

PERANCANGAN KENDALI ROBOT ARTIKULASI MENGGUNAKAN GYROSCOPE DAN FLEX SENSOR

DESIGN OF ARTICULATED ROBOT CONTROL USING GYROSCOPE AND FLEX SENSOR

Muhammad Fikri Haikal¹, Willy Anugrah Cahyadi S², Erwin Susanto³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

haikalf@student.telkomuniversity.ac.id¹, waczee@telkomuniversity.ac.id²,

erwinsusanto@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Robot artikulasi adalah robot yang dirancang hampir menyerupai lengan manusia, yang memiliki pergelangan tangan, siku, dan bahu [2]. Dalam bidang medis, robot artikulasi telah dikembangkan menjadi lebih kecil dan cukup fungsional untuk dipasang di kursi roda dan di tempat tidur. Tujuannya adalah agar dapat membantu penyandang disabilitas dalam melakukan berbagai aktivitas mandiri [3], seperti mengambil, mengangkat, dan memindahkan benda [4].

Penelitian ini berupa sebuah perancangan kendali robot artikulasi menggunakan gyroscope dan flex sensor. Pergerakan dilakukan dengan mengendalikan empat buah sumbu yang terdapat pada lengan robot, yaitu sumbu siku dan *gripper* (penjepit) yang dikendalikan berdasarkan input flex sensor, sementara sumbu bahu dan sumbu *base* (badan) yang dikendalikan berdasarkan input gyroscope. Saat melakukan rotasi (perputaran sumbu base dan bahu), robot artikulasi mendapatkan nilai error pada sudut-sudut yang terbaca, pada sumbu Y (roll) 2,04% dan sumbu Z (yaw) 3,82%. Sistem keseluruhan dalam melakukan pergerakan mengambil, mengangkat, dan memindahkan sebuah objek memiliki tingkat keberhasilan 100%.

Kata kunci: Robot Artikulasi, Gestur Tangan, Flex Sensor, Gyroscope, Lengan Robot.

Abstract

An articulation robot is designed to resemble a human arm that has a wrist, an elbow, and a shoulder [2]. In the medical field, the articulation robot has been developed to be smaller and functional to be fitted in a wheelchair and on a bed. It assists disabled person in carrying out various activities on their own [3], such as holding, picking up, lifting, and moving items [4].

This study proposes a design of an articulation robot control using a gyroscope and flex sensor. The movement is carried out by controlling the four axes contained in the robot arm, i.e., the elbow axis and the gripper moved by the flex sensor, whereas the shoulder axis and the base axis (body) moved by a gyroscope. While rotating the base axis and shoulder axis of the body, the articulation robot gets an error value of approximately 2.04% at the Y (roll) axis, and 3.82% at

the Z (yaw) axis. The overall performance of the articulation robot, for carrying out the movement of picking up, lifting and moving an object, has been evaluated with roughly 100% success rate.

Keywords: Articulated Robot, Hand Gestures, Flex Sensor, Gyroscope, Robot Arm.

1. Pendahuluan

Beberapa teknologi telah dikembangkan untuk membantu aktivitas para penyandang disabilitas, seperti kursi roda yang dikontrol dengan gerakan, powered exoskeleton, asisten robot, lengan buatan, dan robot artikulasi. Robot artikulasi adalah robot yang dirancang hampir menyerupai lengan manusia, yang memiliki pergelangan tangan, siku, dan bahu [2]. Dalam bidang medis, robot artikulasi telah dikembangkan menjadi lebih kecil dan cukup fungsional untuk dipasang di kursi roda dan di tempat tidur. Tujuannya adalah agar dapat membantu penyandang disabilitas dalam melakukan berbagai aktivitas sendiri [3], seperti mengambil, mengangkat, dan memindahkan benda [4].

