

PERANCANGAN LENGAN ROBOT DENGAN 4 DERAJAT KEBEBASAN UNTUK SISTEM KENDALI BERBASIS SENSOR KINECT

DESIGN ROBOTIC ARM WITH 4 DEGREES OF FREEDOM FOR A KINECT SENSOR BASED CONTROL SYSTEM

Jidan Sandika Hidayat¹, Dr. Achmad Rizal, S.T., M.T.², Ramdhan Nugraha, S.Pd., M.T.³
Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
1jidansandika@student.telkomuniversity.ac.id,
2achmadrizal@telkomuniversity.ac.id, 3ramdhan@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Lengan robot terdiri dari sistem mekanik dan sistem kendali lengan robot. Sistem mekanik berfungsi sebagai wadah sistem penggerak pada lengan robot. Istilah lain sistem penggerak disebut dengan derajat kebebasan atau Degree Of Freedom (DOF) atau sering diartikan dengan joint. Lalu pada bagian sistem kendali lengan robot salah satu nya dapat menggunakan metode pengolahan citra menggunakan sensor Kinect.

Sensor Kinect adalah teknologi perangkat lunak yang dapat mendeteksi sendi tubuh manusia dan melacak pergerakannya. Pada sistem kendali lengan robot menggunakan sensor Kinect, perintah untuk menggerakkan lengan robot menjadi lebih mudah, cepat, dan tidak banyak komponen yang digunakan. Pada tugas akhir ini fokus di bagian sistem mekanik dan penggerak lengan robot, untuk sistem kendali berbasis sensor Kinect.

Lengan robot dirancang menggunakan microcontroller Arduino Mega 2560 dan aktuator berupa empat motor servo yang dipasang pada joint base, shoulder, elbow, dan gripper. Hasil pada tugas akhir ini didapat pada keempat joint lengan robot base, shoulder, elbow, dan gripper masing-masing memiliki error akurasi sudut 33.6°, 4.8°, 4.3°, dan 0°. Lengan robot dapat bergerak mengikuti gerakan lengan manusia secara real time dengan memakan waktu rata-rata sebesar 402.37 milidetik pada delapan gerakan lengan yang telah diperagakan.

Kata Kunci: lengan robot, 4 derajat kebebasan, sistem kendali berbasis sensor Kinect, Kinect

Abstract

The robot arm consists of a mechanical system and a robot arm control system. The mechanical system functions as a container for the motion system in the robot arm. Another term for a system of motion is called the Degree Of Freedom (DOF) or often interpreted as a joint. Then in the robot arm control system, one of which can use the image processing method using the Kinect sensor.

Kinect sensor is a software technology that can detect the joints of the human body and track their movements. In a robot arm control system using a Kinect sensor, the command to move the robot arm becomes easier, faster, and uses less components. In this final project, the focus is on the mechanical system and the movement of the robot arm, for the Kinect sensor-based control system.

The robot arm is designed using an Arduino Mega 2560 microcontroller and an actuator in the form of four servo motors mounted on the joint base, shoulder, elbow, and gripper. The results in this final project are obtained that the four joint robot arms base, shoulder, elbow, and gripper each have angle accuracy errors of 33.6°, 4.8°, 4.3°, and 0°. The robotic arm can move to follow the human arm movement in real time by taking an average of 402.37 milliseconds on the eight arm movements that have been demonstrated.

Keywords: robot arm, 4 degrees of freedom, Kinect sensor-based control system, Kinect

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi mendorong manusia untuk melanjutkan penelitian lebih dalam di bidang robot, salah satunya yaitu penelitian mengenai lengan robot. Lengan robot termasuk aplikasi robotika yang telah banyak diterapkan di perindustrian [1]. Dalam beberapa penelitian tentang lengan robot [2][3], ditemukan ada beberapa perbedaan yaitu pada bagian sistem mekanik dan sistem kendali lengan robot. Sistem mekanik menjadi wadah bagi sistem penggerak pada lengan robot. Istilah lain sistem penggerak disebut dengan derajat kebebasan atau Degree Of Freedom (DOF) atau sering diartikan dengan Joint. Semakin banyak Joint maka jangkauan lengan robot dapat semakin kompleks [4].

