

IMPLEMENTASI PERGERAKAN Lengan ROBOT DENGAN *FLEX-SENSOR* MENGGUNAKAN KALMAN FILTER

SKRIPSI

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh:
Hanif Yudha Prayoga
NIM: 145150301111041



PROGRAM STUDI TEKNIK KOMPUTER
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018

PENGESAHAN

IMPLEMENTASI PERGERAKAN LINGGANG ROBOT DENGAN *FLEX*-SENSOR
MENGUNAKAN KALMAN FILTER

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun Oleh :
Hanif Yudha Prayoga
NIM: 145150301111041

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
18 Juli 2018

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



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

Wijaya Kurniawan, S.T, M.T
NIP: 19820125 201504 1 002

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 pustaka.

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, 18 Juli 2018



Hanif Yudha Prayoga

NIM: 145150301111041

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan atas rahmat dan karunia-Nya Tuhan yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsinya dengan judul *“IMPLEMENTASI PERGERAKAN ROBOT LENGAN DENGAN FLEX SENSOR MENGGUNAKAN KALMAN FILTER”*

Penulis menyadari bahwa pembuatan skripsi ini tidak lepas dari bantuan baik motivasi, doa dan jasa dari berbagai pihak. Maka sebab itu, penulis menyampaikan rasa hormat dan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua dan seluruh keluarga yang selalu memberikan motivasi dan semangat serta doa sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsinya.
2. Bapak Rizal Maulana, S.T., M.T., M.Sc selaku Dosen Pembimbing pertama yang telah memberikan dukungan dan bimbingannya kepada penulis untuk segera menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Wijaya Kurniawan, S.T, M.T selaku Dosen Pembimbing kedua yang telah memberikan dukungan dalam menyelesaikan laporan skripsi ini.
4. Tri Astoto Kurniawan, S.T, M.T, Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Informatika.
5. Teman-teman grup bujang ganong Agung Widya G, Candra salim, Gilang Rega F, dan M. Yusuf Hidayat yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam pengerjaan laporan skripsi.
6. Teman-teman grup Fake Friends yang telah memberikan dukungan dan segala bentuk bantuan yang telah diberikan.
7. Teman-teman Keluarga Besar Mahasiswa Teknik Komputer yang telah membagi ilmunya dalam akademik maupun dalam berorganisasi dan memberikan saran dalam perkuliahan.
8. Teman-teman tercinta program studi Teknik Komputer angkatan 2014 yang selalu memberikan semangat. Terima kasih atas semua doa dan dukungan baik dalam bentuk materil maupun non materil.
9. Dan orang-orang yang selalu mendukung dan mendoakan penulis yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam laporan ini masih banyak kekurangan, oleh sebab itu penulis berharap adanya pengembangan lebih lanjut oleh pihakpihak terkait. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat dan referensi untuk melakukan penelitian sebagai langkah penyempurnaan sistem.

Malang, 18 Juli 2018

Penulis

hanifyudhaprayoga@gmail.com



ABSTRAK

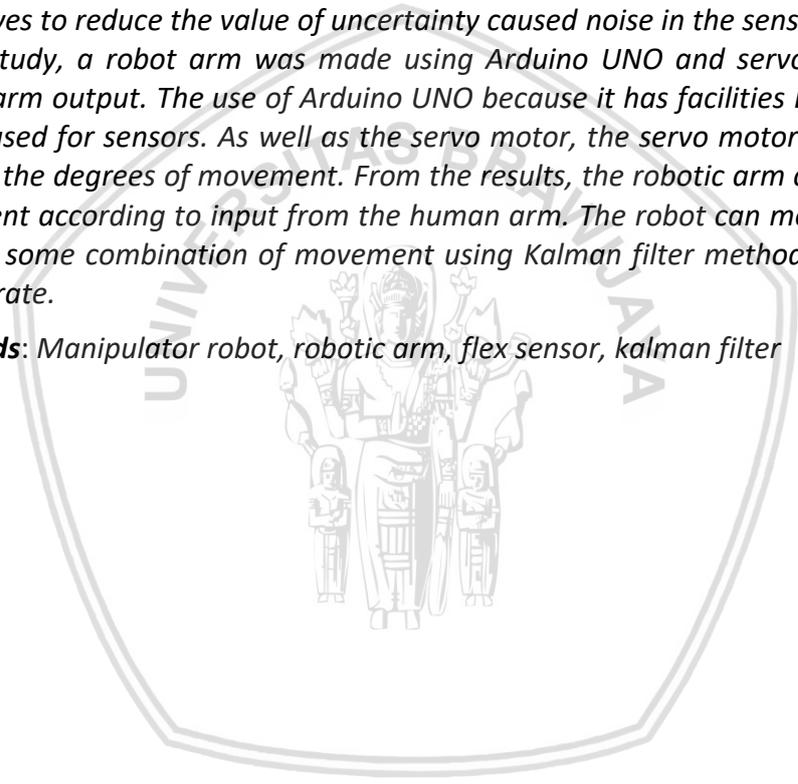
Kemajuan pada dunia teknologi dewasa ini sangat cepat, terutama pada bidang robotika. Penciptaan robot didasarkan pada proses untuk membantu kegiatan manusia, mulai dari pekerjaan yang ringan hingga pekerjaan yang berat dan berbahaya. Dengan adanya robot manipulator (robot lengan) sebuah perusahaan mempunyai keuntungan untuk menghemat tenaga kerja juga akan mengurangi kesalahan yang dibuat manusia. Robot Manipulator adalah bagian mekanik yang dapat difungsikan untuk memindah, mengangkat dan memanipulasi benda. Lengan robot terdiri dari aktuator dan beberapa DOF (*Degree of Freedom*) yang berguna sebagai alat gerak lengan robot. Untuk menggerakkan robot sendiri diperlukan beberapa sensor *flex* yang merupakan sensor untuk mengidentifikasi resistensi pergerakan lengan manusia. Tetapi untuk menggerakkan lengan robot dibutuhkan sebuah metode agar hasil *output* lengan memiliki akurasi yang baik maka dari itu digunakan kalman filter yang berfungsi untuk menurunkan nilai ketidakpastian dalam pembacaan sensor yang disebabkan *noise*(gangguan). Dalam penelitian ini dibuat sebuah robot lengan dengan menggunakan Arduino UNO dan motor servo sebagai output lengan robot. Penggunaan Arduino UNO dikarenakan memiliki fasilitas *jack* DC yang dapat digunakan untuk sensor. Serta motor servo yang dapat diatur nilai dan derajat pergerakan. Dari hasil penelitian didapatkan lengan robot dapat melakukan gerakan sesuai *inputan* dari lengan manusia secara baik. Robot dapat bergerak dan dapat melakukan beberapa kombinasi gerakan dengan baik menggunakan metode kalman filter dengan tingkat keberhasilan mencapai 100%.

Kata kunci: robot manipulator, robot lengan, *flex sensor*, kalman filter.

ABSTRACT

The advancement in the world of technology today is very rapidly, especially in the robotics. Creation of robots is based on processes to assist human activities, ranging from easy to heavy and dangerous jobs. With a manipulator robot (robotic arm) a company has the advantage to save more worker and reduce human mistakes. Robot Manipulator is a mechanical part that can be enabled to move, lift and manipulate an object. The robotic arm consists of actuators and some DOF (Degree of Freedom) which is useful as a tool of motion of the robotic arm. To move the robot itself required some sensor, and flex sensor is a sensor to identify the resistance of human arm movement. But to move the robotic arm required a method for the output of the arm has a good accuracy then Kalman filter is used that serves to reduce the value of uncertainty caused noise in the sensor readings. In this study, a robot arm was made using Arduino UNO and servo motors as robotic arm output. The use of Arduino UNO because it has facilities DC jack that can be used for sensors. As well as the servo motor, the servo motor can set the value of the degrees of movement. From the results, the robotic arm can perform movement according to input from the human arm. The robot can move and can perform some combination of movement using Kalman filter method with 100% success rate.

Keywords: Manipulator robot, robotic arm, flex sensor, kalman filter



DAFTAR ISI

PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK.....	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan masalah.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan masalah	3
1.6 Sistematika pembahasan.....	3
BAB 2 LANDASAN KEPUSTAKAAN	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.1.1 Lengan Robot untuk Memindahkan Obyek Berbahaya Terkendali Secara Nirkabel	5
2.1.2 Penerapan <i>Flex</i> Sensor Pada Lengan Robot Berjari Pengikut Gerakan Lengan Manusia Berbasis Mikrokontroler.	5
2.1.3 Algoritma Filter Kalman Untuk Menghaluskan Data Pengukuran	6
2.2 Dasar Teori.....	6
2.2.1 Arduino UNO	7
2.2.2 Motor Servo	7
2.2.3 One Directional <i>Flex</i> -Sensor.....	8
2.2.4 Robot lengan	8
2.2.5 Kalman Filter	9
2.2.6 Pergerakan Lengan Manusia.....	10
BAB 3 METODOLOGI	11

3.1 Metode Penelitian	11
3.1.1 Studi dan Pengkajian Literatur	12
3.1.2 Analisis Kebutuhan Sistem	12
3.1.3 Pengambilan Data	13
3.1.4 Perancangan Sistem	13
3.1.5 Implementasi Sistem	14
3.1.6 Pengujian dan Analisis	14
3.1.7 Kesimpulan	14
BAB 4 REKAYASA KEBUTUHAN SISTEM	15
4.1 Gambaran Umum Sistem	15
4.1.1 Perspektif Sistem	15
4.1.2 Ruang Lingkup	15
4.1.3 Karakteristik Pengguna	16
4.1.4 Asumsi dan Ketergantungan	16
4.2 Kebutuhan Antarmuka Eksternal	16
4.2.1 Kebutuhan Antarmuka Perangkat Keras	16
4.2.2 Kebutuhan Antarmuka Perangkat Lunak	18
4.3 Kebutuhan Fungsional	18
4.4 Kebutuhan Non Fungsional	19
BAB 5 perancangan Dan implementasi	20
5.1 Perancangan Sistem	20
5.1.1 Perancangan Perangkat Keras	20
5.1.2 Perancangan Perangkat Lunak	25
5.2 Implementasi	30
5.2.1 Implementasi Perangkat Keras	30
5.2.2 Implementasi Perangkat Lunak	33
BAB 6 pengujian dan analisis	37
6.1 Pengujian Sensor <i>Flex</i>	37
6.1.1 Tujuan Pengujian	37
6.1.2 Prosedur Pengujian	37
6.1.3 Hasil Pengujian	37
6.1.4 Analisis Pengujian	44



6.2 Pengujian Motor Servo	45
6.2.1 Tujuan Pengujian.....	45
6.2.2 Prosedur Pengujian	45
6.2.3 Hasil Pengujian	46
6.2.4 Analisis Pengujian.....	54
6.3 Pengujian Nilai K pada Kalman Filter	54
6.3.1 Tujuan Pengujian.....	54
6.3.2 Prosedur Pengujian	55
6.3.3 Hasil Pengujian	55
6.3.4 Analisis Pengujian.....	60
6.4 Pengujian Keseluruhan alat	60
6.4.1 Tujuan Pengujian.....	60
6.4.2 Prosedur Pengujian	60
6.4.3 Hasil Pengujian	61
6.4.4 Analisis Pengujian.....	78
BAB 7 kesimpulan dan saran	79
7.1 Kesimpulan.....	79
7.2 Saran	79
DAFTAR PUSTAKA.....	81



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Spesifikasi <i>Flex</i> Sensor	16
Tabel 4.2 Spesifikasi Arduino UNO.....	16
Tabel 4.3 Spesifikasi Motor Servo	17
Tabel 5.1 Konfigurasi Keseluruhan Pin.....	21
Tabel 5.2 Konfigurasi Pin <i>Flex</i> Sensor.....	22
Tabel 5.3 Konfigurasi Pin Motor Servo	24
Tabel 5.4 Kode Program Motor Servo.....	33
Tabel 5.5 Kode Program <i>Flex</i> Sensor.....	33
Tabel 5.6 Kode Program Pemrosesan Kalman Filter.....	34
Tabel 5.7 Kode Program Penentuan Gerakan Robot Lengan	35
Tabel 6.1 Nilai <i>Input Flex</i> Sensor	42
Tabel 6.2 Percobaan Servo 1 Dengan Sudut 0°	50
Tabel 6.3 Percobaan Servo 1 Dengan Sudut 30°	51
Tabel 6.4 Percobaan Servo 1 Dengan Sudut 60°	51
Tabel 6.5 Percobaan Servo 1 Dengan Sudut 90°	52
Tabel 6.6 Percobaan Servo 2 Dengan Sudut 0°	52
Tabel 6.7 Percobaan Servo 2 Dengan Sudut 30°	53
Tabel 6.8 Percobaan Servo 2 Dengan Sudut 60°	53
Tabel 6.9 Percobaan Servo 2 Dengan Sudut 90°	54
Tabel 6.10 Hasil Pengujian Pergerakan.....	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arduino UNO	7
Gambar 2.2 Motor Servo DC.....	7
Gambar 2.3 <i>Flex</i> Sensor	8
Gambar 2.4 Robot Lengan	9
Gambar 3.1 Flowchart Metodologi Penelitian.....	11
Gambar 3.2 Diagram Blok Analisis Kebutuhan	13
Gambar 3.3 Diagram Blok Perancangan Perangkat Keras.....	13
Gambar 4.1 Diagram Blok Gambaran Umum Sistem	15
Gambar 5.1 Perancangan Sistem	20
Gambar 5.2 Perancangan Perangkat Keras.....	20
Gambar 5.3 Skematik Keseluruhan Sistem	21
Gambar 5.4 Perancangan Subsistem <i>Flex</i> Sensor	22
Gambar 5.5 Skematik <i>Flex</i> Sensor	22
Gambar 5.6 Peletakan <i>Flex</i> Sensor.....	23
Gambar 5.7 Perancangan Subsistem <i>Flex</i> Sensor	23
Gambar 5.8 Skematik Motor Servo.....	24
Gambar 5.9 Rancangan Lengan Robot Tampak Depan dan Tampak Samping.....	24
Gambar 5.10 Flowchart Penentuan Sudut.....	25
Gambar 5.11 Diagram Alur Kalman Filter	26
Gambar 5.12 Perbandingan Raw Data Dengan Filtered Data Pada Sensor 1.....	28
Gambar 5.13 Perbandingan Raw Data Dengan Filtered Data Pada Sensor 2.....	29
Gambar 5.14 Rangkaian Hardware	30
Gambar 5.15 <i>Flex</i> Sensor Pada Bahu	31
Gambar 5.16 <i>Flex</i> Sensor Pada Siku	31
Gambar 5.17 Robot Lengan Tampak Depan	32
Gambar 5.18 Robot Lengan Tampak Samping.....	32
Gambar 6.1 Bahu Pada Sudut 0°	38
Gambar 6.2 Bahu Pada Sudut 30°	38
Gambar 6.3 Bahu Pada Sudut 60°	39
Gambar 6.4 Bahu Pada Sudut 90°	39
Gambar 6.5 Sudut Siku 0°	40

Gambar 6.6 Sudut Siku 30°	40
Gambar 6.7 Sudut Siku 60°	41
Gambar 6.8 Sudut Siku 90°	41
Gambar 6.9 Motor 1 Sudut 0°	46
Gambar 6.10 Motor 1 Sudut 0°	47
Gambar 6.11 Motor 1 Sudut 60°	47
Gambar 6.12 Motor 1 Sudut 90°	48
Gambar 6.13 Motor 2 Sudut 0°	48
Gambar 6.14 Motor 2 Sudut 30°	49
Gambar 6.15 Motor 2 Sudut 90°	49
Gambar 6.16 Motor 2 Sudut 90°	50
Gambar 6.17 Nilai $k=0.006$	55
Gambar 6.18 Nilai $k=0.007$	56
Gambar 6.19 Nilai $k=0.008$	56
Gambar 6.20 Nilai $k=0.009$	57
Gambar 6.21 Nilai $k=0.01$	57
Gambar 6.22 Nilai $k=0.01$	58
Gambar 6.23 Nilai $k=0.02$	58
Gambar 6.24 Nilai $k=0.03$	59
Gambar 6.25 Nilai $k=0.04$	59
Gambar 6.26 Nilai $k=0.05$	60
Gambar 6.27 Lengan Manusia $Flex\ 1=0, flex\ 2=0$	61
Gambar 6.28 Tampak Depan Servo 1=0, Servo 2=0	62
Gambar 6.29 Tampak Atas Servo 1=0, Servo 2=0.....	62
Gambar 6.30 Lengan Manusia $Flex\ 1=0, flex\ 2=30$	63
Gambar 6.31 Tampak Atas Servo 1=0, Servo 2=30.....	63
Gambar 6.32 Lengan Manusia $Flex\ 1=0, flex\ 2=60$	64
Gambar 6.33 Tampak Atas Servo 1=0, Servo 2=60.....	64
Gambar 6.34 Lengan Manusia $Flex\ 1=0, flex\ 2=90$	65
Gambar 6.35 Tampak Atas Servo 1=0, Servo 2=90.....	65
Gambar 6.36 Lengan Manusia $Flex\ 1=30, flex\ 2=0$	66
Gambar 6.37 Tampak Depan Servo 1=30, Servo 2=0	66



Gambar 6.38 Tampak Atas Servo 1=30, Servo 2=0.....	66
Gambar 6.39 Lengan Manusia <i>Flex</i> 1=30, <i>flex</i> 2=30	67
Gambar 6.40 Tampak Atas Servo 1=30, Servo 2=30.....	67
Gambar 6.41 Lengan Manusia <i>Flex</i> 1=30, <i>flex</i> 2=60	68
Gambar 6.42 Tampak Atas Servo 1=30, Servo 2=60.....	68
Gambar 6.43 Lengan Manusia <i>Flex</i> 1=30, <i>flex</i> 2=90	69
Gambar 6.44 Servo 1=30, Servo 2=90.....	69
Gambar 6.45 Lengan Manusia <i>Flex</i> 1=60, <i>flex</i> 2=0	70
Gambar 6.46 Tampak Depan Servo 1=60, Servo 2=0	70
Gambar 6.47 Tampak Atas Servo 1=60, Servo 2=0.....	70
Gambar 6.48 Lengan Manusia <i>Flex</i> 1=60, <i>flex</i> 2=30	71
Gambar 6.49 Tampak Atas Servo 1=60, Servo 2=30.....	71
Gambar 6.50 Lengan Manusia <i>Flex</i> 1=60, <i>flex</i> 2=60	72
Gambar 6.51 Tampak Atas Servo 1=60, Servo 2=60.....	72
Gambar 6.52 Lengan Manusia <i>Flex</i> 1=60, <i>flex</i> 2=90	73
Gambar 6.53 Tampak Atas Servo 1=60, Servo 2=90.....	73
Gambar 6.54 Lengan Manusia <i>Flex</i> 1=90, <i>flex</i> 2=0	74
Gambar 6.55 Tampak Depan Servo 1=90, Servo 2=0	74
Gambar 6.56 Tampak Atas Servo 1=90, Servo 2=0.....	74
Gambar 6.57 Lengan Manusia <i>Flex</i> 1=90, <i>flex</i> 2=30	75
Gambar 6.58 Tampak Atas Servo 1=90, Servo 2=30.....	75
Gambar 6.59 Lengan Manusia <i>Flex</i> 1=90, <i>flex</i> 2=60	76
Gambar 6.60 Tampak Atas Servo 1=90, Servo 2=60.....	76
Gambar 6.61 Lengan Manusia <i>Flex</i> 1=90, <i>flex</i> 2=90	77
Gambar 6.62 Tampak Atas Servo 1=90, Servo 2=90.....	77



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Kemajuan pada dunia teknologi dewasa ini sangat pesat, terutama pada bidang robotika. Robot saat ini tidak dapat dipisahkan dalam berperan untuk kehidupan manusia. Robot adalah seperangkat alat mekanik yang bisa melakukan tugas fisik, baik dengan pengawasan dan kontrol manusia, ataupun menggunakan program yang telah didefinisikan terlebih dulu (kecerdasan buatan) (Muslimin, Wijanarko, & Subagio, 2014). Ada beberapa jenis dari robot itu sendiri antara lain Robot Mobile (bergerak), Robot Manipulator (lengan), Robot *Humanoid* (manusia), Robot terbang, Robot berkaki, dll.

Penciptaan robot didasarkan pada proses untuk membantu kegiatan manusia, mulai dari pekerjaan yang ringan hingga pekerjaan yang berat dan berbahaya. Dinilai dari berbagai segi, penggunaan robot dapat membawa dampak positif dari segi ekonomi dan peningkatan kualitas produk. Dengan adanya robot manipulator sebuah perusahaan mempunyai keuntungan untuk menghemat tenaga kerja juga akan mengurangi kesalahan yang dibuat manusia.

