifikasi <i>byte</i> untuk paket datang
FF	Identifikasi <i>byte</i> untuk paket datang
01	Nomor ID
05	Panjang parameter (2parameter+3)
03	Untuk perintah <i>write data</i>
1E	Untuk perintah alamat <i>goal position</i>
00	2 <i>least significant bit</i> (nilai ADC derajat yang diinginkan dalam bentuk heksa)
02	2 <i>most significant bit</i> (nilai ADC derajat yang diinginkan dalam bentuk heksa)
<i>Notchecksum</i>	Untuk menghasilkan nilai FF agar paket yang diterima akan dikirim jika sesuai.

Sumber: Robotis (2020)

5.2 Implementasi sistem

Implementasi sistem yang dilaksanakan ketika subab perancangan telah dilaksanakan. Implementasi ini mengikuti apa yang telah dirancang oleh peneliti. Pada subab ini menjelaskan secara rinci tentang pembuatan perangkat keras sampai memprogram perangkat lunak.

5.2.1 Implementasi Peletakan Elektroda dan Sensor pada Lengan Manusia

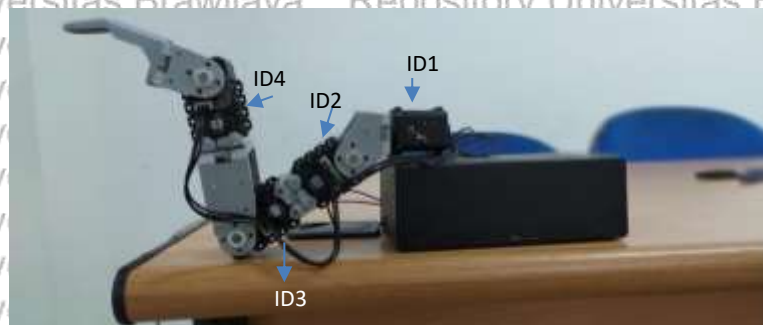


Gambar 5.11 Implementasi Peletakan Sensor

Implementasi peletakan elektroda dilakukan sesuai dengan perancangan peletakan pada lengan manusia. Dapat dilihat pada Gambar 5.11, sensor myoware dipasang di bagian tengah otot bisep dan *ground* terletak di dekat siku tangan manusia.



5.2.2 Implementasi Prototype Robot Manipulator.



Gambar 5.12 Implementasi Prototype Robot Manipulator

Implementasi prototype lengan robot manipulator telah sesuai dengan yang telah dirancang yaitu memiliki nilai 4 DoF yang menempel kotak hitam yang berisi rangkaian implementasi perangkat keras. Servo ID yang digunakan mulai dari 1,2,3, dan 4. *Frame* yang dipakai adalah FP04-F3 2 buah, FP04-F9 1 buah, FP04-F1 2 buah, FP04-F4 1 buah, FP04-F11 1 buah disusun seperti yang tampak pada Gambar 5.12 Kabel bioloid 3 pin yang dipakai sebanyak 4 buah dan dihubungkan secara serial dari servo ke servo lainnya.

5.2.3 Implementasi Perangkat Keras

Implementasi perangkat keras telah menyesuaikan dengan perancangan perangkat keras. Pin pin yang terhubung antara arduino, sensor, servo, dan baterai telah sesuai dengan Tabel 5.1. Pin sensor myoware yang terdiri dari V-, V+, dan Signal berturut turut dihubungkan dengan pin arduino yaitu *ground*, 5V, dan A0. Pin LED RGB yang terdiri dari R, VCC, G, dan B terhubung dengan pin arduino yaitu pin 11, 3.3V, 10, dan 9. Pin servo yang terdiri dari data, *ground* akan terhubung dengan pin arduino TX, *ground*. Sedangkan sumber tegangan untuk servo diambil dari baterai 12V. Pada Gambar 5.13 merupakan implementasi perangkat keras.



Gambar 5.13 Implementasi Perangkat Keras

Keterangan Gambar 5.13:

1. Arduino nano

2. LED RGB
3. Sensor myoware
4. Penghubung kabel servo ke arduino dan baterai 12 V.
5. Baterai
6. Servo AX-12

5.2.4 Implementasi Perangkat Lunak

Pada subab ini akan membahas tentang implelementasi perangkat lunak sesuai berdasarkan perancangan perangkat lunak subab 5.1.4. Tabel 5.7 merupakan kodingan yang berisi inisialisasi variabel global yang dibutuhkan untuk sistem berjalan. Penjelasan tentang data variabel yang digunakan pada sistem. Inisialisasi variabel data terdiri dari pembacaan sensor waktu sebelumnya memiliki tipe data float “EMGL” sedangkan pembacaan sensor waktu sekarang memiliki tipe data float “EMGB”. Perbedaan “EMGL” dan “EMGB” selain waktu, “EMGL” merupakan data yang telah melewati filter eksponensial. Filter eksponensial pada pertama kali tidak akan dijalankan karena merupakan data awal sehingga diperlukan variabel data “awal” untuk mengetahui apakah data diambil pertama kali atau bukan. Variabel “redPin”, “greenPin”, “bluePin” merupakan data untuk memberikan inisialisasi pada pin 9, 10, 11 yang digunakan untuk pin LED RGB yang mana merupakan pin PWM. Kemudian variabel data “a” dan “b” merupakan tipe data untuk mengambil waktu saat sistem berjalan. Data “a” diletakkan di awal perulangan dan “b” terletak di akhir perulangan.

Tabel 5.7 Inisialisasi Variabel

Inisialisasi variabel	
1	float EMGB, EMGL, alpha = 0.4;
2	int awal = 1;
3	unsigned long a, b;
4	int check = 0;
5	int data;
6	int z;
7	int redPin = 9;
8	int greenPin = 10;
9	int bluePin = 11;
10	float puncak = 0.0;

Tabel 5.8 merupakan kodingan void loop. Void loop adalah fungsi yang akan melakukan eksekusi secara berulang ulang. void loop ini berisi yaitu:

Baris 2 kondisi ketika “check = 0”.

Baris 3 variabel “a = waktu sekarang”

Baris 4 “check = 1”.

Baris 5 jika “z=0”.

Baris 6-8 led menyalakan warna kedip biru.

Baris 9 pernyataan yang salah.

Baris 11 pernyataan “data” kurang dari 1000 sehinga didapatkan 1000 “data”.



Baris 12 sub proses filter eksponensial.

Baris 13-14 untuk menentukan titik puncak.

Baris 15 mengubah bertambahnya nilai "data" dengan kelipatan +1.

Baris 17 pernyataan salah untuk nilai "data" lebih dari 1000.

Baris 18 memanggil fungsi *decision*.

Baris 19 mereset nilai puncak.

Baris 20 variabel "b" berisi waktu sekarang.

Baris 21 mencetak tulisan waktu.

Baris 22 mencetak selisih antara waktu "b" dan "a" untuk mengetahui waktu komputasi.

Baris 23 mereset nilai "data = 0".

Baris 24 mereset nilai data "awal = 1".

Baris 25 mereset nilai "check = 0".

Tabel 5.8 Implementasi Sistem Utama.

Void loop	
1	void loop() {
2	if (check == 0) {
3	a = millis();
4	check = 1;
5	if (z == 0) {
6	setColor(255, 255, 0); //biru
7	delay(50);
8	setColor(255, 255, 255); //putih
9	} else {
10	}
11	if (data < 1000) {
12	filter();
13	if (EMGL > puncak) {
14	puncak = EMGL;
15	data++;
16	}
17	} else {
18	decision();
19	puncak = 0.0;
20	b = millis();
21	Serial.print("waktu : ");
22	Serial.println(b - a);
23	data = 0;
24	awal = 1;
25	check = 0;
26	}
27	}

5.2.4.1 Implementasi Filter Eksponensial

Pada subab ini membahas tentang implementasi filter eksponensial. Tabel 5.9 merupakan kodingan dari implementasi filter eksponensial. Penjelasan Tabel 5.9 dapat dilihat sebagai berikut:



Baris 1 membaca sinyal EMG dari sensor myoware dan disimpan di variabel emgB dan diubah menjadi tegangan.

Baris 2 pernyataan kondisi “awal = 1”.

Baris 3 untuk pertama kali dieksekusi sensor tidak dilakukan filter eksponensial sehingga “emgB” sama dengan “emgL”.

Baris 4 variabel “awal = 0” untuk data selanjutnya akan masuk ke filter eksponensial.

Baris 5 jika pernyataan salah akan memasuki filter eksponensial.

Baris 6 emgL merupakan perhitungan filter eksponensial.