Saat ini gestur tangan menjadi salah satu cara yang populer dan sederhana dalam mengendalikan robot artikulasi [5]. Robot artikulasi seperti ini telah dikembangkan dengan beberapa sistem kendali yang berbeda seperti Pengenalan Gerakan Berbasis Visi, Pengenalan Sensor *Motion Capture*, dan Sistem Pengenalan Gerakan Jari [6], semua metode ini memberikan hasil yang dapat diterima di dalam ruangan, namun terdapat beberapa kendala yang membuat metode ini tidak dapat diterima pada luar ruangan seperti cahaya dari sekeliling, bayangan, posisi kamera, dan rendahnya akurasi dalam proses ekstraksi gerakan. Sebagai contoh, tangan harus ditempatkan dengan benar pada kamera dan posisi tangan harus ditangkap secara keseluruhan, serta membutuhkan waktu *setup* yang cukup lama [7-8].

Seiring perkembangan teknologi yang semakin maju, maka dibutuhkan alat yang lebih mudah digunakan, efisien, dan efektif baik di dalam maupun luar ruangan. Oleh karena itu, diusulkan sebuah sistem kendali berbasis gyroscope dan flex sensor untuk mengendalikan robot artikulasi secara alami dengan gestur tangan. Rancangan sistem kendali robot artikulasi ini menggunakan *glove* (sarung tangan) yang dipasang gyroscope sebagai sensor untuk pengendali rotasi lengan robot, dan dua flex sensor untuk mengendalikan sumbu ayun serta *gripper* (penjepit) pada lengan robot untuk melakukan pengambilan objek. Kelebihan dari sistem ini yaitu dapat mengerakkan robot artikulasi persis seperti mengerakkan tangan manusia itu sendiri tanpa harus membutuhkan *setup* terlebih dahulu sehingga lebih praktis dan juga memiliki akurasi lebih tinggi dibandingkan solusi lain karena tingkat akurasi sensor gyroscope yang lebih baik dari kamera [5, 7, 8].

2. Dasar Teori /Material dan Metodologi/perancangan

2.1 Robot Industri

Robot industri adalah suatu alat bantu atau mesin otomatis yang terkontrol, *reprogrammable*, dan merupakan *manipulator* serba guna. Robot industri terprogram memiliki tiga sumbu pergerakan atau lebih yang komponen utamanya terdiri dari empat bagian yaitu manipulator, sensor, *actuator*, dan controller [9].

2.2 Derajat Kebebasan Pada Robot Artikulasi

Derajat kebebasan/*Degree of Freedom* (DOF) pada sebuah robot adalah kemungkinan/kebebasan pergerakan di setiap sendi pada sebuah robot, misalnya pada robot artikulasi terletak pada sambungan lengannya yang dapat ditekuk, diputar, atau digeser. DOF bermanfaat untuk mengetahui cara robot bergerak, tingkat kerumitan algoritma kendali dan jumlah motor lengan robot yang digunakan [10]. Pemilihan jumlah DOF yang tepat dilakukan berdasarkan rancangan pergerakan yang dilakukan oleh lengan robot atau jumlah serta bentuk aktuator lengan robot [11].

2.3 Actuator/aktuator

Actuator/aktuator adalah komponen mekanik yang digunakan untuk menghasilkan gerakan pada robot. Sumber gerakan mekanik utama pada robot untuk menggerakkan bagian-bagian tubuh dari robot berupa motor. Aktuator bisa menggunakan penggerak elektrik, hidrolik ataupun pneumatik. Aktuator elektrik adalah aktuator yang menggunakan listrik sebagai daya penggerak. Beberapa jenis aktuator elektrik yang biasa digunakan antara lain: solenoid, motor *Direct Current* (DC), motor stepper, motor servo, dan motor *Alternating Current* (AC).