Robot Manipulator (lengan) adalah bagian mekanik yang dapat difungsikan untuk memindah, mengangkat dan memanipulasi benda kerja (Definisi Robot dan Jenis-jenis Robot, 2012). Lengan robot dirancang menyerupai lengan manusia yang memiliki fungsi sama dengan lengan manusia. Lengan robot terdiri dari aktuator dan beberapa DOF (*Degree of Freedom*) yang berguna sebagai alat gerak lengan robot. Salah satu contoh adalah penggunaan lengan robot pada *ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor)* untuk memindahkan substansi-substansi nuklir di dalam suatu laboratorium eksperimen (Santoso & Gitomarsono, 2010). Dalam jurnal tersebut bahwa dalam realisasinya menggunakan *joystick* tidak efektif dalam proses pengendalian robot. *Joystick* dinilai kurang akurat dalam implementasinya. Kondisi ini kurang ideal karena *joystick* kurang akurat dan intuitif serta kabel tidak memungkinkan isolasi yang sempurna (Santoso & Gitomarsono, 2010).

Dari contoh di atas, banyak industri yang beralih dari sistem manual ke otomatis dengan memanfaatkan penggunaan robot termasuk dalam dunia medis dan kimiawi. Dalam dunia medis dibutuhkan robot dengan ketelitian yang tinggi untuk menyelesaikan tugas yang tidak dapat dilakukan oleh manusia. Dalam peracikan bahan kimia berbahaya juga sangat dibutuhkan adanya robot yang dapat di kontrol untuk mencampur bahan-bahan kimia berbahaya tertentu. Robot Manipulator adalah robot yang cocok digunakan untuk menyelesaikan masalah tersebut.

Bahan kimia berbahaya merupakan bahan-bahan yang pembuatan, penyimpanan peracikan yang dalam penggunaannya dapat menyebabkan iritasi, kebakaran, korosi, ledakan dan bahaya lain bagi orang yang berhubungan secara langsung dengan bahan kimia tersebut (Ridwan, 1995). Dalam implementasinya

saat ini untuk melakukan sebuah percobaan perlu dilakukan secara manual, akan tetapi ada juga yang sudah menggunakan robot yang sudah terhubung secara nirkabel (Ardityawan, 2014). Akan tetapi dalam implementasinya, penggunaan kontrol manual masih menjadi masalah untuk mengatur gerakan dari robot. Hal ini dikarenakan tingkat ketepatan kontrol manusia berbeda dengan gerakan manusia pada umumnya.

Dari masalah di atas dibuat sebuah robot lengan yang dapat dikendalikan menggunakan sensor *flex* yang terpasang pada lengan manusia. *Flex* sensor merupakan sebuah teknologi yang berbasis pada resistensi elemen karbon. Pada kondisi lurus memiliki resistansi 10 Kohm dan saat di bengkokkan memiliki toleransi hingga 30% (Spectrasymbol, 2017). Sensor ini menghasilkan nilai berupa resistansi yang kemudian akan diolah di Arduino. Dengan penggunaan sensor *flex* ini diharapkan robot lengan akan mengikuti gerakan yang sama dengan gerakan lengan manusia. Dengan gerakan yang mengikuti lengan manusia robot akan lebih mudah dioperasikan.

Dalam penelitian sebelumnya tanpa penggunaan metode pada penerapan lengan robot menghasilkan eror sebesar 13%-37%. Kalman filter merupakan salah satu metode untuk memfilter data dan merupakan filter yang banyak dan paling sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari (Arnoldo Mondadori Editore S.p.A., 2011). Digunakannya Kalman filter dikarenakan *output* sensor yang akan diproses hanya memiliki 1 *output* yang membuat Kalman filter akan bekerja lebih efektif. Kalman filter bekerja dengan cara memisahkan *noise* dari data asli dan dari segi teori kalman filter lebih baik dalam menangani eror dari *output* sensor sehingga diharapkan dengan Kalman Filter robot memiliki pendekatan yang baik untuk mengikuti gerakan lengan manusia dan lebih akurat dalam pengoperasiannya. Oleh karena masalah di atas dibuatlah laporan dengan judul Implementasi Pergerakan Lengan Robot Dengan Flex Sensor Menggunakan Kalman Filter.

1.2 Rumusan masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, didapatkan rumusan masalah yang akan dijelaskan sebagai berikut :

1. Bagaimana cara mendapatkan data dari *flex* sensor ?
2. Bagaimana cara pengolahan data dari *flex* sensor ?
3. Bagaimana tingkat akurasi lengan robot dengan menggunakan Kalman Filter ?
4. Bagaimana tingkat kesesuaian *output* dari sensor dengan pergerakan dari robot lengan ?

1.3 Tujuan

Sesuai dengan perumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui cara mendapatkan nilai dari *flex* sensor.
2. Melakukan perhitungan dan pengolahan data dari *flex* sensor.

3. Melakukan perhitungan akurasi keberhasilan dari keluaran yang didapatkan dengan menggunakan Kalman Filter.
4. Mengetahui tingkat kesesuaian *output* dari sensor dengan pergerakan dari robot lengan.

1.4 Manfaat

Manfaat yang didapat dari studi kasus ini adalah sebagai berikut :

1. Mempermudah pekerjaan manusia dalam peracikan dan percobaan pada bahan kimia berbahaya.
2. Memberikan rasa aman dalam pekerjaan yang berat dan berbahaya.
3. Mempercepat pekerjaan yang membutuhkan banyak tenaga.

1.5 Batasan masalah

Batasan di sini digunakan supaya permasalahan yang di bahas tidak terlalu luas dan lebih terfokus pada 1 titik. Pada studi kasus yang di bahas ini memiliki Batasan masalah sebagai berikut :

1. Dalam sistem yang di buat hanya menggunakan 2 buah join (DOF) pada lengan robot. Pada bagian bahu dan siku.
2. Gerakan yang dideteksi yaitu gerakan lengan ke depan, belakang, kanan dan kiri.
3. Sampel gerakan akan di fokuskan pada sudut lengan di gerakan.

1.6 Sistematika pembahasan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB 1 Pendahuluan

Bab ini berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB 2 Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori

Bab ini membahas tinjauan pustaka dari penelitian-penelitian sebelumnya dan dasar teori yang mendukung dalam pembuatan sistem ini.

BAB 3 Metode Penelitian

Bab ini membahas tentang langkah-langkah dalam melakukan penelitian, antara lain studi literatur, analisis kebutuhan sistem, perancangan sistem, implementasi sistem, pengujian dan analisis, serta kesimpulan.

BAB 4 Rekayasa Kebutuhan Sistem

Bab ini membahas tentang kebutuhan dari segi hardware dan software dalam penelitian ini. Hal ini bertujuan untuk memberikan gambaran dari sebuah sistem yang nantinya akan di buat dalam penelitian ini.

BAB 5 Perancangan dan Implementasi Sistem

Bab ini membahas tentang perancangan sistem untuk penelitian tentang implementasi lengan robot menggunakan metode Kalman Filter yang dalam prosesnya dimulai dengan pembacaan data pada sensor yang kemudian diolah dengan metode Kalman Filter. Setelah data diolah, data akan dibandingkan dengan data latih dan *outputnya* berupa gerakan dari motor servo.

BAB 6 Pengujian dan Analisis

Pada bab ini dibahas tentang cara pengujian dan analisis dari hasil pengujian sistem pada penelitian di

BAB 7 Kesimpulan dan Saran

Bab ini akan membahas tentang kesimpulan dari penelitian ini dimulai dari perancangan, implementasi dan pengujian sistem. Saran juga akan di masukan dalam bab ini.



BAB 2 LANDASAN KEPUSTAKAAN

Dalam tinjauan pustaka ini kamu membahas tentang kajian pustaka dan dasar teori yang diperlukan dalam penelitian. Kajian pustaka sendiri membahas tentang penelitian yang sudah ada dan berkaitan dengan topik yang dibahas, sedangkan dasar teori akan membahas tentang berbagai teori yang diperlukan.

2.1 Tinjauan Pustaka

Di sini akan dibahas tentang penelitian yang sudah ada dan berkaitan dengan studi kasus yang di buat

2.1.1 Lengan Robot untuk Memindahkan Obyek Berbahaya Terkendali Secara Nirkabel

Penelitian ini membahas tentang penggunaan lengan robot sebagai perantara untuk memindahkan barang yang memiliki kategori berbahaya untuk disentuh oleh manusia secara langsung (Santoso & Gitomarsono, 2010). Pembahasan tentang perbandingan lengan robot dan lengan manusia di mana lengan manusia memiliki kekurangan dalam segi keterbatasan tenaga dan daya tahan tubuh.

Pada penelitian ini dikatakan bahwa pada pengguna lengan robot oleh ITER (Interational Thermonuclear Experimental Reactor) lengan robot digunakan untuk memindahkan substansi nuklir dalam suatu laboratorium. Akan tetapi penggunaan joystick sebagai pengendali dinilai kurang ideal, hal ini dikarenakan joystick kurang akurat dan intuitif dalam implementasiannya. Dari masalah tersebut paper ini membahas bagaimana cara mengoperasikan dari robot tersebut dengan menggunakan Trasceiver Radio Frequency (RF) dan merealisasikannya pada sebuah sistem lengan robot.

Akan tetapi dalam dengan pengendalian pada jarak tertentu, pengoperasiannya dapat menyebabkan delay, dan akurasi pun menurun. Pengoperasian menggunakan joystick juga masih dikatakan memiliki celah pada keakuratan gerakan yang dilakukan oleh operator.

2.1.2 Penerapan *Flex* Sensor Pada Lengan Robot Berjari Pengikut Gerakan Lengan Manusia Berbasis Mikrokontroler.

Penerapan *flex*-sensor pada lengan robot dinilai merupakan sebuah inovasi terbaru yang dapat diandalkan (Muslimin, Wijanarko, & Subagio, 2014). Penelitian ini membahas tentang bagaimana cara penggunaan sensor *flex* sebagai pengendali dari lengan robot. Penggunaan sensor ini dinilai menguntungkan dibanding degan penggunaan yang dikendalikan secara manual. Pada penelitian ini lebih ditonjolkan bagaimana cara penggunaan mikrokontroler sebagai media dalam menerjemahkan gerakan manusia (transmitter) ke gerakan lengan robot (receiver).

Kelebihan dari penelitian ini dibahas pada penggunaan *flex* sensor yang tertanam pada lengan manusia sebagai pengendali. Daripada penggunaan kendali manual yang sering terjadi error dan ke tidak tepatan dalam implementasinya. Perancangan sistem dapat dikatakan mudah dipahami dan diterapkan. Robot yang di ciptakan tidak hanya dari lengan, akan tetapi juga ke bagian jari. Dengan penggunaan sensor *flex*, setiap tipe gerakan akan di berikan *flex* sensor yang menyebabkan memerlukan flek sensor yang banyak.

Selain kelebihan tersebut penelitian ini memiliki beberapa kekurangan. Akurasi serta error atau kesalahan yang dilakukan oleh lengan robot termasuk cukup banyak. Hal ini dijelaskan bahwa lengan robot berjari ini memiliki presentase (%) kesalahan (error) sebesar 13% - 37% (Muslimin, Wijanarko, & Subagio, 2014). Nilai ini dikatakan cukup tinggi untuk sebuah implementasi.

2.1.3 Algoritma Filter Kalman Untuk Menghaluskan Data Pengukuran

Seiring berkembangnya sistem digital, akuisisi data dapat dilakukan dengan mudah dan cepat serta dilakukan dengan menggunakan seperangkat instrumen seperti sensor, antarmuka (interface) dan komputer. Dalam pengukuran dan akuisisi data terdapat unsur ketidakpastian yang tidak dapat dihindari dan mempengaruhi hasil pengukuran. Sehingga, hasil pengukuran yang tampak pada alat ukur bukan nilai yang tepat. Ketidakpastian sering disebabkan gangguan (*noise*) maupun keterbatasan resolusi alat ukur. Akibatnya, nilai yang terukur berbau dengan gangguan. (Rudiyanto, 2006)

Filter Kalman dikenalkan oleh R. E. Kalman pada 1960 pada makalah yang sangat terkenal yang menjelaskan solusi rekursif pada masalah filter diskrit data linear. Dalam perkembangannya, Filter Kalman telah menjadi subjek utama pada berbagai riset tentang navigasi. Berbagai makalah yang mengulas tentang Fitter Kalman banyak dijumpai.

Dengan pemindahan objek yang masih menggunakan *joystick* dinilai masih menyusahakan pengguna. Hal ini dikarena dibutuhkannya penyesuaian dari pengguna untuk alat dan membutuhkan waktu yang lama. Pada jurnal kedua di gunakan *flex* sensor tanpa menggunakan metode yang menghasilkan eror cukup banyak. Oleh karena itu penelitian ini menggunakan metode kalman filter yang digunakan untuk menghaluskan data dan menyesuaikan *output* dari sensor dengan pergerakan robot lengan serta mengurangi eror dari *output* sensor.

2.2 Dasar Teori

Dalam sub bab ini akan dijelaskan referensi dasar teori sebagai pengetahuan tentang desain interaksi dari disiplin ilmu interaksi manusia dan komputer serta macam-macam kebutuhan komponen dalam pembuatan sistem ini.

2.2.1 Arduino UNO



Gambar 2.1 Arduino UNO

Sumber : (Arduino, 2017)

Dari Gambar 2.1 merupakan gambar arduino uno berbasis pada Atmega328P dengan spesifikasi : memiliki 14 pin *input/ output*, dengan 6 pin dapat digunakan sebagai PMW, 6 pin analog, 16 MHz osilator, port USB, power, ICPS dan tombol reset (Arduino, 2017). Terdapat port USB yang dapat dihubungkan dengan power AC-DC atau baterai. Ketika melakukan sebuah kesalahan dan mikrokontroler rusak, mikrokontroler dapat diganti dengan menggunakan tipe yang sama yaitu Atmega328P dan dapat dipasangkan kembali.

Uno di sini berarti satu dalam bahasa Itali yang menggambarkan tentang perilsan software Arduino (IDE) 1.0. Software ini memang didesain untuk arduino uno, akan tetapi juga dapat digunakan untuk memrogram mikrokontroler lain.

2.2.2 Motor Servo



Gambar 2.2 Motor Servo DC

Sumber : (Zona Elektro, 2013)

Motor servo digambarkan pada Gambar 2.2 yang merupakan motor DC dengan sistem umpan balik tertutup, di mana posisi rotor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol. Motor servo terdiri dari beberapa buah gear, motor dc, potensiometer, dan rangkaian motor. Potensiometer disini berfungsi untuk menentukan batas dari sudut dan perputaran servo. Sedangkan sudutnya tersebut diatur dari nilai pulsa yang dikirim melalui pin ke motor servo.

Motor servo dikendalikan dengan memberikan sinyal modulasi lebar pulsa (Pulse Wide Modulation / PWM) melalui kabel kontrol. Lebar pulsa sinyal kontrol yang diberikan akan menentukan posisi sudut putaran dari poros motor servo. Sebagai contoh, lebar pulsa dengan waktu 1,5 ms (mili detik) akan memutar poros motor servo ke posisi sudut 90° . Bila pulsa lebih pendek dari 1,5 ms maka akan berputar ke arah posisi 0° atau ke kiri (berlawanan dengan arah jarum jam), sedangkan bila pulsa yang diberikan lebih lama dari 1,5 ms maka poros motor servo akan berputar ke arah posisi 180° atau ke kanan (searah jarum jam)

2.2.3 One Directional *Flex*-Sensor



Gambar 2.3 *Flex* Sensor

Sumber : (Spectrasymbol, 2017)

Flex sensor merupakan sebuah teknologi yang berbasis pada sesistensi elemen karbon dan dapat dilihat pada Gambar 2.3. Pada kondisi lurus memiliki resistansi 10 Kohm dan saat di bengkokkan memiliki toleransi hingga 30% (Spectrasymbol, 2017). Keluaran *flex* sensor memiliki nilai yang linier pada pertambahannya. *Flex* Sensor memiliki panjang 4.6 inch.

Untuk menggunakan sensor *flex* kita membutuhkan rangkaian pembagi tegangan. Sensor *flex* dapat di aplikasikan pada beberapa perangkat, biasanya digunakan sebagai pengontrol game pada sarung tangan pengendali. Selain pada aplikasi game sensor *flex* juga biasa digunakan untuk pengontrolan robot, sebagai pembaca isarat tangan digital.

2.2.4 Robot lengan

Robot lengan atau yang lebih dikenal dengan Manipulator Robot adalah salah satu jenis robot yang paling banyak digunakan oleh masyarakat industri (Rafiuddin Syam, 2015). Penggambaran robot lengan sendiri dapat dilihat pada Gambar 2.4. Sebuah robot manipulator industri umumnya sering disebut sebagai lengan robot, dengan link dan sendi. Manipulator robot yang meniru karakteristik lengan manusia disebutjuga lengan diartikulasikan. Semua sendi mereka rotary (atau revolute). Walaupun demikian, gerakan diartikulasikan lengan robot berbeda dari gerakan lengan manusia. Sementara sendi robot memiliki derajat lebih sedikit kebebasan atau disebut derajat kebebasan atau Degree of Freedom (DOF), manipulator robot dapat bergerak bebas walaupun dari suatu sudut

tertentu dengan kebebasan yang lebih di banding manusia. Misalnya, siku dari robot diartikulasikan dapat menekuk ke atas atau bawah sedangkan seseorang hanya bisa menekuk siku mereka dalam satu arah selebihnya hanya pada posisi lengan lurus.



Gambar 2.4 Robot Lengan

Sumber : (Yang, n.d.)

2.2.5 Kalman Filter

Seiring berkembangnya sistem digital, akuisisi data dapat dilakukan dengan mudah dan cepat serta dilakukan dengan menggunakan seperangkat instrumen seperti sensor, antarmuka (interface) dan komputer. Dalam pengukuran dan akuisisi data terdapat unsur ketidakpastian yang tidak dapat dihindari dan mempengaruhi hasil pengukuran. Sehingga, hasil pengukuran yang tampak pada alat ukur bukan nilai yang tepat. Ketidakpastian sering disebabkan gangguan (*noise*) maupun keterbatasan resolusi alat ukur. Akibatnya, nilai yang terukur berbaaur dengan gangguan. (Rudiyanto, 2006)

Persamaan rumus perhitungan dari kalman adalah sebagai berikut :

$$P_c = P + \text{varProcess}; \quad (2.1)$$

$$G = P_c / (P_c + \text{vardata}); \quad (2.2)$$

$$P = (1-G) * P_c; \quad (2.3)$$

$$X_p = X_e; \quad (2.4)$$

$$Z_p = X_p; \quad (2.5)$$

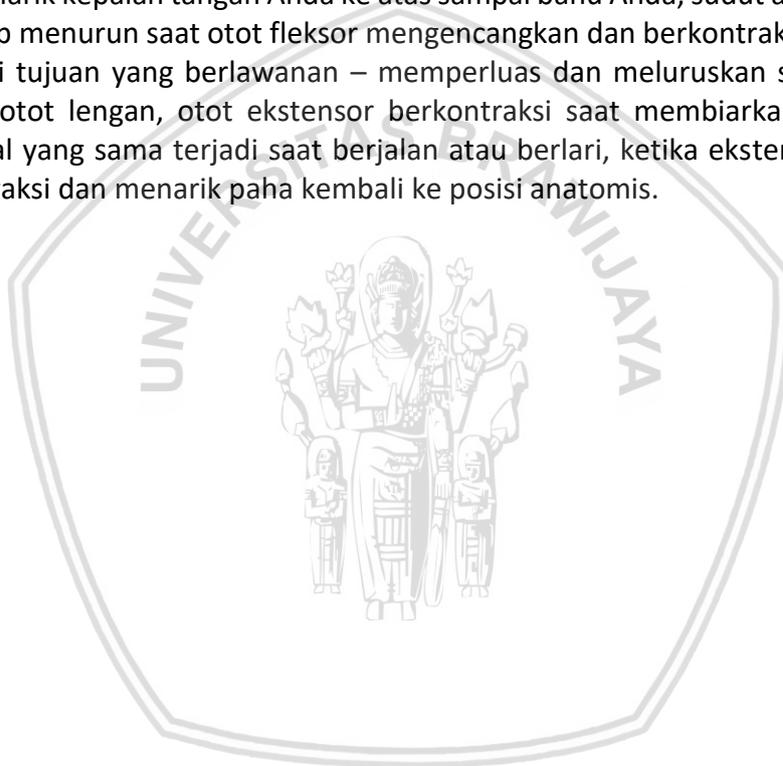
$$X_e = G * (\text{val} - Z_p) + X_p; \quad (2.6)$$

Pada persamaan (2.1) *varProcess* berisi tentang kecepatan dalam pemrosesan nilai *output* sensor, cara mendapatkan nilai ini dengan melakukan *trial and error* sehingga mendapatkan nilai yang tepat. Berbeda dengan *vardata* pada persamaan (2.2), *vardata* berisi tentang standar deviasi pada masing-masing sensor. Nilai ini berbeda-beda pada tiap sensor dan jenis sensor yang digunakan. Nilai *X_e* pada persamaan (2.6) merupakan nilai *output* dari kalman filter, nilai ini yang digunakan untuk menentukan hasil yang diinginkan. Sedangkan nilai *P_c*, *P*, *G*, *X_p*, dan *Z_p* merupakan nilai yang memiliki nilai awal 0. Variabel-variabel ini yang digunakan untuk memroses nilai sehingga menghasilkan nilai *X_e*.

