

Pengendalian Tiga *Joint Manipulator* (Robot Tangan) dengan Lima Derajat Kebebasan Menggunakan Kendali *Eksternal Smartphone*

Muhammad Raza Ilham¹, Niken Syafitri²

¹²Institut Teknologi Nasional Bandung
Email : mrzailham64@gmail.com

Received 23 01 2024 | Revised 30 01 2024 | Accepted 30 01 2024

ABSTRAK

Robot tangan merupakan salah satu alat yang banyak digunakan di industri manufaktur. Meskipun memiliki banyak keuntungan, robot tangan juga memiliki risiko kecelakaan. Oleh karena itu, diperlukan sistem kendali yang aman dan mudah digunakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan sistem kendali eksternal untuk robot tangan dengan lima derajat kebebasan. Sistem kendali menggunakan mikrokontroler ESP32, smartphone sebagai pengendali, motor servo MG996R dan SG90. Hasil penelitian menunjukkan akurasi dan presisi dari setiap joint manipulator adalah sebagai berikut. Servo waist sebesar $\pm 1,211^\circ$ dan servo shoulder $\pm 2,615^\circ$ dan servo elbow $\pm 3,459^\circ$. Nilai presisi yang tercatat pada servo waist $\pm 0,711^\circ$ dan servo shoulder $\pm 1,915^\circ$ dan servo elbow $\pm 2,459^\circ$. Selain itu, jarak pengendalian smartphone dengan koneksi bluetooth jarak optimal untuk sistem kendali ini adalah dari jarak 1 meter hingga 12 meter.

Kata kunci: akurasi, derajat kebebasan, presisi, kendali, robot manipulator

ABSTRACT

Manipulator robots are widely used in manufacturing. Although they have many advantages, they also pose a risk of accidents. Therefore, a safe and easy-to-use control system is needed. This study aims to implement an external control system for a five-degree-of-freedom manipulator robot. The control system uses an ESP32 microcontroller, a smartphone as a controller, MG996R and SG90 servo motors. This study calculates the accuracy and precision of each manipulator joint with the results of accuracy recorded on the servo waist of $\pm 1.211^\circ$ and servo shoulder $\pm 2.615^\circ$ and servo elbow $\pm 3.459^\circ$. The precision value recorded on the servo waist $\pm 0.711^\circ$ and servo shoulder $\pm 1.915^\circ$ and servo elbow $\pm 2.459^\circ$. In addition, the optimal control distance using smartphone with bluetooth connection is from 1 meter to 12 meters.

Keywords: accuracy, control, degrees of freedom, manipulator robot, precision

1. PENDAHULUAN

Robotika telah mencapai pencapaian tertingginya dalam industri manufaktur. Dengan menjaga bahu robot dalam posisi yang tepat pada jalur perakitan, robot tangan dapat bergerak dengan cepat dan akurat untuk menyelesaikan tugas-tugas berulang seperti pengelasan titik dan pengecatan. Di industri elektronik, manipulator digunakan untuk menempatkan komponen elektronik dengan presisi tinggi, sehingga efektivitas pembuatan perangkat seperti telepon genggam dan laptop meningkat **(Siegwad R, 2004)**.

Industri saat ini berusaha meningkatkan efisiensi produksinya dengan menghindari penggunaan tenaga kerja manusia, karena manusia rentan terhadap kelemahan dan kelelahan dalam menjalankan tugas. Sebagai solusinya, perusahaan besar beralih ke penggunaan robot industri untuk menyelesaikan proses produksi, terutama yang berbahaya atau repetitif **(William, 2019)**.