2.3 Sistem Kendali Berbasis Gestur Tangan

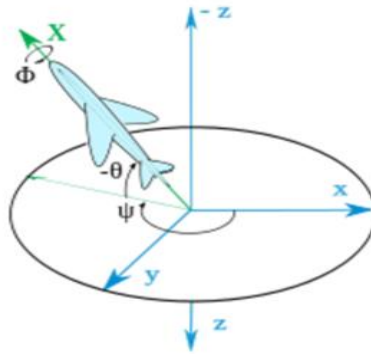
Manusia lebih terbiasa berinteraksi menggunakan suara, posisi tubuh dan gestur (gerakan) tangan, penggunaan gestur tangan ini lebih mudah dilakukan karena lebih alami dan interaktif serta proses pembelajaran yang relatif lebih singkat [12]. Gestur adalah bentuk komunikasi non-verbal dengan aksi tubuh yang mengkomunikasikan pesan-pesan tertentu, sebagai pengganti ucapan. Sistem pengenalan gestur tangan terus berkembang, terutama untuk menggantikan peran perangkat masukan seperti *mouse*, *keyboard* dan *joystick* yang digunakan pada interaksi manusia dengan komputer [12]. Sistem pengenalan gestur tangan mengimplementasikan cara kerja sistem penglihatan dan pengenalan yang melibatkan mata manusia sebagai sensor yang merekam objek berupa gestur tangan dan kemudian mengirim informasi ke otak untuk diproses sehingga menghasilkan sebuah output [13].

2.4 Gyroscope MPU 6050

Sensor gyroscope adalah alat sensor yang dipakai untuk melacak rotasi atau perputaran suatu perangkat berdasarkan gerakan, gyroscope juga disebut sebagai perangkat yang dipakai untuk mempertahankan orientasi dari sebuah sudut agar tetap stabil. Sensor gyroscope menggunakan prinsip dasar MEMS (micro electro mechanical system). Ketika gyroscope bergerak maka akan menghasilkan tegangan output, sedangkan saat gyroscope diam maka tegangan akan konstan.

2.5 Sudut Orientasi dengan Sensor Gyroscope

Kecepatan sudut benda yang diukur menggunakan sensor gyroscope memiliki sumbu acuan badan (dilambangkan dengan p , q , dan r). Data gyroscope perlu diubah sesuai dengan rotasi *euler angles* yang memiliki sumbu acuan bumi. Hal ini dapat dilakukan dengan mengalikan matriks rotasi sumbu *roll*, *pitch* dan *yaw* dengan urutan gerak tertentu. Sumbu koordinat *pitch*, *roll* dan *yaw* [16].



Gambar 1 Sumbu Koordinat Roll, Pitch dan Yaw.

Persamaan *euler angles* adalah sebagai berikut, dimana $\dot{\phi}$ adalah kecepatan sudut *Pitch*, $\dot{\theta}$ adalah kecepatan sudut *Roll*, $\dot{\psi}$ adalah kecepatan sudut *Yaw*.

$$\begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \sin\phi \tan\theta & \cos\phi \tan\theta & \cos\phi \tan\theta \sin\phi \tan\theta \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi & \\ 0 & \frac{\sin\phi}{\cos\theta} & \frac{\cos\phi}{\cos\theta} & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} \quad (1)$$