Tabel 5.9 Pogram Filter eksponensial

Filter eksponensial	
1	EMGB = (analogRead(A0) * 5.0 / 1023.0);
2	if (awal == 1) {
3	EMGL = EMGB;
4	awal = 0;
5	} else
6	EMGL = (EMGB * alpha + EMGL * (1 - alpha));

5.2.4.2 Implementasi If-else

Pada subab ini membahas tentang implementasi if-else, Tabel 5.12 void *decision* merupakan fungsi yang digunakan untuk menentukan jenis gerakan yang telah ditentukan. Batas atas dan batas pada amplitudo sinyal otot telah dihitung berdasarkan persamaan 5.2. Penjelasan pada Tabel 5.12 sebagai berikut:

Baris 2-6 berisi gerakan servo untuk 0 derajat dengan memiliki syarat nilai puncak dalam rentang 0V sampai 0,892463V dan $z = 0$. Apabila kondisi ini memenuhi, program akan memanggil fungsi servo untuk membuat gerakan lengan robot yaitu 0 derajat yaitu 00CC dan nilai “z” berubah menjadi 1.

Baris 7-11 berisi gerakan servo untuk 45 derajat yang memiliki syarat nilai puncak dalam rentang 0,892463V sampai 1,591854V dan $z = 0$. Apabila kondisi ini memenuhi, program akan memanggil fungsi servo untuk membuat gerakan lengan robot yaitu 45 derajat yaitu 0166 dan nilai “z” berubah menjadi 1.

Baris 12-16 berisi gerakan servo untuk 90 derajat yang memiliki syarat nilai puncak dalam rentang 1,591854V sampai 2,291921V dan $z = 0$. Apabila kondisi ini memenuhi, program akan memanggil fungsi servo untuk membuat gerakan lengan robot yaitu 90 derajat yaitu 01FF dan nilai “z” berubah menjadi 1.

Baris 17-21 berisi gerakan servo untuk 135 derajat yang memiliki syarat nilai puncak dalam rentang 2,291921V sampai 3,496667V dan $z = 0$. Apabila kondisi ini memenuhi, program akan memanggil fungsi servo untuk membuat gerakan lengan robot yaitu 135 derajat yaitu 0298 dan nilai “z” berubah menjadi 1.

Baris 22-26 berisi gerakan servo untuk 145° yang memiliki syarat nilai puncak dalam rentang 3,496667V sampai 5V dan $z = 0$. Apabila kondisi ini memenuhi,



program akan memanggil fungsi servo untuk membuat gerakan lengan robot yaitu 145° derajat yaitu 02BB dan nilai “z” berubah menjadi 1.

Baris 27-31 merupakan kondisi Ketika memiliki nilai gerakan tidak berubah atau tetap dengan memiliki syarat yaitu nilai kurang dari 0,89 dan $z=1$. Pada kondisi ini LED akan berubah menjadi merah, sampel tidak melakukan gerakan apapun. Nilai “z” berubah menjadi 2.

Baris 32-38 merupakan kondisi Ketika memiliki nilai gerakan Kembali seperti semula yaitu 0 derajat dengan memiliki syarat yaitu nilai lebih dari 0,89 dan $z=2$. Pada kondisi ini LED akan berubah menjadi hijau, sampel melakukan gerakan 0 derajat dan nilai “z” berubah menjadi 3.

Baris 39-41 merupakan kondisi untuk menstabilkan sinyal. Sinyal kadang berubah tergantung kondisi otot masing masing. Sehingga untuk meminimalisir kejadian yang tidak diinginkan, LED akan menyalakan warna ungu dan nilai “z” menjadi $z=0$.

Tabel 5.10 Pogram If-else

If-else	
1	//if-else
2	if (puncak > 0.1 && puncak <= 0.892463 && z == 0) {
3	delay (200);
4	servo (0x03, 0xCC, 0x00);
5	z = 0;
6	Serial.println ("Sudut 0");
7	else if (puncak > 0.892463 && puncak <= 1.591854 && z == 0) {
8	delay (200);
9	servo (0x03, 0x66, 0x01);
10	z = 1;
11	Serial.println ("Sudut 45");
12	else if (puncak > 1.591854 && puncak <= 2.291921 && z == 0) {
13	delay (200);
14	servo (0x03, 0xFF, 0x01);
15	z = 1;
16	Serial.println ("Sudut 90");
17	else if (puncak > 2.291921 && puncak <= 3.496667 && z == 0) {
18	delay (200);
19	servo (0x03, 0x98, 0x02);
20	z = 1;
21	Serial.println ("Sudut 135");
22	else if (puncak > 3.496667 && puncak <= 5 && z == 0) {
23	delay (200);
24	servo (0x03, 0xBB, 0x02);
25	z = 1;
26	Serial.println ("Sudut 145");
27	else if (puncak <= 0.892463 && z == 1) {
28	Serial.println ("ntetap\n");
29	z = 2;
30	delay (10);
31	setColor (0, 255, 255); } //merah
32	else if (puncak > 0.892463 && z == 2) {
33	Serial.println ("nreset Z\n");
34	delay (10);
35	setColor (255, 0, 255); } //hijau
36	delay (200);
37	servo (0x03, 0xCC, 0x00);
38	z = 3;
39	else if (z == 3) {
40	z = 0;



```
41 setColor (0,255,0); //ungu
42 }
```

5.2.4.3 Implementasi Pengiriman Perintah Pergerakan Servo

Pada subab ini membahas tentang implementasi pengiriman servo. Void servo merupakan void yang digunakan untuk memberikan perintah ke servo agar servo dapat bergerak sesuai yang diinginkan. Urutan berdasarkan pada Tabel 5.9. variabel data newID, gerakan1, dan gerakan2 didapat dari hasil klasifikasi pada sub proses if-else.

Tabel 5.11 Pogram Pengiriman Perintah Pergerakan servo

```
void servo
1 void servo(byte newID, byte gerakan1, byte gerakan2) {
2   byte notchecksum = ~lowByte(newID + 0x05 + 0x03 + 0x1E +
3   gerakan1 + gerakan2);
4   Serial.write(0xFF);
5   Serial.write(0xFF);
6   Serial.write(newID);
7   Serial.write(0x05);
8   Serial.write(0x03);
9   Serial.write(0x1E);
10  Serial.write(gerakan1);
11  Serial.write(gerakan2);
12  Serial.write(notchecksum);
13  Serial.flush(); }
```

BAB 6 PENGUJIAN

Bab 6 akan membahas tentang pengujian dan analisis pada sistem apakah berjalan sesuai yang telah dibahas pada sebelumnya.

6.1 Pengujian Filter Eksponensial

6.1.1 Tujuan Pengujian

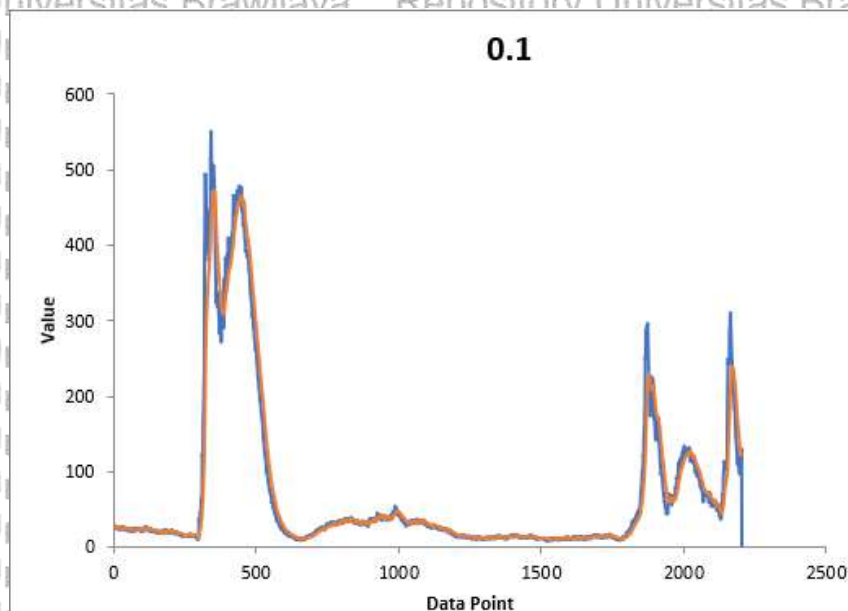
Pengujian akan dilakukan pada 6 subjek sebagai data latih. Tujuan dari pengujian ini untuk menguji apakah filter ini dapat memengaruhi nilai sinyal EMG. Jika filter ini dapat memengaruhi sinyal EMG, nilai bobot perlu dicari sehingga dapat memperhalus sinyal EMG secara optimal. Pengujian disini menggunakan nilai bobot sebesar 0,1; 0,4; 0,7 (Maulana & Putri, 2018).