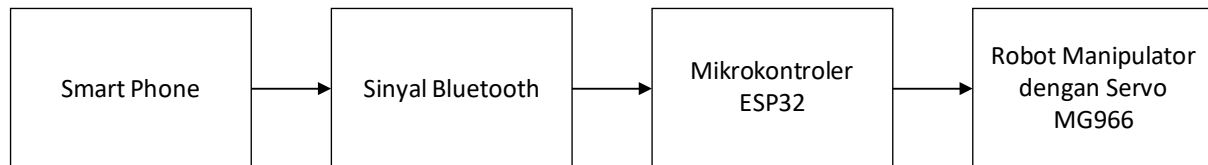
Dalam robot lengan, terdapat tiga elemen utama yang terdiri dari struktur mekanik atau manipulator, penggerak, dan sistem kontrol. Manipulator merupakan kumpulan benda kaku atau rigid bodies dan lengan yang saling terhubung oleh sendi atau joint. Pangkal lengan dipasang pada kerangka dasar sementara ujung lengan atau end effector dapat dipasangkan dengan perangkat yang sesuai dengan fungsi robot lengan **(Didi, 2015)**. Dalam teknik manufaktur manipulator industri banyak digunakan sebagai robot industri saat ini. Robot ini dapat melakukan berbagai tugas dan dapat dioperasikan dengan berbagai cara. Biasanya, robot ini dilengkapi dengan set joystick kontrol yang membantu pengguna mengontrol posisi end effector. Pengguna dapat menerjemahkan end effector di sumbu x, y, dan z positif dan negatif dengan menggunakan joystick **(Craig, J.J. 2005)**. Manipulator Robot lengan memiliki dua sisi yang digunakan dalam melakukan pergerakan tersebut. Salah satu sisi yang disebut poros ditanam pada bidang yang statis dan sisi lain disebut ujung (end effector) yang dapat dimuati dengan tool tertentu sesuai dengan tugas robot. Umumnya tool yang digunakan adalah gripper yang dapat difungsikan sebagai penjepit atau pencengkeram objek yang akan diambil. Selain itu pergerakan robot lengan dapat diatur sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan, baik itu sudut putaran robot lengan atau pun jarak jangkauan lengan robot **(Widayanti, 2009)**.

Meskipun robot lengan memiliki banyak keuntungan dan manfaat dalam meringankan pekerjaan manusia robot lengan seringkali mengalami permasalahan antara lain kecelakaan dalam hal ini robot tidak dioperasikan dengan baik bisa mengakibatkan kecelakaan yang serius. Oleh karena itu, pengoperasian robot lengan memerlukan pelatihan dan pengawasan yang ketat. Contohnya terjadi ketidaksesuaian pergerakan dan akurasi dalam hal pergerakan robot yang tidak sesuai kontrol yang telah diprogramkan sehingga tidak efisien dan sangat tidak akurat yang menyebabkan kecelakaan **(Uhrowi, 2019)**. Tujuan dari penelitian ini untuk menganalisa pengendalian tiga joint (waist, shoulder, elbow) dengan lima derajat kebebasan (DoF) menggunakan kendali eksternal (smartphone) untuk memaparkan data dan kesimpulan praktik sebagai acuan ke depannya.

2. METODOLOGI

2.1. Perencanaan Sistem

Dalam gambaran sistem yang dirancang Gambar 1 ditunjukkan blok diagram yang terdiri dari fungsi serta spesifikasi dari sistem yang dirancang. Sistem yang dirancang adalah untuk menganalisis akurasi, presisi dan jarak kendali dari tiga joint manipulator.