2.6 Sensor flex

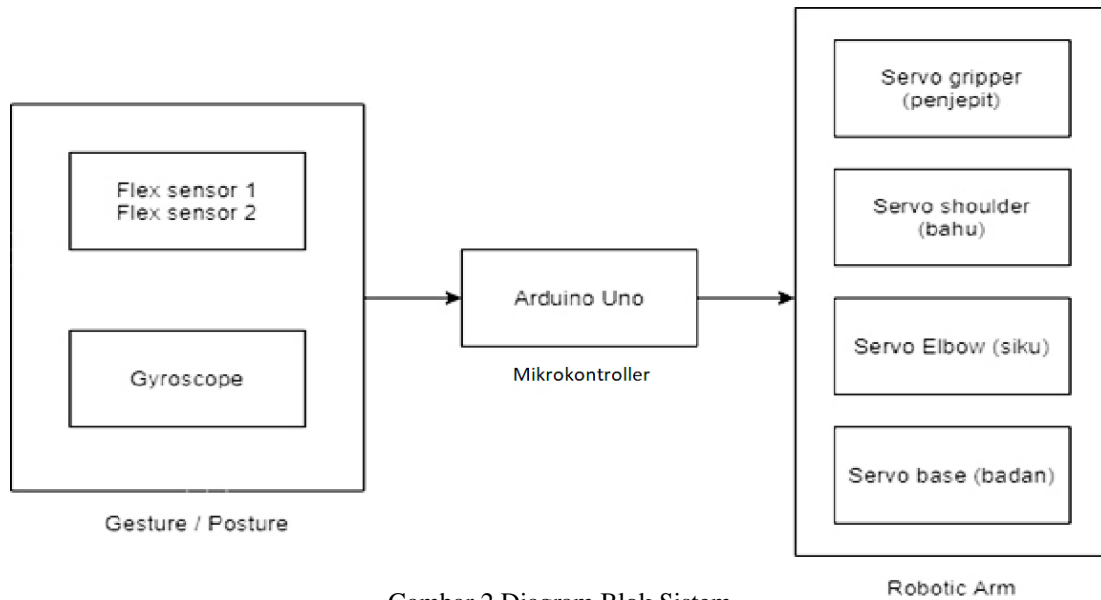
Sensor flex adalah sensor yang berfungsi untuk mendeteksi suatu kelengkungan. Prinsip kerjanya sama seperti potensio yaitu bertindak sebagai resistor variabel. Ketika sensor flex semakin melengkung, maka nilai resistansinya akan bertambah. Rangkaian pembagi tegangan digunakan untuk membaca nilai tegangan dari sensor flex [17].

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in} \quad (2)$$

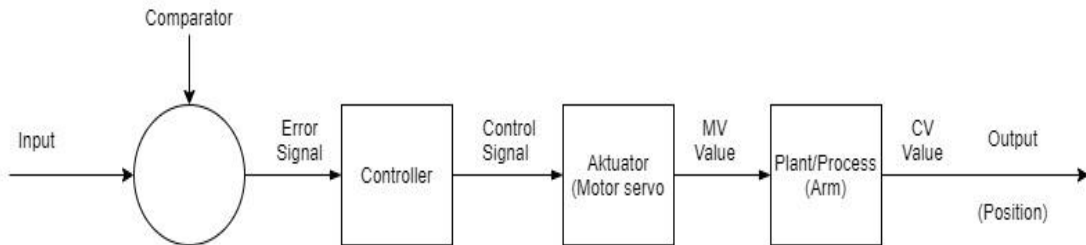
3 Pembahasan

3.1 Blok Diagram Sistem

Diagram blok sistem secara umum dapat dilihat pada Gambar 2 Sistem yang dirancang mendapatkan input deteksi gestur/postur memanfaatkan sebuah gyroscope dan dua buah flex sensor, sistem kontrolnya menggunakan mikrokontroler Arduino Uno, dan sistem aktuator mekanik pada robot artikulasi (*robotic arm*) menggunakan empat motor servo dengan tipe SG90.