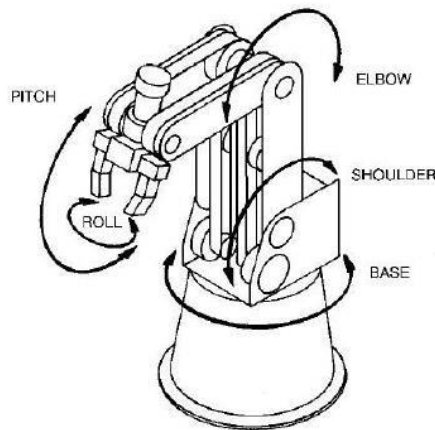
Selain sistem mekanik, perbedaan lainnya yaitu pada sistem kendali atau pengendali lengan robot tersebut, ada beberapa metode sistem kendali lengan robot diantaranya, dikendalikan secara otomatis dengan PLC [5], dengan mendeteksi gerakan lengan manusia menggunakan sensor kecepatan dan kemiringan [6], dan dengan pengolahan citra menggunakan sensor Kinect [7]. Sensor Kinect adalah teknologi perangkat lunak yang dapat mendeteksi joint tubuh manusia dan melacak pergerakannya. Pada sistem kendali lengan robot menggunakan metode pengolahan citra, tahapan yang bekerja secara garis besar yaitu, diawali dengan mendeteksi gerakan lengan manusia oleh sensor Kinect, lalu data hasil pembacaan tersebut diproses. Kemudian data dikonversikan untuk dikirim ke aktuator, selanjutnya aktuator akan menggerakkan lengan robot mengikuti gerakan lengan manusia [8].

Oleh karena itu, dengan menerapkan metode ini, perintah untuk menggerakkan lengan robot menjadi lebih mudah, cepat, dan tidak banyak komponen yang digunakan.

Pada tugas akhir ini fokus merancang lengan robot yang memiliki 4 derajat kebebasan, untuk sistem kendali berbasis sensor Kinect. Tugas akhir ini terdiri dari dua bagian, pertama pada akuisisi data sensor Kinect sebagai sistem kendali dan kedua pada bagian sistem mekanik dan penggerak lengan robot, sementara yang diambil pada tugas akhir ini yaitu di bagian sistem mekanik dan penggerak lengan robot.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Struktur Mekanik Lengan Robot

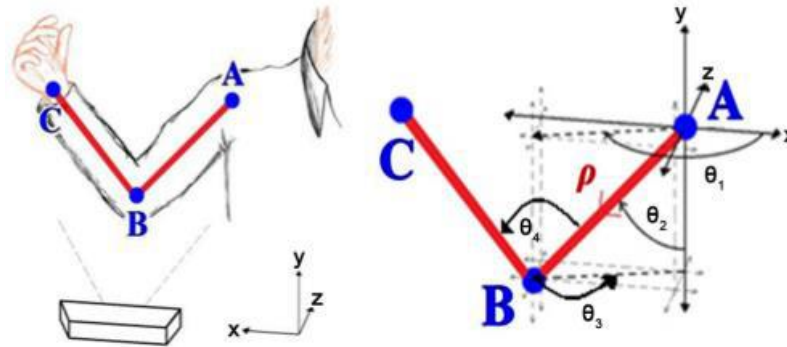


Gambar 1. Contoh lengan robot dengan beberapa *joint*

Pada umumnya struktur mekanik lengan robot tersusun dari beberapa material padat seperti logam, plastik, maupun bahan lain yang sering disebut link. Setiap link pada lengan robot dihubungkan oleh yang disebut joint. Bagian joint yang dapat membuat gerakan berputar disebut Degree Of Freedom (DOF) atau derajat kebebasan. Selain base, shoulder, elbow, roll, gripper, dan pitch bagian cengkeraman dari joint lengan robot yang memiliki fungsi biasanya disebut end-effector. Joint ini adalah tempat aktuator dari sebuah lengan robot yang dapat bergerak dan berputar. Semakin banyak joint yang terpasang pada lengan robot maka pergerakan lengan robot dapat semakin kompleks jangkauannya [9].