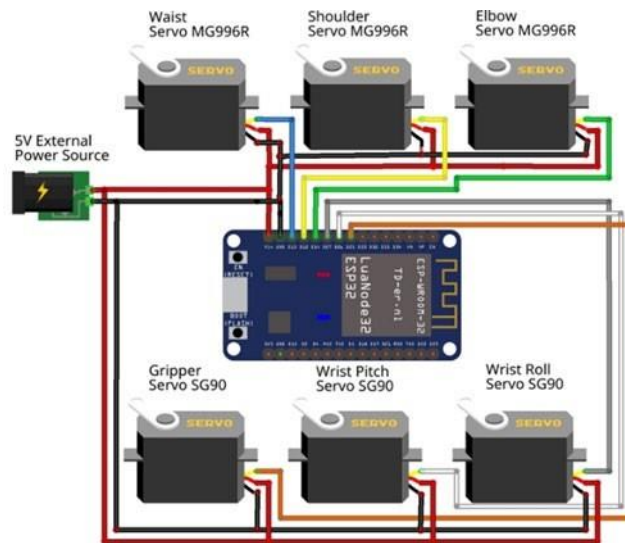
Gambar 1. Blok Diagram Sistem kendali Robot Manipulator

Spesifikasi dari sistem yang dirancang yaitu:

1. 3 Servo motor MG996 sebagai penggerak 3 joint (waist, shoulder, elbow).
2. 3 Servo motor SG90 sebagai penggerak 2 joint ujung (wrist roll, wrist pitch) dan end effector (gripper).
3. ESP32 digunakan sebagai kontroler.
4. Smartphone digunakan sebagai pengendali eksternal dengan type Xiaomi Redmi Note 7
5. .
6. Goniometer sebagai pengukur dan pembanding akurasi sudut pada joint dengan ketidakpastian sebesar 0.5° .
7. Roll meter sebagai pengukur jarak optimal koneksi bluetooth yang terhubung di smartphone sebagai pengendali eksternal.
8. Pengukuran akurasi dilakukan melalui sepuluh kali percobaan pada setiap 30° dengan alat ukur goniometer.
9. Pengujian jarak kendali bluetooth dilakukan di dalam ruangan (indoor) dan diatas lantai pada setiap 1 meter dengan alat ukur roll meter.
10. Perancangan software menggunakan Arduino IDE dan MittAPP inventor.

2.2 Perancangan Perangkat Keras

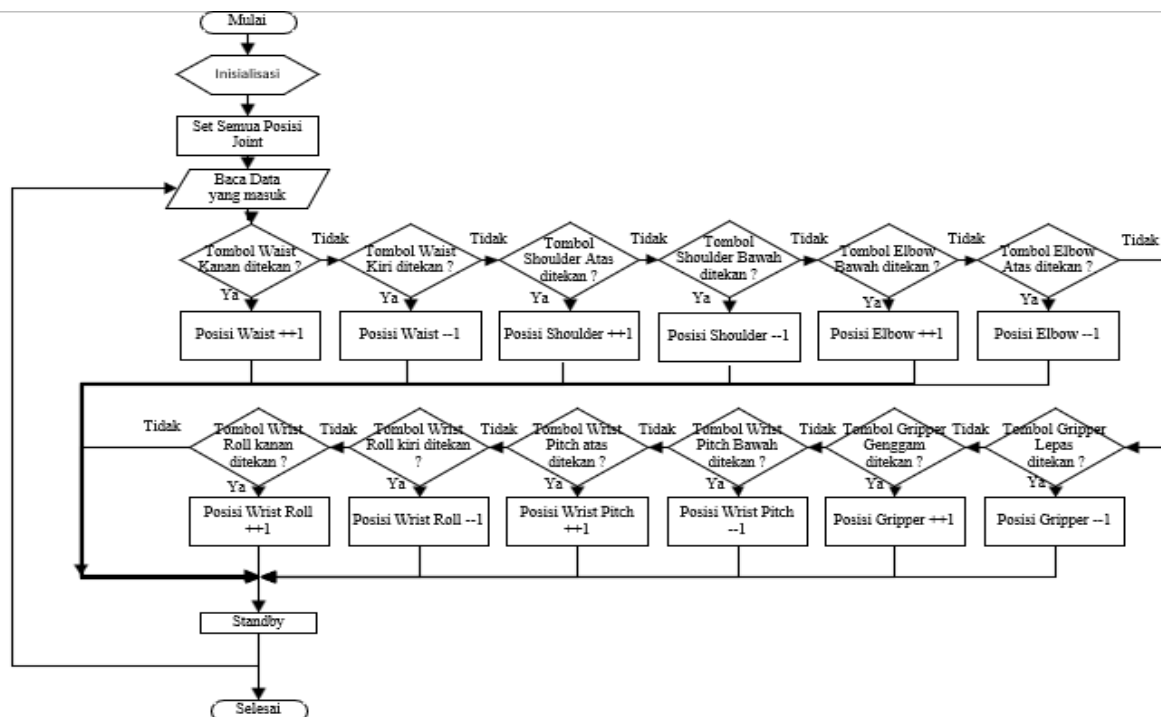
Gambar 2 menunjukan wiring diagram dari sistem kendali robot manipulator. Terdapat dua jenis motor servo yang digunakan pada robot ini di antaranya: motor servo MG996R, yang digunakan untuk menggerakkan base manipulator dan motor servo kedua adalah SG90, yang digunakan untuk menggerakkan dua joint ujung manipulator dan end effector. Setiap motor servo tersambung ke pin ESP32. Tiga servo MG996R tersambung ke pin PWM servo terhubung ke pin D13, D12, D14. Sedangkan tiga servo SG90 dengan pin PWM servo terhubung ke pin D27, D26, D25 pada ESP32. Melalui koneksi bluetooth, pengguna dapat mengontrol gerakan robot tangan menggunakan aplikasi smartphone yang terhubung dengan ESP32. Motor servo akan menerima sinyal dari ESP32 untuk mengubahnya menjadi gerakan fisik pada masing-masing joint robot yang nantinya nilai sudut dari servo tersebut akan ditampilkan pada serial monitor Arduino IDE.



