PERANCANGAN DAN KONTROL KAKI PADA ROBOT PEMANJAT DINDING

LEG DESIGN AND CONTROL ON WALL CLIMBING ROBOT

[1]Muhammad Fadel Nugraha, [2]Mohamad Ramdhani, [3]Ramdhan Nugraha
[1,2,3] Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
[1] **mfadelnugraha@student.telkomuniversity.ac.id,**
[2]**mohamadramdhani@telkomuniversity.ac.id**, [3]**ramdhan@telkomuniversity.ac.id**

Abstrak

Robot pemanjat dinding merupakan robot yang dapat berjalan pada medan vertikal. Robot ini terinspirasi oleh hewan cicak yang dapat menempel pada dinding. Robot ini dapat mempermudah pekerjaan manusia dalam bidang ketinggiancontohnya seperti pada pembersihan kaca luar gedung dan pembersihan pada bidang industri lainnya. Namun robot pemanjat dinding mempunyai salah satu kekurangan yaitu robot harus inisialisasi terlebih dahulu pada medan vertikal. Oleh sebab itu, dibutuhkan suatu sistem yang dapat mengontrol robot mulai dari posisi horizotal ke posisi vertikal secara otomatis.

Pada dasarnya, robot pemanjat dinding dapat menggunakan kaki maupun roda. Untuk robot pemanjat dinding yang menggunakan roda maka akan lebih cepat mencapai ketinggian tertentu, sedangkan yang menggunakan kaki akan lebih kokoh dan kuat saat menempel. Dalam perkembangannya, robot pemanjat dinding sudah sangat berkembang pesat.Ada beberapa metode yang dapat digunakan dalam perancangan robot diantaranya metode *Vacuum Suction, Magnetic Devices For Climbing Ferrous Surface, Attraction Force Based On Aerodynamic Principles,* dan *Dry Adhesives*. Tujuan dari beberapa metode tersebut adalah mencari sistem yang paling efektif untuk mengangkat beban sampai ketinggian yang tidak terbatas.

Pada tugas akhir ini, telah dirancang sebuah robot yang dapat bergerak dari medan horizontal ke medan vertikal secara bergantian. Keakuratan untuk setiap motor yang digunakan adalah motor servo A = 71.33%, motor servo B = 68.66% , dan motor servo C = 69.33%. Waktu yang dibutuhkan untuk satu langkah pergerakan robot secara horizontal adalah 31.636s. waktu yang dibutuhkan untuk bergerak 90º adalah 15.82s. Sedangkan untuk saru langkah pada medan vertikal selama 47.45s.

Kata Kunci: *Vacuum Suction,* Robot Pemanjat Dinding, *Motor servo*.

Abstract

Wall climbing robot is a robot that can run on vertical terrain. This robot is inspired by animals such as a lizard that can stick into the wall. This robot can help human work when it requires height, for example in cleaning windows outside the building, and cleaning in other industrial fields. However, the wall climbing robot has one of the disadvantages that the robot must initialize in a vertical field first before going upward. Therefore, we need a system that can control the robot starting from the horizontal position to the vertical position automatically.

Basically, wall climbing robots can use legs or wheels. For wall climbing robots that use wheels, it will reach a certain height faster, while those who use the legs will be sturdier and stronger when attached. In its development, the wall climbing robot has been very advanced. There are several methods that can be used for designing this robot. The methods are Vacuum suction methods, Magnetic Devices for Climbing Ferrous Surfaces, Attraction Force Based on Aerodynamic Principles, and Dry Adhesives. The purpose of these methods is to find the most effective system to lift weights to unlimited heights.

In this final project, the robot is designed so it can be move from the horizontal field to the vertical field step by step. The accuracy for each motor servo used are servo motor A = 71.33%, servo motor B = 68.66%, and servo motor C = 69.33%. The time needed for one step of the horizontal robot movement is 31,636s. The time needed for 90º step movement is 15.82s. While for the vertical field for 47.45s.

Keywords: Vacuum suction, Wall Climbing Robot, Servo Motor

1. Pendahuluan

Pada era modern ini dibutuhkan alat yang dapat membantu tugas manusia, salah satu alat yang banyak dikembangkan pada era modern saat ini adalah robot. Robot merupakan sekumpulan alat mekanik yang telah dirancang agar bisa meniru cara kerja makhluk hidup. Komponen-komponen pada robot juga digunakan untuk meniru fungsi dari organ-organ pada makhluk hidup. Contohnya otak pada manusia dan hewan yang berfungsi untuk mengendalikan tubuh, pada robot alat untuk mengendalikan tubuh adalah Microcontroller. Pada manusia dan hewan terdapat organ yang disebut indera, pada robot komponen ini disebut sensor.

Menurut Badan Penyelenggara Jaminan Sosial (BPJS) Ketenagakerjaan angka kecelakaan kerja di Indonesia pada tahun 2017 meningkat sebanyak 20% yaitu sebanyak 123ribu kasus jika dibandingkan dengan tahun 2016.

Menurut Kepala Seksi Pengawasan Norma Ergonomi dan Lingkungan Kerja Kementerian Ketenagakerjaan Muhammad Fertiaz, angka kecelakaan yang paling banyak terjadi adalah jatuh dari ketinggian. Untuk mengurangi angka kecelakaan kerja tersebut dibutuhkan suatu alat yang dapat bekerja seperti laiknya manusia, salah satunya adalah robot. Robot dapat bekerja di bidang apapun, contohnya robot pemanjat dinding yang dapat membantu pekerjaan manusia yang berhubungan dengan ketinggian.

Robot pemanjat dinding adalah robot yang terinspirasi dari kemampuan seekor hewan cicak yang dapat bergerak di dinding tanpa terjatuh. Robot ini menggunakan komponen motor servo yang berfungsi sebagai engsel pada kaki yang di kontrol oleh microcontroller Arduino. Robot ini juga menggunakan vacuum pump pada bagian kaki-kakinya yang terhubung dengan suction cup. Vacuum pump ini bekerja menggunakan prinsip pengaturan tekanan udara, dengan cara menghirup dan melepaskan udara.

Robot pemanjat dinding ini diharapkan dapat mempermudah pekerjaan manusia dan menurunkan angka kecelakaan kerja yang berhubungan dengan ketinggian. Seperti pada pembersihan kaca diluar gedung atau untuk kebutuhan industri lainnya.