6.1.2 Prosedur Pengujian

Langkah-langkah untuk melakukan pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghubungkan *input* dengan *output* rangkaian instrumentasi EMG.
2. Membuka serial monitor dan menyalin data ke dalam program excel
3. Melakukan filter secara manual dengan memakai rumus filter eskponential. Alpha yang dipakai yaitu 0,1; 0,4; 0,7.
4. Membuat grafik dari data hasil akhir penelitian yang diperoleh.

6.1.3 Hasil Pengujian



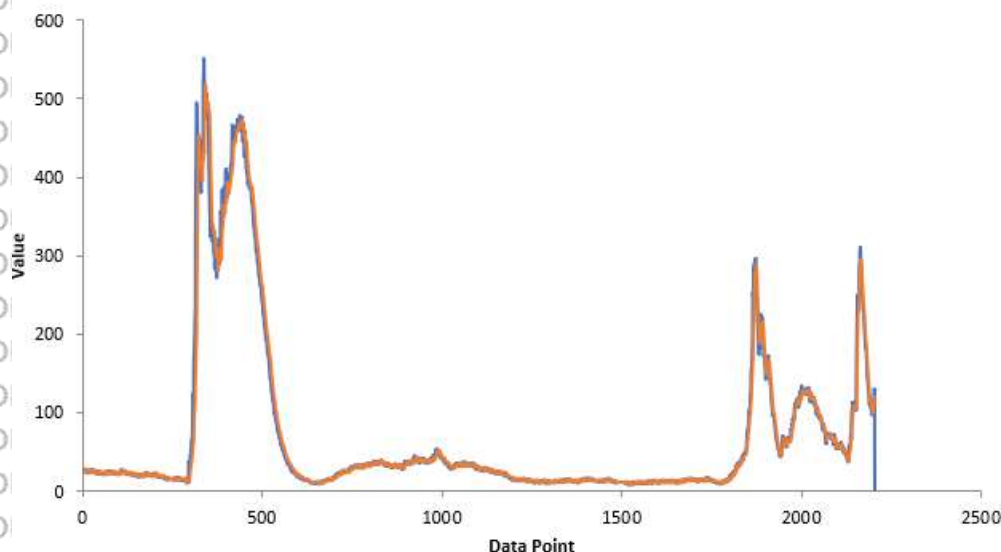
Gambar 6.1 Filter Eksponensial 0,1

Data latih yang diujikan dengan menggunakan nilai bobot filter eksponensial sebesar 0,1 dapat dilihat pada Gambar 6.1 pada Gambar 6.1 dapat dilihat bahwa



sinyal EMG memiliki sinyal yang halus tetapi menjauhi nilai asli. Warna biru merupakan data asli sedangkan warna orange data hasil filter eksponensial.

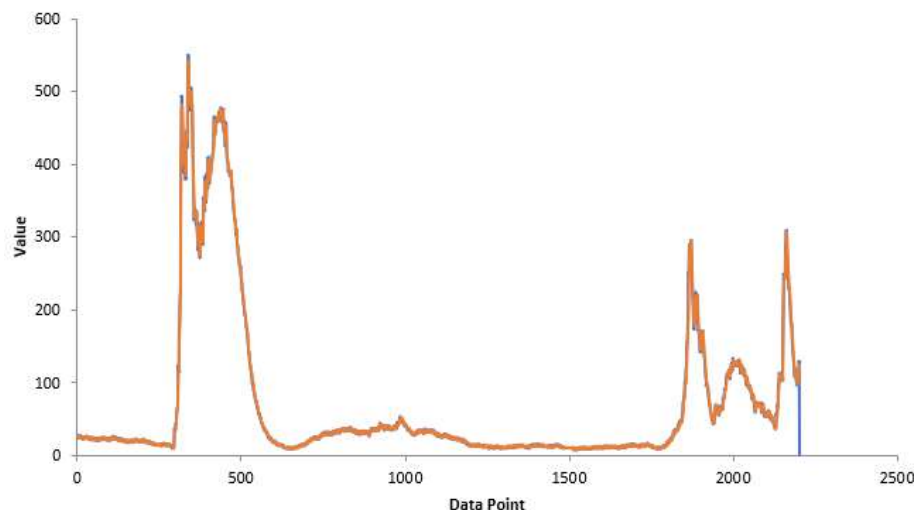
0.4



Gambar 6.2 Filter Eksponensial 0,4

Pada Gambar 6.4 merupakan hasil data latih yang diujikan dengan menggunakan nilai bobot filter eksponensial sebesar 0,4. Gambar 6.2 dapat dilihat bahwa sinyal EMG memiliki sinyal yang halus dan mendekati nilai asli. Warna biru merupakan data asli sedangkan warna orange data hasil filter eksponensial.

0.7



Gambar 6.3 Filter Eksponensial 0,7

Data latih yang diujikan dengan menggunakan nilai bobot filter eksponensial sebesar 0,7 dapat dilihat pada Gambar 6.3 yang mana memiliki sinyal EMG tidak beda dengan nilai asli. Warna biru merupakan data asli sedangkan warna orange data hasil filter eksponensial.



6.1.4 Analisis Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian, Gambar 6.1 sampai 6.3 menunjukkan bahwa nilai bobot paling baik yaitu 0,4. Nilai bobot 0,1 memiliki sinyal EMG yang semakin jauh dengan nilai asli sedangkan bobot 0,7 memiliki sinyal EMG mendekati dengan sinyal asli yang masih terdapat *noise*.

6.2 Pengujian Amplitudo Otot Lengan

6.2.1 Tujuan Pengujian

Pengujian akan dilakukan dengan menguji 3 subjek yang mana subjek diharuskan melakukan gerakan tiap sudut sebanyak 5 kali. Tujuan pengujian amplitudo ini digunakan untuk mengetahui seberapa besar akurasi yang dihasilkan oleh sistem dalam mengenali 5 jenis gerakan yaitu 0°, 45°, 90°, 135°, dan 145°. Pengujian ini dengan menggunakan elektroda yang telah dipasang. Hasil pengujian akan ditampilkan di serial monitor.

6.2.2 Prosedur Pengujian

Untuk melakukan pengujian ini terdapat langkah-langkah dalam pengerjaan, yaitu:

1. Subjek duduk pada kursi yang telah disediakan.
2. Peneliti memasang elektroda di lengan tepatnya pada otot bicep sampel.
3. Subjek melakukan gerakan sebanyak 5 kali pada masing-masing sudut yang telah ditentukan yaitu 0°, 45°, 90°, 135°, dan 145°.
4. Peneliti membuka serial monitor dan mencatat hasil sistem.
5. Menentukan nilai akurasi pengujian dengan menggunakan persamaan 6.1.

$$\text{Akurasi (\%)} = \frac{(\text{nilai benar} - \text{hasil analisis})}{\text{nilai benar}} \times 100$$

6.1

6.2.3 Hasil Pengujian

Tabel 6.1 Subjek Satu

Subjek	Derajat yang diinginkan	Pengujian ke	Hasil derajat	Keterangan
1	0°	1	0°	Benar
		2	0°	Benar
		3	0°	Benar
		4	0°	Benar
		5	0°	Benar
1	45°	1	0°	Salah
		2	45°	Benar



			3	45°	Benar
			4	45°	Benar
			5	45°	Benar
			1	45°	Salah
			2	90°	Benar
1	90°		3	90°	Benar
			4	90°	Benar
			5	45°	Salah
			1	45°	Salah
			2	135°	Benar
1	135°		3	135°	Benar
			4	90°	Salah
			5	135°	Benar
			1	145°	Benar
			2	145°	Benar
1	145°		3	145°	Benar
			4	145°	Benar
			5	145°	Benar

Pada Tabel 6.1 merupakan hasil pengujian yang dilakukan pada orang pertama dimana setiap gerakan dilakukan pengujian sebanyak 5 kali dalam masing masing sudut untuk diambil tingkat akurasi. Dapat diketahui rata-rata dari gerakan tersebut memiliki nilai tingkat akurasi sebesar. “Benar” digunakan untuk menandakan nilai sudut yang tepat sedangkan “salah” merupakan nilai sudut yang tidak sesuai.