Gambar 2. Wiring Perangkat Keras

2.3 Perancangan Perangkat Lunak

Dalam proses pemrograman, flowchart atau diagram alir sangat penting. Dengan adanya flowchart ini dapat membantu mempermudah proses pemrograman yang dilakukan pada Arduino IDE. Gambar 3 menunjukkan langkah pertama yang dilakukan adalah inisiasi enam servo, bluetooth, dan beberapa variabel yang digunakan untuk menyimpan posisi saat ini dan sebelumnya dari servo, serta array untuk menyimpan posisi atau langkah-langkah dalam mode otomatis. Selanjutnya robot akan menggerakkan servo ke posisi awal yang sudah ditentukan untuk menunggu umpan balik dari user yang akan diinput.



Gambar 3. Flowchart Sistem

2.4 Metode Pengujian Sistem

Dalam pengujian keakuratan tiga joint manipulator, tujuannya adalah untuk mendapatkan informasi mengenai akurasi dan presisi dari tiga joint manipulator (waist, elbow dan shoulder). Awalnya, langkah pengujian dilakukan dengan menghubungkan robot tangan ke lingkungan pengembangan Arduino IDE dan memeriksa keberhasilan koneksi melalui kabel USB. Setelah tahap tersebut, titik referensi 0° ditetapkan, yaitu posisi di mana servo berada pada sudut 0° . Referensi ini menjadi titik awal yang akan digunakan sebagai acuan dalam pengukuran. Setelah titik 0° ditetapkan, langkah selanjutnya adalah meletakkan goniometer plastik pada persendian yang akan diukur sudutnya. Satu bagian dari goniometer ditempatkan pada komponen yang tetap, sedangkan bagian lainnya ditempatkan pada komponen yang dapat bergerak. Peletakan goniometer dapat dilihat pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4. Peletakan Goniometer pada Joint Elbow