2.2 Invers Kinematika

Invers kinematika adalah salah satu metode dalam mempelajari persoalan kinematika. Metode ini bertujuan untuk mendapatkan nilai sudut dari joint, dengan cara mengubah nilai dari domain Cartesian ke domain sudut [11].



Gambar 2. Geometri invers kinematika

Posisi joint ditunjukkan pada sistem koordinat Cartesian, seperti pada Gambar 2. Setiap motor servo memiliki fungsi spesifik yang dipetakan dalam sumbu x y z. Pencarian nilai sudut θ_1 , θ_2 , θ_3 , dan θ_4 dapat diperoleh dengan persamaan [12]:

$$AB = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (2.1)$$

$$\theta_1 = \sin^{-1} \left(\frac{AB_x}{\sqrt{AB_x^2 + AB_y^2 + AB_z^2}} \right) \quad (2.2)$$

$$\theta_2 = \sin^{-1} \left(\frac{AB_y}{\sqrt{AB_x^2 + AB_y^2 + AB_z^2}} \right) \quad (2.3)$$

$$\theta_3 = \sin^{-1} \left(\frac{BC_x}{\sqrt{BC_x^2 + BC_y^2 + BC_z^2}} \right) \quad (2.4)$$

$$\theta_4 = \cos^{-1} (AC^2 - AB^2 - BC^2) \quad (2.5)$$

Dalam tugas akhir ini digunakan metode invers kinematika untuk memperoleh nilai sudut dari nilai koordinat yang diolah oleh sensor Kinect. Selanjutnya setelah nilai dikonversi ke domain sudut, data tersebut dikirim ke aktuator berupa motor servo untuk menggerakkan lengan robot.

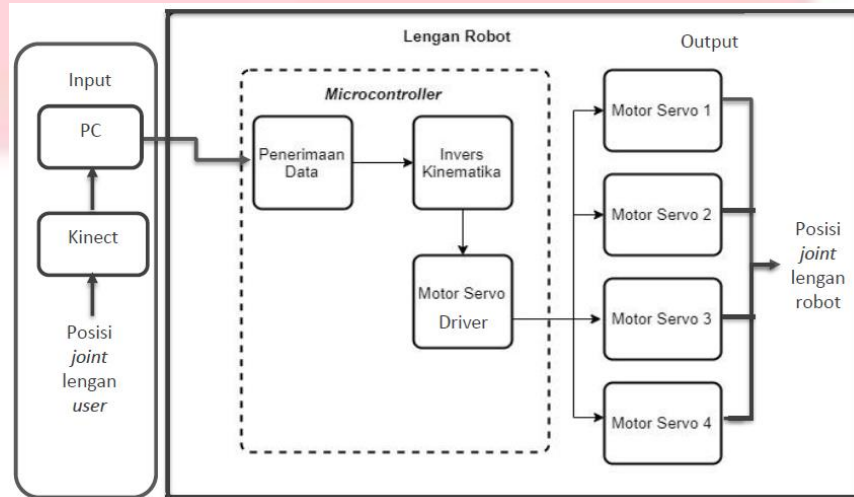
2.3 Motor Servo

Jenis motor ini bekerja dengan sistem umpan balik tertutup. Posisi dari motor akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo. Motor servo ini dapat bergerak dari 0-180 derajat. Komponen di dalamnya terdiri dari sebuah motor DC, serangkaian gear, potensiometer dan rangkaian kontrol [14].