Gambar 2 Diagram Blok Sistem

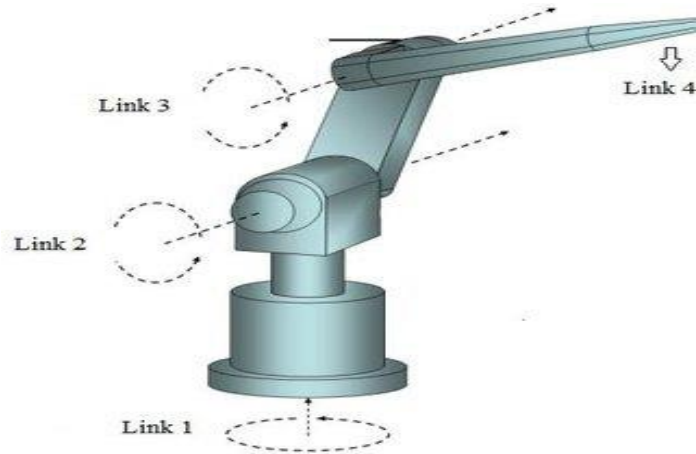


Gambar 3 Diagram Blok Sistem Kendali

Cara kerja sistem kendali robot artikulasi yang dirancang adalah mengendalikan robot artikulasi secara alami, yaitu robot artikulasi yang dikendalikan langsung oleh postur/gestur tangan pengguna melalui *glove* (sarung tangan) yang ditempelkan sebuah gyroscope dan dua buah flex sensor. Input yang didapatkan dari ketiga sensor tersebut diproses melalui mikrokontroler (Arduino Uno) yang kemudian membangkitkan sinyal output berupa kendali putaran untuk empat buah motor servo. Empat motor servo tersebut menggerakkan empat buah sumbu/sendi yang terdapat pada robot artikulasi (*robotic arm*).

3.2 Pergerakan robot artikulasi

Pergerakan robot artikulasi memiliki 4 derajat kebebasan (DoF) yang dimiliki oleh masing-masing sumbu/sendi (link) yang digerakkan oleh gyroscope dan flex sensor, robot artikulasi dikendalikan menggunakan sarung tangan kendali.

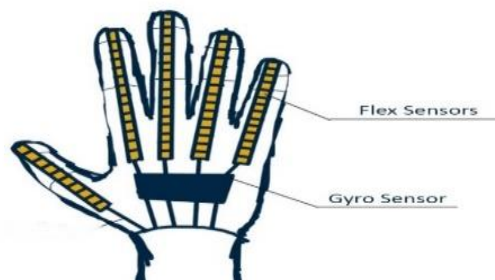


Gambar 4 Derajat Kebebasan pada Robot Artikulasi

Gambar 4 menunjukkan pada *link 1* (badan) melakukan pergerakan rotasi ke kiri dan ke kanan disebut juga dengan gerakan yaw (sumbu z), *link 2* (bahu) melakukan pergerakan lengan untuk maju dan mundur disebut juga dengan gerakan roll (sumbu y), *link 3* (siku) melakukan pergerakan naik dan turun, dan *link 4* (penjepit) melakukan pergerakan untuk mengambil objek/benda dengan menjepit.

3.3 Sarung Tangan Kendali

Sarung tangan Kendai (glove) yang digunakan pada tugas akhir ini memiliki material berbahan latex, sarung tangan ini hanya digunakan untuk tempat/wadah bagi gyroscope dan flex sensor.



Gambar 4 Glove

4. HASIL DAN ANALISIS

4.1 Percobaan Sensor Gyroscope pada Robot Artikulasi

Dilakukan percobaan sensor gyroscope dalam menggerakkan 2 sumbu, yaitu sumbu base dan bahu pada robot artikulasi. Pada tabel 1 dan 2 menampilkan nilai sumbu Y (roll) dan Z (yaw) yang terbaca pada sensor gyroscope saat sensor digerakkan sesuai arah. Arah sensor menentukan pergerakan pada robot artikulasi dalam menggerakkan sumbu base (kanan dan kiri) dan sumbu bahu (maju mundur). Percobaan dianggap berhasil saat robot artikulasi dapat berotasi ke arah yang diinginkan.

Tabel 1 Percobaan Sensor Gyroscope pada Sumbu Bahu Robot Artikulasi

Percobaan	Arah putar sensor	Joint (sumbu)	Nilai sensor gyroscope (sumbu Y)	Pergerakan robot artikulasi	Keterangan
1	Bawah	Bahu	185.95	Rotasi maju	Tercapai
			185.97		
			185.98		
2	Bawah	Bahu	186.00	Rotasi maju	Tercapai
			186.01		
			186.02		
3	Bawah	Bahu	186.03	Rotasi maju	Tercapai
			186.04		
			186.04		
1	Atas	Bahu	11.47	Rotasi mundur	Tercapai
			11.47		
			11.47		
2	Atas	Bahu	11.48	Rotasi mundur	Tercapai
			11.49		
			11.50		
3	Atas	Bahu	11.51	Rotasi mundur	Tercapai
			11.51		
			11.52		