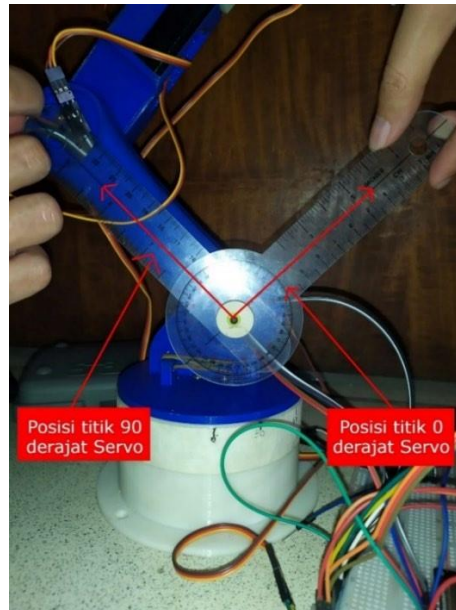
Untuk pengujian jarak koneksi bluetooth, uji coba jarak koneksi bluetooth dilaksanakan dengan tujuan untuk menentukan jarak yang paling optimal di mana aplikasi pada smartphone masih bisa mengontrol robot tangan yang terhubung dengan mikrokontroler ESP32. Setiap tahap pengukuran dilaksanakan pada jarak 1 meter, dimana dalam setiap peningkatan jarak sebesar 1 meter dengan acuan menggunakan alat ukur roll meter ditunjukkan pada Gambar 5 dan aplikasi di smartphone digunakan untuk mengendalikan pergerakan waist, shoulder dan elbow pada robot tangan. Rentang pergerakan yang diuji dilakukan adalah rentang -90 hingga 90 derajat untuk waist, rentang shoulder -90 hingga 0 derajat dan rentang elbow -90 hingga -30 derajat.



Gambar 5. Posisi Robot Manipulator untuk Pengujian Jarak

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan dengan melakukan 10 kali pengulangan pengukuran di setiap pergeseran sudut 30°. Gambar 6 menunjukkan hasil pengujian keakuratan tiga joint manipulator diperoleh dari pengukuran sudut pada setiap joint menggunakan goniometer. Pengukuran sudut dilakukan dengan membandingkan hasil yang terbaca pada goniometer dan dibandingkan dengan nilai sudut yang ditampilkan pada serial monitor dari servo yang terkait.



Gambar 6. Pengukuran Sudut Shoulder 90 Derajat Menggunakan Goniometer

Dari data yang telah diperoleh saat pengukuran, langkah-langkah selanjutnya dapat untuk menganalisis keakuratan dari 3 joint manipulator. Langkah pertama rata-rata dari data pengukuran dihitung dengan menggunakan persamaan (1).

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (1)$$

Dimana x_1 adalah nilai pengukuran pertama, x_2 adalah nilai pengukuran kedua dan n adalah banyaknya proses pengukuran. Selanjutnya, untuk menghitung standar deviasi dengan menggunakan persamaan (2).

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_{ii} - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (2)$$

Di mana :

S = standar deviasi n = banyaknya data uji

x = nilai yang terukur ii = data ke- i

$\bar{x}$ = nilai rata-rata

Untuk menghitung nilai standar error dengan menggunakan rumus persamaan (3).

$$\text{standar error} = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Di mana:

S = standar deviasi

n = banyaknya data

(3)

Untuk menghitung nilai ketidakpastian dengan menggunakan rumus persamaan (4).

$$\text{Ketidakpastian}(\Delta x) = f \text{ faktor pengali} \times \text{standar error}$$

(4)

Dimana untuk nilai faktor pengali didapatkan dari tabel confidence level (CL) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Confidence Level

	Tingkat Kepercayaan					
	90%	95%	98%	99%	99.80%	99.90%
	Tingkat dari Kepercayaan					
2 Tailed	0,100	0,050	0,020	0,010	0,002	0,001
1 Tailed	0,050	0,025	0,010	0,005	0,001	0,001

dk						
1	6,320	12,690	31,810	63,670	-	-
2	2,912	4,271	6,816	9,520	19,650	26,300
3	2,352	3,179	4,525	5,797	9,937	12,390
4	2,132	2,776	3,744	4,596	7,115	8,499
5	2,015	2,570	3,365	4,030	5,876	6,835
6	1,094	2,447	3,143	3,707	5,201	5,946
7	1,895	2,365	2,999	3,500	4,783	5,403
8	1,860	2,306	2,897	3,356	4,500	5,039
9	1,833	2,262	2,822	3,250	4,297	4,780
10	1,813	2,228	2,764	3,170	4,144	4,556
11	1,796	2,201	2,719	3,106	4,025	4,437