Filter Kalman dikenalkan oleh R. E. Kalman pada 1960 pada makalah yang sangat terkenal yang menjelaskan solusi rekursif pada masalah filter diskrit data linear. Dalam perkembangannya, Filter Kalman telah menjadi subjek utama pada berbagai riset tentang navigasi.

2.2.6 Pergerakan Lengan Manusia

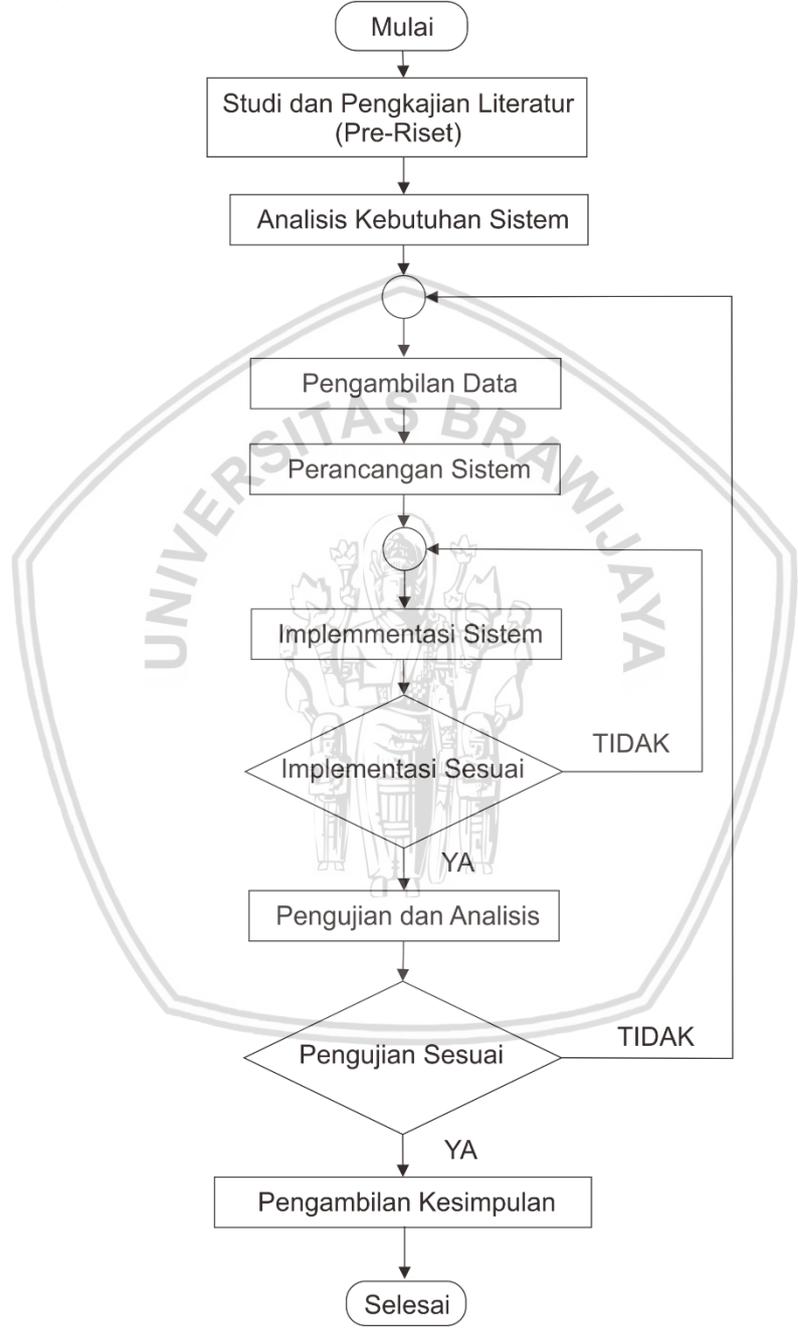
Pergerakan lengan manusia ada 2, otot fleksor dan otot ekstensor yang merupakan otot rangka, dengan fungsi yang unik dalam tubuh yang berkaitan dengan gerakan bersama. Fleksor bekerja dengan menekuk sendi. Anda mungkin mengenali istilah dalam latihan umum dengan kata “fleksibel.” Ketika Anda melenturkan otot-otot Anda, kontraksi fleksor Anda dan menarik pada tulang, menciptakan gerakan lentur sendi. Cobalah membayangkan melatih otot lengan. Saat menarik kepala tangan Anda ke atas sampai bahu Anda, sudut antara lengan dan bisep menurun saat otot fleksor mengencangkan dan berkontraksi. Ekstensor melayani tujuan yang berlawanan – memperluas dan meluruskan sendi. Dalam melatih otot lengan, otot ekstensor berkontraksi saat membiarkan turun dari bahu. Hal yang sama terjadi saat berjalan atau berlari, ketika ekstensor panggul berkontraksi dan menarik paha kembali ke posisi anatomis.



BAB 3 METODOLOGI

3.1 Metode Penelitian

Alur metodologi penelitian yang dilakukan secara umum dapat dilihat dari diagram alir pada Gambar 3.1 :



Gambar 3.1 Flowchart Metodologi Penelitian

Berdasarkan Gambar 3.1 dapat dilihat semua proses dilakukan secara berurutan dimulai dari studi dan pengkajian literatur sebagai pre-riset sampai dengan kesimpulan. Dari beberapa tahapan di atas ada pula tahapan yang memiliki syarat untuk melanjutkan ke tahap selanjutnya. Syarat ini memiliki



pengertian apabila pada suatu tahapan tertentu tidak memiliki hasil atau *output* seperti yang diharapkan, maka tahapan tersebut akan diulang. Ketika tahapan yang dijalankan sesuai dengan apa yang diinginkan oleh user, maka akan dilanjutkan ke tahapan selanjutnya. Hal ini terlihat pada tahapan implementasi sistem, ketika sesuai akan dilanjutkan ke tahap selanjutnya yaitu tahap analisis, ketika hasil tidak sesuai maka tahapan implementasi sistem akan diulang sampai memiliki hasil seperti yang diinginkan.

3.1.1 Studi dan Pengkajian Literatur

Studi literatur perlu diadakan untuk menunjang tahap perancangan dan implementasi pada penelitian ini. Literatur di sini digunakan untuk teori penguat dan juga sebagai landasan dalam penelitian. Beberapa literatur yang digunakan dapat berupa sebagai berikut :

1. Teori mengenai pergerakan lengan robot.
2. Mikrokontroler Arduino Uno, Mikrokontroler, Motor DC Servo, One Directional *Flex*-Sensor.
3. Pendekatan metode Kalman Filter.

3.1.2 Analisis Kebutuhan Sistem

Analisis kebutuhan sistem digunakan untuk menganalisis apa saja kebutuhan dari sebuah sistem yang dikerjakan dalam penelitian ini. Analisis ini juga bertujuan agar dapat mengidentifikasi kebutuhan sistem. kebutuhan tersebut dapat berupa kebutuhan perangkat keras juga kebutuhan perangkat lunak.

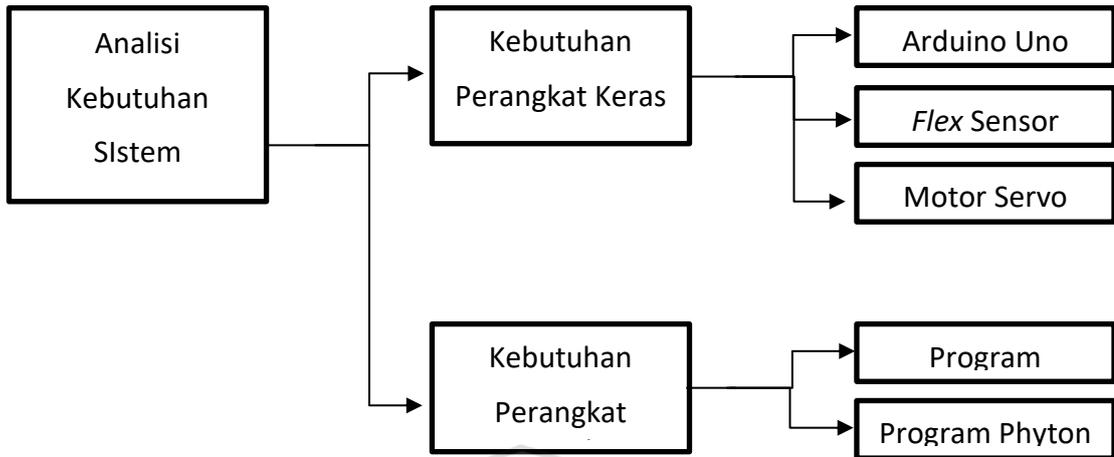
Perangkat keras yang dibutuhkan dalam membangun sistem ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

1. Perangkat keras yang dapat di-upload suatu program untuk membaca nilai sensor yang masuk kemudian mengirimkan data tersebut secara serial ke komputer untuk dilakukan proses perhitungan dengan Pendekatan metode Kalman Filter.
2. Perangkat keras yang dapat dibaca kemudian menjadi *input* Mikrokontroler yang digunakan, serta dapat menjadi fitur pembeda lengan mana yang akan di gerakan.
3. Perangkat keras yang dapat di-upload suatu program untuk membaca nilai sensor yang masuk kemudian mengirimkan data tersebut secara serial ke komputer untuk dilakukan proses perhitungan dengan Pendekatan Geometry Based Kinematic.
4. Perangkat keras yang dapat dibaca kemudian menjadi *input* Mikrokontroler yang digunakan, serta dapat menjadi fitur pembeda lengan mana yang akan di gerakan.

Sedangkan perangkat lunak yang dibutuhkan dalam membangun sistem ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

1. Perangkat lunak yang dapat digunakan untuk membuat program dan dapat di-upload ke Mikrokontroler yang digunakan.
2. Perangkat lunak yang dapat menyimpan database berupa data latih dari sistem yang akan dibuat.

Analisis kebutuhan sistem sendiri dapat dilihat pada Gambar 3.2:



Gambar 3.2 Diagram Blok Analisis Kebutuhan

3.1.3 Pengambilan Data

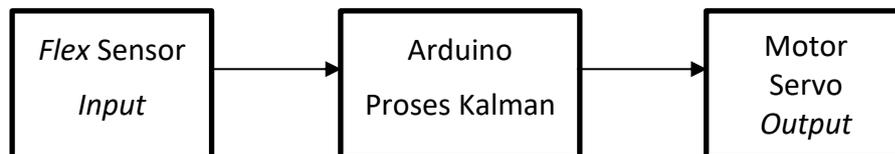
Pengambilan data digunakan untuk mendapatkan konfigurasi antar gerakan lengan manusia dengan gerakan lengan robot. Pengambilan ini dilakukan terhadap sensor 1 dan sensor 2 yang dilakukan sebanyak 50 kali. Data yang dihasilkan merupakan data yang berbeda dari satu dengan yang lainnya. Data tersebut merupakan data yang nantinya diolah dan dijadikan data latih dan data uji, hal ini tergantung pada jumlah yang ditentukan oleh skenario nantinya.

3.1.4 Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan ketika semua kebutuhan sistem sudah terpenuhi melalui tahapan analisis kebutuhan sistem yang sudah meliputi bagian perangkat lunak dan perangkat keras.

1. perancangan perangkat keras

Pada penggunaan lengan robot dengan sensor *flex* terdapat gambaran umum dari sistem yang digambarkan pada Gambar 3.3 :



Gambar 3.3 Diagram Blok Perancangan Perangkat Keras

Nilai dari sensor akan dibaca oleh mikro kontroler dengan nilai yang sudah ada sebelumnya pada data latih. Nilai yang masuk dari sensor merupakan data uji dari pada sistem. nilai data uji akan di masukan secara terus menerus pada data latih dengan menggunakan metode Kalman Filter. Komputer akan menentukan bagaimana *output* yang akan dikeluarkan dan hasilnya akan di kirimkan pada motor servo.

2. Perancangan perangkat lunak

Untuk perancangan perangkat lunak dilakukan mulai dari masuknya data yang diperoleh dari *flex* sensor. Kemudian data tersebut diolah dengan menggunakan metode Kalman Filter, dan ketika data sudah sesuai maka akan dikeluarkan berupa gerakan dari motor servo.

3.1.5 Implementasi Sistem

Tahap ini diawali dengan pembuatan alat yang digunakan untuk menentukan gerakan oleh sensor *flex*, kemudian nilai dari sensor akan di masukan ke dalam perhitungan dengan menggunakan metode Kalman Filter dan komputer akan mengambil hasil yang akan dijadikan *output*. Pada tahap implementasi sistem perangkat keras serta perangkat lunak akan diatur sedemikian rupa agar sesuai dengan tahap perancangan sistem yang telah dibuat. Perangkat keras dan perangkat lunak harus bergabung dan berjalan beriringan agar dapat membentuk sebuah sistem yang berjalan sesuai rancangan.

3.1.6 Pengujian dan Analisis

Pada tahap ini dilakukan pengujian dan analisis. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali. 1 kali pengujian pada masing-masing sensor *flex* secara berurutan. Hal ini dilakukan agar terdapat hubungan yang baik dan benar pada ke dua sensor yang terpasang. 1 kali pengujian pada tingkat akurasi dan ketepatan dalam pengolahan nilai sensor terhadap *output* yang digunakan.

3.1.7 Kesimpulan

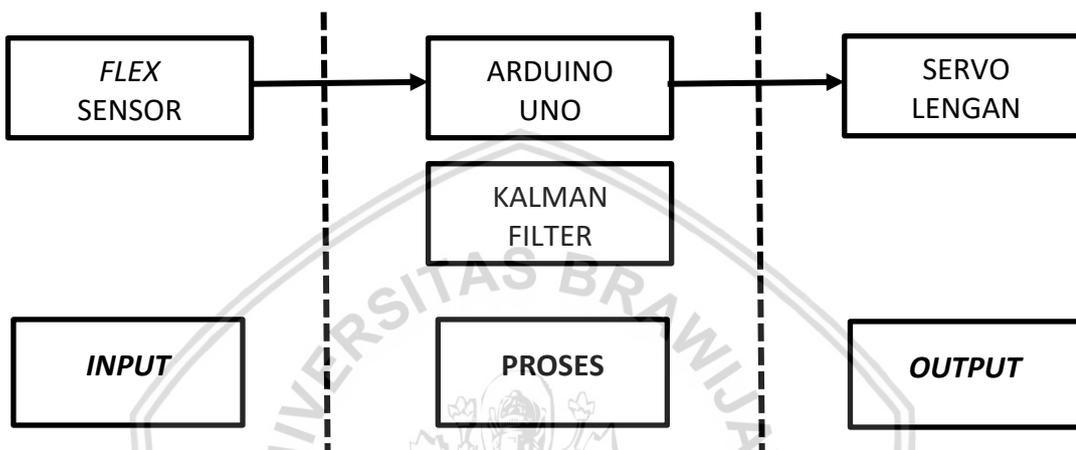
Pengambilan kesimpulan serta keputusan dilakukan setelah semua tahapan mulai dari perancangan implementasi, dan pengujian serta analisis sistem telah selesai dilakukan. Kesimpulan ini diambil dari hasil pengujian dan analisis terhadap sistem yang dibuat ini. Tahap kesimpulan perlu dilakukan guna untuk mengetahui tingkat akurasi dan ketepatan dalam pembacaan oleh ke dua sensor *flex* yang tertanam pada alat ini, baik secara keseluruhan ataupun secara gabungan.

Selain berguna untuk mendapatkan kesimpulan, tahap ini juga berisi saran yang digunakan untuk pengembangan dan penelitian lebih lanjut serta memperbaiki kesalahan sistem yang sudah ada. Saran juga berguna untuk menambahkan ide pada penelitian selanjutnya, sehingga penelitian ini dapat dilanjutkan dengan baik.

BAB 4 REKAYASA KEBUTUHAN SISTEM

Bab ini menjelaskan tentang kebutuhan – kebutuhan yang harus dipenuhi dalam melakukan perancangan sampai dengan tahap implementasi. Dengan adanya rekayasa kebutuhan diharapkan sistem yang akan dibuat dapat bekerja dengan baik.

4.1 Gambaran Umum Sistem



Gambar 4.1 Diagram Blok Gambaran Umum Sistem

Gambar 4.1 merupakan diagram blok dari sistem yang dibuat. Di mana nilai dari resistensi sudut akan di deteksi oleh *flex* sensor dan akan diolah oleh arduino uno. Pengolahan ini didapat dari nilai resistensi yang sebelumnya sudah di ubah ke data digital. Setelah data digital didapat maka data tersebut akan di proses dengan menggunakan kalman filter. Data yang sebelumnya terdapat banyak *noise* akan dikurangi *noise* nya dengan menggunakan kalman filter.

Setelah data diolah menggunakan kalman filter data akan di proses menggunakan kondisi yang akan di representasikan dalam sebuah gerakan oleh servo. Data akan dibedakan menjadi 4 kondisi yaitu kondisi saat berada pada sudut 0, 30, 60, dan 90 derajat pada servo. Servo akan bergerak sesuai dengan nilai yang sebelumnya sudah diproses.

4.1.1 Perspektif Sistem

Sistem ini dikatakan berjalan dengan semestinya apabila sesuai dengan yang diharapkan yaitu sistem mampu membaca nilai dari *flex* sensor dan sudah diterapkan dalam servo dengan sudut sesuai kondisi yang diterapkan.

4.1.2 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam pembuatan alat ini dapat dilakukan di ruang tertutup. Hal ini dikarenakan adanya rangkaian elektronik yang tidak seharusnya digunakan pada ruang terbuka.

4.1.3 Karakteristik Pengguna

Karakteristik pengguna diperuntukkan kepada beberapa orang yang sedang melakukan penelitian pada bahan kimia berbahaya sehingga dapat terhindar dari zat kimia berbahaya ataupun yang tidak boleh terkontaminasi.

4.1.4 Asumsi dan Ketergantungan

Asumsi dan ketergantungan yang terdapat pada sistem ini antara lain :

1. Data sensor dapat dibaca dengan benar apabila ditempatkan pada posisi yang benar.
2. Beberapa orang tidak memiliki ukuran range yang sama untuk *output* sensor.
3. Perlu adanya kalibrasi pada masing-masing individu.

4.2 Kebutuhan Antarmuka Eksternal

Pada subbab ini akan dibahas kebutuhan antarmuka dari sistem yang akan dirancang dengan ketentuan sebagai berikut :

4.2.1 Kebutuhan Antarmuka Perangkat Keras

1. Flex Sensor

Flex sensor digunakan sebagai *input* pada alat ini. *Flex* sensor mendeteksi sudut dari gerakan lengan manusia dan memiliki *output* berupa resistensi yang sudah berbentuk data digital. Untuk datasheet bias dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Spesifikasi Flex Sensor

Degrees	90 degrees
Tolerance	30%
Long cros section	11.43 cm
Resistance	10K Ohms

Sumber : (Spectrasymbol, 2017)

2. Arduino UNO

Arduino UNO adalah sebuah board yang berbasis mikrokontroler pada ATmega328. Ciri fisik board ini adalah memiliki 14 pin digital yang bisa digunakan untuk *input* atau *output* (6 pin digunakan untuk *output* PWM), 6 *input* analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack listrik tombol reset. Untuk datasheet bias dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Spesifikasi Arduino UNO

Microcontroller	ATmega328P
-----------------	------------

Operating Voltage	5V
<i>Input</i> Voltage	7-12V
Digital I/O Pins	14
PWM Digital I/O Pins	6
Analog <i>Input</i> Pins	6
Flash Memory	32 KB
SRAM	2KB
EEPROM	1KB
Clock Speed	16MHz
LED_BUILTIN	13
Lenght	68.6mm
Width	53.4mm
Weight	25g

Sumber : (Arduino, 2017)

3. Motor Servo

Motor servo digunakan sebagai *output* alat yang menunjukkan derajat dari gerakan lengan manusia yang diimplementasikan pada lengan robot. Untuk datasheet bias dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Spesifikasi Motor Servo

Modulation	Analog
Torque	0-9kg
Speed	0.17 sec/ 60°
Length	4.06cm
Width	1.98cm
Height	4.29cm

Gear type	Metal
Rotation	Dual Bearings

Sumber : (Zona Elektro, 2013)

4.2.2 Kebutuhan Antarmuka Perangkat Lunak

1. Software Arduino IDE

Kebutuhan perangkat lunak yang dibutuhkan dalam penelitian ini digunakan untuk memprogram algoritma di mikrontroller Arduino nya dan di aplikasi mobile. Untuk memprogram mikrokontroller Arduino menggunakan software Arduino IDE.

2. Kalman Filter

Kalman filter digunakan untuk memfilter nilai resistensi dari *flex* sensor yang memiliki banyak *noise*.

4.3 Kebutuhan Fungsional

Kebutuhan fungsional adalah kebutuhan yang harus dipenuhi dalam sebuah sistem. Berikut beberapa kebutuhan fungsional dari sistem yang harus berfungsi agar dapat bekerja dengan baik.

1. Sistem dapat mengambil nilai sesuai gerakan lengan menggunakan *flex* sensor

Flex sensor yang dipasang pada lengan manusia akan mengeluarkan nilai sesuai dengan pergerakan lengan manusia. Nilai yang dihasilkan sama dengan besaran sudut yang dihasilkan lengan manusia.