Tabel 6.2 Subjek Dua

Subjek	Derajat yang diinginkan	Pengujian ke	Hasil derajat	Keterangan
2	0°	1	0°	Benar
		2	0°	Benar
		3	0°	Benar
		4	0°	Benar
		5	0°	Benar
2	45°	1	45°	Benar
		2	45°	Benar



			3	45°	Benar
			4	45°	Benar
			5	90°	Salah
			1	90°	Benar
			2	90°	Benar
2	90°		3	45°	Salah
			4	45°	Salah
			5	90°	Benar
			1	90°	Salah
			2	135°	Benar
2	135°		3	135°	Benar
			4	90°	Salah
			5	135°	Benar
			1	145°	Benar
			2	145°	Benar
2	145°		3	145°	Benar
			4	145°	Benar
			5	145°	Benar

Pada Tabel 6.2 merupakan hasil pengujian yang dilakukan pada orang pertama dimana setiap gerakan dilakukan pengujian sebanyak 5 kali dalam masing masing sudut untuk diambil tingkat akurasi. Dapat diketahui rata-rata dari gerakan tersebut memiliki nilai tingkat akurasi sebesar. “Benar” digunakan untuk menandakan nilai sudut yang tepat sedangkan “salah” merupakan nilai sudut yang tidak sesuai.

Tabel 6.3 Subjek Tiga

Subjek	Derajat yang diinginkan	Pengujian ke	Hasil derajat	Keterangan
3	0°	1	0°	Benar
		2	0°	Benar
		3	0°	Benar
		4	0°	Benar
		5	0°	Benar
3	45°	1	45°	Benar
		2	45°	Benar



		3	45°	Benar
		4	45°	Benar
		5	90°	Salah
3	90°	1	135°	Salah
		2	90°	Benar
		3	90°	Benar
		4	90°	Benar
		5	90°	Benar
3	135°	1	135°	Benar
		2	135°	Benar
		3	145°	Salah
		4	145°	Salah
		5	135°	Benar
3	145°	1	145°	Benar
		2	145°	Benar
		3	145°	Benar
		4	145°	Benar
		5	145°	Benar

Pada Tabel 6.3 merupakan hasil pengujian yang dilakukan pada orang pertama dimana setiap gerakan dilakukan pengujian sebanyak 5 kali dalam masing masing sudut untuk diambil tingkat akurasi. Dapat diketahui rata-rata dari gerakan tersebut memiliki nilai tingkat akurasi sebesar. “Benar” digunakan untuk menandakan nilai sudut yang tepat sedangkan “salah” merupakan nilai sudut yang tidak sesuai.

Tabel 6.4 Akurasi Nilai Amplitudo

Subjek	Akurasi nilai ampiltudo				
	0°	45°	90°	135°	145°
1	100%	80%	60%	60%	100%
2	100%	80%	60%	60%	100%
3	100%	80%	80%	60%	100%
Rata-rata Akurasi	100%	80%	66,7%	60%	100%
Akurasi total	81,33%				



Berdasarkan semua pengujian pada Tabel 6.4 merupakan hasil total rata-rata keseluruhan dari 3 orang subyek disaat pengujian adalah 81,33%.

6.2.4 Analisis Pengujian

Tabel 6.1 sampai 6.3 menunjukkan hasil pengujian amplitudo gerakan lengan pada tiap subjek. Dari hasil tersebut, perhitungan akurasi dilakukan sehingga dapat menghasilkan pada Tabel 6.4. akurasi sudut 0° , 45° , 90° , 135° , dan 145° masing masing memiliki nilai akurasi sebesar 100%; 80%; 66,7%; 60%; 100%. Berdasarkan total nilai akurasi, sistem memiliki nilai keberhasilan rata-rata sebesar 81,33%. Nilai tersebut didapat dikarenakan tiap manusia memiliki nilai otot yang berbeda-beda, kelelahan akibat gerakan, jarang berolahraga, atau posisi peletakan elektroda pada otot bicep yang tidak tepat ditengah maupun tidak sejajar dengan serat otot.

6.3 Pengujian Fungsionalitas Servo AX-12

6.3.1 Tujuan Pengujian

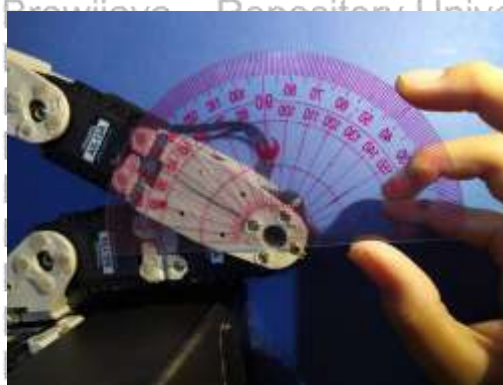
Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah servo AX-12 dapat mencapai sudut sesuai dengan sudut yang ditentukan.

6.3.2 Prosedur Pengujian

Untuk melakukan pengujian ini terdapat langkah-langkah dalam pengerjaan, yaitu:

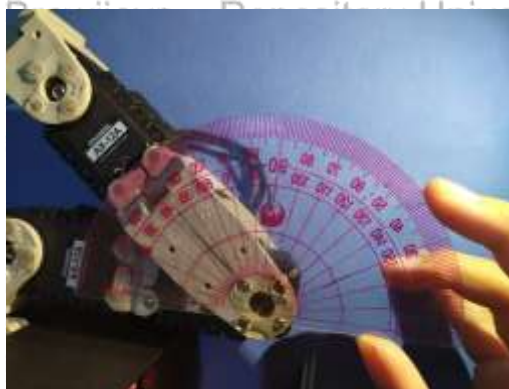
1. Mempersiapkan robot manipulator yang telah di pasang
2. menjalankan program arduino IDE yang berisi program untuk menjalankan servo.
3. Mengukur sudut keluaran servo dengan busur.

6.3.3 Hasil Pengujian



Gambar 6.4 145°

Gambar 6.4 merupakan hasil dari percobaan sudut servo sebesar 145° . Servo memiliki nilai sudut sebesar 145° yang dibandingkan menggunakan busur dan diambil berdasarkan pendekatan sudut.



Gambar 6.5 135°

Gambar 6.5 merupakan hasil dari percobaan sudut servo sebesar 135°. Servo memiliki nilai sudut sebesar 135° yang dibandingkan menggunakan busur dan diambil berdasarkan pendekatan sudut.



Gambar 6.6 90°

Gambar 6.6 merupakan hasil dari percobaan sudut servo sebesar 90°. Servo memiliki nilai sudut sebesar 90° yang dibandingkan menggunakan busur dan diambil berdasarkan pendekatan sudut.



Gambar 6.7 45°

Gambar 6.7 merupakan hasil dari percobaan sudut servo sebesar 45°. Servo memiliki nilai sudut sebesar 45° yang dibandingkan menggunakan busur dan diambil berdasarkan pendekatan sudut.



Gambar 6.8 0°

Gambar 6.8 merupakan hasil dari percobaan sudut servo sebesar 0°. Servo memiliki nilai sudut sebesar 0° yang dibandingkan menggunakan busur dan diambil berdasarkan pendekatan sudut.

Tabel 6.5 Pengujian Nilai Sudut Servo

Derajat yang diingkan	Hasil derajat	Keterangan
0°	0°	Sesuai
45°	45°	Sesuai
90°	90°	Sesuai
135°	135°	Sesuai
145°	145°	Sesuai

Tabel 6.5 merupakan Tabel hasil pengujian nilai sudut servo. Jika hasil pembacaan sesuai dengan sudut yang telah ditentukan. Berdasarkan hasil percobaan sudut pada servo telah sesuai dengan sudut yang telah ditentukan.

6.3.4 Analisis pengujian

Berdasarkan hasil pengujian, Tabel 6.5 menunjukkan bahwa servo berjalan sesuai dengan perintah yang diberikan yaitu sudut 0°, 45°, 90°, 135°, dan 145°.

6.4 Pengujian Kesesuaian Gerakan Otot Lengan dengan Lengan Robot

6.4.1 Tujuan Pengujian

Pengujian akan dilakukan dengan mengguji 3 subjek yang mana subjek diharuskan melakukan gerakan tiap sudut sebanyak 5 kali. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah sistem dapat menggerakkan lengan robot sesuai dengan gerakan lengan manusia. Gerakan tersebut meliputi sudut 0°, 45°, 90°, 135°, dan 145° pada lengan manusia. Sinyal *input* EMG akan dibaca dan diproses menggunakan *if-else* sehingga robot manipulator dapat bergerak sesuai sudut lengan.

6.4.2 Prosedur Pengujian

1. Subjek duduk pada kursi yang telah disediakan.
2. Peneliti memasang elektroda di lengan tepatnya pada otot bicep sampel.
3. Subjek melakukan gerakan otot lengan sebanyak 5 kali dengan sudut sebesar 0° , 45° , 90° , 135° , dan 145° setiap LED berkedip warna biru atau "20".
4. Peneliti mencatat hasil dari pergerakan lengan robot.
5. Menghitung nilai akurasi dengan persamaan 6.1

6.4.3 Hasil Pengujian



Gambar 6.9 Pengujian Keseluruhan Sistem

Gambar 6.9 merupakan subjek melakukan pengujian keseluruhan sistem. Subjek sedang melakukan gerakan 90° dan lengan robot melakukan gerakan 90° juga. Serial monitor pada tampilan layar laptop menunjukkan hasil dalam serial monitor arduino.