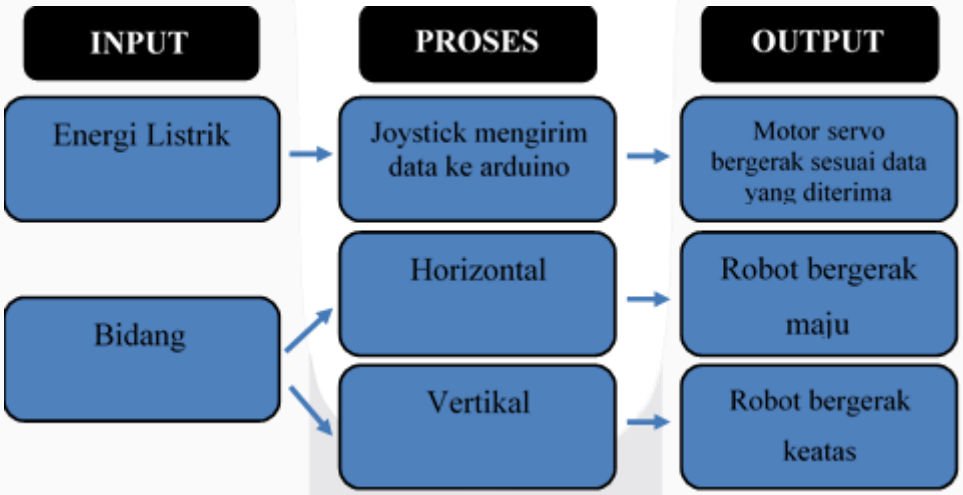
2 Dasar Teori

2.1 Robot Pemanjat Dinding

Robot pemanjat dinding adalah robot yang dapat berjalan di bidang horizontal dan bidang vertikal. Robot ini dikembangkan untuk menggantikan pekerjaan manusia pada bidang ketinggian yang beresiko sangat tinggi [3]. Mekanisme yang paling banyak digunakan pada pengembangan robot ini adalah mekanisme *Vacuum Suction* [2]. Mekanisme ini menggunakan prinsip tekanan udara vakum pada setiap kakinya.

Robot ini mempunyai dua buah kaki sebagai alat untuk berpindah tempat. Robot pemanjat dinding dengan menggunakan kaki adalah robot yang paling sering digunakan dibandingkan dengan robot pemanjat dinding yang menggunakan roda, karena cara penggunaan yang lebih sederhana [4]. Pada robot pemanjat dinding berkaki digunakan suction cup sebagai alat yang dapat menempel pada permukaan. Untuk bergerak robot pemanjat dinding menggunakan tiga buah motor servo yang berfungsi sebagai engsel pada setiap kakinya. Untuk mengatur semua kendali pada robot digunakan *microcontroller* yang berfungsi sebagai otak dari robot pemanjat dinding.

2.2 Abstraksi Konsep Solusi



Gambar 2-1 Diagram blok konsep solusi

2.3 Mekanisme *Vacuum Suction*

Dalam pengembangan robot pemanjat dinding ada banyak mekanisme yang bisa digunakan untuk membuat robot yang dapat menempel pada bidang vertikal. Mekanisme yang paling sering digunakan adalah mekanisme *Vacuum Suction*. Mekanisme *Vacuum Suction* adalah mekanisme yang memanfaatkan tekanan vakum agar robot dapat menempel pada dinding [1]. Tekanan vakum didapat dengan menggunakan *suction cup* pada setiap kaki robot.

Dalam penggunaan *suction cup* ada dua cara, yaitu *passive suction* dan *active suction* [4]. *Passive suction* adalah cara menggunakan *suction cup* dengan memberi tekanan manual pada *suction cup*. *Active suction* adalah cara menggunakan *suction cup* dengan menggunakan *external vacuum pump*. Udara yang ada di dalam *suction cup* disedot keluar oleh *vacuum pump*, yang menyebabkan *suction cup* dapat menempel pada dinding. Gaya yang didapat dari suction cup inilah yang dapat menahan beban robot agar tidak jatuh. Semakin luas permukaan *suction cup* yang digunakan pada setiap kaki, maka semakin kuat pula gaya yang dihasilkan [2].

2.4 Mikrokontroler

Mikrokontroller adalah alat yang berfungsi sebagai pengontrol dari suatu rangkaian elektronik. Pada umumnya mikrokontroler juga dapat menyimpan program didalamnya. Mikrokontroler terdiri dari beberapa bagian salah satunya adalah CPU (*Central Processing Unit*). CPU adalah bagian dari mikrokontroler yang berfungsi untuk memproses semua data yang masuk ke dalam mikrokontroler. Kemudian ada bagian yang disebut I/O atau *input output*. Setiap mikrokontroler mempunyai beragam I/O sesuai dengan tipenya. Kemudian di dalam mikrokontroler juga terdapat memori yang disebut RAM (*Random Access Memory*). RAM ini adalah memori yang dapat disimpan dan diubah secara bebas dan fleksibel. Pada robot pemanjat dinding, mikrokontroler digunakan untuk memproses semua *input* dan *output* dari robot. Kelebihan dari mikrokontroler ini adalah semua komponennya sudah terintegrasi.

2.5 Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan sebuah *software open source* yang dapat digunakan untuk menulis program dan mengubahnya menjadi kode biner. Kode-kode ini selanjutnya akan di upload ke microkontroler yang digunakan.

2.6 Motor Servo

Motor servo adalah sebuah aktuator putar (motor) yang dirancang dengan sistem kontrol umpan balik *loop* tertutup (servo), sehingga dapat di atur untuk menentukan dan memastikan posisi sudut dari poros *output* motor. Motor servo adalah perangkat yang terdiri dari motor DC, rangkaian *gear*, dan *potensiometer*. Rangkaian gear yang melekat pada poros motor DC akan memperlambat putaran poros dan meningkatkan torsi motor servo, sedangkan *potensiometer* berfungsi sebagai penentu batas posisi putaran poros motor servo. Prinsip kerja motor servo adalah dengan memberi masukan sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM) atau sinyal modulasi lebar pulsa. Besar kecilnya pulsa yang diberikan akan berpengaruh pada besar jarak putaran pada motor servo. Contohnya jika kita memberikan pulse selama 1,5ms maka motor akan berputar sebesar 90^{o}. Begitu pula jika kita memberikan pulse selama 2 ms, maka motor akan berputar sebesar 180^{o}.Pada robot pemanjat dinding motor servo digunakan sebagai engsel pada setiap kakinya.

2.7 *Pulse-Width Modulation* (PWM)

Pulse-Width Modulation (PWM) adalah cara yang digunakan untuk mengubah lebar sinyal pulsa.Secara umum sinyal PWM memiliki amplitudo dan frekuensi yang tetap, tetapi lebar pulsa yang beragam. Lebar pulsa ini disebut juga *duty cycle. Duty cycle* adalah lebar pulsa aktif dalam satu perioda.