2. Sistem dapat mengolah data dari *flex* sensor menggunakan metode kalman filter

Pengolahan dilakukan ketika sistem mendapat *output* dari *flex* sensor. Pengolahan ini dimaksudkan untuk menyesuaikan gerakan lengan manusia dengan gerakan yang akan dihasilkan oleh robot lengan.

3. Sistem dapat menghasilkan akurasi yang baik dengan menggunakan kalman filter

Dengan menggunakan kalman filter sistem akan menghasilkan nilai yang baik. Kalman filter akan membedakan *noise* dengan data asli, sehingga data yang akan dimasukkan ke lengan robot sesuai dengan data asli lengan manusia.

4. Sistem dapat menyesuaikan *output* dari *flex* sensor dengan pergerakan lengan robot

Sistem yang sudah mendapat nilai olahan menggunakan metode kalman filter akan di *input*kan ke lengan robot. Lengan robot akan

menyesuaikan nilai yang sudah difilter sehingga menghasilkan pergerakan lengan robot yang sesuai dengan pergerakan lengan manusia.

4.4 Kebutuhan Non Fungsional

Pada sub bab ini dijelaskan beberapa kebutuhan non fungsional pada sistem antara lain:

1. Tegangan listrik yang sesuai dengan kebutuhan

Pada Sistem dibutuhkan tegangan 5v yang diambil dari power bank yang langsung dihubungkan dengan motor servo.

2. *Output* dari sensor yang sesuai pergerakan lengan manusia

Sistem dapat berfungsi secara optimal jika alat berjalan sesuai dengan metode Kalman Filter yang sudah ditentukan kondisi perhitungannya. Dan perhitungan data bisa akurat sesuai dengan gerakan yang dideteksi.



BAB 5 PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Pada bab ini menjelaskan mengenai proses perancangan dan implementasi sistem secara terperinci baik perancangan dan implementasi dari sisi perangkat keras maupun dari sisi perangkat lunak.

5.1 Perancangan Sistem

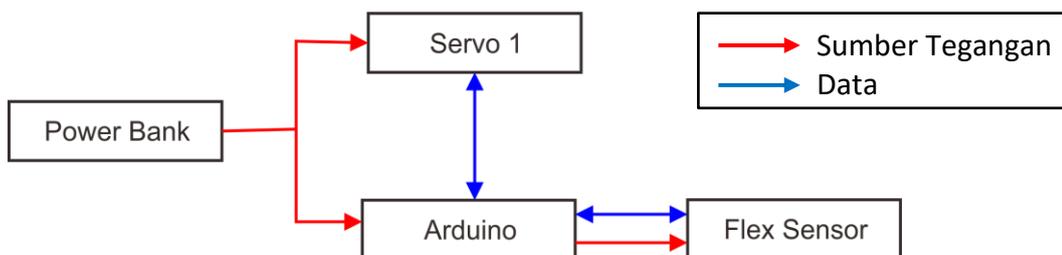
Berdasarkan metode penelitian diatas, perancangan sistem dilakukan setelah melakukan analisa kebutuhan sistem. Perancangan penelitian ini dilakukan untuk merencanakan tahapan-tahapan yang harus dilakukan dalam proses melakukan penelitian. Tahapan penelitian yang harus dilakukan antara lain perancangan perangkat lunak dan perangkat keras. Diharapkan dengan dilakukannya tahapan perancangan penelitian dapat memperlancar proses pelaksanaan penelitian. Gambaran secara umum perancangan sistem pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Perancangan Sistem

5.1.1 Perancangan Perangkat Keras

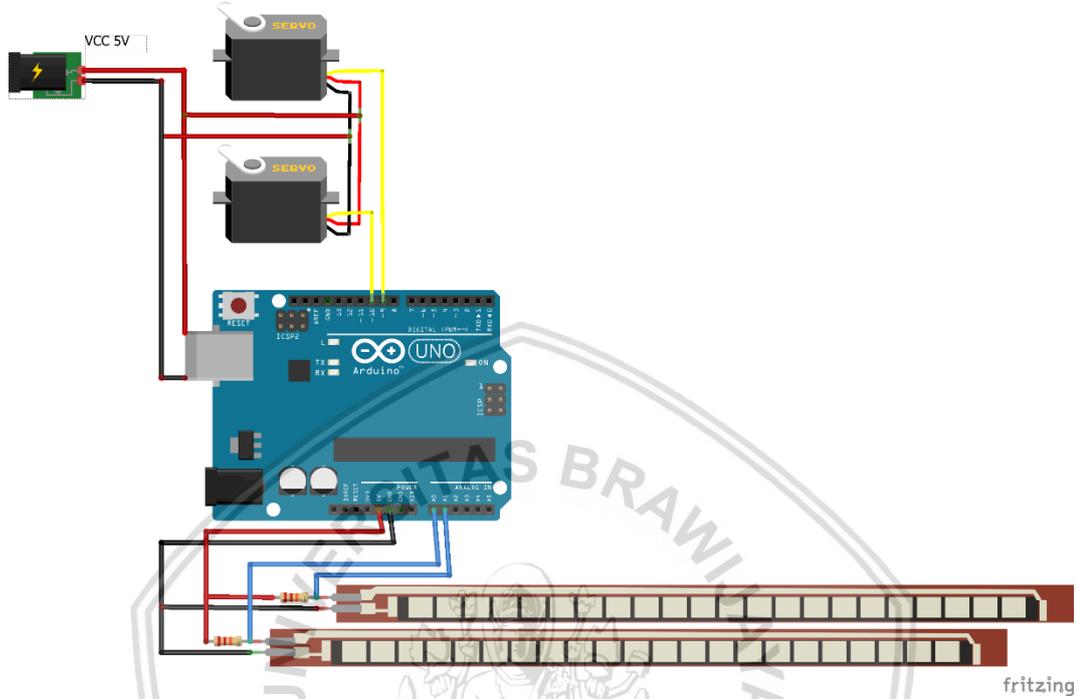
Perancangan pada perangkat keras secara keseluruhan dapat dilihat pada diagram blok pada gambar 5.2.



Gambar 5.2 Perancangan Perangkat Keras



Pada diagram blok Gambar 5.2, garis merah merupakan jalur sumber tegangan dari sistem sedangkan garis biru merupakan jalur data. Tegangan 5V yang dibutuhkan oleh Arduino Uno dan Motor Servo yang didapat dari sumber tegangan Power Bank yang diturunkan.



Gambar 5.3 Skematik Keseluruhan Sistem

Skematik keseluruhan alat dapat dilihat pada Gambar 5.3. Kabel merah mewakili sumber tegangan 5V dan kabel hitam mewakili GND. Data untuk motor servo digambarkan dengan warna kuning, sedangkan data dari flex sensor digambarkan dengan warna biru. Untuk konfigurasi pin dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Konfigurasi Keseluruhan Pin

Nama Pin Arduino	Nama Pin	Nama Pin
A0 + A1	VCC F1	VCC F2
VCC	VCC	VCC
GND	GND	GND
D9 + D10	Data S1	Data S2

Keterangan :

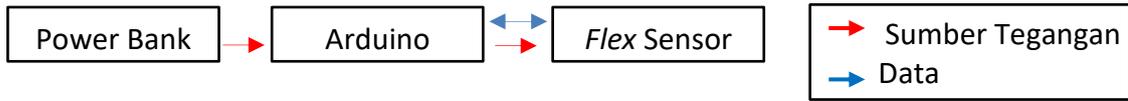
F1 : Flex sensor 1

F2 : Flex sensor 2

S1 : Motor Servo 1

S2 : Motor Servo 2

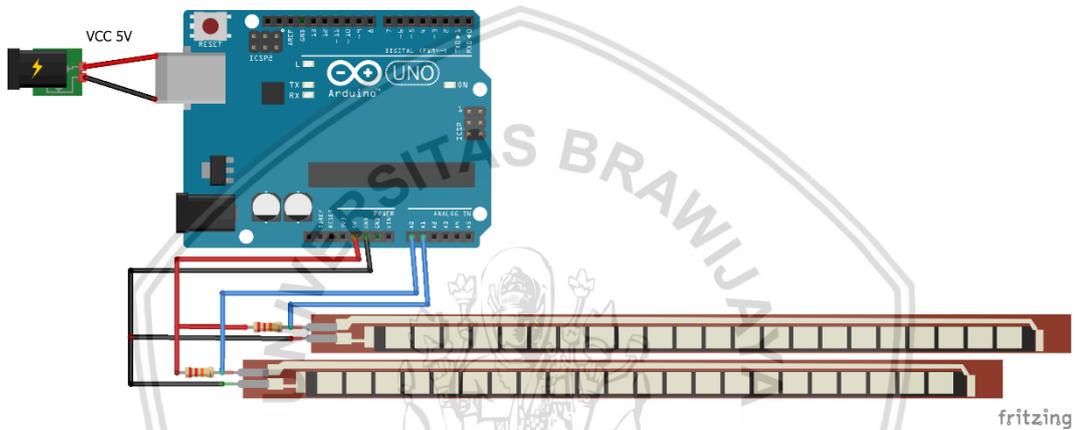
5.1.1.1 Perancangan subsistem *Flex* sensor



Gambar 5.4 Perancangan Subsistem *Flex* Sensor

Penjelasan Gambar 5.4 yang merupakan blok diagram dari subsistem *Flex* sensor adalah sebagai berikut :

1. Sumber dari Arduino akan diambil dari Power bank 5v.
2. Sumber dari *flex* sensor diambil dari vcc yang terdapat pada arduino. Dan data akan berputar dari *flex* sensor menuju arduino yang akan di proses di arduino.



Gambar 5.5 Skematik *Flex* Sensor

Tabel 5.2 Konfigurasi Pin *Flex* Sensor

Arduino UNO	<i>Flex</i> Sensor 1	<i>Flex</i> Sensor 2
Nama Pin	Nama Pin	Nama Pin
A0 + A1	VCC	VCC
GND	GND	GND

Jumlah sensor yang digunakan pada sistem ini sebanyak 2 sensor yang dipasang pada lengan manusia. Sensor yang digunakan pada saat robot bergerak akan berganti sesuai dengan derajat lengan manusia. Adapun skematik sensor dapat dilihat pada Gambar 5.5 dan untuk peletakan sensor dapat dilihat pada gambar 5.6.

Untuk mencari nilai resistor sendiri digunakan rumus pembagi tegangan dengan mencari jarak tertinggi dari nilai awal sensor dengan nilai setelah dibekuk. Rumus pembagi tegangan sebagai berikut :

$$V_{out} = V_{in} \frac{R_s}{R_s + R} \quad (5.1)$$

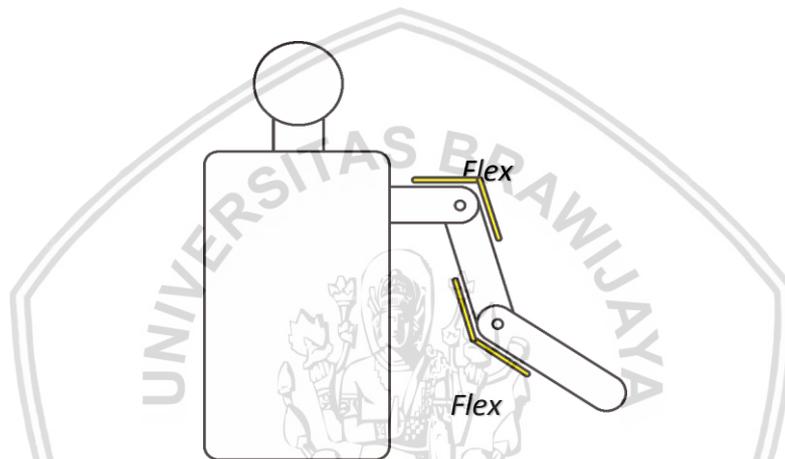
Dengan V_{in} adalah tegangan yang masuk, yaitu sebesar 5V, R_s merupakan nilai resistensi sensor sedang kan R dalah nilai resistensi resistor untuk pembagi

tegangan. Contoh perhitungan batas atas dan bawah dengan nilai resistensi batas bawah 15K Ohm dan batas atas 30K Ohm adalah sebagai berikut

$$V_{out1} = 5 \frac{15k}{15k + 21k} = 2.83 \quad (5.2)$$

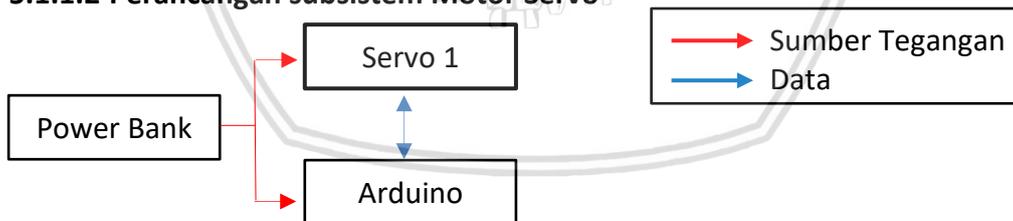
$$V_{out2} = 5 \frac{30k}{30k + 21k} = 2.94 \quad (5.3)$$

Persamaan 5.2 merupakan batas atas sedangkan persamaan 5.3 merupakan batas bawah. Yang menjadikan nilai resistor sebesar 21K memiliki nilai jarang terpanjang dibanding dengan nilai resistor yang lain.



Gambar 5.6 Peletakan Flex Sensor

5.1.1.2 Perancangan subsistem Motor Servo



Gambar 5.7 Perancangan Subsistem Flex Sensor

Penjelasan Gambar 5.7 yang merupakan blok diagram dari subsistem Motor Servo adalah sebagai berikut :

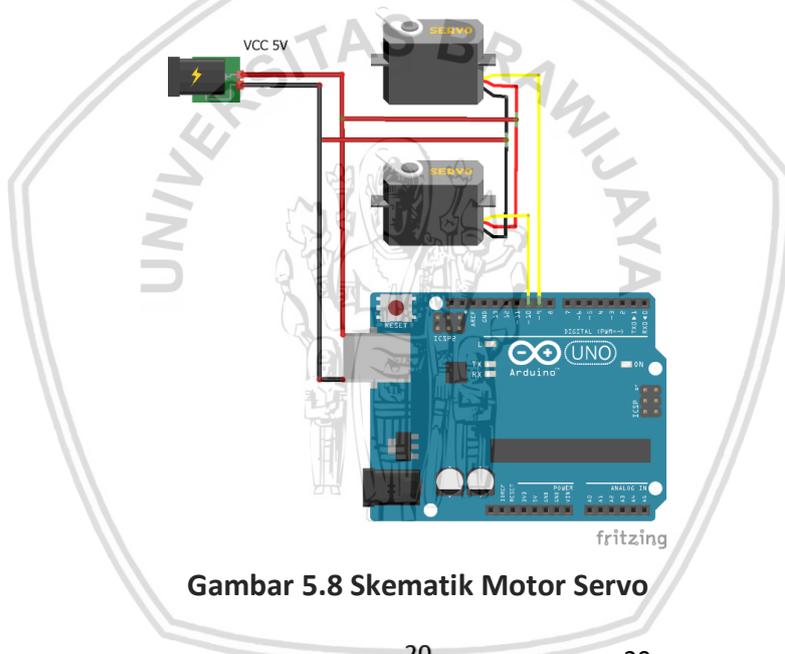
1. Sumber dari Arduino akan diambil dari Power bank 5v.
2. Sumber dari Motor Servo juga didapat dari Power bank 5v.
3. Data yang sebelumnya didapat dari flex sensor dan sudah di proses akan berputar dari arduino menuju motor servo dan akan digerakan sesuai data yang didapat.



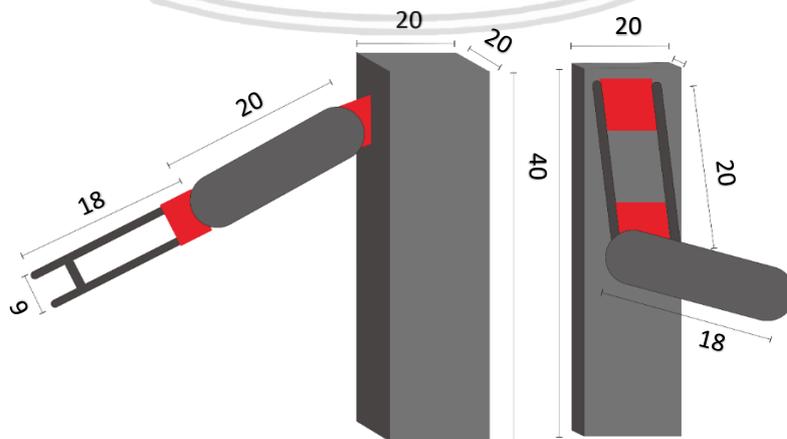
Tabel 5.3 Konfigurasi Pin Motor Servo

Arduino UNO	Motor Servo 1	Motor Servo 1
Nama Pin	Nama Pin	Nama Pin
VCC	VCC	VCC
GND	GND	GND
D9 + D10	Data	Data

Jumlah servo yang digunakan pada sistem ini sebanyak 2 servo yang dipasang pada lengan robot. Servo yang digunakan pada saat robot bergerak akan berganti sesuai dengan derajat lengan manusia. Adapun skematik servo dapat dilihat pada Gambar 5.8 dan penempatan servo pada lengan robot dapat dilihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5.8 Skematik Motor Servo



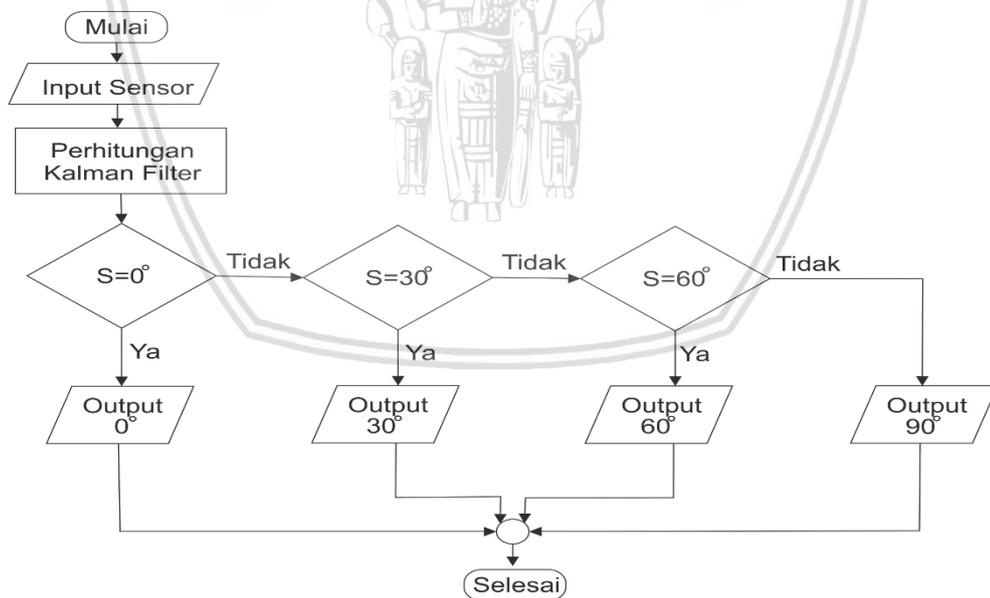
Gambar 5.9 Rancangan Lengan Robot Tampak Depan dan Tampak Samping

5.1.2 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan pada perangkat lunak meliputi pembacaan sensor *flex* oleh mikrokontroler Arduino Uno dan kemudian data sensor tersebut diproses menggunakan metode Kalman Filter. Adapun perancangan perangkat lunak digambarkan pada Gambar 5.10. Tahapan-tahapan Kalman Filter dimulai dari penentuan nilai k , memperkirakan *output* selanjutnya, lalu melakukan update pada nilai sebelumnya. Hasil dari perhitungan kalman selanjutnya untuk menentukan *output* yang akan dikirim ke Servo untuk menggerakkan lengan robot. Adapun flowchart Kalman Filter digambarkan pada Gambar 5.11.

5.1.2.1 Cara Penggerakan Motor Servo

Untuk pergerakan dari servo dapat dilihat pada Gambar 5.10. Pergerakan dari servo mengikuti sinyal yang diinputkan dari Arduino Uno, jika sinyal *output* dari sensor sebesar 0° maka pergerakan lengan robot sebesar 0° atau diam, jika sinyal *output* dari sensor sebesar 30° maka pergerakan lengan robot sebesar 30° searah jarum jam, jika sinyal *output* dari sensor sebesar 60° maka pergerakan lengan robot sebesar 60° searah jarum jam, dan jika sinyal *output* dari sensor sebesar 90° maka pergerakan lengan robot sebesar 90° searah jarum jam. Dalam menentukan pergerakan lengan robot, sinyal yang diterima dari sensor *output* telah dilakukan proses perhitungan dari kalman filter terlebih dahulu. Penggunaan perhitungan kalman filter bertujuan supaya data yang acak menjadi stabil sehingga menjadikan *output* sistem akurat.