Aktuator dalam lengan robot ini menggunakan motor servo yang ditempatkan di beberapa joint. Motor servo ini yang akan memberikan pergeseran atau perputaran pada joint lengan robot. Apabila aktuator diberi sinyal masukan yang sesuai dengan nilai pergerakan pada lengan manusia yang dibaca sensor Kinect, maka lengan robot dapat bergerak mengikuti gerakan lengan manusia.

3. Perancangan Sistem

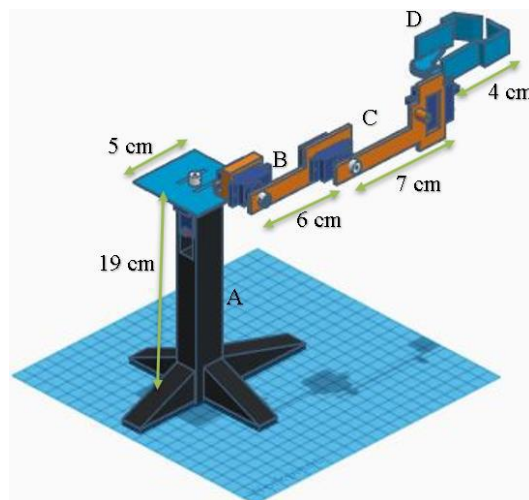
3.1 Diagram Blok Sistem



Gambar 3. Diagram blok

Cara kerja sistem lengan robot ini ialah dikontrol oleh perubahan sudut pada joint lengan manusia. Informasi dari sudut yang diterima ini akan diproses oleh microcontroller yaitu Arduino Mega, aktuator yang terhubung ke microcontroller kemudian menghasilkan keluaran berupa putaran gear motor servo. Lengan robot ini memiliki 4 motor servo, yaitu untuk menggerakkan joint gripper, base, dan shoulder. Pada gripper berguna untuk membuka dan menutup capit.

3.2 Desain Perangkat Keras

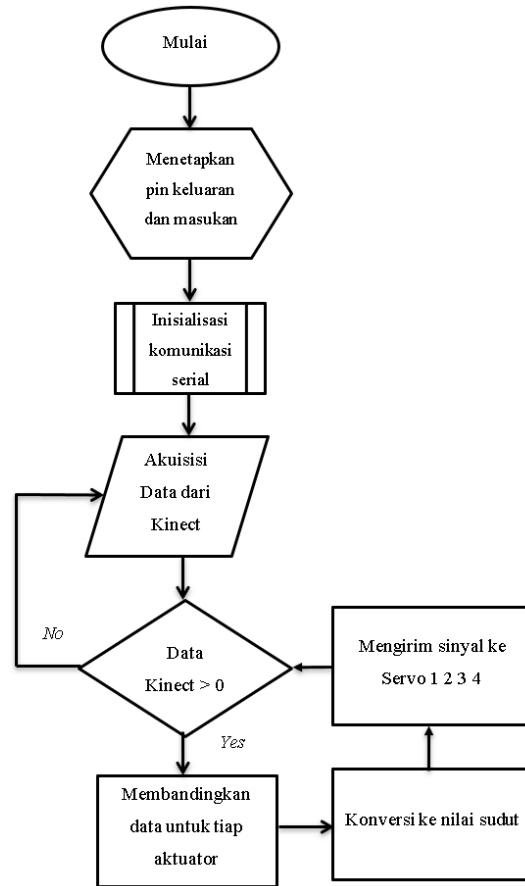


Gambar 4. Dimensi lengan robot

Pada perancangan lengan robot menggunakan empat buah motor servo sebagai aktuator dimana masing-masing motor servo diletakkan ditempat yang berbeda. Pada gambar 3.4 merupakan desain mekanik lengan robot dimana empat bagian utama (A-B-C-D) pada lengan robot tersebut berperan sebagai penghubung (link).