2.8 Vacuum Pump

Vacuum pump adalah sebuah alat yang berfungsi untuk mengeluarkan molekul – molekul gas dari sebuah ruangan yang tertutup. Untuk membuat suatu ruangan yang tertutup, maka harus dibuat suatu ruangan dengan menggunakan sistem sealing agar tidak ada gas yang masuk ke dalam ruangan tersebut. Untuk prinsip kerjanya digunakan prinsip *positive displacement pump*. Prinsip ini bekerja dengan cara mengekspansi volume ruangan, sehingga terjadi penurunan tekanan vakum parsial. Setelah ruangan di ekspansi udara yang ada di dalam di buang oleh *vacuum pump* . Jika cara ini dilakukan secara berkali – kali maka akan tercipta tekanan vakum pada ruangan tersebut. *Vacuum pump* pada robot pemanjat dinding dihubungkan dengan *suction cup* melalui selang pelastik. Alat ini sangat penting, karena alat ini yang membuat *suction cup* bisa menempel dan melepas pada dinding.

2.9 Suction Cup

Suction cup adalah benda yang elastis dan fleksibel, yang mampu membuat suatu ruangan yang vakum [4]. Saat bagian tengah dari suction cup menempel pada bagian dinding *vacuum pump* yang terhubung melalui selang pelastik menghisap udara yang ada di dalam ruangan *suction cup*. Karena udara di dalam *suction cup* hanya sedikit, maka tekanan di dalam *suction cup* juga semakin sedikit. Perbedaan tekanan antara ruang di dalam *suction cup* dan tekanan di luar *suction* ini yang membuat *suction cup* tetap menempel pada dinding. *Suction cup pada robot pemanjat dinding adalah bagian yang paling penting, karena suction* cup berfungsi sebagai kaki yang menempel pada bagian dinding.

2.10 Modul PCA9685

Modul PCA9685 adalah sebuah modul eksternal yang dapat digunakan sebagai tambahan pin PWM untuk Arduino. Modul PCA9685 mengambil input dari 2 pin analog Arduino dan dapat menambah pin PWM hingga 16 pin. Modul PCA9685 menggunakan komunikasi i2c bus dengan Arduino sehingga membutuhkan alamat agar bias di akses. Alamat *default* untuk mengakses modul PCA9685 adalah 0×40. Kelebihan dari modul ini adalah memiliki

sumber catu daya yang terpisah antara modul dan motor servo, jadi tidak perlu takut terjadinya overheating pada modul dan kontroler.

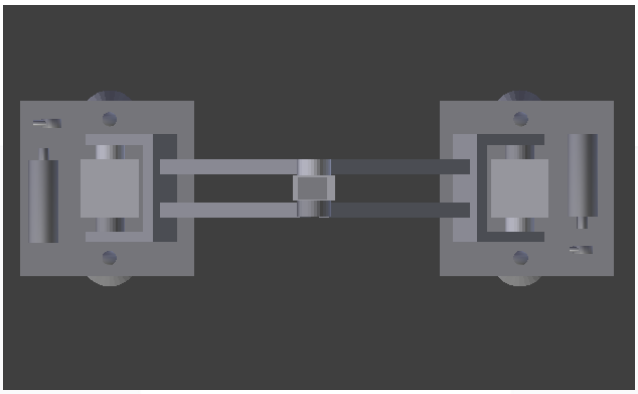
2.11 *Joystick*

Joystick adalah komponen yang berfungsi sebagai masukan dalam sebuah robot. Joystick terdiri dari dua buah trimmer dan sebuah switch. Trimmer merupakan alat yang berfungsi sama seperti potensiometer, yaitu sebagai kontrol variabel resistor yang digerakan secara mekanis. Kedua trimmer ini digunakan untuk mengkontrol gerakan vertikal dan horizontal. Sementara switch digunakan saat joystick ditekan. Pada pin analog arduino nilai yang dapat dikeluarkan antara 0 sampai dengan 1023. Pada keadaan normal atau di tengah maka joystick akan bernilai X=512 dan Y=512. Jika joystick mengarah ke sumbu X positif maka nilai yang dikeluarkan akan bernilai X=1023 dan Y=512, dan begitu seterusnya dengan sumbu sumbu yang lain.

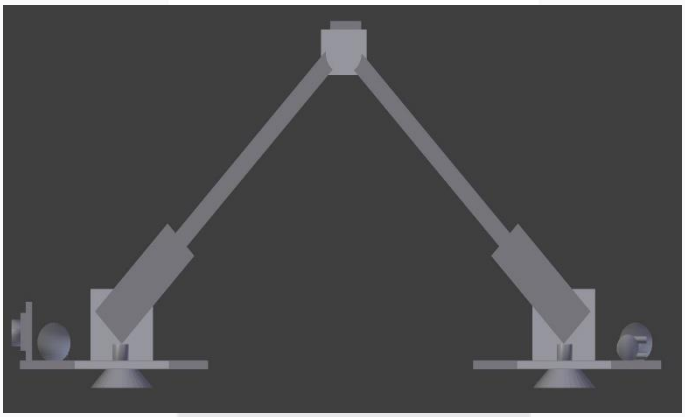
3 Perancangan Sistem

3.1 Perancangan Umum Sistem

Dalam perancangan sistem robot ini mikrokontroler akan mengendalikan sudut dari motor servo. Mikrokontroler akan menyesuaikan sudut motor servo dengan masukan dari joystick. Robot ini dapat bergerak di posisi horizontal dan vertikal.



Gambar 3-1 Desain robot (tampak atas)



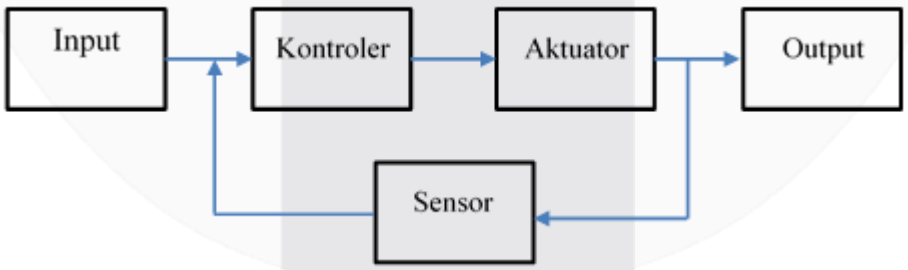
Gambar 3-2 Desain robot (tampak samping)