Tabel 2 Percobaan Sensor Gyroscope pada Sumbu Base Robot Artikulasi

Percobaan	Arah putar sensor	Joint (Sumbu)	Nilai Sensor Gyroscope (Sumbu Z)	Pergerakan robot artikulasi	Keterangan
1	Rotasi kanan	Base	-14.12	Rotasi kanan	Tercapai
			-14.12		
			-14.12		
2	Rotasi kanan	Base	-14.13	Rotasi kanan	Tercapai
			-14.13		
			-14.13		
3	Rotasi kanan	Base	-14.12	Rotasi kanan	Tercapai
			-14.13		
			-14.13		
1	Rotasi kiri	Base	191.87	Rotasi kiri	Tercapai
			191.87		
			191.86		
2	Rotasi kiri	Base	191.86	Rotasi kiri	Tercapai
			191.86		
			191.86		
3	Rotasi kiri	Base	191.86	Rotasi kiri	Tercapai

			191.85		
			191.85		

Pada tabel 3 dan tabel 4 ditampilkan hasil pengujian posisi sudut sensor gyroscope terhadap nilai sudut pada sumbu Y dan Z (roll dan yaw), pengujian dilakukan dengan memposisikan lengan robot di beberapa sudut yang sudah ditentukan untuk melihat kesesuaian gerakan antar sudut y dan z (roll dan yaw) sensor gyroscope dengan servo base dan bahu pada robot artikulasi dalam melakukan pergerakan. Hasil nilai error tiap posisi sensor dapat dilihat pada tabel 3 dan tabel 4, perhitungan dilakukan untuk melihat apakah alat tetap presisi atau tidak setelah dilakukan tiga kali percobaan.

Tabel 3 Pengujian Posisi Sudut Sensor Gyroscope Terhadap Nilai Sudut Yaw

Posisi Sudut Lengan (Yaw)	Sudut Sumbu Z (Yaw) Pengujian Pertama	Sudut Sumbu Z (Yaw) Pengujian kedua	Sudut Sumbu Z (Yaw) Pengujian ketiga	Nilai Error
10°	10	10	11	3,33 %
30°	23	23	24	22,2%
50°	48	51	48	2%
70°	70	69	70	0,48%
90°	89	89	89	1,11%
110°	113	112	110	1,51%
130°	131	131	129	0,26%
150°	146	149	148	1.55%
170°	172	175	173	1,96%
Rata – Rata Total Error				3,82%

Tabel 4 Pengujian Posisi Sudut Sensor Gyroscope Terhadap Nilai Sudut Roll

Posisi Sudut Lengan (Roll)	Sudut Y (Roll) Pengujian Pertama	Sudut Y (Roll) Pengujian Kedua	Sudut Y (Roll) Pengujian Ketiga	Nilai Error
30°	33	31	31	5,55%
50°	51	52	51	2,66%
70°	69	70	68	1,43%

90°	89	90	89	0,74%
110°	109	111	101	2,72%
130°	128	128	131	0,77%
160°	160	161	161	0,41%
Rata – Rata Total Error				2,04%

4.2 Percobaan Flex Sensor pada Robot Artikulasi

Percobaan dilakukan menggunakan 2 buah flex sensor untuk menggerakkan 2 sumbu, yaitu sumbu ayun dan sumbu penjepit (gripper) pada robot artikulasi. Percobaan dilakukan dengan menekuk bagian flex sensor, yaitu tanpa ditekuk (0°) dan ditekuk 90°. Tekukan pada flex sensor menggerakkan motor servo pada masing-masing sumbu robot artikulasi. Mikrokontroler mengkonversi data menggunakan ADC (*analog to digital converter*), Nilai ADC didapatkan dari nilai yang terbaca pada *serial monitor* Arduino, dimana data masukannya didapat dari tegangan yang sudah terkena resistansi.