Pada penelitian ini presentase tingkat kepercayaan (CL) yang digunakan yaitu sebesar 95% dengan jumlah pengulangan pengukuran sebanyak 10 kali. Oleh karena itu nilai df (degree of freedom) yang digunakan adalah 9 (df = n - 1), sehingga didapatkan nilai factor pengali sebesar 2,262. Untuk menghitung nilai presisi alat dihitung menggunakan persamaan (5).

$$\Delta \text{Presisi} = \sqrt{\Delta \text{ref}^2 + \Delta \text{eff}^2}$$

(5)

Dimana Δref merupakan nilai ketidakpastian dari alat ukur referensi, pada kasus ini alat ukur referensi yang digunakan adalah goniometer yang memiliki nilai ketidakpastian sebesar 0.5°. Untuk menghitung nilai akurasi dengan menggunakan rumus persamaan (6).

$$\Delta \text{Akurasi} = \Delta \text{Presisi} + \bar{x} - x_v$$

(6)

Tabel 2 menunjukkan hasil pengukuran sudut waist, data tersebut menunjukkan hasil terbesar dari nilai ketidakpastian sebesar $\pm 0,506^\circ$ dengan nilai presisi sebesar $\pm 0,711^\circ$ dan nilai akurasi sebesar $\pm 1,211^\circ$.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Waist

No	Sudut [°]	Rata-rata percobaan 1-10 [°]	Standar Deviasi	Standar Error	Ketidakpastian (CL 95%)	Presisi [°]	Akurasi [°]
1	-90	-89,80	0,422	0,133	0,302	0,584	0,784
2	-60	-60,50	0,707	0,224	0,506	0,711	1,211
3	-30	-29,80	0,632	0,200	0,452	0,674	0,874
4	0	0,10	0,316	0,100	0,226	0,549	0,649
5	30	30,10	0,568	0,180	0,406	0,644	0,744
6	60	60,10	0,316	0,100	0,226	0,549	0,649
7	90	90,00	0,000	0,000	0,000	0,500	0,500
Nilai maksimum					0,506	0,711	1,211

Untuk data hasil pengukuran sudut shoulder pada Tabel 3 yang didapatkan dari pengukuran didapatkan hasil terbesar dari nilai ketidakpastian sebesar $\pm 1,848^\circ$ dengan nilai presisi sebesar $\pm 1,915^\circ$ dan nilai akurasi sebesar $\pm 2,615^\circ$.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Shoulder

No	Sudut	Rata-rata percobaan 1-10 [°]	Standar Deviasi	Standar Error	Ketidakpastian (CL 95%)	Presisi [°]	Akurasi [°]
1	-90	-89,80	0,422	0,133	0,302	0,584	0,784
2	-60	-60,10	0,568	0,180	0,406	0,644	0,744
3	-30	-29,30	1,059	0,335	0,758	0,908	1,608
4	0	0,30	0,675	0,213	0,483	0,695	0,995
5	30	31,30	1,636	0,517	1,171	1,273	2,573
6	60	60,80	2,573	0,814	1,841	1,907	2,707
7	90	89,80	0,422	0,133	0,302	0,584	0,784
Nilai maksimum					1,841	1,907	2,707

Dan hasil terakhir dari data pengukuran sudut elbow terdapat pada Tabel 4 hasil terbesar dari nilai ketidakpastian sebesar $\pm 2,408^\circ$ dengan nilai presisi sebesar $\pm 2,459^\circ$ dan nilai akurasi sebesar $\pm 3,459^\circ$.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Elbow