3.2 Fungsi dan Fitur

Gambar 3-3 Model Kinematika Pergerakan Robot Pemanjat Dinding

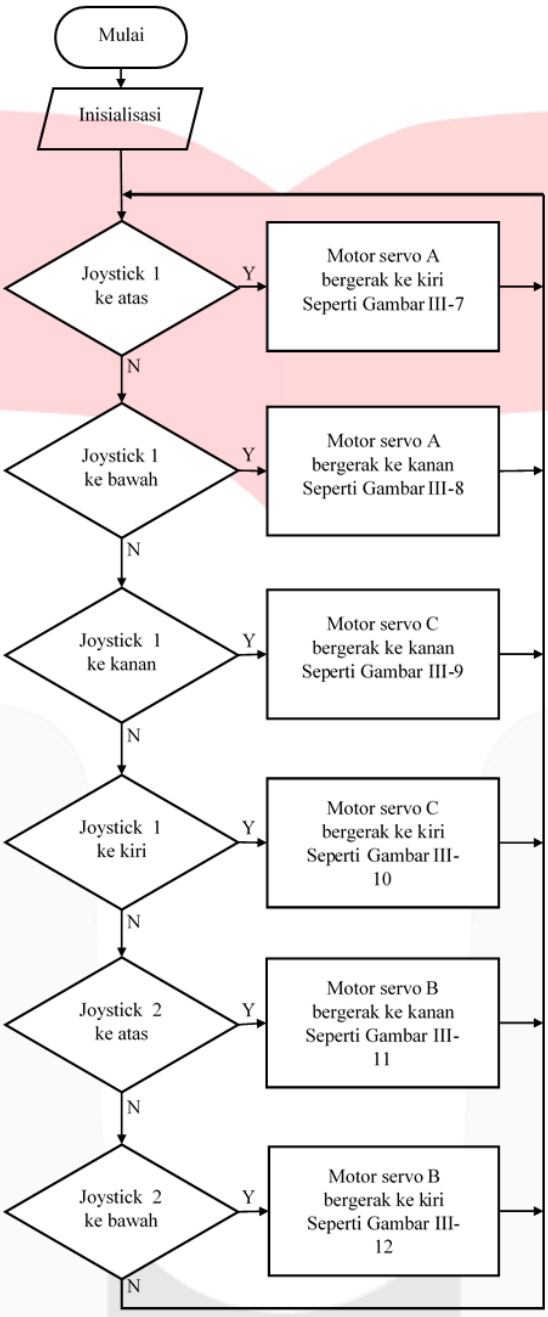
Pergerakan dari robot pemanjat dinding ini mengadopsi pergerakan dari ulat, yaitu dengan cara bergerak melebar dan menyempitkan sudut pada setiap motor servo. Pergerakan ini menghasilkan jarak yang paling efektif, karena memanfaatkan seluruh panjang robot. Robot berjalan seperti skema pada Gambar III-6, kaki C akan menempel terlebih dahulu, saat kaki C sudah menempel dengan sempurna maka kaki A akan maju dan menempel jika masukan sudah sesuai dengan sudut yang diinginkan. Pada saat robot mendeteksi medan dinding, maka robot akan bergerak berbalik 90º. Kaki A akan bergerak menempel pada dinding terlebih dahulu, setelah kaki A menempel secara sempurna maka motor servo pada kaki A akan mengangkat robot ke atas agar kaki C bisa menempel. Jika kaki C sudah menempel dengan sempurna maka pergerakan selanjutnya sama dengan pergerakan pada medan horizontal, yaitu pergerakan seperti ulat.

3.3 Diagram Blok



Gambar 3-4 Diagram blok perancangan robot pemanjat dinding

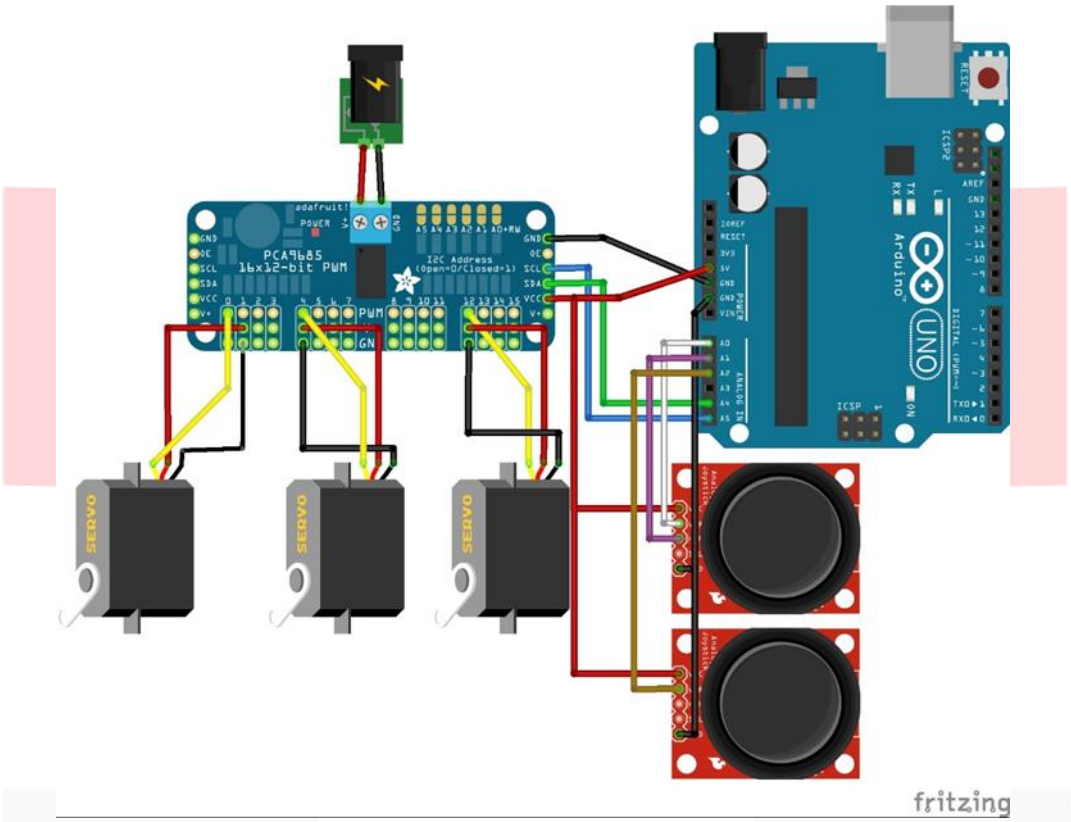
3.3 Diagram Alir Perancangan Sistem



Gambar 3-5 Diagram alir perancangan robot pemanjat dinding

3.4 Perancangan Perangkat Keras

Pada tugas akhir ini akan dibuat perangkat keras berupa robot yang mempunyai dua buah kaki . Pada setiap kaki terdapat telapak kaki yang berbentuk bulat dan dapat menempel pada dinding kaca. Robot ini menggunakan motor servo RDS3115 karena torsi yang dimiliki cukup untuk menggerakan robot. Bagian dari badan robot ini terbuat dari gabungan antara bahan akrilik dan logam.