Tabel 5 Percobaan Flex Sensor sebagai *Gripper* (penjepit) Robot Artikulasi

Percobaan	Tekukan pada flex sensor	ADC	Sudut servo sumbu penjepit (gripper)	Penjepit (gripper)	Keterangan
1	0°	216>213	0°	Terbuka	-
	90°	171>100	90°	Tertutup	Tercapai
2	0°	216>213	0°	Terbuka	-
	90°	186>100	90°	Tertutup	Tercapai
3	0°	216>213	0°	Terbuka	-
	90°	180>101	90°	Tertutup	Tercapai
4	0°	216>213	0°	Terbuka	-
	90°	182>99	90°	Tertutup	Tercapai
5	0°	216>213	0°	Terbuka	-
	90°	180>102	90°	Tertutup	Tercapai
6	0°	216>213	0°	Terbuka	-
	90°	182>101	90°	Tertutup	Tercapai

Tabel 6 Percobaan Flex Sensor sebagai Sumbu Ayun Robot Artikulasi

Percobaan	Tekukan pada Flex Sensor	ADC	Sudut servo sumbu ayun	Sumbu siku	Keterangan
1	0°	216>213	0°	Naik	-
	90°	105>75	90°	Turun	Tercapai
2	0°	216>213	0°	Naik	-
	90°	122>62	90°	Turun	Tercapai
3	0°	216>213	0°	Naik	-
	90°	108>54	90°	Turun	Tercapai
4	0°	216>213	0°	Naik	-
	90°	118>60	90°	Turun	Tercapai
5	0°	216>213	0°	Naik	-
	90°	120>58	90°	Turun	Tercapai
6	0°	216>213	0°	Naik	-
	90°	112>60	90°	Turun	Tercapai

Dilihat pada tabel 5 dan tabel 6 bahwa pergerakan dilakukan dengan menekuk flex sensor 0-90° dalam menggerakkan servo pada sumbu ayun dan penjepit (*gripper*), sementara servo bergerak pada sudut 0-90° pada kedua sumbu, dan sumbu menghasilkan DoF 0-90° derajat pada saat melakukan pergerakan, dengan kondisi awal pada penjepit terbuka dan tertutup (*mencapit*) dan pada sumbu ayun bergerak naik dan turun (*berayun*) hingga kondisi yang diinginkan tercapai.

5. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisa yang telah dilakukan dalam mengendalikan robot artikulasi menggunakan sensor gyroscope dan flex sensor, maka dapat disimpulkan beberapa hal:

1. Flex sensor dapat mengendalikan sumbu ayun serta *gripper* (*penjepit*) pada robot artikulasi.
2. Sensor Gyroscope dapat mengendalikan rotasi robot artikulasi.
3. Nilai error rata-rata sumbu base dan bahu pada robot artikulasi terhadap nilai sudut pada sensor gyroscope yang terbaca adalah sumbu Y (*roll*) 2,04%, dan sumbu Z (*yaw*) 3,82%. Sensor gyroscope dinilai cukup presisi dalam mengendalikan sumbu base dan bahu jika dilihat dari error yang didapat.
4. Tingkat keberhasilan lengan robot dalam melakukan gerakan mengambil, mengangkat, dan memindahkan sebuah objek dalam 10 kali percobaan sebesar 100%.