Motor servo yang digunakan berjumlah 4 buah untuk menggerakkan *joint base*, *shoulder*, *elbow*, dan *gripper*. Aktuator berupa motor servo ini diletakkan pada keempat titik *joint* tersebut dan menjadi bagian-bagian yang akan menggerakkan lengan robot. Data yang akan diambil masuk melalui pin Tx dan Rx Arduino, kemudian data diproses untuk dikirim ke motor servo bagian *shoulder* melalui pin 9, *base* melalui pin 10, *elbow* melalui pin 3 dan *gripper* melalui pin 5 Arduino.

3.3 Desain Perangkat Lunak



Gambar 5. Flowchart program menggerakkan aktuator

Sinyal yang akan diterima aktuator berupa motor servo ini bergantung pada data perubahan *joint* pada lengan manusia yang dikirimkan ke *microcontroller*. Instruksi untuk menerima data pada port yang tersedia dan pin-pin masukan dan keluaran harus di set pada *microcontroller*. Kemudian data yang diterima dikonversi ke dalam sudut integer untuk dijadikan sinyal masukan aktuator yang akan menggerakkan keempat *joint* secara berurutan satu demi satu pada lengan robot. Proses ini akan terus berlanjut selama data yang dikirimkan ke *microcontroller* masih tersedia.

Microcontroller perlu diberi instruksi agar lengan robot dapat berjalan sesuai algoritmanya. Oleh karena itu, dibutuhkan perangkat lunak untuk menulis program ke dalam *Microcontroller*, salah satunya yaitu dengan perangkat lunak Arduino IDE. Perangkat lunak ini merupakan platform dari Arduino dengan bahasa pemrograman C. Melalui perangkat lunak ini algoritma pada lengan robot dapat dimasukkan ke dalam *microcontroller*.

4. Hasil dan Analisis

4.1 Pengujian Akurasi Sudut Aktuator

Hasil pengujian akurasi sudut diambil berdasarkan delapan posisi gerakan lengan yang berbeda. Kemudian sudut setiap *joint* dari kedelapan gerakan lengan manusia dan lengan robot diukur selama 3 kali pengukuran pada setiap *joint* untuk mengetahui seberapa jauh perbandingan akurasi sudut aktuator. Pengukuran masing-masing dilakukan pada 4 titik yaitu *base*, *shoulder*, *elbow* dan *gripper* pada lengan manusia dan lengan robot.

Tabel 1. Error sudut keempat *joint* setelah 3 kali pengujian

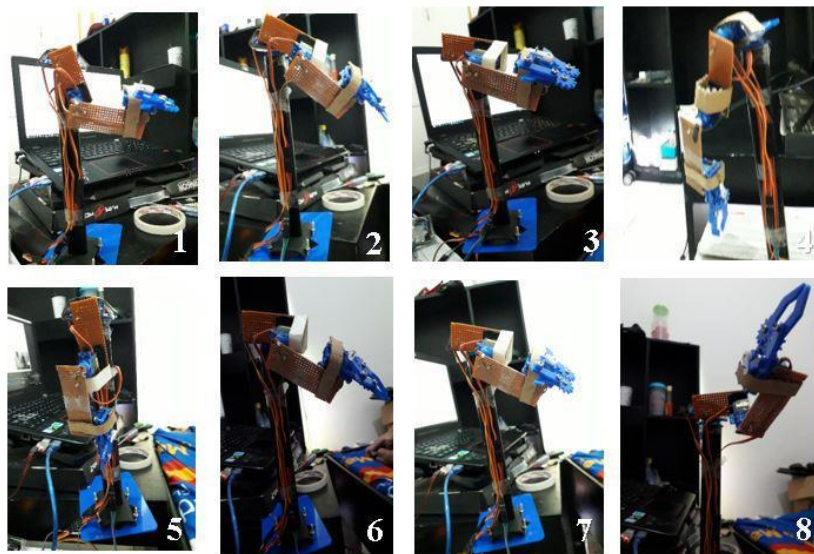
Gerakan	Base			Shoulder			Elbow			Gripper				
	Set Point(°)	Rata-rata(°)	Error(°)	Set Point(°)	Rata-rata(°)	Error(°)	Set Point(°)	Rata-rata(°)	Error(°)	Set Point(°)	Rata-rata(°)	Error(°)		
1	90	8.3	81.7	45	39	6	90	84	6	180	180	0		
2	90	8	82	90	83.3	6.7	1	3	2	180	180	0		
3	90	6.6	83.4	90	83.6	6.4	1	4.3	3.3	70	70	0		
4	1	4.6	3.6	1	6.3	5.3	1	3.6	2.6	180	180	0		
5	1	4.3	3.3	1	4.3	3.3	1	5	4	70	70	0		
6	1	6	5	90	85.6	4.4	1	6.3	5.3	180	180	0		
7	1	6.3	5.3	90	85	5	1	4.3	3.3	70	70	0		
8	1	6	5	90	91.3	1.3	90	82.3	7.7	180	180	0		
Error Rata-rata(°)			33.6			4.8			4.3			0		