Tabel 6.6 Data Hasil Keseluruhan Sistem Subjek 1

Subjek	Derajat yang diinginkan	Pengujian ke	Hasil derajat	Keterangan
1	0°	1	0°	Benar
		2	0°	Benar
		3	0°	Benar
		4	0°	Benar
		5	0°	Benar



1	45°	1	45°	Benar
		2	45°	Benar
		3	45°	Benar
		4	45°	Benar
		5	45°	Benar
1	90°	1	90°	Benar
		2	90°	Benar
		3	45°	Salah
		4	90°	Benar
		5	45°	Salah
1	135°	1	135°	Benar
		2	90°	Salah
		3	90°	Salah
		4	135°	Benar
		5	135°	Benar
1	145°	1	145°	Benar
		2	145°	Benar
		3	145°	Benar
		4	145°	Benar
		5	145°	Benar

Pada Tabel 6.6 merupakan hasil pengujian yang dilakukan pada orang pertama dimana setiap gerakan dilakukan pengujian sebanyak 5 kali dalam masing masing sudut untuk diambil tingkat akurasi. Dapat diketahui rata-rata dari gerakan tersebut memiliki nilai tingkat akurasi sebesar. “benar” digunakan untuk menandakan nilai sudut yang tepat sedangkan “salah” merupakan nilai sudut yang tidak sesuai.

Tabel 6.7 Data Hasil Keseluruhan Subjek 2

Subjek	Derajat yang diinginkan	Pengujian ke	Hasil derajat	Keterangan
2	0°	1	0°	Benar
		2	0°	Benar
		3	0°	Benar
		4	0°	Benar
		5	0°	Benar



2	45°	1	45°	Benar
		2	45°	Benar
		3	45°	Benar
		4	45°	Benar
		5	45°	Benar
2	90°	1	90°	Benar
		2	45°	Salah
		3	90°	Benar
		4	90°	Benar
		5	90°	Benar
2	135°	1	135°	Benar
		2	90°	Salah
		3	135°	Benar
		4	135°	Benar
		5	90°	Salah
2	145°	1	145°	Benar
		2	145°	Benar
		3	145°	Benar
		4	145°	Benar
		5	145°	Benar

Pada Tabel 6.7 merupakan hasil pengujian yang dilakukan pada orang kedua dimana setiap gerakan dilakukan pengujian sebanyak 5 kali dalam masing masing sudut untuk diambil tingkat akurasi. Dapat diketahui rata-rata dari gerakan tersebut memiliki nilai tingkat akurasi sebesar. “benar” digunakan untuk menandakan nilai sudut yang tepat sedangkan “salah” merupakan nilai sudut yang tidak sesuai.

Tabel 6.8 Data Hasil Keseluruhan Sistem Subjek 3

Subjek	Derajat yang diinginkan	Pengujian ke	Hasil derajat	Keterangan
3	0°	1	0°	Benar
		2	0°	Benar
		3	0°	Benar
		4	0°	Benar
		5	0°	Benar



3	45 ⁰	1	0 ⁰	Salah
		2	45 ⁰	Benar
		3	45 ⁰	Benar
		4	0 ⁰	Salah
		5	45 ⁰	Benar
3	90 ⁰	1	90 ⁰	Benar
		2	45 ⁰	Salah
		3	90 ⁰	Benar
		4	45 ⁰	Salah
		5	90 ⁰	Benar
3	135 ⁰	1	135 ⁰	Benar
		2	135 ⁰	Salah
		3	135 ⁰	Benar
		4	135 ⁰	Benar
		5	145 ⁰	Salah
3	145 ⁰	1	145 ⁰	Benar
		2	145 ⁰	Benar
		3	145 ⁰	Benar
		4	145 ⁰	Benar
		5	145 ⁰	Benar

Pada Tabel 6.8 merupakan hasil pengujian yang dilakukan pada orang ketiga dimana setiap gerakan dilakukan pengujian sebanyak 5 kali dalam masing masing sudut untuk diambil tingkat akurasinya. Dapat diketahui rata-rata dari gerakan tersebut memiliki nilai tingkat akurasi sebesar. “Benar” digunakan untuk menandakan nilai sudut yang tepat sedangkan “salah” merupakan nilai sudut yang tidak sesuai.

Tabel 6.9 Hasil Akurasi Nilai Keseluruhan Sistem

Subjek	Akurasi nilai keseluruhan				
	0 ⁰	45 ⁰	90 ⁰	135 ⁰	145 ⁰
1	100%	100%	60%	60%	100%
2	100%	100%	80%	60%	100%
3	100%	60%	60%	80%	100%
Rata-rata akurasi	100%	86,7%	66,7%	66,7%	100%



Total rata-rata akurasi	84%
-------------------------	-----

Berdasarkan semua pengujian pada Tabel 6.9 merupakan hasil total rata rata keseluruhan dari 3 orang subyek disaat pengujian adalah 84%.

6.4.4 Analisis Pengujian

Tabel 6.6 sampai 6.8 menunjukkan hasil pengujian kesesuaian gerakan lengan robot dengan lengan manusia pada tiap subjek. "benar" dan "salah" berdasarkan dari sudut yang dibentuk oleh lengan robot sesuai dengan pergerakan lengan manusia. Sehingga, justifikasinya sudut yang dibentuk oleh lengan robot sesuai dengan sudut busur. Dari hasil tersebut, perhitungan akurasi dilakukan sehingga dapat menghasilkan pada Tabel 9. Akurasi sudut 0° , 45° , 90° , 135° , dan 145° masing-masing memiliki nilai akurasi sebesar 100%, 86,7%; 66,7%; 66,7%; dan 100%. Berdasarkan total nilai akurasi, sistem memiliki nilai keberhasilan rata-rata sebesar 84%. Gambar hasil pengujian keseluruhan sistem dapat dilihat pada Gambar 6.9. Pergerakan pada lengan robot telah sesuai dengan hasil klasifikasi *if-else*. Akan tetapi, hasil pengujian ini dipengaruhi oleh klasifikasi *if-else* sehingga ketika mendapat kesalahan pengenalan jenis gerakan, robot akan bergerak sesuai dengan hasil pengenalan gerakan yang tidak tepat.

6.5 Pengujian Waktu komputasi Sistem

6.5.1 Tujuan Pengujian.

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui berapa waktu komputasi yang dibutuhkan dalam sistem untuk menentukan sudut otot lengan sebesar 0° , 45° , 90° , 135° dan 145° . Waktu komputasi didapat berdasarkan waktu zona pengambilan gerakan yaitu variabel "z" yang dapat dilihat pada perancangan. Hasil waktu komputasi setiap zona akan dijumlahkan sehingga mendapatkan hasil waktu komputasi seluruh sistem. selanjutnya hasil waktu komputasi keseluruhan pada setiap gerakan akan dihitung nilai rata-rata waktu keseluruhan. Pengujian waktu komputasi diujikan pada 3 subjek yang masin masing sudut dilakukan sebanyak 5 kali.

6.5.2 Prosedur Pengujian

1. Subjek duduk pada kursi yang telah disediakan.
2. Peneliti memasang elektroda di lengan tepatnya pada otot bisep sampel.
3. Sampel melakukan gerakan sudut yang telah ditentukan yaitu 0° , 45° , 90° , 135° dan 145° .
4. Peneliti membuka serial monitor dan mencatat hasil sistem.
5. Waktu komputasi dihitung berdasarkan zona yang telah ditentukan setiap sekali eksekusi.
6. Hasil total pada hasil pengujian akan ditotal keseluruhan dan dirata rata.



6.5.3 Hasil Pengujian

Tabel 6.10 Sudut 0°

No	Z0 (ms)	Z1 (ms)		Z2 (ms)		Total (ms)
		Baca	Tetap	Baca	Reset	
1.	1297	-	-	-	-	1297
2.	1298	-	-	-	-	1298
3.	1298	-	-	-	-	1298
4.	1297	-	-	-	-	1297
5.	1299	-	-	-	-	1299
6.	1297	-	-	-	-	1297
7.	1298	-	-	-	-	1298
8.	1298	-	-	-	-	1298
9.	1298	-	-	-	-	1298
10.	1297	-	-	-	-	1297
11.	1298	-	-	-	-	1298
12.	1297	-	-	-	-	1297
13.	1298	-	-	-	-	1298
14.	1298	-	-	-	-	1298
15.	1297	-	-	-	-	1297
Rata-rata		1297,667	-	-	-	1297,667

Sudut 0 hanya memiliki zona 0. Sehingga nilai selain z0 tidak dihitung. Memiliki nilai rata rata yang hampir sama yaitu 1297,667 ms.