No	Sudut	Rata-rata percobaan 1-10 [°]	Standar Deviasi	Standar Error	Ketidakpastian (CL 95%)	Presisi [°]	Akurasi [°]
1	-90	-89,40	1,075	0,340	0,769	0,917	1,517
2	-60	-60,10	0,568	0,180	0,406	0,644	0,744
3	-30	-29,30	1,059	0,335	0,758	0,908	1,608
4	0	1,00	3,367	1,065	2,408	2,459	3,459
5	30	30,60	1,174	0,371	0,840	0,977	1,577
6	60	60,20	1,751	0,554	1,253	1,349	1,549
7	90	89,60	0,516	0,163	0,369	0,622	1,022
Nilai maksimum					2,408	1,907	3,459

Tabel 5 ditunjukkan hasil pengujian jarak koneksi bluetooth. Pada jarak 1m hingga 12 meter koneksi bluetooth terhubung dan kendali pada robot tangan bergerak. Pada pengujian di atas 12 meter koneksi dari bluetooth terganggu hal ini disebabkan adanya banyak intervensi didalam ruangan seperti sinyal wifi, sinyal dari hp, posisi penempatan robot tangan dan ESP32 dan lain-lain.

Tabel 5. Pengujian jarak koneksi bluetooth

Jarak Bluetooth Indoor Tanpa Halangan								
No	Jarak (m)	Status Bluetooth	Servo Waist		Servo Shoulder		Servo Elbow	
			Kondisi Servo	Gerakan Sudut [°]	Kondisi Servo	Gerakan Sudut [°]	Kondisi Servo	Gerakan Sudut [°]
1	1	Terhubung	Bergerak	-90 hingga 90	Bergerak	-90 hingga 0	Bergerak	-90 hingga -30
2	2	Terhubung	Bergerak	-90 hingga 90	Bergerak	-90 hingga 0	Bergerak	-90 hingga -30
3	3	Terhubung	Bergerak	-90 hingga 90	Bergerak	-90 hingga 0	Bergerak	-90 hingga -30
4	4	Terhubung	Bergerak	-90 hingga 90	Bergerak	-90 hingga 0	Bergerak	-90 hingga -30
5	5	Terhubung	Bergerak	-90 hingga 90	Bergerak	-90 hingga 0	Bergerak	-90 hingga -30
6	6	Terhubung	Bergerak	-90 hingga 90	Bergerak	-90 hingga 0	Bergerak	-90 hingga -30
7	7	Terhubung	Bergerak	-90 hingga 90	Bergerak	-90 hingga 0	Bergerak	-90 hingga -30
8	8	Terhubung	Bergerak	-90 hingga 90	Bergerak	-90 hingga 0	Bergerak	-90 hingga -30
9	9	Terhubung	Bergerak	-90 hingga 90	Bergerak	-90 hingga 0	Bergerak	-90 hingga -30
10	10	Terhubung	Bergerak	-90 hingga 90	Bergerak	-90 hingga 0	Bergerak	-90 hingga -30
11	11	Terhubung	Bergerak	-90 hingga 90	Bergerak	-90 hingga 0	Bergerak	-90 hingga -30
12	12	Terhubung	Bergerak	-90 hingga 90	Bergerak	-90 hingga 0	Bergerak	-90 hingga -30
13	13	Terganggu	Bergerak	-90 hingga 90	Bergerak	-90 hingga 0	Bergerak	-90 hingga -30
14	14	Terganggu	Bergerak	-90 hingga 90	Bergerak	-90 hingga 0	Bergerak	-90 hingga -30
15	15	Terganggu	Bergerak	-90 hingga 90	Bergerak	-90 hingga 0	Bergerak	-90 hingga -30
16	16	Terganggu	Bergerak	-90 hingga 90	Bergerak	-90 hingga 0	Bergerak	-90 hingga -30
17	17	Terganggu	Bergerak	-90 hingga 90	Bergerak	-90 hingga 0	Bergerak	-90 hingga -30
18	18	Terganggu	Bergerak	-90 hingga 90	Bergerak	-90 hingga 0	Bergerak	-90 hingga -30
19	19	Terputus	Tidak Bergerak	Tidak Bergerak	Tidak Bergerak	Tidak Bergerak	Tidak Bergerak	Tidak Bergerak