Gambar 5.10 Flowchart Penentuan Sudut

Pada diagram alur diatas menggunakan kondisi ya atau tidak. Yaitu jika sinyal *output* dari sensor sebesar 0, maka akan dilanjutkan menuju tindakan selanjutnya. Jika sinyal *output* dari sensor bukan 0° , maka proses akan menuju ke sinyal *output* sensor adalah 30° , dan akan dilanjutkan *output* sistem untuk sinyal sebesar 30° . Jika sinyal *output* bukan 0° dan 30° maka proses akan menuju ke

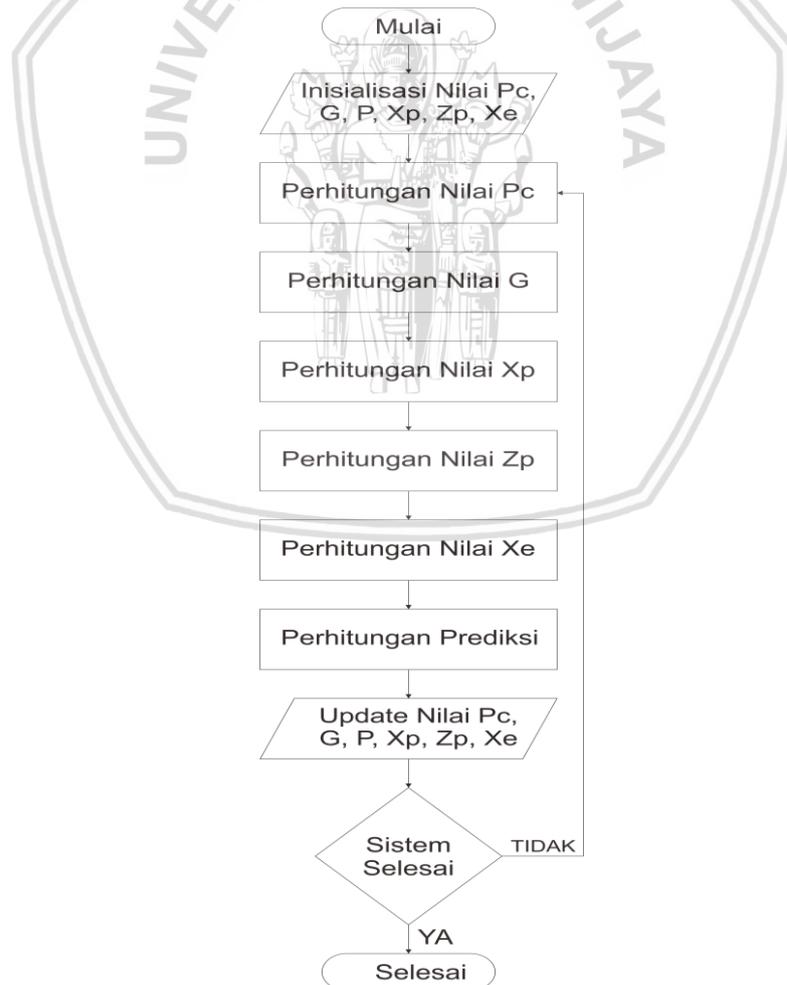


sinyal *output* sensor sebesar 60° , dan akan dilanjutkan *output* sistem untuk sinyal sebesar 60° . Dan jika *output* sinyal dari sensor bukan dari ketiga itu maka proses akan menuju ke sinyal *output* sebesar 90° , dan akan dilanjutkan menuju *output* sistem untuk sinyal sebesar 90° . Dan jika proses sudah sampai pada *output* dari sistem maka sistem selesai.

5.1.2.2 Kalman Filter

Dalam penggunaan kalman filter hal pertama yang harus dilakukan adalah dengan menentukan nilai rata-rata dan nilai dari standar deviasi dari data yang sedang dihitung. Kemudian memberikan nilai k sebagai acuan data untuk faktor gain dari Kalman. Dalam hal ini semakin tinggi nilai data yang didapat semakin cepat, akan tetapi juga membuat data menjadi banyak *noise* atau gangguan. Proses kalman akan digambarkan pada flowchat pada Gambar 5.11.

Gambar 5.11 merupakan gambar diagram alir dari Kalman Filter dimulai dari menerima *input* sensor, yang terdiri dari 2 sensor. Kemudian data tersebut digunakan untuk menghitung prediksi nilai selanjutnya dan akan dilakukan update nilai. Kemudian hasilnya akan diperoleh nilai yang sudah diprediksi dan akan dijadikan acuan untuk menentukan derajat dari servo.



Gambar 5.11 Diagram Alur Kalman Filter



Berikut ini merupakan perhitungan prediksi dari sensor 1 dan 2.

Sensor 1 :

- $Var\text{data} = 10.01$
- $var\text{Process} = 0.05$
- $P_c = 0$
- $G = 0$
- $P = 1$
- $X_p = 0$
- $Z_p = 0$
- $X_e = 0$

Diatas merupakan variable-variable keperluan kalman.

Rumus Kalman :

- $P_c = P + var\text{Process};$ (5.1)
- $G = P_c / (P_c + vardata);$ (5.2)
- $P = (1-G) * P_c;$ (5.3)
- $X_p = X_e;$ (5.4)
- $Z_p = X_p;$ (5.5)
- $X_e = G * (val - Z_p) + X_p;$ (5.6)

Contoh perhitungan sebagai berikut :

- $Val = 500$ (5.7)
- $P_c = 1 + 0.05 = 1.05$ (5.8)
- $G = 1.05 / (1.05 + 10.01) = 0.095$ (5.9)
- $P = (1 - 0.095) * 1.05 = 0.95$ (5.10)
- $X_p = 0$ (5.11)
- $Z_p = 0$ (5.12)
- $X_e = 0.095 * (500 - 0) + 0 = 47.5$ (5.13)

Nilai X_e ini digunakan untuk proses selanjutnya $X_e = 47.5$. dan semua nilai yang sudah di update.

- $Val = 540$ (5.14)
- $P_c = 0.95 + 0.05 = 1.00$ (5.15)
- $G = 1.00 / (1.00 + 10.01) = 0.09$ (5.16)
- $P = (1 - 0.09) * 1.00 = 0.91$ (5.17)
- $X_p = 47.5$ (5.18)
- $Z_p = 47.5$ (5.19)
- $X_e = 0.09 * (540 - 47.5) + 47.5 = 91.83$ (5.20)

Nilai X_e ini digunakan untuk proses selanjutnya $X_e = 91.83$. dan semua nilai yang sudah di update.

- $Val = 520$ (5.21)
- $P_c = 1.00 + 0.05 = 1.05$ (5.22)
- $G = 1.05 / (1.05 + 10.01) = 0.095$ (5.23)
- $P = (1 - 0.095) * 1.05 = 0.95$ (5.24)

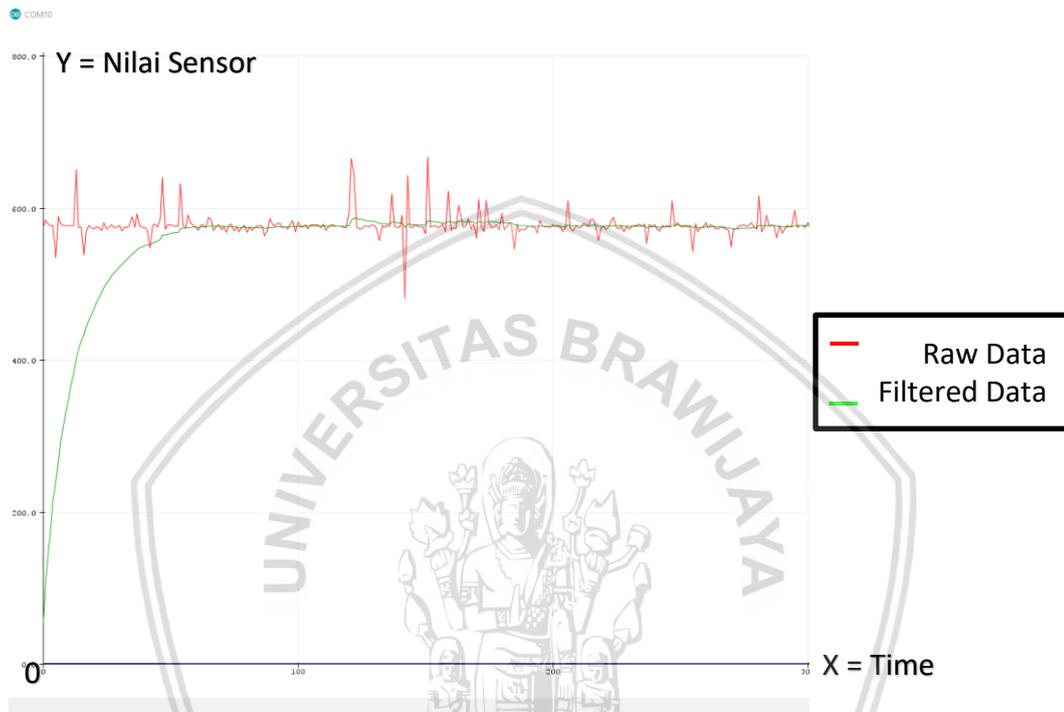


$$Xp = 91.83 \quad (5.25)$$

$$Zp = 91.83 \quad (5.26)$$

$$Xe = 0.095*(520-91.83)+91.83=132.51 \quad (5.27)$$

Hasil X_e merupakan hasil dari nilai filter setelah melewati prediksi. Dari rumus diatas nilai akan dimulai dari rendah sampai ke titik dimana nilai itu sudah benar dan telah di filter dengan baik. Grafik perbandingan antara raw data dengan filtered data dari sensor 1 dapat dilihat pada gambar 5.12.



Gambar 5.12 Perbandingan Raw Data Dengan Filtered Data Pada Sensor 1

Sensor 2 :

$$Var\ data = 4.82$$

$$var\ Process = 0.01$$

$$Pc = 0$$

$$G = 0$$

$$P = 1$$

$$Xp = 0$$

$$Zp = 0$$

$$Xe = 0$$

Contoh perhitungan sebagai berikut :

$$Val = 500 \quad (5.28)$$

$$Pc = 1 + 0.01 = 1.01 \quad (5.29)$$

$$G = 1.01 / (1.01 + 4.82) = 0.173 \quad (5.30)$$

$$P = (1 - 0.173) * 1.01 = 0.835 \quad (5.31)$$

$$Xp = 0 \quad (5.32)$$

$$Z_p = 0 \tag{5.33}$$

$$X_e = 0.173 \cdot (500 - 0) + 0 = 86.5 \tag{5.34}$$

Nilai X_e ini digunakan untuk proses selanjutnya $X_e = 86.5$. dan semua nilai yang sudah di update.

$$Val = 540 \tag{5.35}$$

$$P_c = 0.835 + 0.01 = 0.846 \tag{5.36}$$

$$G = 0.846 / (0.846 + 4.82) = 0.149 \tag{5.37}$$

$$P = (1 - 0.149) \cdot 0.846 = 0.72 \tag{5.38}$$

$$X_p = 86.5 \tag{5.39}$$

$$Z_p = 86.5 \tag{5.49}$$

$$X_e = 0.149 \cdot (540 - 86.5) + 86.5 = 154.072 \tag{5.50}$$

Nilai X_e ini digunakan untuk proses selanjutnya $X_e = 154.072$. dan semua nilai yang sudah di update.

$$Val = 520 \tag{5.51}$$

$$P_c = 0.72 + 0.01 = 0.73 \tag{5.52}$$

$$G = 0.73 / (0.73 + 4.82) = 0.132 \tag{5.53}$$

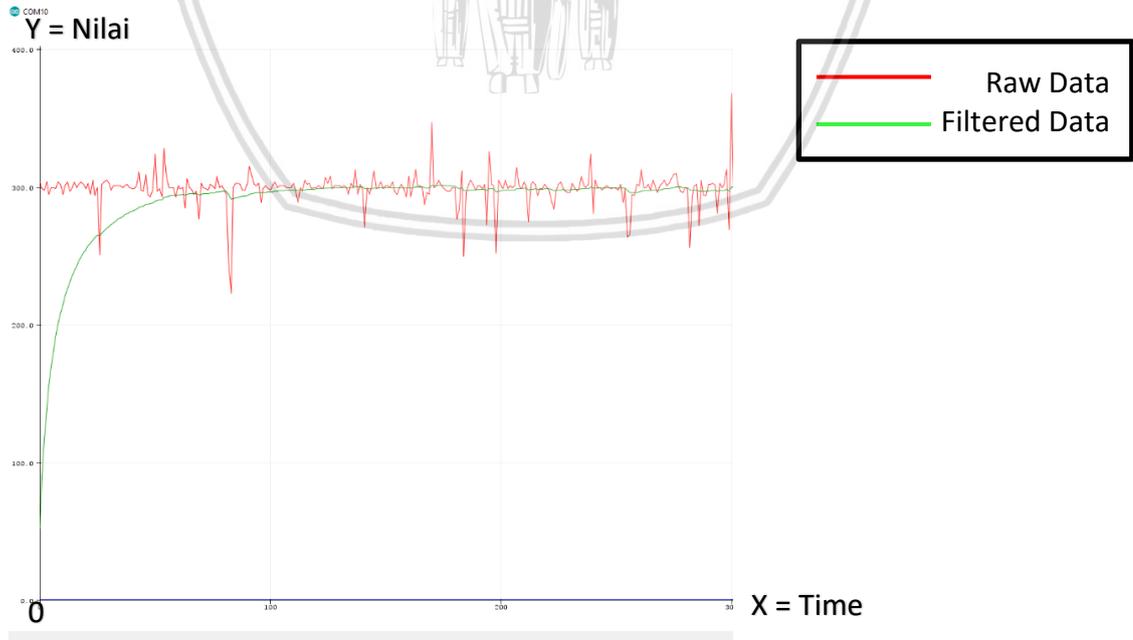
$$P = (1 - 0.132) \cdot 0.73 = 0.63 \tag{5.54}$$

$$X_p = 154.072 \tag{5.55}$$

$$Z_p = 154.072 \tag{5.56}$$

$$X_e = 0.63 \cdot (520 - 154.072) + 154.072 = 384.61 \tag{5.57}$$

Hasil X_e merupakan hasil dari nilai filter setelah melewati prediksi. Dari rumus di atas nilai akan dimulai dari rendah sampai ke titik di mana nilai itu sudah benar dan telah di filter dengan baik. Grafik perbandingan antara raw data dengan filtered data dari sensor 1 dapat dilihat pada gambar 5.13.



Gambar 5.13 Perbandingan Raw Data Dengan Filtered Data Pada Sensor 2

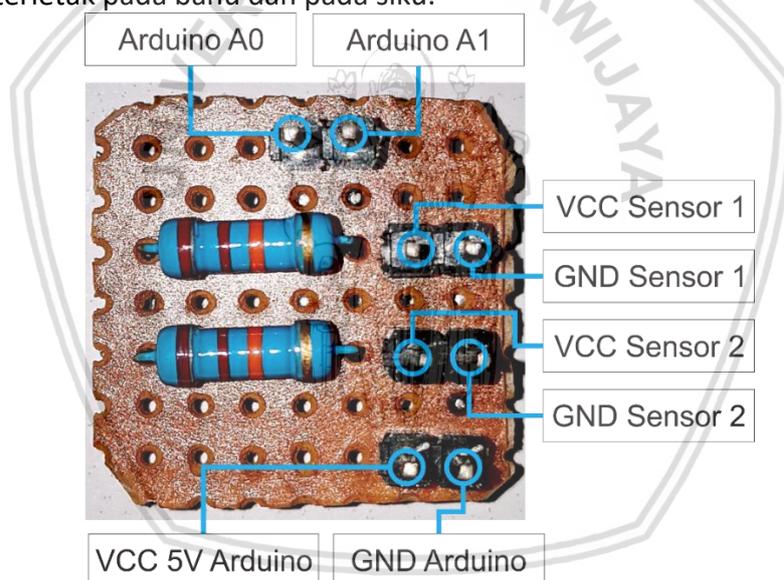


5.2 Implementasi

Setelah melalui tahap perancangan sistem, maka selanjutnya adalah implementasi sistem sesuai hasil perancangan. Implementasi sistem yang dilakukan adalah implementasi perangkat keras dan implementasi perangkat lunak

5.2.1 Implementasi Perangkat Keras

Setelah melalui tahap perancangan sistem, maka selanjutnya adalah implementasi sistem sesuai hasil perancangan. Implementasi sistem yang dilakukan adalah implementasi perangkat keras dan implementasi perangkat lunak. Rangkaian dari perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 5.14. Terdapat konfigurasi pin pada Arduino UNO dengan pin pada *Flex* sensor. Penempatan *Flex* sensor yang pertama terdapat di bahu dan dapat dilihat pada Gambar 5.15. Sedangkan untuk penempatan *flex* sensor yang kedua diletakan pada siku lengan manusia. Penerapan *flex* sensor kedua dapat dilihat pada Gambar 5.16. penempatan *flex* sensor disesuaikan dengan letak DOF pada lengan manusia dimana terletak pada bahu dan pada siku.



Gambar 5.14 Rangkaian Hardware

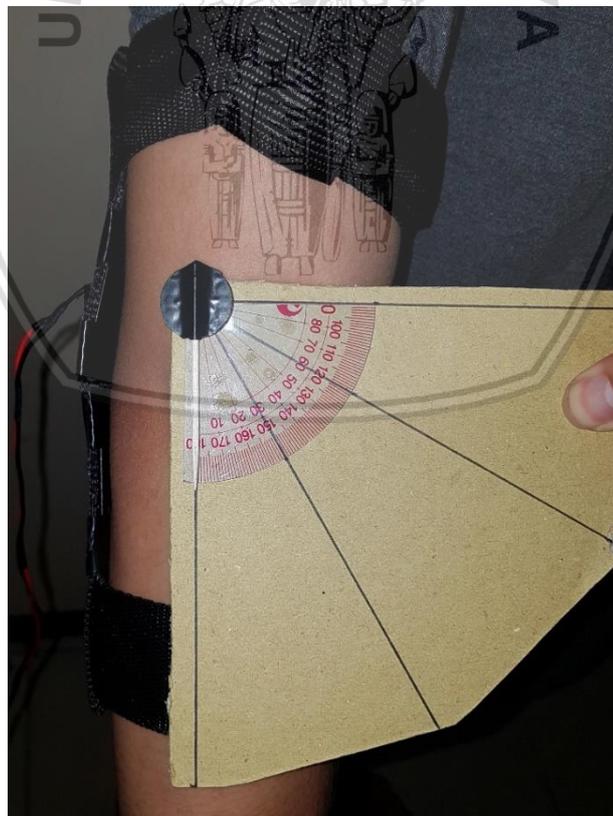
Untuk lengan robot sendiri, servo 1 bertugas sebagai penggerak pada bahu, sedangkan untuk servo 2 bertugas untuk menggerakkan lengan robot bagian siku. Penerapan lengan robot tampak depan dapat dilihat pada Gambar 5.16 dan 5.17 untuk penerapan lengan robot tampak samping. Penyesuaian letak penempatan servo juga dilatar belakangi dengan letak DOF pada manusia. Sehingga kedua sensor dan kedua motor servo dapat berkombinasi dengan baik.

Implementasi *Flex Sensor* pada bahu lengan :



Gambar 5.15 *Flex Sensor* Pada Bahu

Implementasi *Flex Sensor* pada siku lengan :



Gambar 5.16 *Flex Sensor* Pada Siku

Implementasi Lengan Robot tampak depan :



Gambar 5.17 Robot Lengan Tampak Depan

Implementasi Lengan Robot tampak samping :



Gambar 5.18 Robot Lengan Tampak Samping

5.2.2 Implementasi Perangkat Lunak

Pada implementasi perangkat lunak dilakukan beberapa implementasi beberapa bagian yaitu inisialisasi sensor 1 & inisialisasi sensor 2, perhitungan Kalman Filter. Dalam pemrograman arduino dibutuhkan deklarasi variabel yang dibutuhkan pada program.

5.2.2.1 Implementasi Pergerakan Motor Servo

Pada implementasi ini, sistem menggunakan motor servo dc yang dapat menghasilkan pergerakan dari 0-180 derajat. Pergerakan servo sebelumnya sudah diatur pada library yang di *include* kan. Untuk kode pemrograman motor servo dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.4 Kode Program Motor Servo

Baris	Kode Program
1	#include <Servo.h>
2	
3	Servo servoPertama;
4	Servo servoKedua;
5	
6	void setup() {
7	Serial.begin(9600);
8	servoPertama.attach(9);
9	servoKedua.attach(10);
10	}
11	
12	void loop() {
13	}
14	
15	

Pada Tabel 5.3 digunakan *library* servo.h. *Library* ini digunakan untuk menggerakkan servo sesuai dengan sudut yang diinginkan. Servo yang digunakan yaitu berjumlah 2 unit. Untuk servo yang pertama diinisialisasikan dengan penamaan servoPertama dan dihubungkan dengan pin digital 9 pada Arduino UNO. Sedangkan untuk servo yang kedua diinisialisasikan dengan penamaan servoKedua yang dihubungkan pada pin 10.