Tabel 6.11 Sudut 45°

No	Z0 (ms)	Z1 (ms)		Z2 (ms)		Total (ms)
		Baca	Tetap	Baca	Reset	
1.	1299	0	1057	0	1258	3614
2.	1298	0	1058	0	1257	3613
3.	1299	0	1058	0	1257	3614
4.	1297	2095	1058	0	1258	5708
5.	1298	0	1057	0	1259	3614



6.	1298	0	1058	0	1257	3613
7.	1298	0	1058	0	1257	3613
8.	1298	0	1057	2096	1258	5709
9.	1298	2095	1057	0	1258	5708
10.	1298	0	1058	1047	1258	4661
11.	1299	0	1057	0	1258	3614
12.	1298	0	1058	1047	1259	4662
13.	1297	1048	1058	1047	1259	5709
14.	1299	2095	1059	1047	1259	6759
15.	1298	0	1058	1048	1058	4662
Rata-rata	1298,133	488,8667	1057,733	488,8	1258	4591,533

Pengujian waktu komputasi pada sudut 45 dapat dilihat pada Tabel. Nilai rata-rata waktu komputasi pada Z 0 memiliki nilai sebesar 1298,133 ms; Z1-baca sebesar 488,8667 ms; Z1-tetap sebesar 1057,733 ms; Z2-baca sebesar 488,8ms; Z2-Reset sebesar 1258. Nilai rata-rata keseluruhan dalam Z0-Z2 sebesar 4591,533 ms.

Tabel 6.12 Sudut 90°

No	Z0 (ms)	Z1 (ms)		Z2 (ms)		Total (ms)
		Baca	Tetap	Baca	Reset	
1.	1297	0	1058	0	1258	3613
2.	1297	0	1058	0	1258	3613
3.	1298	0	1058	0	1259	3615
4.	1298	0	1057	1048	1257	4660
5.	1299	0	1058	2095	1257	5709
6.	1299	1047	1058	0	1258	4662
7.	1299	1047	1058	4190	1259	8853
8.	1297	0	1058	0	1259	3614
9.	1297	2095	1058	0	1259	5709
10.	1297	3143	1058	0	1257	6755
11.	1299	0	1058	0	1258	3615



12.	1297	5238	1058	0	1258	8851
13.	1299	2095	1057	1047	1258	6756
14.	1298	0	1057	1048	1257	4660
15	1298	1048	1058	0	1258	4662
Rata - rata	1297,933	1047,533	1057,8	628,5333	1258	5289,8

Pengujian waktu komputasi pada sudut 90 dapat dilihat pada Tabel. Nilai rata rata waktu komputasi pada Z 0 memiliki nilai sebesar 1297,933 ms; Z1-baca sebesar 1047,533 ms; Z1-tetap sebesar 1057,8 ms; Z2-baca sebesar 628,533ms; Z2-Reset sebesar 1258. Nilai rata rata keseluruhan dalam Z0-Z2 sebesar 5289,8 ms.

Tabel 6.13 Sudut 135°

No	Z0 (ms)	Z1 (ms)		Z2 (ms)		Total (ms)
		Baca	Tetap	Baca	Reset	
1.	1299	1047	1058	2095	1258	6757
2.	1297	0	1058	0	1258	3613
3.	1298	5239	1058	0	1257	8852
4.	1298	4190	1058	0	1259	7805
5.	1298	2095	1057	0	1258	5708
6.	1297	4190	1058	0	1258	7803
7.	1298	0	1057	0	1258	3613
8.	1298	0	1057	1048	1258	4661
9.	1297	2095	1058	0	1259	5709
10.	1297	0	1057	0	1257	3611
11.	1297	2095	1058	0	1259	5709
12.	1298	0	1058	0	1258	3614
13.	1297	0	1058	1048	1257	4660
14.	1298	3143	1058	0	1258	6757
15	1298	0	1058	0	1258	3614
Rata - rata	1297,667	1456,267	1057,733	279,4	1258	5499,067

Pengujian waktu komputasi pada sudut 135 dapat dilihat pada Tabel. Nilai rata rata waktu komputasi pada Z 0 memiliki nilai sebesar 1297,667 ms; Z1-baca sebesar 1456,267 ms; Z1-tetap sebesar 1057,733 ms; Z2-baca sebesar 279,4 ms;



Z2-Reset sebesar 1258. Nilai rata rata keseluruhan dalam Z0-Z2 sebesar 5499,067 ms.

Tabel 6.14 Sudut 145°

No	Z0 (ms)	Z1 (ms)		Z2 (ms)		Total (ms)
		Baca	Tetap	Baca	Reset	
1.	1298	1047	1058	1048	1258	5709
2.	1298	1048	1058	0	1257	4661
3.	1298	2095	1058	0	1258	5709
4.	1297	0	1057	1048	1257	4659
5.	1297	1048	1057	1048	1258	5708
6.	1298	6286	1058	1047	1259	10948
7.	1299	4191	1058	0	1258	7806
8.	1299	3143	1058	0	1258	6758
9.	1298	2095	1056	0	1258	5707
10.	1298	5238	1058	1047	1259	9900
11.	1298	2096	1057	2096	1257	7804
12.	1299	1047	1057	0	1257	4660
13.	1298	2095	1057	0	1258	5708
14.	1298	0	1058	0	1259	3615
15.	1299	4190	1058	0	1257	7804
Rata - rata	1298,133	2374,6	1057,533	488,9333	1257,867	6477,067

Pengujian waktu komputasi pada sudut 145 dapat dilihat pada Tabel. Nilai rata rata waktu komputasi pada Z 0 memiliki nilai sebesar 1298,133 ms; Z1-baca sebesar 2374,6 ms; Z1-tetap sebesar 1057,733 ms; Z2-baca sebesar 488,8ms; Z2-Reset sebesar 1257,867. Nilai rata rata keseluruhan dalam Z0-Z2 sebesar 6477,067 ms.

Tabel 6.15 Rata-Rata Waktu Komputasi

Sudut	Z0 (ms)	Z1 (ms)		Z2 (ms)		Total
		Baca	Tetap	Baca	Reset	

0°	1297,667	-	-	-	-	1297.667
45°	1298,133	488,8667	1057,733	488,8	1258	4591.533
90°	1297.933	1047.533	1057.8	628.5333	1258	5289.8
135°	1297,667	1456,267	1057,733	279,4	1258	5499.067
145°	1298,133	2374,6	1057,533	488,9333	1257,867	6477.067
Rata-rata	1297,907	1379,317	1057,7	471,4167	1257,967	5464.307

Pengujian waktu komputasi keseluruhan dapat dilihat pada Tabel. Nilai total rata rata waktu komputasi pada Z 0 memiliki nilai sebesar 1297,907ms; Z1-baca sebesar 1379,317 ms; Z1-tetap sebesar 1057,7 ms; Z2-baca sebesar 471,4167ms; Z2-Reset sebesar 1257,967. Nilai rata rata keseluruhan dalam Z0-Z2 sebesar 5464.307 ms.

6.5.4 Analisis Pengujian

Pengujian waktu komputasi dilakukan berdasarkan zona pengambilan yaitu variabel “z”. Tabel 6.10 sampai 6.14 menunjukkan hasil masing-masing waktu komputasi pada sudut 45°, 90°, 135°, dan 145°. Rata-rata “Z0”, “Z1-baca”, “Z1-tetap”, “Z2-baca”, dan “Z2-reset” dari seluruh gerakan otot lengan menghasilkan nilai rata-rata sebesar 1297,907ms; 1379,317ms; 1057,7ms; 471,4167ms; dan 1257,967ms. Berdasarkan nilai rata-rata tiap nilai Z, rata-rata waktu komputasi keseluruhan sebesar 5464,307ms yang dapat dilihat pada Tabel 15. Sudut 0 hanya menghasilkan waktu komputasi “Z0” dikarenakan sudut 0 merupakan kondisi awal dari seluruh gerakan. Rata-rata dari setiap variabel “Z” hampir sama kecuali bagian “Z1-baca” dan “Z2-baca”. Hal tersebut dikarenakan kondisi otot tiap orang berbeda beda sehingga waktu yang dihasilkan berbeda pula. Perbedaan tersebut terjadi setelah otot melakukan kontraksi atau relaksasi, nilai otot terkadang masih stabil sehingga membutuhkan waktu yang lama untuk kembali ke nilai tidak melakukan gerakan.