Tetapi dalam pengendalian robot tangan masih bisa bergerak dari setiap 3 joint servo (waist,shoulder,elbow), dalam pengujian di atas jarak 12 meter. Namun pada jarak 19 meter di mana maksimum jarak yang dapat terukur, koneksi bluetooth terputus serta smartphone yang digunakan sebagai kendali robot tangan menunjukkan status error 516: unable to write. Broken pipe yang artinya tidak bisa dihubungkan serta pengendalian 3 joint servo tidak bergerak.

4. KESIMPULAN

Pengendalian 3 joint dengan kendali eksternal melalui aplikasi smartphone dapat bekerja. Setiap tombol pada aplikasi terhubung dengan servo joint tertentu pada manipulator, bila tombol ditekan maka aplikasi akan mengirimkan kode perintah penambahan atau pengurangan nilai sudut pada setiap joint tertentu. Nilai terbesar akurasi pada bagian waist sebesar $\pm 1,211^\circ$, nilai presisi sebesar $\pm 0,711^\circ$, dan nilai ketidakpastian sebesar $\pm 0,506^\circ$. Nilai terbesar akurasi pada bagian shoulder sebesar $\pm 2,615^\circ$, nilai presisi sebesar $\pm 1,915^\circ$, dan nilai ketidakpastian sebesar $\pm 1,848^\circ$. Nilai terbesar akurasi pada bagian elbow sebesar $\pm 3,459^\circ$, nilai presisi sebesar $\pm 2,459^\circ$, dan nilai ketidakpastian sebesar $\pm 2,408^\circ$.

Pengujian jarak koneksi bluetooth melalui aplikasi kendali eksternal aplikasi smartphone bisa berfungsi. Jarak koneksi dan kontrol dari robot tangan optimal pada 1 meter hingga 12 meter dapat bekerja tanpa hambatan, namun pada jarak diatas 12 meter koneksi bluetooth terganggu tetapi untuk pengontrol robot tangan masih bisa bergerak. Pada jarak 19 meter koneksi untuk bluetooth putus dan kendali robot tangan tidak bergerak.

DAFTAR PUSTAKA

- Craig, J.J. (2005). Introduction to Robotics Mechanics and Control. Prentice Hall. United State of America.
- Didi, M. (2016). Rancang Bangun Pengendalian Robot Lengan 4 DOF dengan GUI (Graphical User Interface) Berbasis Arduino Uno. Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura, 1(1), 1-2.
- Muslimin, S., & Wijanarko, Y. (2014). Penerapan Flex-Sensor Pada Lengan Robot Berjari Pengikut Gerak Lengan Manusia Berbasis Mikrokontroler. Technologic Politeknik Astra, 5(2),.
- Siegwart, R., Nourbakhsh, I. R., & Sutjianto. Scaramuzza, D. (2004). Introduction to Autonomous Mobile Robots, Massachusetts Institute of Technology. Search in.
- Uchrowi, Lasmadi, Sutjianto. (2019). Pemodelan Dan Simulasi Robot Lengan 3 DOF Menggunakan VREP, AVITEC, 1(1) 87-98.
- Wiliam, W., Kartadinata, B., & Wijayanti, L. (2019). Pengendalian Lengan Robot untuk Proses Pemindahan Barang. TESLA: Jurnal Teknik Elektro, 21(1), 69-78.