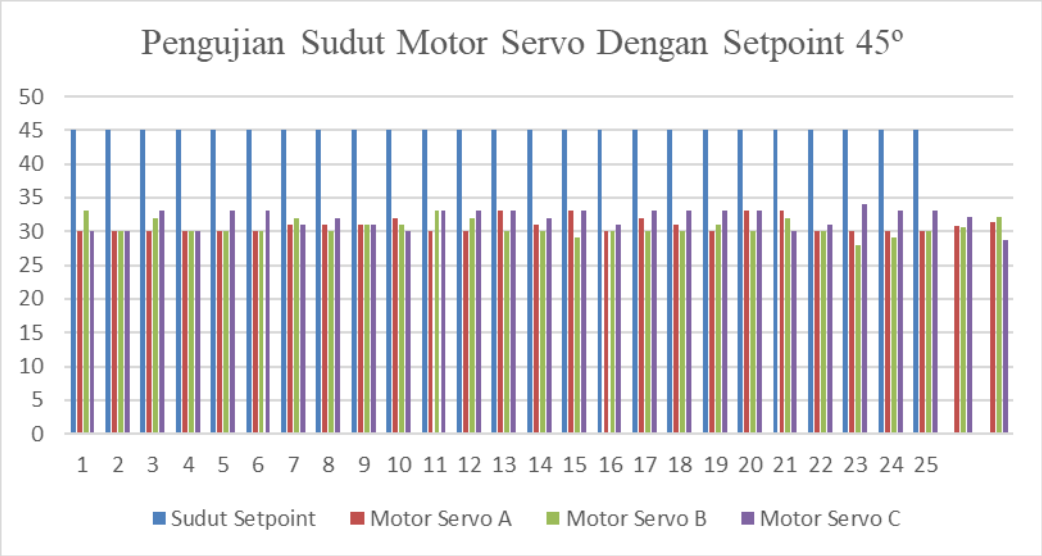


Gambar 3-6 Skema perancangan perangkat keras

4 Pengujian dan Analisis Data

4.1 Pengujian Sudut Motor Servo

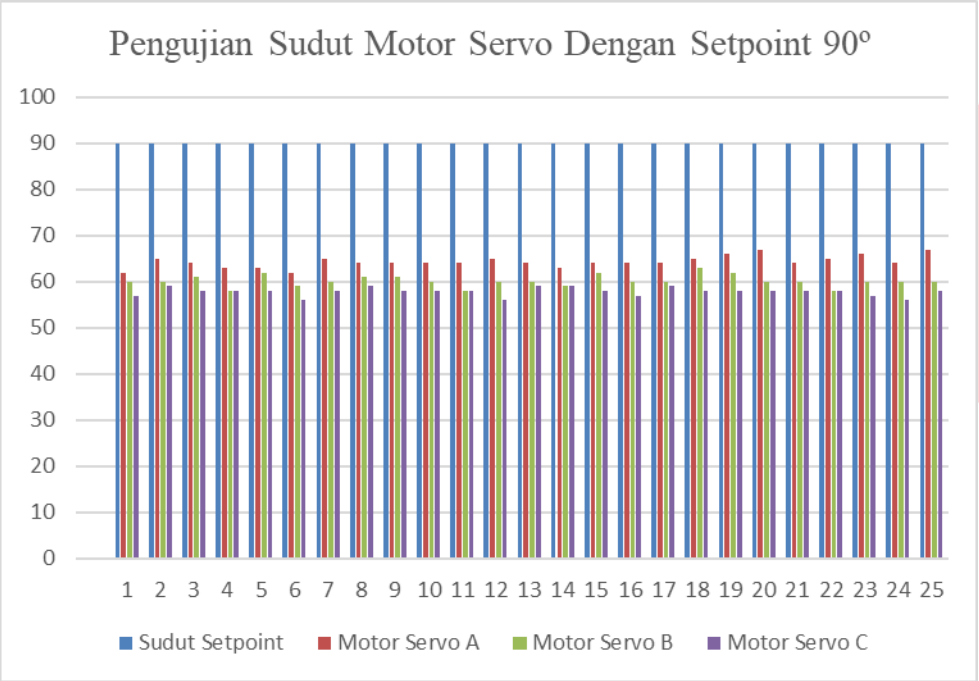
Pengujian sudut motor servo digunakan untuk mengetahui sudut-sudut pergerakan pada masing-masing motor servo. Pengujian ini sangat penting untuk menguji keakuratan tiap motor servo. Karena walaupun jenis motor servo yang digunakan sama belum tentu menghasilkan keluaran yang sama. Dalam pengujian ini akan dihitung nilai presentase error (%) yang dimiliki masing-masing motor.



Gambar 4-1 Diagram hasil pengujian sudut motor servo dengan setpoint 45 º

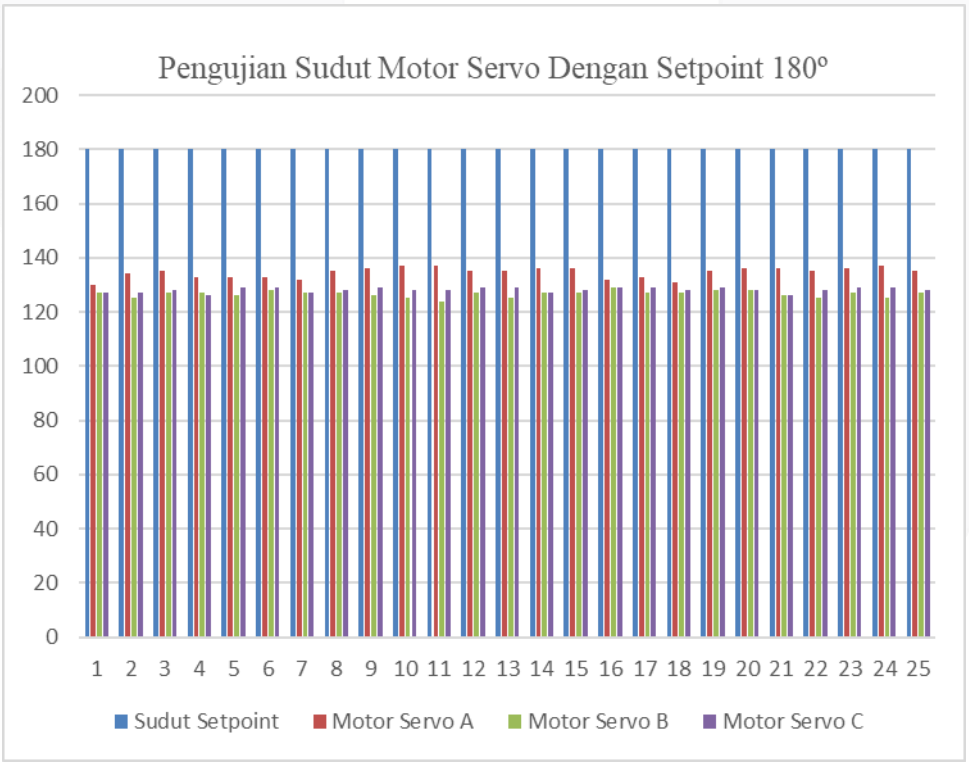
Dari hasil pengujian sudut motor servo dengan setpoint 45º diatas dapat diambil kesimpulan bahwa motor servo A membutuhkan input sudut antara 30º - 33º untuk menuju sudut setpoint yaitu sudut 45º.