5.2.2.2 Implementasi Penggunaan *Flex* Sensor

Flex sensor membaca gerakan yang dilakukan lengan manusia. Hasil dari pembacaan sensor ini akan digunakan sebagai *output* dari sensor. Untuk kode program pembacaan *flex* sensor dapat dilihat pada table 5.4.

Tabel 5.5 Kode Program *Flex* Sensor

Baris	Kode Program
1	const int flexpin1 = 0;
2	const int flexpin2 = 1;
3	
4	void setup() {

5	Serial.begin(9600);
6	}
7	
8	void loop() {
9	int flexposition1 = analogRead(flexpin1);
10	int flexposition2 = analogRead(flexpin2);
11	
12	float voltage1 = flexposition1;
13	float voltage2 = flexposition2;

Pada Tabel 5.4 dilakukan inialisasi dari *flexpin1* yang dihubungkan pada *flex* sensor 1 di pin analog 0. Sedangkan *flexpin2* dihubungkan pada sensor 2 untuk pin analog 1.

5.2.2.3 Implementasi Pemrosesan Kalman Filter

Output dari *flex* sensor memiliki banyak *noise*, sehingga mengakibatkan nilai asli dari *flex* sensor terganggu dan tidak dapat menampilkan data sesungguhnya. Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan kalman filter sebagai filter untuk mengilangkan *noise* yang berlebih pada *output flex* sensor.

Tabel 5.6 Kode Program Pemrosesan Kalman Filter

Baris	Kode Program
1	// kalman variables
2	float varVolt1 = 10.01;
3	float varVolt2 = 4.82;
4	
5	float varProcess1 = 0.01;
6	float varProcess2 = 0.05;
7	
8	
9	float Pc1 = 0.0;
10	float G1 = 0.0;
11	float P1 = 1.0;
12	float Xp1 = 0.0;
13	float Zp1 = 0.0;
14	float Xe1 = 0.0;
15	
16	float Pc2 = 0.0;
17	float G2 = 0.0;
18	float P2 = 1.0;
19	float Xp2 = 0.0;
20	float Zp2 = 0.0;
21	float Xe2 = 0.0;
22	
23	void setup() {
24	Serial.begin(9600);
25	}
26	
27	void loop() {
28	float voltage1 = flexposition1;
29	float voltage2 = flexposition2;
30	

```

31 // kalman process1
32 Pc1 = P1 + varProcess1;
33 G1 = Pc1/(Pc1 + varVolt1); // kalman gain
34 P1 = (1-G1)*Pc1;
35 Xp1 = Xe1;
36 Zp1 = Xp1;
37 Xe1 = G1*(voltage1-Zp1)+Xp1; // the kalman
38 estimate of the sensor voltage
39
40 // kalman process2
41 Pc2 = P2 + varProcess2;
42 G2 = Pc2/(Pc2 + varVolt2); // kalman gain
43 P2 = (1-G2)*Pc2;
44 Xp2 = Xe2;
45 Zp2 = Xp2;
46 Xe2 = G2*(voltage2-Zp2)+Xp2; // the kalman
47 estimate of the sensor voltage

```

Rumus dari perhitungan kalman filter dapat dilihat pada tabel 5.6 yang sudah diimplementasikan langsung pada *output flex* sensor. Deklarasi beberapa variable dibutuhkan karena adanya perbedaan nilai dari masing-masing sensor yang digunakan. Misalnya pada sensor 1 ada penggunaan nilai varVolt sebesar 10.01. sedangkan pada sensor 2 perlu adanya varVolt sebesar 4.82. selain itu hasil akhir dari *output* sebelumnya akan diproses kembali untuk penilaian prediksi *output* selanjutnya. Oleh karena itu perlu adanya perbedaan variable yang cukup banyak untuk masing-masing sensor.

5.2.2.4 Implementasi Pergerakan Lengan Robot

Setelah didapat *output* dari pemrosesan kalman filter akan di implementasikan pada robot lengan dengan pergerakan dari motor servo. Untuk mengatur pergerakannya dapat dilihat pada kode program di Tabel 5.6.

Tabel 5.7 Kode Program Penentuan Gerakan Robot Lengan

Baris	Kode Program
1	
2	void setup() {
3	Serial.begin(9600);
4	}
5	
6	void loop() {
7	Serial.print("sensor 1 : ");
8	Serial.print(Xe1);
9	
10	if (Xe1<=403){
11	servoPertama.write(0); Serial.println(" servo
12	1 : 0");
13	delay(100);}
14	else if (Xe1>=404 && Xe1<=441){
15	servoPertama.write(30); Serial.println("
16	servo 1 : 30");
17	delay(100);}

18	else if (Xe1>=442 && Xe1<=479){
19	servoPertama.write(60); Serial.println("
20	servo 1 : 60");
21	delay(100);}
22	else {
23	servoPertama.write(90); Serial.println("
24	servo 1 : 90");
25	delay(100);}
26	
27	Serial.print("sensor 2 : ");
28	Serial.print(Xe2);
29	
30	if (Xe2<=600){
31	servoKedua.write(0); Serial.println(" servo 2
32	: 0");
33	delay(100);}
34	else if (Xe2>=601 && Xe2<=630){
35	servoKedua.write(30); Serial.println(" servo
36	2 : 30");
37	delay(100);}
38	else if (Xe2>=631 && Xe2<=660){
39	servoKedua.write(60); Serial.println(" servo
40	2 : 60");
41	delay(100);}
42	else {
43	servoKedua.write(90); Serial.println(" servo
44	2 : 90");
45	delay(100);}
46	
47	delay(100);

Tabel 5.6 berisi tentang kode program untuk mengatur derajat dari motor servo. Pergerakan lengan robot dibedakan menjadi 4 gerakan. Mulai dari 0, 30, 60, dan 90 derajat. Pergerakan ini dipicu dari sinyal *output flex* sensor yang sudah diolah menggunakan kalman filter. *Range* nilai masing-masing pergerakan dapat dilihat pada tabel 5.6. Pergerakan dibedakan menjadi 2 servo yang dipicu oleh 2 *flex* sensor. *Flex* sensor 1 dihubungkan dengan motor servo 1 dan *flex* sensor 2 dihubungkan dengan motor servo 2.

BAB 6 PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab ini membahas mengenai pengujian serta analisis dari hasil pengujian yang telah dilakukan berdasarkan sistem yang dibuat. Tujuan dari pengujian dan analisis ini yaitu untuk mengetahui apakah sistem yang sudah dibuat sesuai dengan analisis kebutuhan yang diinginkan. Pengujian terhadap sistem dilakukan dalam beberapa tahapan yang sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Sedangkan analisis dilakukan untuk menarik kesimpulan dari penelitian yang sudah dilakukan.

6.1 Pengujian Sensor *Flex*

Pada pengujian yang pertama yaitu dilakukan pengujian terhadap *flex* sensor.

6.1.1 Tujuan Pengujian

Tujuan dari pengujian *flex* sensor ini adalah untuk mengetahui tingkat akurasi yang terbaca pada sensor mikrokontroler Arduino Uno.

6.1.2 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian dilakukan dalam beberapa langkah sebagai berikut :

1. Menyalakan mikrokontroler Arduino Uno dan *flex* sensor.
2. Menjalankan kode program yang sebelumnya sudah dibuat dan di upload ke mikrokontroler Arduino UNO.
3. Memposisikan sensor sesuai dengan sudut yang sebelumnya sudah ditentukan, yaitu 0, 30, 60, dan 90 derajat.
4. Pengukuran dari sudut lengan manusia dibandingkan dengan nilai sudut yang terdapat pada serial monitor.
5. Langkah 1 sampai dengan 4 dilakukan sebanyak masing-masing 100 kali pada masing-masing sudut dan masing-masing sensor.

6.1.3 Hasil Pengujian

Pengujian pada sensor 1 yang terletak di bahu dan sensor 2 yang terletak di siku meliputi pergerakan 0°, 30°, 60°, dan 90°. Untuk proses mendapatkan data sebagai berikut :

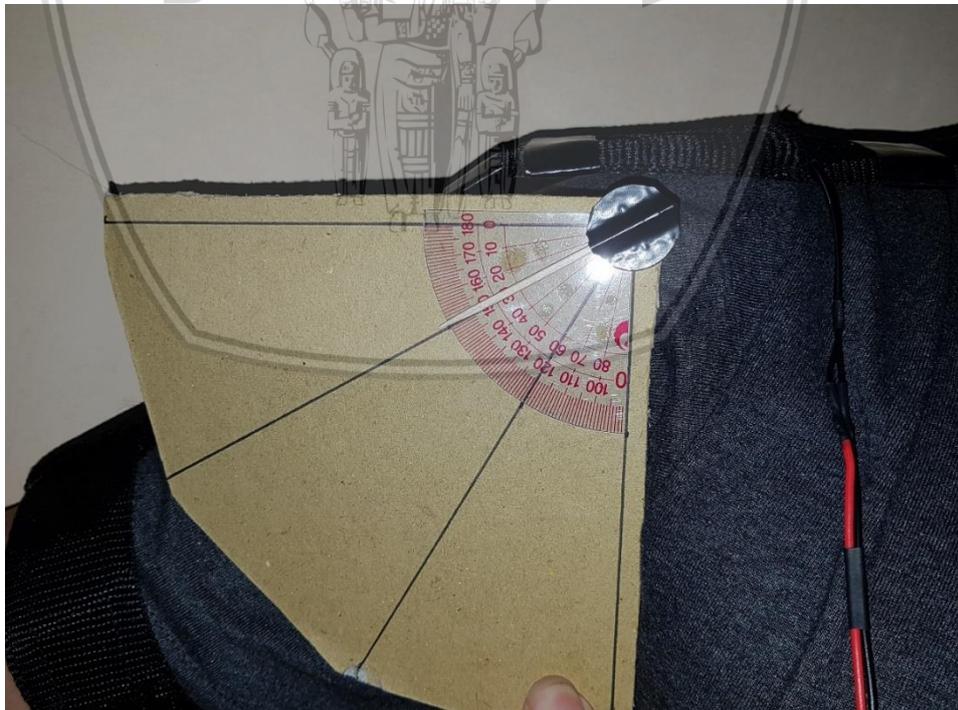
Sensor 1 (Bahu) :

Sudut 0°



Gambar 6.1 Bahu Pada Sudut 0°

Sudut 30°



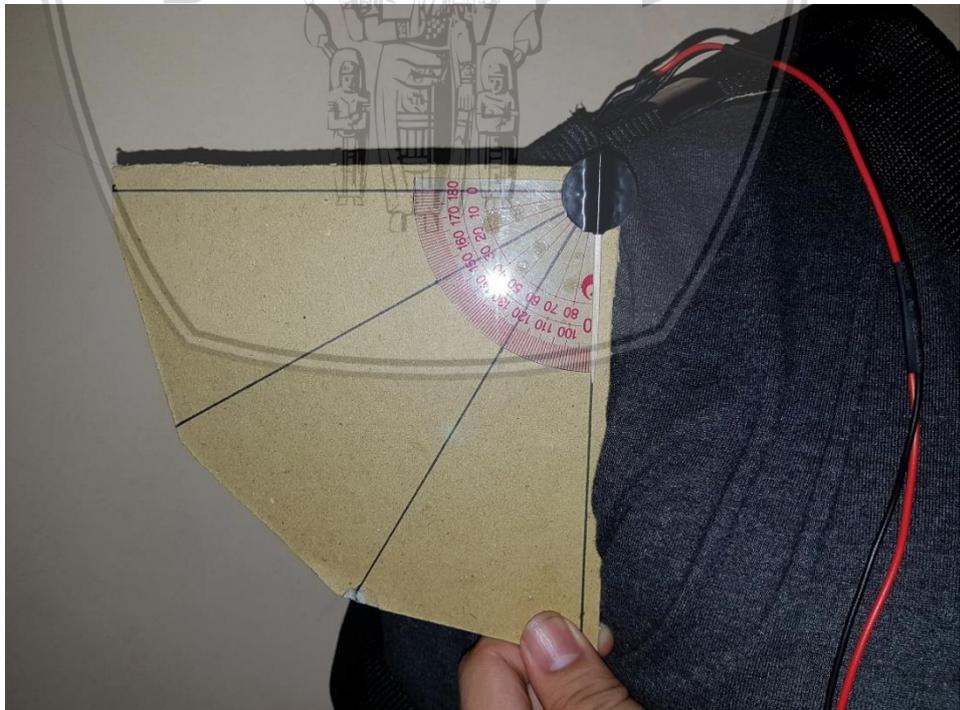
Gambar 6.2 Bahu Pada Sudut 30°

Sudut 60°



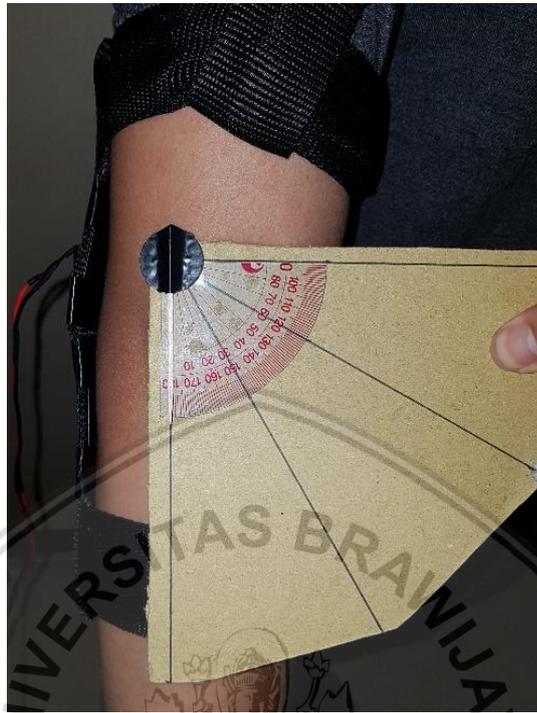
Gambar 6.3 Bahu Pada Sudut 60°

Sudut 90°



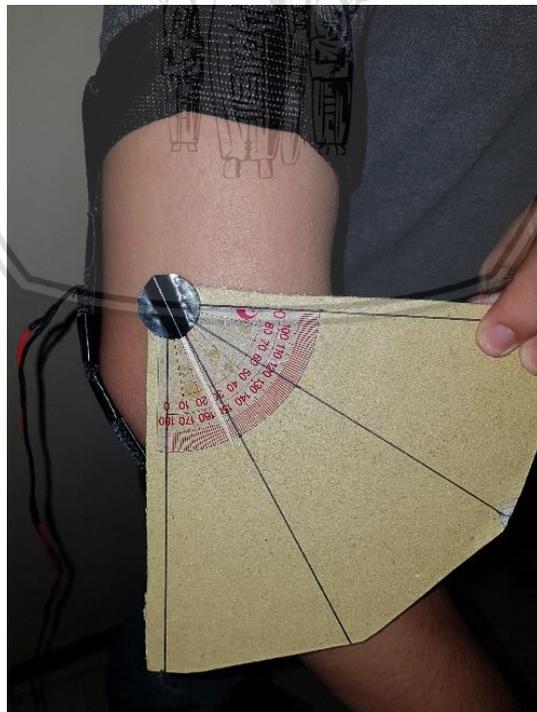
Gambar 6.4 Bahu Pada Sudut 90°

Sensor 2 (Siku) :
Sudut 0°



Gambar 6.5 Sudut Siku 0°

Sudut 30°



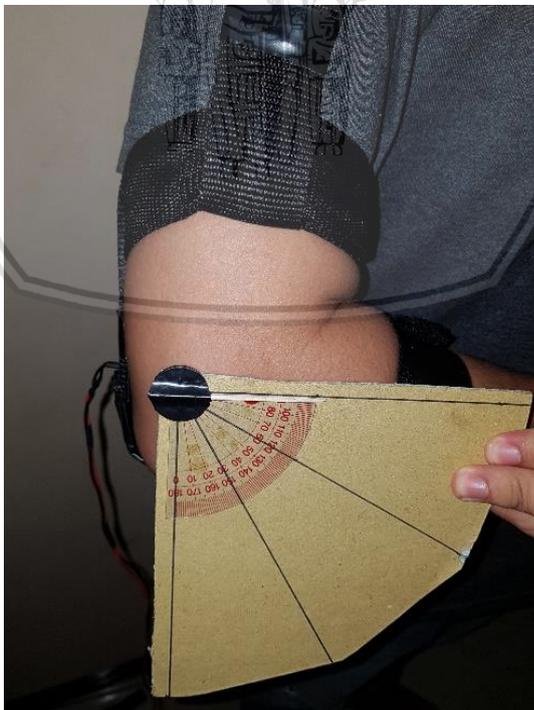
Gambar 6.6 Sudut Siku 30°

Sudut 60°



Gambar 6.7 Sudut Siku 60°

Sudut 90°



Gambar 6.8 Sudut Siku 90°

Tabel 6.1 Nilai *Input Flex Sensor*

Percobaan	Sensor 1				Sensor 2			
	0°	30°	60°	90°	0°	30°	60°	90°
1	325	358	385	407	573	612	641	654
2	325	357	385	407	571	612	642	654
3	325	358	384	407	570	612	642	651
4	325	358	384	406	567	610	642	652
5	325	358	384	407	567	611	642	649
6	325	358	391	407	568	610	641	650
7	325	358	387	407	568	611	642	649
8	325	358	387	406	569	611	642	649
9	325	358	387	406	569	610	642	650
10	325	358	387	406	567	619	642	651
11	325	358	387	406	567	619	642	651
12	325	359	387	406	567	618	642	651
13	325	358	388	407	568	618	642	650
14	324	358	388	407	571	620	642	650
15	329	358	387	408	571	620	642	651
16	328	358	387	408	571	621	642	651
17	328	363	387	410	572	620	642	651
18	328	363	386	410	572	620	642	651
19	328	363	385	411	572	619	643	652
20	332	363	388	408	572	620	642	657
21	332	363	388	408	572	619	642	655
22	331	362	387	409	572	619	644	648
23	331	362	387	410	573	618	647	645
24	331	362	387	410	573	618	645	645
25	328	362	387	410	574	618	644	645
26	328	362	387	410	574	619	643	645
27	328	364	387	410	574	618	643	646
28	330	364	386	410	574	618	643	647
29	330	364	386	410	574	618	643	649
30	329	358	386	410	576	618	643	649
31	329	359	385	414	576	618	644	649
32	329	361	385	413	573	618	644	652
33	328	361	385	415	573	618	644	652
34	328	359	384	415	575	618	644	652
35	328	355	383	414	576	617	644	653
36	328	355	383	413	575	615	643	653

Percobaan	Sensor 1				Sensor 2			
	0°	30°	60°	90°	0°	30°	60°	90°
37	328	355	383	413	575	613	643	654
38	327	355	384	412	574	613	643	654
39	327	355	383	412	574	614	643	655
40	328	355	383	412	574	614	643	656
41	327	353	383	412	575	614	642	655
42	327	353	383	411	575	614	644	655
43	327	356	385	413	575	614	644	655
44	327	356	385	413	575	614	643	656
45	322	356	387	413	575	614	643	656
46	322	356	387	413	575	614	644	656
47	322	356	387	413	575	614	644	656
48	321	356	387	413	576	614	644	655
49	322	356	387	413	576	615	644	656
50	322	355	387	413	577	615	643	656
51	322	355	387	412	577	615	642	655
52	323	356	390	412	577	615	642	654
53	323	356	390	413	575	615	635	654
54	323	355	391	412	574	614	635	654
55	323	355	391	412	574	614	635	652
56	323	354	393	412	574	615	634	653
57	325	354	396	412	574	615	635	648
58	325	354	395	413	574	614	634	649
59	327	355	395	415	574	614	634	648
60	327	355	393	414	574	615	634	648
61	327	355	393	413	575	614	634	648
62	327	355	393	413	575	614	634	648
63	326	355	393	413	575	614	635	648
64	326	354	392	413	576	612	634	649
65	325	353	392	413	576	609	634	649
66	326	353	392	415	576	610	634	650
67	326	353	392	415	577	610	634	650
68	326	359	391	415	577	610	634	650
69	326	359	391	414	577	609	634	650
70	328	359	391	415	578	610	633	650
71	328	359	391	415	578	610	633	650
72	327	362	390	416	578	611	633	650
73	327	361	390	416	576	611	633	650
74	327	364	391	416	576	611	632	649



Percobaan	Sensor 1				Sensor 2			
	0°	30°	60°	90°	0°	30°	60°	90°
75	327	363	391	416	576	610	632	649
76	327	363	391	421	576	610	632	652
77	327	362	390	420	576	610	631	652
78	328	362	390	419	577	610	631	652
79	328	362	390	421	578	610	631	652
80	328	362	391	422	577	610	631	652
81	328	362	391	422	577	610	631	652
82	327	362	391	421	577	610	631	652
83	327	362	391	420	577	609	631	652
84	326	361	391	423	580	609	630	652
85	326	361	390	423	582	609	630	653
86	326	361	391	422	582	609	630	653
87	326	361	391	422	582	609	629	652
88	326	361	394	422	582	609	629	652
89	329	361	394	422	582	609	629	652
90	329	360	393	422	582	608	629	658
91	328	359	393	421	581	608	628	657
92	328	359	393	419	581	608	628	657
93	329	359	392	419	580	608	629	653
94	326	359	394	418	581	608	627	654
95	326	359	397	418	581	608	627	654
96	327	359	396	418	581	608	627	654
97	328	359	393	418	580	608	629	654
98	328	358	393	417	581	608	630	654
99	328	364	394	417	581	608	630	655
100	330	364	394	418	580	608	630	655
101	329	363	389	417	580	611	629	656
	RATA-RATA							
	326.67	358.65	388.97	413.57	575.19	613.26	637.41	651.78
	PEMBULATAN							
	327	359	389	414	575	613	637	652

6.1.4 Analisis Pengujian

Dari data yang diperoleh berdasarkan hasil pengujian, didapatkan bahwa ada perbedaan nilai dari masing-masing sensor untuk setiap sudut masukan. Dari

tabel diatas dapat disimpulkan pada sensor 1 untuk sudut 0° memiliki rata-rata nilai 326.67 dan dibulatkan menjadi 327, untuk sudut 30° memiliki rata-rata nilai 358.65 dan dibulatkan menjadi 359, untuk sudut 60° memiliki rata-rata nilai 388.97 dan dibulatkan menjadi 389, untuk sudut 90° memiliki rata-rata nilai 413.57 dan dibulatkan menjadi 414.