Berdasarkan data pada tabel di atas, akurasi pada *joint base* melenceng cukup jauh ketika bekerja pada gerakan pertama sampai ketiga yang mengharuskan rotasi 90°. Kendala pada *joint base* ini, disebabkan oleh rendahnya sensitivitas kamera Kinect terhadap rotasi pada *joint base*, diperlihatkan dari nilai terbaca yang hampir sama ketika diberi sudut tujuan 90° dan 1°.

Sedangkan pada *joint* lain memiliki akurasi sudut yang cukup mendekati dengan nilai sudut tujuan dengan error di bawah 5°. Khusus pada *joint gripper* yang hanya memiliki dua kondisi buka dan tutup, dengan rotasi motor servo 70° dan 180°, sehingga pada *joint* ini memiliki akurasi yang tepat sesuai dengan sudut tujuan.

4.2 Pengujian Respon Waktu Aktuator

Pada tahap pengujian ini bertujuan untuk memastikan agar lengan robot dapat bergerak secara *real time* setelah dikendalikan dengan membaca gerakan lengan manusia. Respon waktu aktuator pada pengujian ini berupa lamanya rotasi keempat *joint* sampai posisi terakhir seperti pada gambar di bawah tercapai.



Gambar 6. Posisi terakhir keempat *joint* lengan robot

Tabel 2. Hasil pengukuran respon waktu putaran pertama

Gerakan	Waktu (milisecond)				Jumlah
	<i>Base(ms)</i>	<i>Shoulder(ms)</i>	<i>Elbow(ms)</i>	<i>Gripper(ms)</i>	
1	105	105	102	105	417
2	139	69	103	105	416
3	70	104	104	105	383
4	105	103	105	103	416
5	103	105	104	34	346
6	140	102	103	104	449
7	104	70	101	105	380
8	102	104	69	137	412
Waktu Rata-rata (milisecond)			402.75		
<i>Base(ms)</i>			108.5		
<i>Shoulder(ms)</i>			95.25		
<i>Elbow(ms)</i>			98.87		
<i>Gripper(ms)</i>			99.75		

Tabel 3. Hasil pengukuran respon waktu putaran kedua

Gerakan	Waktu (milisecond)				Jumlah
	<i>Base(ms)</i>	<i>Shoulder(ms)</i>	<i>Elbow(ms)</i>	<i>Gripper(ms)</i>	
1	105	104	104	103	416
2	104	102	70	173	449
3	139	68	104	68	379
4	105	70	104	135	414
5	104	104	104	103	415
6	102	138	104	205	549
7	175	69	104	105	453
8	138	68	105	103	414
Waktu Rata-rata (milisecond)			436.12		
<i>Base(ms)</i>			121.5		
<i>Shoulder(ms)</i>			90.37		
<i>Elbow(ms)</i>			99.87		
<i>Gripper(ms)</i>			124.37		