Sedangkan motor servo B membutuhkan input sudut antara 28º - 33º untuk menuju sudut setpoint 45º. Motor servo C membutuhkan input sudut antara 30º - 34ºuntuk menuju sudut 45º.



Gambar 4-2 Diagram hasil pengujian sudut motor servo dengan setpoint 90 º

Dari hasil pengujian sudut motor servo dengan set point 90º diatas dapat diambil kesimpulan bahwa motor servo A membutuhkan input sudut antara 62º - 67º untuk menuju sudut setpoint yaitu sudut 90º. Sedangkan motor servo B membutuhkan input sudut antara 58º - 63º untuk menuju sudut setpoint 90º. Motor servo C membutuhkan input sudut antara 56º - 59ºuntuk menuju sudut 90º.



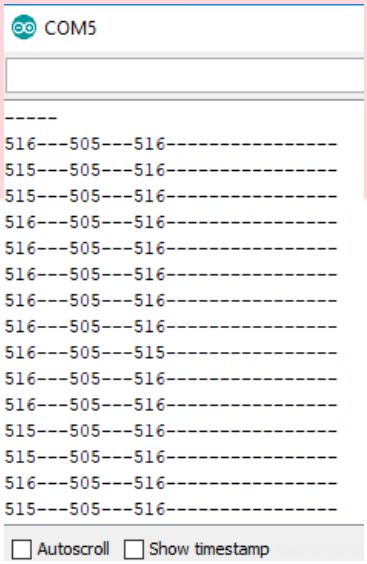
Gambar 4-3 Diagram hasil pengujian sudut motor servo dengan setpoint 180 º

Dari hasil pengujian sudut motor servo dengan set point 180º diatas dapat diambil kesimpulan bahwa motor servo A membutuhkan input sudut antara 131º - 137º untuk menuju sudut setpoint yaitu sudut 90º.

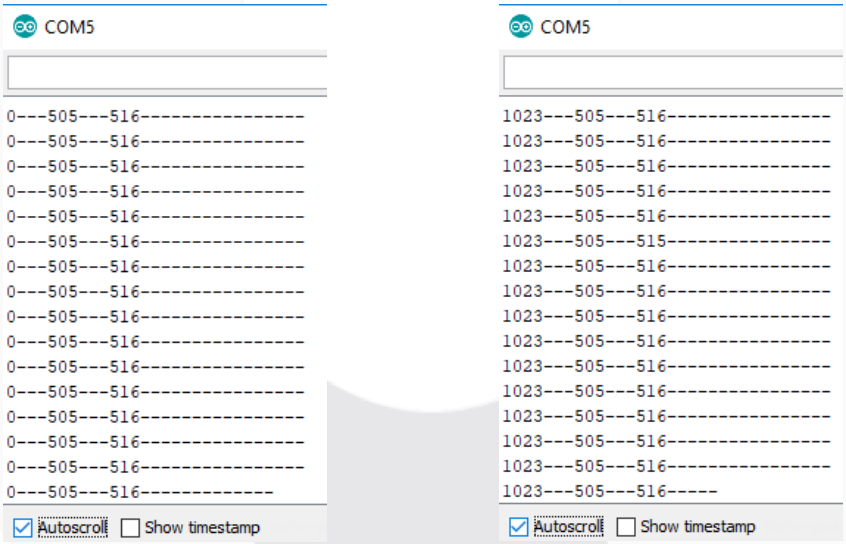
Sedangkan motor servo B membutuhkan input sudut antara 125º - 128º untuk menuju sudut setpoint 90º. Motor servo C membutuhkan input sudut antara 126º - 129ºuntuk menuju sudut 90º.

4.2 Kalibrasi Joystick

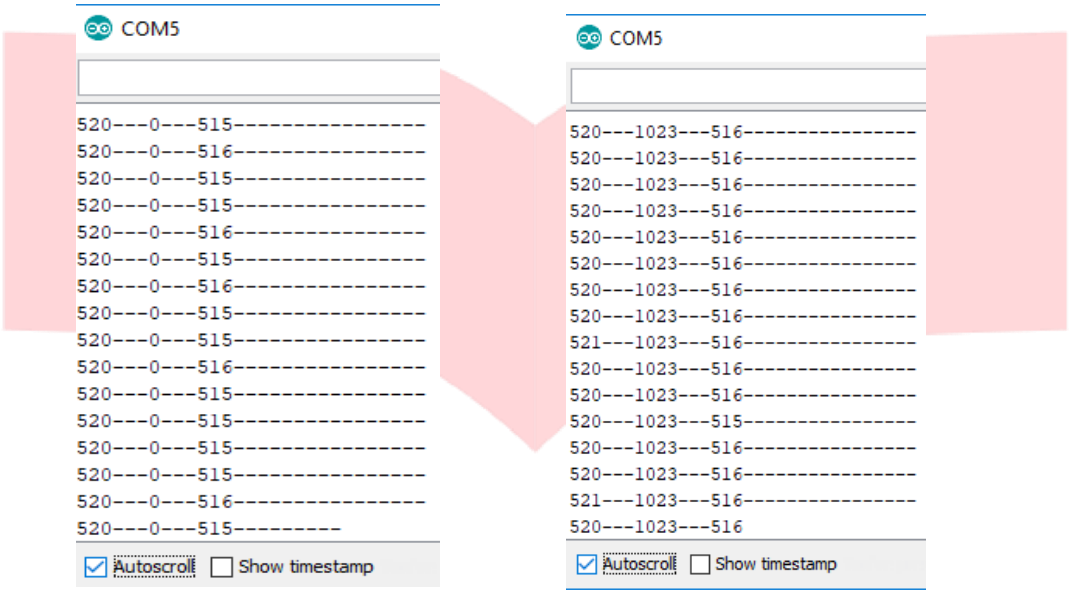
Pengujian joystick dilakukan untuk menentukan batas-batas yang bisa digunakan untuk pergerakan sudut motor servo. Nilai pada setiap trimmer di dalam joystick adalah 10kΩ. Rentang nilai yang dapat dikeluarkan oleh pin analog adalah 0 – 1023. Untuk melihat nilai masukan dari joystick digunakan serial monitor yang ada di dalam Arduino.