Sedangkan Dari tabel diatas dapat disimpulkan pada sensor 2 untuk sudut 0° memiliki rata-rata nilai 575.19 dan dibulatkan menjadi 575, untuk sudut 30° memiliki rata-rata nilai 613.26 dan dibulatkan menjadi 613, untuk sudut 60° memiliki rata-rata nilai 637.41 dan dibulatkan menjadi 637, untuk sudut 90° memiliki rata-rata nilai 651.78 dan dibulatkan menjadi 652.

Nilai diatas didapatkan dengan menggunakan rumus perhitungan ADC yang mengubah dari nilai tegangan menjadi nilai digital. Rumus dari ADC sendiri adalah sebagai berikut :

$$ADC = \frac{V_{in}}{V_{ref}} \times 1024 \quad (6.1)$$

V_{in} merupakan nilai tegangan yang didapat dari *output* sensor. V_{ref} merupakan tegangan referensi yaitu bernilai 5V. 1024 sendiri merupakan jumlah bit yang digunakan di Arduino. Pembulatan digunakan agar pemrosesan data lebih mudah, karena untuk pemrosesan data menggunakan variable integer.

Untuk misal tegangan yang dihasilkan memiliki nilai 2.4 V maka perhitungannya dapat dilihat pada persamaan 6.2 yang akan menghasilkan nilai 491.52 dan akan dibulatkan menjadi 492.

$$ADC = \frac{2.4}{5} \times 1024 = 491.52 \quad (6.2)$$

$$ADC = \frac{2.7}{5} \times 1024 = 552.96 \quad (6.3)$$

Pada persamaan 6.3 misal tegangan yang dihasilkan memiliki nilai 2.7 V yang akan menghasilkan nilai 552.96 dan akan dibulatkan menjadi 553. Dengan beberapa perbandingan maka didapat jarak pada masing-masing sensor.

6.2 Pengujian Motor Servo

Pada pengujian yang kedua yaitu dilakukan pengujian terhadap motor servo yang akan dinilai dari nilai keluaran sudut motor servo sesuai sinyal yang diberikan.

6.2.1 Tujuan Pengujian

Mengetahui nilai *output* dari servo apakah nilai tersebut sama dan sesuai dengan sinyal yang diberikan.

6.2.2 Prosedur Pengujian

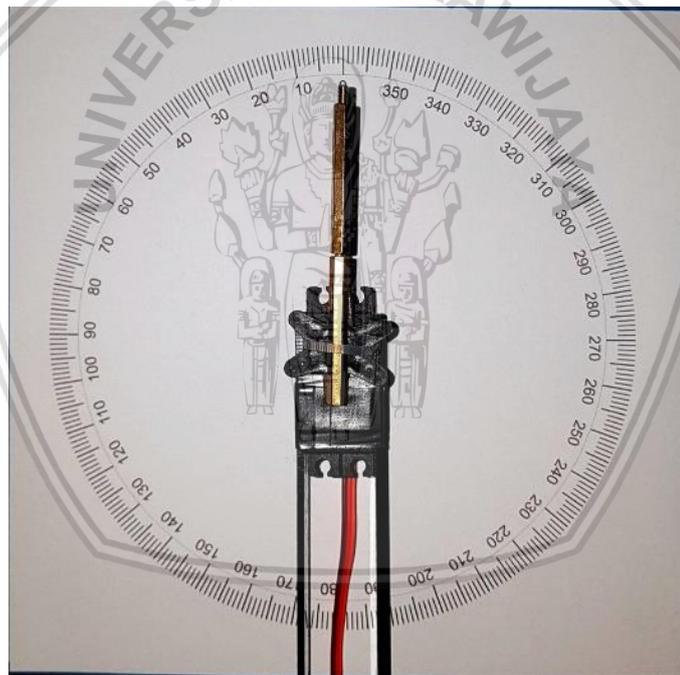
Prosedur pengujian dilakukan dalam beberapa langkah sebagai berikut :

1. Menyalakan mikrokontroler Arduino Uno dan menyambungkan motor servo.
2. Menjalankan kode program yang sebelumnya sudah dibuat dan di upload ke mikrokontroler Arduino UNO.
3. Memberikan sinyal dari arduino uno kepada servo dengan sudut yang sudah ditentukan sebelumnya yaitu 0, 30, 60, dan 90 derajat.
4. Pengukuran dilihat dari sudut perputaran servo dan akan dibandingkan dengan sinyal yang sudah diberikan dan ditampilkan pada serial monitor.
5. Langkah 1 sampai dengan 4 dilakukan sebanyak masing-masing 10 kali pada masing-masing sudut dan masing-masing servo.

6.2.3 Hasil Pengujian

Servo 1 :

Sudut 0° :



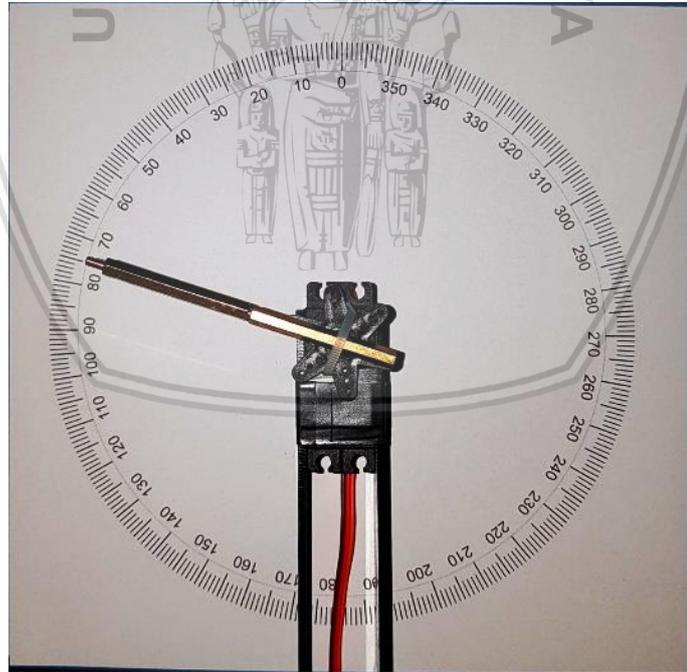
Gambar 6.9 Motor 1 Sudut 0°

Sudut 30° :



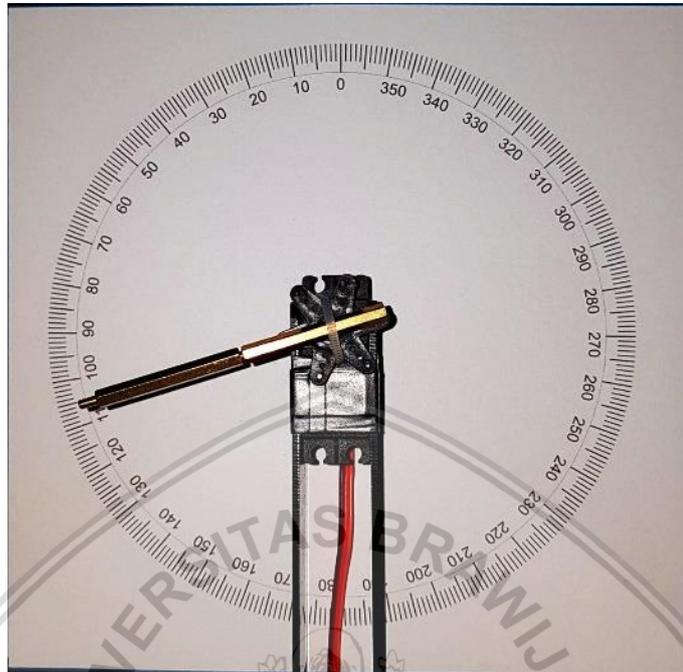
Gambar 6.10 Motor 1 Sudut 0°

Sudut 60° :



Gambar 6.11 Motor 1 Sudut 60°

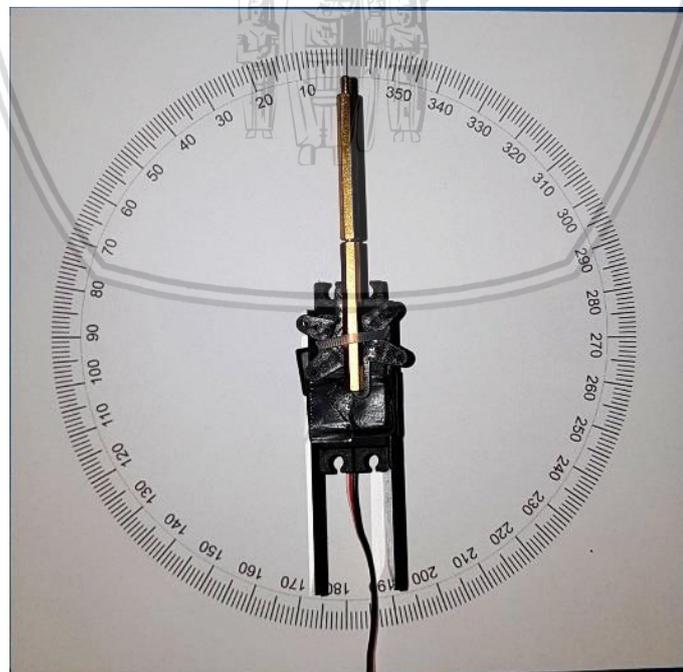
Sudut 90° :



Gambar 6.12 Motor 1 Sudut 90°

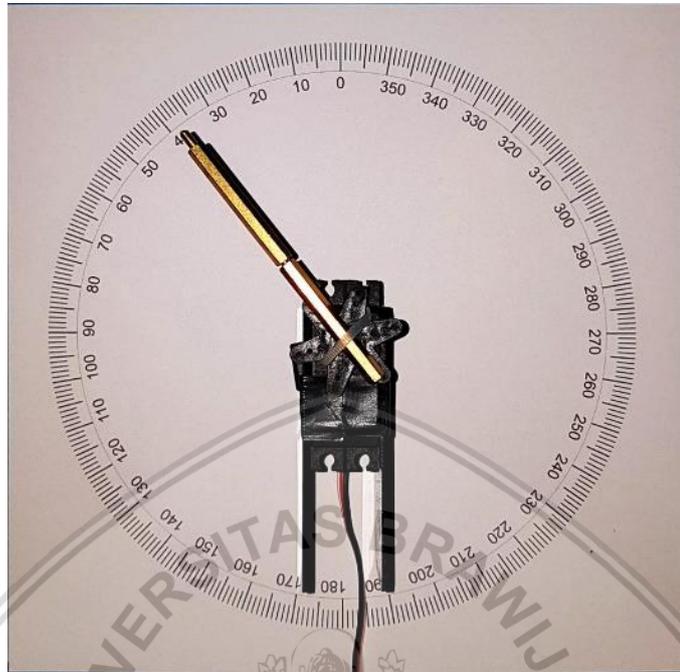
Servo 2 :

Sudut 0° :



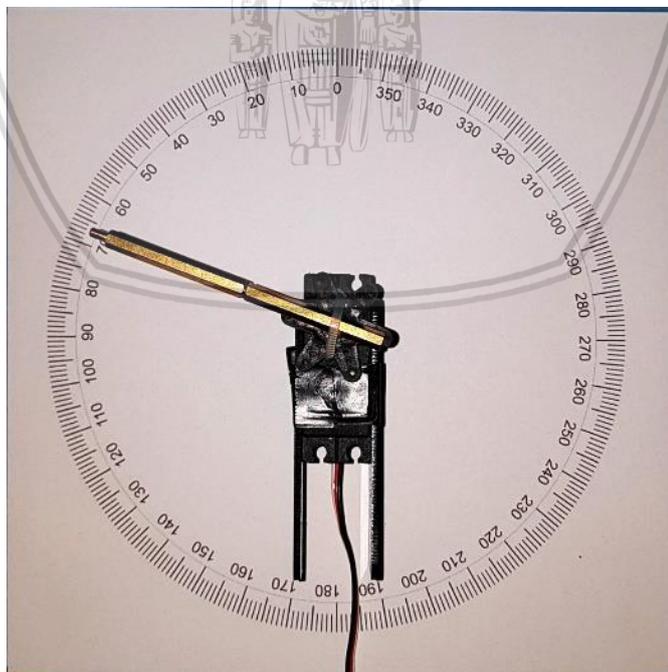
Gambar 6.13 Motor 2 Sudut 0°

Sudut 30° :



Gambar 6.14 Motor 2 Sudut 30°

Sudut 60° :



Gambar 6.15 Motor 2 Sudut 90°

Sudut 90° :



Gambar 6.16 Motor 2 Sudut 90°

Percobaan Pada Servo 1 :

Sudut 0° :

Tabel 6.2 Percobaan Servo 1 Dengan Sudut 0°

Percobaan	Input Sudut	Output Sudut	Error (%)
1	0°	0°	0
2	0°	0°	0
3	0°	0°	0
4	0°	0°	0
5	0°	0°	0
6	0°	0°	0
7	0°	0°	0
8	0°	0°	0
9	0°	0°	0
10	0°	0°	0
Rata-rata			0

Sudut 30° :

Tabel 6.3 Percobaan Servo 1 Dengan Sudut 30°

Percobaan	Input Sudut	Output Sudut	Error (%)
1	30°	38°	26.67
2	30°	38°	26.67
3	30°	38°	26.67
4	30°	38°	26.67
5	30°	39°	23.33
6	30°	38°	26.67
7	30°	38°	26.67
8	30°	38°	26.67
9	30°	38°	26.67
10	30°	38°	26.67
Rata-rata			26.36

Sudut 60° :

Tabel 6.4 Percobaan Servo 1 Dengan Sudut 60°

Percobaan	Input Sudut	Output Sudut	Error (%)
1	60°	74°	23.33
2	60°	74°	23.33
3	60°	74°	23.33
4	60°	74°	23.33
5	60°	74°	23.33
6	60°	74°	23.33
7	60°	74°	23.33
8	60°	74°	23.33
9	60°	74°	23.33
10	60°	74°	23.33
Rata-rata			23.33

Sudut 90° :

Tabel 6.5 Percobaan Servo 1 Dengan Sudut 90°

Percobaan	Input Sudut	Output Sudut	Error (%)
1	90°	115°	27.78
2	90°	115°	27.78
3	90°	115°	27.78
4	90°	115°	27.78
5	90°	115°	27.78
6	90°	115°	27.78
7	90°	116°	28.89
8	90°	116°	28.89
9	90°	115°	27.78
10	90°	115°	27.78
Rata-rata			28.00

Percobaan Pada Servo 2 :

Sudut 0° :

Tabel 6.6 Percobaan Servo 2 Dengan Sudut 0°

Percobaan	Input Sudut	Output Sudut	Error (%)
1	0°	0°	0
2	0°	0°	0
3	0°	0°	0
4	0°	0°	0
5	0°	0°	0
6	0°	0°	0
7	0°	0°	0
8	0°	0°	0
9	0°	0°	0
10	0°	0°	0
Rata-rata			0

Sudut 30° :

Tabel 6.7 Percobaan Servo 2 Dengan Sudut 30°

Percobaan	<i>Input Sudut</i>	<i>Output Sudut</i>	Error (%)
1	30°	38°	26.67
2	30°	38°	26.67
3	30°	38°	26.67
4	30°	38°	26.67
5	30°	38°	26.67
6	30°	38°	26.67
7	30°	38°	26.67
8	30°	38°	26.67
9	30°	39°	30.00
10	30°	38°	26.67
Rata-rata			27.00

Sudut 60° :

Tabel 6.8 Percobaan Servo 2 Dengan Sudut 60°

Percobaan	<i>Input Sudut</i>	<i>Output Sudut</i>	Error (%)
1	60°	67°	11.67
2	60°	66°	10.00
3	60°	66°	10.00
4	60°	66°	10.00
5	60°	66°	10.00
6	60°	66°	10.00
7	60°	66°	10.00
8	60°	66°	10.00
9	60°	67°	11.67
10	60°	66°	10.00
Rata-rata			10.33

Sudut 90° :

Tabel 6.9 Percobaan Servo 2 Dengan Sudut 90°

Percobaan	<i>Input</i> Sudut	<i>Output</i> Sudut	Error (%)
1	90°	96°	6.67
2	90°	96°	6.67
3	90°	96°	6.67
4	90°	96°	6.67
5	90°	95°	5.56
6	90°	96°	6.67
7	90°	96°	6.67
8	90°	96°	6.67
9	90°	96°	6.67
10	90°	96°	6.67
Rata-rata			6.56

6.2.4 Analisis Pengujian

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa ada persimpangan derajat pergerakan yang diinginkan dari motor servo 1 sebesar 0-25 derajat dengan persentase 0% - 27.78%. Sedangkan untuk motor servo 2 memiliki persimpangan derajat pergerakan yang diinginkan sebesar 0-9 derajat dengan persentase 0% - 30.00%.

$$\text{system error}(\%) = \frac{PL - PT}{PT} \times 100$$

PL : *Output* Sudut

PT : Sudut yang diinginkan

6.3 Pengujian Nilai K pada Kalman Filter

Pengujian ketiga yaitu dilakukan pengujian terhadap nilai k dari kalman filter. Nilai ini mempengaruhi bagaimana *noise* yang ada akan difilter dan akan diproses.

6.3.1 Tujuan Pengujian

Mengetahui nilai nilai k dari kalman filter yang tepat untuk masing-masing sensor. Hal ini dikarenakan ada perbedaan nilai k pada tiap sensor yang digunakan.

6.3.2 Prosedur Pengujian

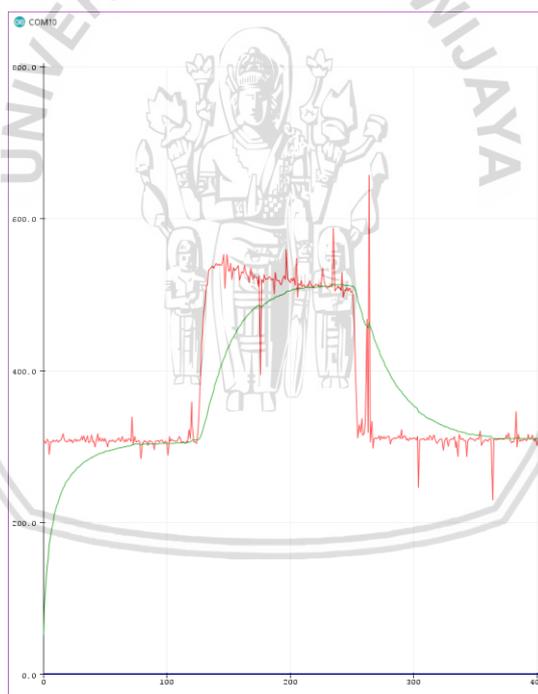
Prosedur pengujian dilakukan dalam beberapa langkah sebagai berikut :

1. Menyalakan mikrokontroler Arduino Uno dan *flex* sensor.
2. Menjalankan kode program yang sebelumnya sudah dibuat dan di upload ke mikrokontroler Arduino UNO.
3. Pemilihan nilai k dilakukan secara manual dengan menggunakan metode trial and error.
4. Nilai k ditentukan mulai dari 0.01-0.05 untuk sensor 1, dan nilai 0.006-0.01 untuk sensor 2
5. Langkah 1 sampai dengan 4 dilakukan sebanyak masing-masing 5 kali pada masing-masing nilai k dan masing-masing sensor.