BAB 7 PENUTUPAN

7.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan pengujian sistem yang telah dilakukan pada penelitian ini adalah:

1. Sinyal EMG memiliki nilai tegangan yang sangat kecil, oleh sebab itu diperlukan penguat instrumentasi dan filter seperti yang ada di sensor myoware. Selanjutnya, sinyal akan difilter kembali di perangkat lunak yaitu dengan cara filter eksponensial. Nilai bobot yang optimal untuk merendam *noise* pada sinyal EMG yaitu 0,4.
2. Sinyal EMG yang telah dilakukan filter eksponensial, selanjutnya sistem akan mengklasifikasi dengan menggunakan *if-else*, nilai akan memasuki parameter yang telah ditentukan. Parameter untuk batas bawah dan batas atas menggunakan cara jarak antara rata rata dari 2 gerakan lalu dibagi menjadi dua. Nilai *threshold* untuk 0 derajat sebesar 0 sampai 0.892463; 45 derajat sebesar 0,892463V sampai 1,591854V; 90 derajat sebesar 1,591854V sampai 2,291921V; 135 derajat sebesar 2,291921V sampai 3,496667V; dan yang terakhir untuk nilai 145 derajat sebesar 3,496667V sampai 5V. Peneliti telah melakukan pengujian kepada 3 orang masing-masing sebanyak 5 kali. Hasil akurasi pada sistem adalah 0 derajat sebesar 100%; 45 derajat sebesar 80%; 90 derajat sebesar 66,7%; 135 derajat sebesar 60%; dan 145^o sebesar 100%. Rata-rata akurasi keberhasilan sistem dalam mengenali sudut sebesar 81,33%.
3. Lengan robot terbuat dari servo ax-12 yang memiliki 4DoF. Sudut yang diinginkan dapat diperoleh dengan mengubah nilai derajat ke heksa yang telah dibahas pada perancangan, gerakan siap menggunakan nilai tengah servo yaitu 150 derajat atau 512 atau 0200. Sedangkan untuk membentuk sudut lengan robot, sudut harus ditambah 60 derajat dikarenakan 0 derajat tidak membentuk garis lurus. Sehingga nilai derajat pada lengan robot yaitu sebesar 60^o untuk nilai 0^o, 105^o untuk nilai 45^o, 150 untuk 90^o, 195^o untuk 135^o, sedangkan nilai 145^o yaitu ketika robot tidak dapat berputar lagi yaitu sebesar 205^o untuk 145^o derajat. Nilai tersebut akan dirubah menjadi nilai heksa 4byte yang masing masing memiliki nilai 00CC, 0166, 01FF, 0298, 02BB. Hasil dari pengujian fungsional sudut lengan robot memiliki tingkat akurasi sebesar 100%.
4. Pergerakan lengan robot terhadap pergerakan otot lengan diujikan pada 3 subjek, masing-masing subjek melakukan percobaan sebanyak 5 kali setiap sudut. Proses klasifikasi terhadap pergerakan lengan robot berdasarkan lengan otot menggunakan klasifikasi *if-else*. Kesesuaian sudut 0^o, 45^o, 90^o, 135^o, dan 145^o yang dibentuk oleh otot lengan dengan lengan robot memiliki akurasi sebesar 100%, 86,7%; 66,7%; 66,7%; dan 100%. Penelitian ini memiliki rata-rata nilai akurasi sebesar 84% dari kelima sudut yang diujikan.



Pengujian waktu komputasi dilakukan berdasarkan zona pengambilan yaitu variabel “z” meliputi “Z0”, “Z1-baca”, “Z1-tetap”, “Z2-baca”, dan “Z2-reset”. Hasil tiap nilai variabel “Z”, masing masing memiliki nilai hasil rata-rata sebesar 1297,907 ms; 1379,317 ms; 1057,7 ms; 471,4167 ms; dan 1257,967 ms. Nilai “Z2-baca” dan “Z1-baca” memiliki nilai yang berbeda dikarenakan kondisi otot lengan pada setiap subjek berbeda beda. Rata-rata waktu komputasi keseluruhan sistem dalam mengenali sudut sebesar 5464,307 ms.

7.2 Saran

1. Spesifikasi jenis otot subjek penelitian yang sama diperlukan seperti berdasarkan berat badan, tinggi badan, dan kegiatan selama sehari-hari. Selain itu, pengambilan data pada subjek dapat dilakukan secara berulang-ulang (berhari-hari) agar sinyal yang didapat lebih seragam karena otot mendapat penyesuaian yang sama.
2. Sudut yang dapat dideteksi pada penelitian ini hanya sebatas 5 sudut lengan, sehingga disarankan sudut lebih beragam.
3. Pengguna algoritma lain baik dalam klasifikasi atau pun filter dapat memakai metode lainnya agar menghasilkan akurasi yang lebih tinggi atau waktu yang lebih cepat.
4. Memakai sensor myo armband atau sensor lainnya.



DAFTAR REFERENSI

Abdurachman, Krismashogi, D., Faridra, I., & Rambung, E., 2017. *Indahnya seirama Kinesiologi dalam anatomi*. Malang : Publish Intelifensia Media.

Addante, F., Gaetani, F., Patrono, L., Sancarolo, D., Sergi, I., Vergari, Giuseppe., 2019. *An Innovative AAL System Based on IoT Technologies for Patients with Sarcopenia*, [e-journal] 19(22). Tersedia melalui: MDPI <<https://www.mdpi.com/1424-8220/19/22/4951/hm>> [Diakses 26 April 2020].

Advancer-Technologies, 2015. *Myoware™ Muscle Sensor (AT-04-001)*[pdf] Sparkfun. Tersedia di : <<https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MyowareUserManualAT-04-001.pdf>> [Diakses 7 Maret 2020].

Arduino, 2008. *Arduino Nano User Manual* [pdf] Arduino. Tersedia di : <<https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoManual23.pdf>> [Diakses 26 Mei 2020].

Clark, John W. Jr; Neuman, Michael R; Olson, Walter H; Peura, Robert A; Primiano, Frank P. Jr.; Siedband, Melvin P.; Webster, John G.; Wheeler, Lawrence A., 1998. *Medical Instrumentation Application and Design*. 3rd ed. Canada : Simultaneously.

Ebotics, 2020. *Project no 2 control a rgb led*. [online] Tersedia di : <<https://www.ebotics.com/activity/project-no-2-control-a-rgb-led/>> [Diakses 25 April 2020].

Fahmi, H. Z., Maulana, R. & Kurniawan, W., 2017. Implementasi Complementary Filter Menggunakan Sensor Accelerometer dan Gyroscope pada Keseimbangan Gerak Robot Humanoid. S1. Universitas Brawijaya.

Faidallah, E. M., Hossameldin, Y. H., Rabbo, S. M., El-Mashad, Y. A., 2017. Control and modeling a robot arm via EMG and flex signals. *15th International workshop on research and Education in Mechatronics (REM)*, Elgouna, Egypt, 9-11 September 2014. Tempat publikasi : IEEE.

Faiz, A., Maulana, R., Utaminingrum, F., 2019. Sistem pergerakan lengan menggunakan exponential moving average dengan metode decision tree berbasis EMG. S1. Universitas Brawijaya.

Hakim, A., 2017. *Rancang Bangun Detektor Arithmia Menggunakan QRS Detector Berbasis Mikrokontroler*. [Online] Tersedia di: <http://repository.its.ac.id/48192/1/2213039044-Non-Degree.pdf> [Diakses 2 Mei 2020].

Joshi, S. K., 2012. *Safety Management in Hospital*. [e-book] Jaypee Brothers. Tersedia di: Google books <<https://books.google.co.id/books?id=MkP8AAwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=id#v=onepage&q&f=false>> [Diakses 1 Juni 2020].



Judkins, T. N., Oleynikov, D., Narazaki, K., Stergiou, N., 2007. *Robotic Surgery and Training: Electromyography Correlates of Robotic Laparoscopic Training*, [e-journal] 20 (5):824-9. Tersedia melalui: National Library of Medicine <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16508816/>> [Diakses 1 Juni 2020].

Kadhim, A. S. N., Sattar, M. M. A., Falah., H. S., 2017. *Surface Electromyography Signal Collecting Strategy for Artificial Hand Controlling Purposes*, [e-jurnal] 2 (10). Tersedia melalui : researchgate <https://www.researchgate.net/publication/320756231_Surface_Electromyography_Signal_Collecting_Strategy_for_Artificial_Hand_Controlling_Purposes> [Diakses 7 Maret 2020].

Kypson A.P., Nifong W., Chitwood R.W., 2003. *Robotic Cardiac Surgery*, [e-jurnal] 13(6), p.451-464. Tersedia melalui : researchgate <https://www.researchgate.net/publication/8645334_Robotic_Cardiac_Surgery> [Diakses 7 Maret 2020].