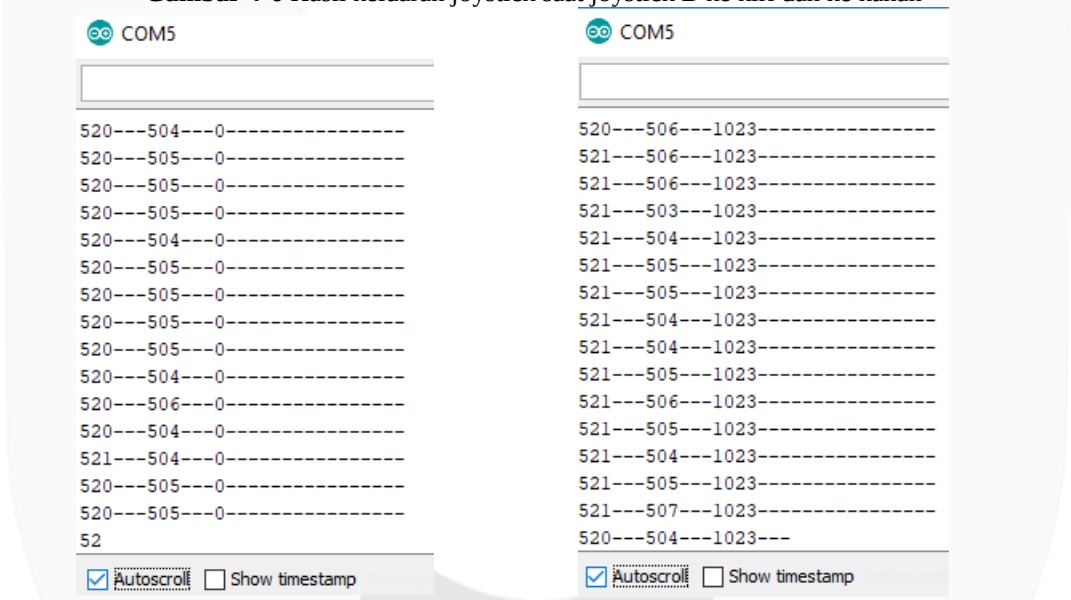
Gambar 4-4 Hasil keluaran joystick saat semua joystick berada di tengah



Gambar 4-5 Hasil keluaran joystick saat joystick A ke kiri dan ke kanan



Gambar 4-6 Hasil keluaran joystick saat joystick B ke kiri dan ke kanan



Gambar 4-6 Hasil keluaran joystick saat joystick B ke kiri dan ke kanan

4.3 Pengujian Waktu Tempuh Pergerakan Robot

Tabel 4-1 Pergerakan Setiap Motor Servo Pada Medan

Data ke	Robot bergerak menyempit				Robot bergerak melebar				Total (s)
	Motor Servo A	Motor Servo B	Motor Servo C	Suction Cup	Motor Servo A	Motor Servo B	Motor Servo C	Suction Cup	
1	4.86	5.34	8.41	2.87	2.46	2.56	2.48	2.64	31.62
2	5.3	5.1	7.6	2.09	2.06	2.53	2.59	2.7	29.97
3	5.62	5.3	8.06	2.54	2.35	2.81	2.64	2.12	31.44
4	6.41	4.69	7.88	2.06	2.46	2.56	2.44	2.84	31.34
5	5.13	5.66	8.55	2.8	3.45	2.54	2.46	2.44	33.03
6	5.89	5.48	7.91	2.69	2.68	2.44	2.66	2.79	32.54
7	6.12	5.23	8.31	2.41	2.45	2.41	2.48	2.05	31.46
8	5.89	6.45	8.55	2.33	2.01	2.13	2.33	2.69	32.38
9	5.66	5.12	7.36	2.94	2.96	2.74	2.47	2.44	31.69
10	5.46	4.97	7.51	2.64	2.48	2.97	2.68	2.18	30.89
Rata Rata	5.634	5.334	8.014	2.537	2.536	2.569	2.523	2.489	31.636

Pada pergerakan robot menyempit motor servo A membutuhkan waktu sekitar 5.634s untuk bergerak. Kemudian dilanjutkan dan pergerakan motor servo B sekitar 5.334s. Setelah itu baru pergerakan dari motor servo C selama kira-kira 8.014s. Pada pergerakan robot melebar waktu yang dibutuhkan untuk masing masing servo sekitar 2.5s. Waktu yang dibutuhkan relatif sama karena pergerakan robot pada saat melebar dilakukan secara serentak dengan mengaktifkan switch. Jadi untuk setiap satu langkah pergerakan robot pemanjat dinding dibutuhkan waktu rata-rata selama 31.636s.

Tabel 4-2 Waktu Pergerakan Pada Medan Horizontal untuk 2 dan 3 Langkah

Data-ke	Waktu (s)	
	Pergerakan 2 Langkah	Pergerakan 3 Langkah
1	62.1	93.68
2	63.11	89.08
3	58.1	93.42
4	60.45	92.24
5	60.23	92.26
6	65.9	98.44
7	60.84	95.3
8	65.32	97.7
9	60.77	92.38
10	59.67	90.52
Rata Rata	61.649	93.502

Pada pergerakan di medan horizontal untuk 2 langkah waktu yang dibutuhkan adalah sekitar 61.645s, sementara rata -rata waktu yang dibutuhkan untuk pergerakan 3 langkah adalah 93.502s.