6.3.3 Hasil Pengujian

Pengujian pada sensor 1 sebagai berikut :

K = 0.006



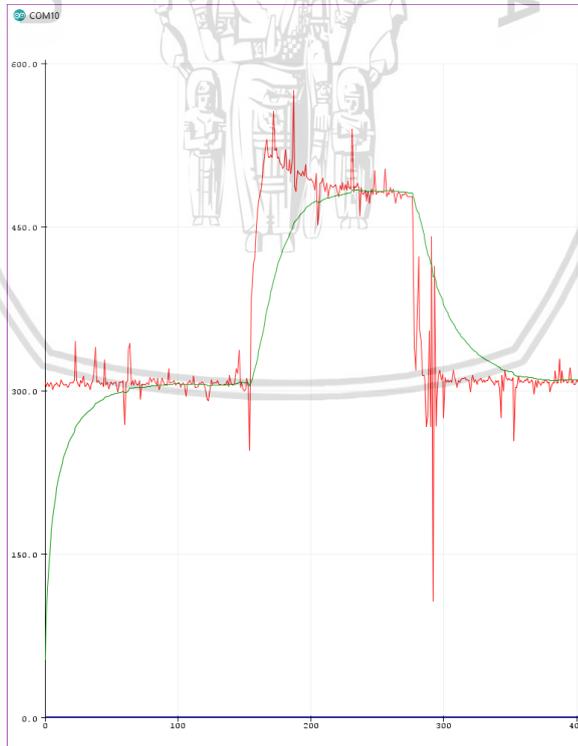
Gambar 6.17 Nilai k=0.006

$K = 0.007$



Gambar 6.18 Nilai $k=0.007$

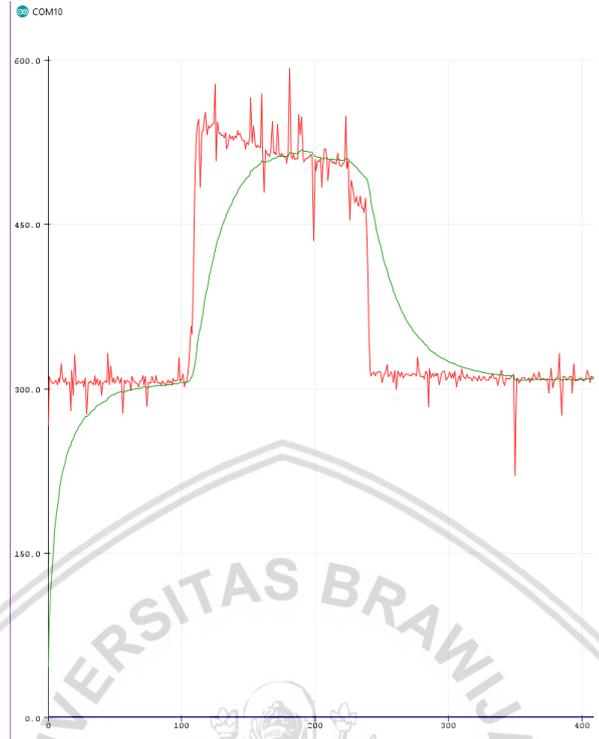
$K = 0.008$



Gambar 6.19 Nilai $k=0.008$

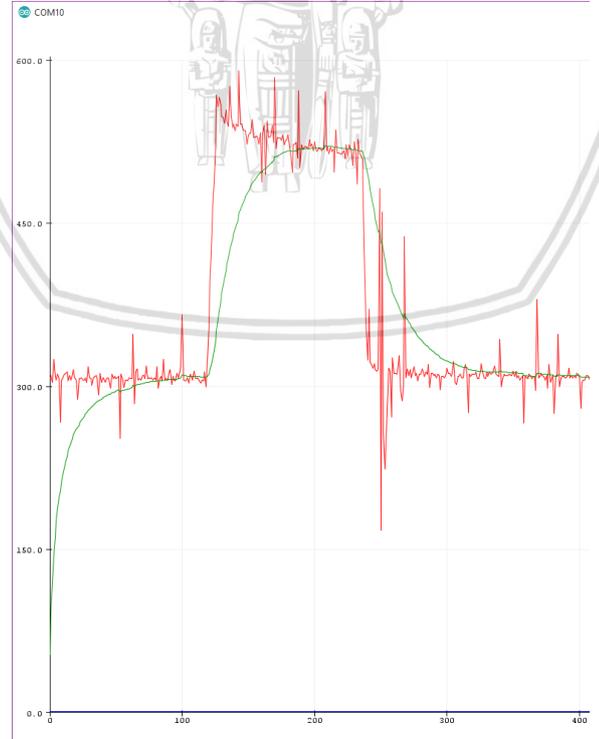


K = 0.009



Gambar 6.20 Nilai k=0.009

K = 0.01



Gambar 6.21 Nilai k=0.01



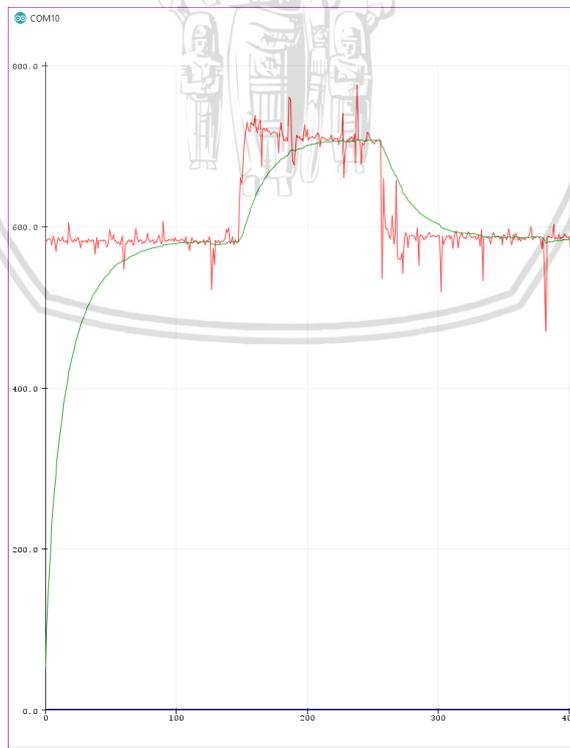
Pengujian pada sensor 2 sebagai berikut :

$K = 0.01$



Gambar 6.22 Nilai $k=0.01$

$K = 0.02$



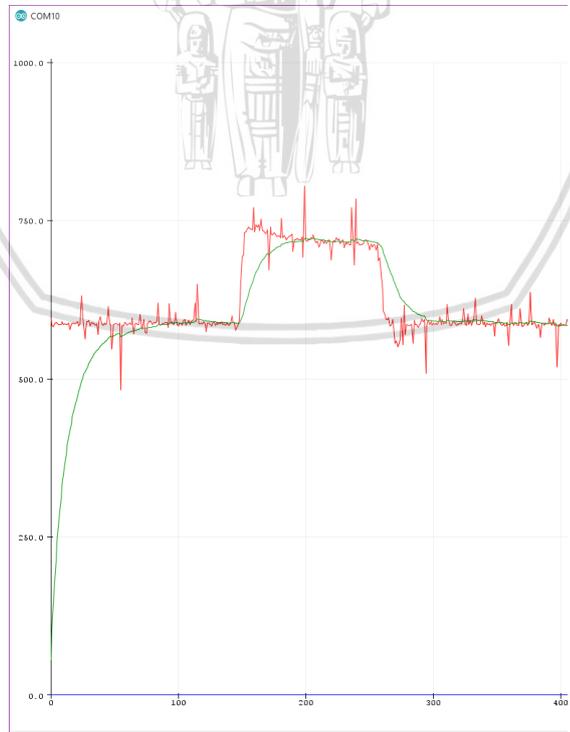
Gambar 6.23 Nilai $k=0.02$

K = 0.03



Gambar 6.24 Nilai k=0.03

K = 0.04



Gambar 6.25 Nilai k=0.04



$K = 0.05$ 

Gambar 6.26 Nilai $k=0.05$

6.3.4 Analisis Pengujian

Dari perbandingan nilai k pada masing-masing sensor dapat disimpulkan bahwa pada sensor 1 menggunakan nilai k sebesar 0.008, untuk nilai k pada sensor 2 menggunakan nilai k sebesar 0.02. Pengambilan nilai ini didasarkan pada hasil *output* yang ditunjukkan grafik sudah memenuhi batasan dari sistem yang dibutuhkan.

6.4 Pengujian Keseluruhan alat

Pengujian keempat yaitu dilakukan pengujian terhadap keseluruhan alat. *Input* dari *flex* akan diaplikasikan ke lengan robot dengan mempertimbangkan hasil *output* dari lengan robot yang didapat dari masing-masing motor servo.

6.4.1 Tujuan Pengujian

Mengetahui nilai *output* dari servo yang sudah digabungkan dengan lengan robot, sehingga pergerakan robot akan mengikuti gerakan servo.

6.4.2 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian dilakukan dalam beberapa langkah sebagai berikut :

1. Menyalakan mikrokontroler Arduino Uno, *flex* sensor, dan lengan robot yang sudah terhubung motor servo.

2. Menjalankan kode program yang sebelumnya sudah dibuat dan di upload ke mikrokontroler Arduino UNO.
3. Pemilihan nilai k dilakukan secara manual dengan menggunakan metode trial and error.
4. Nilai k ditentukan mulai dari 0.01-0.05 untuk sensor 1, dan nilai 0.006-0.01 untuk sensor 2

Langkah 1 sampai dengan 4 dilakukan sebanyak masing-masing 5 kali pada masing-masing nilai k dan masing-masing sensor.

6.4.3 Hasil Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menggunakan kombinasi yang sama. Pengujiannya sebagai berikut :

Pada Lengan Manusia *Flex 1=0, flex 2=0*



Gambar 6.27 Lengan Manusia *Flex 1=0, flex 2=0*

Pada Lengan Robot



Gambar 6.28 Tampak Depan Servo 1=0, Servo 2=0



Gambar 6.29 Tampak Atas Servo 1=0, Servo 2=0

Pada Lengan Manusia



Gambar 6.30 Lengan Manusia *Flex 1=0, flex 2=30*

Pada Lengan Robot



Gambar 6.31 Tampak Atas Servo 1=0, Servo 2=30

Pada Lengan Manusia



Gambar 6.32 Lengan Manusia $Flex\ 1=0$, $flex\ 2=60$

Pada Lengan Robot



Gambar 6.33 Tampak Atas Servo $1=0$, Servo $2=60$

Pada Lengan Manusia



Gambar 6.34 Lengan Manusia $Flex\ 1=0$, $flex\ 2=90$

Pada Lengan Robot



Gambar 6.35 Tampak Atas Servo $1=0$, Servo $2=90$

Pada Lengan Manusia



Gambar 6.36 Lengan Manusia *Flex 1=30, flex 2=0*

Pada Lengan Robot



Gambar 6.37 Tampak Depan Servo 1=30, Servo 2=0



Gambar 6.38 Tampak Atas Servo 1=30, Servo 2=0

Pada Lengan Manusia



Gambar 6.39 Lengan Manusia *Flex 1=30, flex 2=30*

Pada Lengan Robot



Gambar 6.40 Tampak Atas Servo 1=30, Servo 2=30

Pada Lengan Manusia



Gambar 6.41 Lengan Manusia *Flex 1=30, flex 2=60*

Pada Lengan Robot



Gambar 6.42 Tampak Atas Servo 1=30, Servo 2=60

Pada Lengan Manusia



Gambar 6.43 Lengan Manusia *Flex 1=30, flex 2=90*

Pada Lengan Robot



Gambar 6.44 Servo 1=30, Servo 2=90

Pada Lengan Manusia



Gambar 6.45 Lengan Manusia *Flex 1=60, flex 2=0*

Pada Lengan Robot



Gambar 6.46 Tampak Depan Servo 1=60, Servo 2=0



Gambar 6.47 Tampak Atas Servo 1=60, Servo 2=0

Pada Lengan Manusia



Gambar 6.48 Lengan Manusia *Flex 1=60, flex 2=30*

Pada Lengan Robot



Gambar 6.49 Tampak Atas Servo 1=60, Servo 2=30

Pada Lengan Manusia



Gambar 6.50 Lengan Manusia *Flex 1=60, flex 2=60*

Pada Lengan Robot



Gambar 6.51 Tampak Atas Servo 1=60, Servo 2=60

Pada Lengan Manusia



Gambar 6.52 Lengan Manusia $Flex\ 1=60$, $flex\ 2=90$

Pada Lengan Robot



Gambar 6.53 Tampak Atas Servo 1=60, Servo 2=90

Pada Lengan Manusia



Gambar 6.54 Lengan Manusia *Flex 1=90, flex 2=0*

Pada Lengan Robot



Gambar 6.55 Tampak Depan Servo 1=90, Servo 2=0



Gambar 6.56 Tampak Atas Servo 1=90, Servo 2=0

Pada Lengan Manusia



Gambar 6.57 Lengan Manusia *Flex 1=90, flex 2=30*

Pada Lengan Robot



Gambar 6.58 Tampak Atas Servo 1=90, Servo 2=30

Pada Lengan Manusia



Gambar 6.59 Lengan Manusia *Flex 1=90, flex 2=60*

Pada Lengan Robot



Gambar 6.60 Tampak Atas Servo 1=90, Servo 2=60

Pada Lengan Manusia



Gambar 6.61 Lengan Manusia *Flex 1=90, flex 2=90*

Pada Lengan Robot



Gambar 6.62 Tampak Atas Servo 1=90, Servo 2=90

Tabel 6.10 Hasil Pengujian Pergerakan

PERCOBAAN	INPUT	OUTPUT	KETERANGAN
1	<i>Flex 1=0, Flex 2=0</i>	Servo 1=0, Servo 2=0	SUKSES
2	<i>Flex 1=0, Flex 2=30</i>	Servo 1=0, Servo 2=38	SUKSES
3	<i>Flex 1=0, Flex 2=60</i>	Servo 1=0, Servo 2=66	SUKSES
4	<i>Flex 1=0, Flex 2=90</i>	Servo 1=0, Servo 2=96	SUKSES
5	<i>Flex 1=30, Flex 2=0</i>	Servo 1=38, Servo 2=0	SUKSES
6	<i>Flex 1=30, Flex 2=30</i>	Servo 1=38, Servo 2=38	SUKSES
7	<i>Flex 1=30, Flex 2=60</i>	Servo 1=38, Servo 2=66	SUKSES
8	<i>Flex 1=30, Flex 2=90</i>	Servo 1=38, Servo 2=96	SUKSES
9	<i>Flex 1=60, Flex 2=0</i>	Servo 1=74, Servo 2=0	SUKSES
10	<i>Flex 1=60, Flex 2=30</i>	Servo 1=74, Servo 2=38	SUKSES
11	<i>Flex 1=60, Flex 2=60</i>	Servo 1=74, Servo 2=66	SUKSES
12	<i>Flex 1=60, Flex 2=90</i>	Servo 1=74, Servo 2=96	SUKSES
13	<i>Flex 1=90, Flex 2=0</i>	Servo 1=115, Servo 2=0	SUKSES
14	<i>Flex 1=90, Flex 2=30</i>	Servo 1=115, Servo 2=38	SUKSES
15	<i>Flex 1=90, Flex 2=60</i>	Servo 1=115, Servo 2=66	SUKSES
16	<i>Flex 1=90, Flex 2=90</i>	Servo 1=115, Servo 2=96	SUKSES

6.4.4 Analisis Pengujian

Dari hasil *output* yang dikeluarkan oleh lengan robot dapat mengikuti nilai sensor yang sudah diberikan. *Output* dari lengan memiliki error yang sama dengan eror pada pengujian motor servo. Pengujian yang dilakukan sebanyak 4 kali untuk nilai masing-masing sudut yang sama sehingga menghasilkan 16 kombinasi pergerakan lengan robot. Dimulai dari 0°, 30°, 60°, dan 90° untuk masing-masing servo. Keterangan SUKSES didapat dari hasil pergerakan lengan robot yang emngikuti pergerakan lengan manusia dengan toleransi eror yang sebelumnya sudah diujikan dengan motor servo.

BAB 7 KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dari bab sebelumnya yaitu perancangan, implementasi, pengujian dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

7.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari tahapan perancangan, implementasi, pengujian serta analisis hasil pengujian yang telah dilakukan, penulis dapat menarik kesimpulan bahwa :

1. *Flex* sensor diletakkan pada bahu dan siku pada lengan manusia. Pergerakan setiap sudut pada lengan manusia akan menyebabkan nilai resistensi pada sensor berubah. Perubahan nilai resistensi sensor ini akan diambil dan diproses sebagai nilai *output* sensor. Terdapat 2 buah nilai dikarenakan ada 2 sensor yang bekerja yang memiliki nilai yang berbeda.
2. Data dari *flex* sensor akan dikirim dan di proses di arduino. Data berupa nilai data asli dari masing-masing sensor yang memiliki nilai yang berbeda. Data yang sudah masuk di arduino akan diproses menggunakan Kalman filter. Kalman filter digunakan untuk mengurangi *noise* yang dihasilkan oleh *output* sensor, sehingga nilai yang didapat menjadi lebih stabil dan baik. Perbedaan nilai yang berbeda dari masing-masing sensor menyebabkan nilai dari beberapa variable juga berbeda. Untuk sensor 1 menggunakan nilai k sebesar 0.008 dan mempunyai nilai standar deviasi sebesar 10.01. sedangkan pada sensor 2 memiliki nilai k sebesar 0.04 dan memiliki nilai standar deviasi 4.82.
3. Tingkat akurasi lengan robot didasarkan pada nilai dari akurasi motor servo. Motor servo 1 memiliki persimpangan derajat pergerakan sebesar 0-25 derajat dengan persentase 0% - 27.78% dari derajat yang diinginkan. Sedangkan untuk motor servo 2 memiliki persimpangan derajat pergerakan yang diinginkan sebesar 0-9 derajat dengan persentase 0% - 30.00%.
4. Lengan robot dapat mengikuti nilai sensor yang sudah diberikan. *Output* dari lengan memiliki error yang sama dengan eror pada pengujian motor servo. Pengujian yang dilakukan sebanyak 4 kali untuk nilai masing-masing sudut yang sama sehingga menghasilkan 16 kombinasi pergerakan lengan robot. Tingkat keberhasilan dari kesesuaian antara *output* dari sensor dengan pergerakan dari lengan robot sebesar 100%.

7.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah didapatkan, terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya sebagai langkah pengembangan sistem ini, yaitu :

1. Disarankan untuk menggunakan sensor yang sebelumnya telah dicoba, hal ini dikarenakan *noise* pada tiap sensor berbeda.

2. Disarankan membuat desain body robot yang lebih baik dan menerapkan metode inverse kinematic pada pergerakan robot agar dapat bergerak dengan lebih baik dan seimbang.
3. Disarankan untuk menggunakan metode kendali kontrol yang akan membuat pergerakan dari lengan robot lebih baik.



DAFTAR PUSTAKA

- Ardityawan, A. (2014). Sistem Pengendalian Nirkabel Robot Lengan Sebagai Liquid Handling Zat Kimia Berbahaya. 1-4.
- Arduino. (2017). *Arduino Uno Rev3*. Diambil kembali dari Arduino: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>
- Arnoldo Mondadori Editore S.p.A. (2011). *Kalman filter vs Complementary filter*. Dipetik 06 06, 2018, dari <http://robottini.altervista.org/kalman-filter-vs-complementary-filter>
- Definisi Robot dan Jenis-jenis Robot*. (2012, June 28). Diambil kembali dari Muh. Nabil Blog: <https://muhnabil.wordpress.com/2012/06/28/definisi-robot-dan-jenis-jenis-robot/>
- iLearningMedia. (2015). *Pengertian Arduino UNO*. Dipetik 11 2017, dari <http://ilearning.me/sample-page-162/arduino/pengertian-arduino-uno/>
- ISAHI, D. S. (2011). *Biologi Media Centre*. Dipetik 07 02, 2018, dari <http://biologimediacentre.com/sistem-gerak-pada-manusia-2-otot/>
- Lab, I. (2014, December 1). *Pengenalan Mikrokontroler*. Diambil kembali dari Immersa Lab: <http://www.immersa-lab.com/pengenalan-mikrokontroler.htm>
- Muslimin, S., Wijanarko, Y., & Subagio, D. (2014). Penerapan Flex-Sensor Pada Lengan Robot Berjari Pengikot Gerakan Lengan Manusia Berbasis Mikrokontroler. *TECHNOLOGIC*, 7-20.
- Rafiuddin Syam, S. M. (2015). *Kinematika dan Dinamika Robot Lengan*. Makasar: Universitas Hasanuddin .
- Ridwan. (1995). Diktat Keselamatan Kerja dan Pencegahan Kecelakaan. 26.
- Rudiyanto, B. I. (2006). Algoritma Filter Kalman Untuk Menghaluskan Data Pengukuran. Dalam B. I. Rudiyanto, *Algoritma Filter Kalman Untuk Menghaluskan Data Pengukuran* (hal. 287-292). Bogor: Research Methodology.
- Santoso, D., & Gitomarsono, I. (2010). Lengan Robot untuk Memindahkan Obyek Berbahaya. *Digital Information & System Conference*, 40-44.
- Spectrasymbol. (2017). *Flex Sensor*. Diambil kembali dari Spectra Symbol: <http://www.spectrasymbol.com/product/flex-sensors/>
- Usability Body of Knowledge*. (2012). Dipetik 2 6, 2018, dari <http://www.usabilitybok.org/glossary/19#term428>
- Yang, V. (t.thn.). <https://www.pinterest.co.uk/pin/323274079493945072/?autologin=true>.
- Zona Elektro. (2013). *Motor Servo*. Diambil kembali dari Zona Elektro: <http://zoniaelektro.net/motor-servo/>