Tabel 4. Hasil pengukuran respon waktu putaran ketiga

Gerakan	Waktu (milisecond)				Jumlah
	<i>Base(ms)</i>	<i>Shoulder(ms)</i>	<i>Elbow(ms)</i>	<i>Gripper(ms)</i>	
1	103	106	105	140	454
2	70	103	70	139	382
3	103	102	104	102	411
4	103	102	102	138	445
5	138	104	69	136	447
6	102	102	104	136	444
7	135	102	138	208	583
8	103	105	104	104	416
Waktu Rata-rata (ms)			447.75		
<i>Base(ms)</i>			107.12		
<i>Shoulder(ms)</i>			103.25		
<i>Elbow(ms)</i>			99.5		
<i>Gripper(ms)</i>			137.87		

Berdasarkan data respon waktu dari keempat *joint* tersebut dengan percobaan selama 3 kali putaran, respon waktu dari keempat aktuator yang mewakili *base*, *shoulder*, *elbow*, dan *gripper* mengalami penambahan, yang mengakibatkan dalam penggunaan secara panjang, respon waktu dari suatu gerakan tertentu akan melambat, dari semula 402,37 menjadi 447.75 *millisecond*.

4.3 Pengujian Jarak Pengguna

Pada tahap pengujian ini dilakukan pengukuran jarak dalam melakukan suatu gerakan antara pengguna dan Kinect, tujuan pengujian ini untuk mengetahui berapa meter jarak minimal yang dibutuhkan untuk Kinect dalam membaca suatu gerakan.

Tabel 5. Hasil pengujian jarak antara pengguna dan Kinect

Percobaan ke-	Jarak Pengguna dari Kinect(meter)	Base(°)	Shoulder(°)	Elbow(°)	Gripper(°)
1	0.5	0	0	0	0
2	1	0	0	0	18
3	1.5	0	9	8	38
4	2	0	9	41	16
5	2.5	24	20	19	9
6	3	17	5	18	15
7	3.5	61	82	16	5
8	4	44	26	93	60
9	4.5	19	17	22	23
10	5	14	15	0	0

Berdasarkan tabel di atas maka didapat dari data pertama dalam jarak 0.5 m, Kinect belum bisa mendapatkan data dari keempat *joint*, setelah diberikan penambahan jarak 0.5 mulai ada *joint gripper* yang terbaca Kinect, kemudian ketika dalam jarak 2.5 m semua *joint* mulai terbaca oleh Kinect hingga pada jarak antara pengguna dan Kinect mencapai 4.5 m dan pada jarak di atas 5 m mulai ada *joint* yang tidak terbaca oleh Kinect. Oleh sebab itu dapat diketahui bahwa jarak yang dibutuhkan antara pengguna dan Kinect untuk membaca semua *joint* yaitu pada rentang 2.5 sampai 4.5 meter.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis tugas akhir ini, dapat ditarik beberapakesimpulan sebagai berikut :

1. Lengan robot untuk pengendali berbasis Kinect ini memiliki 4 titik *Joint* diantaranya *base*, *shoulder*, *elbow*, dan *gripper*. Keempat titik ini menjadi suatu sistem penggerak lengan robot yang berputar mengikuti gerakan lengan manusia.
2. Pada keempat *joint* lengan robot *base*, *shoulder*, *elbow*, dan *gripper* masing-masing memiliki error akurasi sudut 33.6° , 4.8° , 4.3° , dan 0° . Pergerakan lengan robot memiliki akurasi tinggi mengikuti gerakan lengan manusia, kecuali pada *joint base* dikarenakan sensitivitas pembacaan *joint base* masih kurang.
3. Lengan robot dapat berfungsi mengikuti gerakan lengan manusia secara *real time* dengan memakan waktu sebesar 402.375 *millisecond* pada delapan gerakan lengan yang telah dicontohkan.
4. Pada keempat *joint* lengan robot *base*, *shoulder*, *elbow*, dan *gripper* dengan nilai sudut tujuan masing-masing 1° - 90° , 45° - 90° , 1° - 90° , dan 70° - 180° , memiliki persentase error 80.64 dan 90.92 untuk *base*, 7.4 dan 1.66 untuk *shoulder*, 80 dan 14.63 untuk *elbow* dan persentase error 0 untuk *gripper*.
5. Respon waktu dalam melakukan 8 gerakan, pada percobaan selama 3 kali putaran, mengalami penambahan dari semula 402.37, 436.12, kemudian menjadi sebesar 447.75 *millisecond*.