Tabel **4-3** Pergerakan Setiap Motor Servo Pada Saat Berputar 90º

Data-ke	Robot bergerak keatas				Total (s)
	Motor Servo A	Motor Servo B	Motor Servo C	Suction Cup	
1	3.66	3.95	5.45	2.76	15.81
2	3.68	3.82	5.10	2.40	14.99
3	3.99	4.06	5.35	2.33	15.72
4	4.44	3.63	5.16	2.45	15.67
5	4.29	4.10	5.51	2.62	16.52
6	4.29	3.96	5.29	2.74	16.27
7	4.29	3.82	5.40	2.23	15.73
8	3.95	4.29	5.44	2.51	16.19
9	4.31	3.93	4.92	2.69	15.85
10	3.97	3.97	5.10	2.41	15.45
Rata Rata	4.09	3.95	5.27	2.51	15.82

Pada pergerakan robot berputar 90º motor servo A membutuhkan waktu sekitar 4.09s untuk bergerak. kemudian dilanjutkan dengan pergerakan motor servo B yang membutuhkan waktu sekitar 3.95s. Setelah itu baru pergerakan dari motor servo C selama 5.27s. Setelah semua motor bergerak maka suction cup akan aktif dan membutuhkan waktu sekitar 2.51s untuk menempel secara sempurna.

Tabel 4-4 Pergerakan Setiap Motor Servo pada Medan

Data-ke	Robot bergerak menyempit				Robot bergerak melebar				Total (s)
	Motor Servo A	Motor Servo B	Motor Servo C	Suction Cup	Motor Servo A	Motor Servo B	Motor Servo C	Suction Cup	
1	7.29	8.01	12.62	4.31	3.69	3.84	3.72	3.96	47.43
2	7.95	7.65	11.40	3.14	3.09	3.80	3.89	4.05	44.96
3	8.43	7.95	12.09	3.81	3.53	4.22	3.96	3.18	47.16
4	9.62	7.04	11.82	3.09	3.69	3.84	3.66	4.26	47.01
5	7.70	8.49	12.83	4.20	5.18	3.81	3.69	3.66	49.55
6	8.84	8.22	11.87	4.04	4.02	3.66	3.99	4.19	48.81
7	9.18	7.85	12.47	3.62	3.68	3.62	3.72	3.08	47.19
8	8.84	9.68	12.83	3.50	3.02	3.20	3.50	4.04	48.57
9	8.49	7.68	11.04	4.41	4.44	4.11	3.71	3.66	47.54
10	8.19	7.46	11.27	3.96	3.72	4.46	4.02	3.27	46.34
Rata Rata	8.45	8.00	12.02	3.81	3.80	3.85	3.78	3.73	47.45

Pada pergerakan robot keatas motor servo A membutuhkan waktu sekitar 8.45s untuk bergerak. Kemudian dilanjutkan dan pergerakan motor servo B sekitar 8.00s. Setelah itu baru pergerakan dari motor servo C selama kira-kira 12.02s. Pada pergerakan robot melebar waktu yang dibutuhkan untuk masing masing servo sekitar 3.81s. Waktu yang dibutuhkan relatif sama karena pergerakan robot pada saat melebar dilakukan secara serentak dengan mengaktifkan switch. Jadi untuk setiap satu langkah vertikal pergerakan robot pemanjat dinding dibutuhkan waktu rata-rata 47.45s.

Tabel 4-5 Waktu Pergerakan pada Medan Vertikal untuk 2 dan 3 Langkah

Data-ke	Waktu (s)	
	Pergerakan 2 Langkah	Pergerakan 3 Langkah
1	124.89	188.13
2	130.56	190.50
3	128.29	191.17
4	120.65	183.33
5	125.64	191.70
6	122.90	187.98
7	123.88	186.80
8	118.12	182.88
9	125.81	189.19
Rata Rata	124.53	187.96

Pada pergerakan di medan vertikal untuk 2 langkah waktu yang dibutuhkan adalah sekitar 124.57s, sementara rata -rata waktu yang dibutuhkan untuk pergerakan 3 langkah adalah 187.964s.

5 Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan selama penelitian mengenai perancangan dan kontrol kaki pada robot pemanjat dinding menggunakan metode PWM. Didapatkan beberapa hasil yang dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan tentang robot pemanjat dinding metode yang digunakan adalah metode PWM, mengontrol pergerakan sudut motor servo sesuai dengan yang diinginkan.
2. Pergerakan dari kaki robot yang baik adalah pergerakan kaki yang secara bergantian sesuai dengan input dari joystick yang telah diberikan. Pergerakan kaki maju secara bergantian jika suction cup sudah menempel secara sempurna.
3. Hasil kalibrasi dari tiga motor servo yang digunakan akurasinya masih belum sempurna. Akurasi dari setiap motor adalah motor servo A = 71.33%, motor servo B = 68.66% , dan motor servo C = 69.33%.
4. Hasil kalibrasi dari tiga motor servo yang digunakan akurasinya masih belum sempurna. Akurasi dari setiap motor adalah motor servo A = 71.33%, motor servo B = 68.66% , dan motor servo C = 69.33%.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil perancangan kontrol kaki robot dan pengujian Tugas Akhir berjudul “Perancangan dan Kontrol Kaki Pada Robot Pemanjat Dinding Menggunakan Metode PWM” yang telah dilakukan, maka dapat diambil saran sebagai berikut:

1. Untuk pergerakan robot sudah bagus karena dapat bergerak dari bidang horizontal ke bidang vertical, tetapi jika sudut kebebasannya ditambahkan maka pergerakan robot akan semakin bebas.
2. Motor servo yang digunakan harus lebih bagus dan tingkat akurasinya harus yang mendekati sempurna agar robot pemanjat dinding dapat bergerak sesuai dengan kode pemrograman.
3. Masukan kontrol tidak hanya dari joystick tetapi bisa juga secara full otomatis dengan menambahkan beberapa sensor.

Daftar Pustaka

[1] Adafre, Sisay Fissaha, and Maarten de Rijke (2005): Discovering missing links in Wikipedia, Proceedings of the 3rd international workshop on Link discovery, ACM.

[2] Adler, B. Thomas, et al.(2008): Measuring author contributions to the Wikipedia, *Proceedings of the 4th International Symposium on Wikis*. ACM.

[3] Adler, B. Thomas, and Luca De Alfaro (2007): A content-driven reputation system for the Wikipedia, Proceedings of the 16th international conference on World Wide Web, ACM.

[4] International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS) 2003 Edition Executive Summary, diperoleh melalui situs internet: http://www.semiconductors.org/clientuploads/Research_Technology/ ITRS/2003/1_ExecSum2003.pdf. Diunduh pada 23 Januari 2011.

[5] Meiting Wang, Yongfeng Qi, Wei Jiang, Shengquan Li, Honghui Cheng, Jiatong Bao and Liuyan Lu (2013): Research on Omni-directional Moving Adsorption Mechanism and Its Application in Wall-Climbing Robot, Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

[6] Fauzan Dwi Septiansyah (2017): Rancang Bangun Kendali Pada Robot Pemanjat Dinding, Universitas Telkom