Maulana, R., Putri, R. R. M., 2018. *Pengkondisian sinyal electromyography sebagai identifikasi jenis gerakan lengan manusia*, [e-jurnal] 5[3]. Tersedia melalui JTIK Universitas Brawijaya <<http://jtiik.ub.ac.id/index.php/jtiik/article/view/829/pdf>> [Diakses : 20 September 2019].

Nichols, M., 2019. *Weighing the Advantages and Disadvantages of Robotic Surgery* [online] Tersedia di : <<https://www.robotshop.com/community/blog/show/weighing-the-advantages-and-disadvantages-of-robotic-surgery>> [Diakses 1 Juni 2020].

OneMed-Medicom, 2020. *One Dot ECG Electrode anak*. [online] Tersedia di: <https://medicom.co.id/products/onedot-ecg-electrode-anak-pak-isi-50?_pos=3&_sid=5985193e2&_ss=r> [Diakses 25 April 2020].

Robotis, 2020. *Dynamixel AX-12*. [pdf]. Tersedia di: <[https://www.trossenrobotics.com/images/productdownloads/AX-12\(English\).pdf](https://www.trossenrobotics.com/images/productdownloads/AX-12(English).pdf)> [Diakses 18 April 2020].

Robotis, 2020. *AX-12*. [online] Tersedia di : <<http://emmanual.robotis.com/docs/en/dxl/ax/ax-12a/>> [Diakses 18 April 2020].

Robotis, 2020. *Dynamixel-AX (bioloid) Frames*. [online] Tersedia di : <<http://www.robotis.us/dynamixel-ax-bioloid-frames/>> [Diakses 18 Mei 2020].

Rondonuwu, R. H. S., 2011. *Manfaat dan Peran Robotic Surgery*. [pdf] Scribd. Tersedia di : <<https://id.scribd.com/document/155854508/Manfaat-Dan-Peran-Robotic-Surgery>> [Diakses 13 Mei 2020].

Zurendra, R. Z. A., Maulana, R., Fitriyah, H., 2020. Implementasi Inverse Kinematics pada Robot Lengan untuk Pengambilan Benda dengan Koordinat Awal acak. S1. Universitas Brawijaya.



LAMPIRAN A SOURCE CODE PROGRAM

```

1 float emgB, emgL, alpha = 0.4;
2 int awal = 1;
3 unsigned long a, b;
4 int check = 0;
5 int c;
6 int z;
7 int redPin = 9;
8 int greenPin = 10;
9 int bluePin = 11;
10 float puncak = 0.0;
11 void setup() {
12     Serial.begin(1000000);
13     servo(0x01, 0x00, 0x02);
14     servo(0x02, 0x00, 0x02);
15     servo(0x03, 0xCC, 0x00);
16     servo(0x04, 0xBC, 0x00);
17     pinMode(redPin, OUTPUT);
18     pinMode(bluePin, OUTPUT);
19     pinMode(greenPin, OUTPUT);
20 }
21 void servo(byte newID, byte gerakan1, byte gerakan2) {
22     byte notchecksum = ~lowByte(newID + 0x05 + 0x03 + 0x1E + gerakan1 +
23     gerakan2);
24     Serial.write(0xFF);
25     Serial.write(0xFF);
26     Serial.write(newID);
27     Serial.write(0x05);
28     Serial.write(0x03);
29     Serial.write(0x1E);
30     Serial.write(gerakan1);
31     Serial.write(gerakan2);
32     Serial.write(notchecksum);
33     Serial.flush();
34 }
35 void setColor (int redValue, int greenValue, int blueValue) {
36     analogWrite (redPin, redValue);
37     analogWrite (greenPin, greenValue);
38     analogWrite (bluePin, blueValue);
39 }

```



```

39 void if-else() {
40     Serial.print("puncak :");
41     Serial.println(puncak);
42     if (puncak > 0.1 && puncak <= 0.892463 && z == 0) {
43         delay(200);
44         servo(0x03, 0xCC, 0x00);
45         z = 0;
46         Serial.println("Sudut 0");
47     }
48     else if (puncak > 0.892463 && puncak <= 1.591854 && z == 0) {
49         delay(200);
50         servo(0x03, 0x66, 0x01);
51         z = 1;
52         Serial.println("Sudut 45");
53     }
54     else if (puncak > 1.591854 && puncak <= 2.291921 && z == 0) {
55         delay(200);
56         servo(0x03, 0xFF, 0x01);
57         z = 1;
58         Serial.println("Sudut 90");
59     }
60     else if (puncak > 2.291921 && puncak <= 3.496667 && z == 0) {
61         delay(200);
62         servo(0x03, 0x98, 0x02);
63         z = 1;
64         Serial.println("Sudut 135");
65     }
66     else if (puncak > 3.496667 && puncak <= 5 && z == 0) {
67         delay(200);
68         servo(0x03, 0xBB, 0x02);
69         z = 1;
70         Serial.println("Sudut 145");
71     }
72     else if (puncak <= 0.892463 && z == 1) {
73         Serial.println("\ntetap\n");
74         z = 2;
75         delay(10);
76         setColor(0, 255, 255); //merah
77     }
78     else if (puncak > 0.892463 && z == 2) {
79         Serial.println("\nreset Z\n");
80         delay(10);
81         setColor(255, 0, 255); //hijau
82         delay(200);
83         servo(0x03, 0xCC, 0x00);
84         z = 3;
85     }
86     else if (z == 3) {

```



```

82 setColor (0,255,0); //ungu
83 z=0;
84 }
85 }
86 void loop() {
87   if (check == 0) {
88     a = millis();
89     check = 1;
90     if (z == 0) {
91       setColor (255, 255, 0); //biru
92       delay (50);
93       setColor (255, 255, 255); //putih
94     } else {
95       Serial.println ("baca");
96     }
97     if (c < 1000) {
98       delayMicroseconds(860);
99       emgB = (analogRead(A0) * 5.0/1023.0);
100      if (awal == 1) {
101        emgL = emgB;
102        awal = 0;
103      } else {
104        emgL = (emgB * alpha + emgL * (1 - alpha));
105        if (emgL > puncak) {
106          puncak = emgL;
107        }
108        c++;
109      }
110    } else {
111      decision();
112      puncak = 0.0;
113      b = millis();
114      Serial.print("waktu : ");
115      Serial.println (b - a);
116      c = 0;
117      awal = 1;
118      check = 0;
119    }
120  }

```



LAMPIRAN B FOTO PENGUJIAN









LAMPIRAN C DATA LATIH.

No	Subjek	0° (V)	45° (V)	90° (V)	135° (V)	145° (V)
1	1	0.254154	1.050831	1.197458	3.387097	4.804497
2		0.493646	1.764418	1.290323	2.438905	4.809384
3		0.615836	1.368524	2.00391	3.56305	4.799609
4		0.645161	2.394917	1.642229	3.274682	4.804497
5		0.078201	1.666667	2.697947	2.785924	4.809384
6		0.791789	0.86999	1.656891	2.316716	4.809384
7	2	0.420332	2.140762	2.28739	2.111437	3.049853
8		0.615836	1.265885	0.923754	3.142717	4.804497
9		0.307918	0.562072	1.964809	3.84653	2.761486
10		0.151515	0.635386	1.27566	3.934506	3.665689
11		0.371457	1.104594	1.280547	2.394917	4.809384
12		0.371457	0.571848	1.783969	3.426197	4.809384
13	3	0.615836	1.236559	1.451613	2.658847	4.809384
14		0.562072	0.928641	1.901271	3.128055	4.809384
15		0.337243	1.314761	2.575758	2.179863	4.809384
16		0.073314	1.612903	3.103617	2.69306	3.372434
17		0.386119	2.243402	2.512219	2.258065	4.804497
18		0.239492	1.397849	2.262952	2.1652	3.934506
19	4	0.645161	1.568915	2.438905	3.064516	3.523949
20		0.210166	2.253177	1.490714	2.8739	4.472141
21		0.85044	1.500489	2.497556	2.047898	4.809384
22		0.449658	1.085044	2.785924	2.082111	3.739003
23		0.796676	1.432063	2.184751	2.385142	4.809384
24		0.923754	1.510264	2.052786	2.766373	3.597263
25	5	0.928641	1.808407	2.507331	3.088954	3.607038
26		0.254154	1.632454	1.959922	3.123167	3.714565
27		0.904203	1.353861	1.13392	2.903226	4.804497



28	0.386119	1.383187	1.549365	3.357771	3.758553
29	0.645161	1.016618	1.642229	3.201369	3.758553
30	0.151515	1.15347	1.764418	1.896383	4.809384
Rata-rata tegangan tiap sudut	0.482568	1.394265	1.927338	2.816553	4.289345