Referensi

- [1] P. A. Sejati and A. Susanto, "Rancang Bangun Purwarupa Klasifikasi Warna Objek Menggunakan Robot Lengan 4-DOF," J. Sains dan Teknol., vol. 6, no. 2, p. 290, Nov. 2017.
- [2] K. O. Evliyaoğlu and M. Elitaş, "Design and Development of a Self-adaptive, Reconfigurable and Low-Cost Robotic Arm," Mechatronics Robot. Eng. Adv. Intell. Manuf., pp. 395–405, 2017.
- [3] M. A. S. Arifin, "Rancang Bangun Prototype Robot Lengan Menggunakan Flex Sensor Dan Accelerometer Sensor Pada Lab Mikrokontroler Stmik Musirawas," Ilk. J. Ilm., vol. 9, no. 3, p. 255, 2017.
- [4] A. Abdullah, "Sistem Penyeleksi Warna Dan Berat Barang Menggunakan Pergerakan Lengan Robot Empat DOF (Degree Of Freedom)," J-SAKTI (Jurnal Sains Komput. dan Inform., vol. 1, no. 1, p. 59, 2017.
- [5] V. Saputra and Syufrijal, "Prototipe Lengan Robot Pemindah Benda Berbasis PLC," J. Autocracy, vol. 3, no. 2, p. 129, 2016.
- [6] I. Ismail, E. Susanto, and M. Suraatmadja, "Implementasi Logika Fuzzy Dan Kalman Filter Untuk Kendali Lengan Robot Menggunakan Gestur Tangan Manusia," e-Proceeding Eng., vol. 2, no. 3, pp. 7019–7027, 2015.
- [7] I. Ben Abdallah, Y. Bouteraa, and C. Rekik, "Kinect-Based Sliding Mode Control for Lynxmotion Robotic Arm," Adv. Human-Computer Interact., vol. 2016, pp. 1–10, 2016.
- [8] K. Miądlicki, M. Pajor, and M. Saków, "Kinect sensor implementation in FANUC robot manipulation," Arch. Mech. Technol. Autom., vol. 34, no. 3, pp. 35–44, 2014.
- [9] D. Caysar, G. D. Nusantoro, and E. Yudaningtyas, "Pengaturan Pergerakan Robot Lengan Smart Arm Robotic Ax-12a Melalui Pendekatan Geometry Based Kinematic Menggunakan Arduino," J. Mhs. TEUB, vol. 2, no. 7, pp. 1–8, 2015.
- [10] S. Amatya and S. Petchartee, "Real time kinect based robotic arm manipulation with five degree of freedom," ACDT 2015 - Proc. 1st Asian Conf. Def. Technol., 2015.
- [11] R. Afthoni, A. Rizal, and E. Susanto, "Proportional derivative control based robot arm system using microsoft kinect," Proc. 2013 Int. Conf. Robot. Biomimetics, Intell. Comput. Syst. ROBIONETICS 2013, pp. 24–29, 2013.
- [12] M. Z. Al-Faiz and A. F. Shanta, "Kinect-Based Humanoid Robotic Manipulator for Human Upper Limbs Movements Tracking," Intell. Control Autom., vol. 06, no. 01, pp. 29–37, 2015.
- [13] "Arduino Mega 2560 Datasheet", 2019. [Daring] Tersedia : <https://www.robotshop.com/media/files/pdf/arduinomega2560datasheet.pdf> [Diakses 24 November 2019].
- [14] "SG90 9 g Micro Servo Datasheet", 2019. [Daring] Tersedia : <https://datasheet4u.com/datasheet-parts/SG90-datasheet.php?id=791970> [Diakses 24 November 2019].