Referensi:

- [1] Syamsiar Kautsar¹, Bety Etikasari², Beni Widiawan³ dan K. Agustianto⁴, “ROBOT PENGETIK UNTUK ALAT BANTU PENGOPERASIAN KOMPUTER BAGI PENYANDANG CACAT,” Jurusan Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Jember, Volume 4, Edisi 4, Agustus 2018. Jurusan Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Jember
- [2] Tom Harris "*How Robots Work*" 16 April 2002. [Online]. Available: <https://science.howstuffworks.com/robot2.html>. [Diakses 26 februari 2020]
- [3] Rizwanullah Siddiqui, Ritula Thakur, “*Flex Sensors Based Robotic ARM for Disabled Persons: A Review*,” International Journal of Emerging Technologies in Engineering Research (IJETER), Volume 5, Issue 9, September (2017).
- [4] Pitowarno, E. 2006. ROBOTIKA: Desain, Kontrol, dan Kecerdasan Buatan. CV. ANDI. Yogyakarta.
- [5] Ariful Islam Bhuyan¹, Tuton Chandra Mallick², “*Gyro-Accelerometer based control of a robotic Arm using AVR Microcontroller*,” The 9th International Forum on Strategic Technology (IFOST), October 21-23, 2014, Cox’s Bazar, Bangladesh.
- [6] Love Aggarwal, Varnika Gaur and Puneet Verma, “*Design and Implementation of a Wireless Gesture Controlled Robotic Arm with Vision*,” International Journal of Computer Applications Vol. 79 – No. 13, pp.39-43, October 2013.
- [7] Auday A. H. Mohamad, Basil Tareq Abdulbaqi, Noor Kareem Jumaa, “*Hand Motion Controlled Robotic Arm based on MicroElectro-Mechanical-System Sensors: Gyroscope, Accelerometer and Magnetometer*,” Communications on Applied Electronics (CAE) – ISSN : 2394-4714 Foundation of Computer Science FCS, New York, USA Volume 7 – No.4, July 2017.
- [8] Prutha Atre, Sahil Bhagat, Nevil Pooniwala, Payal Shah, “*Efficient and Feasible Gesture Controlled Robotic Arm*,” Proceedings of the Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS 2018) ISBN:978-1-5386-2842-3.
- [9] Nof, Shimon Y. (editor) (1999). “*Handbook of Industrial Robotics*”, 2nd ed. John Wiley & Sons. 1378 pp. [ISBN 0-471-17783-0](https://doi.org/10.1002/9781118177830).
- [10] Hale, Layton C. (1999). “*Principles and techniques for designing precision machines* (PhD)”. Massachusetts Institute of Technology.
- [11] Britantyo Wicaksono (2007): “Sistem Kontrol Lengan Robot Menggunakan Sinyal EMG Berbasis Mikrokontroler 16-Bit H8/3069F”, Departemen Fisika Universitas Indonesia.
- [12] Manresa, C., Varona, J., Mas, R. dan Perales, F. J., 1999, “*Real-Time Hand Tracking and Gesture Recognition for Human-Computer Interaction*, *J. Electronic Letters on Computer Vision and Image Analysis*”, 2, 1-7.
- [13] Kurata, T., Okuma, T., Kourogi, M. dan Sakaue, K., 2001, “*The Hand Mouse: GMM Hand-color Classification and Mean Shift Tracking*”, Prosiding IEEE ICCV Workshop on RATFGRTS, Vancouver.
- [14] “Arduino Uno” 2020. [Online]. Available: <http://www.arduino.cc> [Accessed 19 Maret 2020].
- [15] Zona Elektro. “Motor Servo”. 5 Februari 2017. Available: <http://zoniaelektro.net/motorservo.html>. [Accessed 19 Maret 2020].
- [16] S. Rönnbäck, “*Development of a INS / GPS navigation loop for an UAV*,” Tesis, Universitas Teknologi Lulea, Swedia, 2000.
- [17] Arief Saifuddin, Sumardi, and Darjat, “PERANCANGAN SISTEM KENDALI PERGERAKAN ARM MANIPULATOR BERBASIS SENSOR INERTIAL MEASUREMENT UNIT (IMU) DAN SENSOR FLEX,” Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro, TRANSIENT, VOL. 6, NO. 3, SEPTEMBER 2017, ISSN: 2302-9927, 425.
- [18] R. Zhi, “*A Drift Eliminated Attitude & Position Estimation*,” 2016.