

Prototype Manipulator 3 Derajat Kebebasan (DoF) Dengan Menggunakan Fuzzy System Untuk Keputusan Pick Dan Place

IRFAN TAUFIK RACHMAN^{1*}, NIKEN SYAFITRI¹

Irfan Taufik Rachman^{1*}, Niken Syafitri, ST., M.T., Ph.D¹

Email: irfantaufik888@gmail.com

Received 18 01 2024 | *Revised* 29 01 2024 | *Accepted* 29 01 2024

ABSTRAK

Manipulator robot merupakan suatu rangkain elektronika yang memiliki cara kerja menyerupai lengan manusia, yang sering digunakan di industri sebagai bentuk perkembangan teknologi untuk menggantikan peranan SDM pada industry. Secara umum manipulator robot terdiri dari beberapa bagian seperti joint, link dan end effector. Pada proses kerjanya manipulator robot menggunakan forward kinematic dan/atau inverse kinematic sebagai metoda pada proses pergerakannya. Robot manipulator juga memerlukan suatu sistem agar dapat beroperasi secara efektif, salah satunya menggunakan metoda fuzzy system. Untuk itu dilakukan pembuatan prototype manipulator dengan menggunakan fuzzy system sebagai penentu keputusan pick dan place, manipulator ini menggunakan sensor ultrasonik sebagai input dengan nilai error terbesar dengan nilai 200%. Manipulator ini menggunakan inverse kinematic sebagai proses pergerakannya dan memiliki nilai akurasi terbesar dengan nilai 89,13% pada jarak dan 95,34% % pada ketinggian.

Kata kunci: Fuzzy System, Manipulator, Sensor Ultrasonik, Forward Kinematic, Inverse Kinematic

ABSTRACT

A robot manipulator is an electronic circuit that works like a human arm. Which is often used in industry as a form of technological development to replace the role of human resources in industry. In Generally, a robot manipulators consist of several parts such as joint, links and end effectors. In its working process, the robot manipulator uses forward kinematic and/or inverse kinematic as a method for its movement process, robot manipulators also require a system to operate effectively, one of which uses the fuzzy system method. For this reason, a manipulator prototype was made using a fuzzy system as a deteminant of pick and place decisions. This manipulator uses an ultrasonic sensor as input with the largest error value of 200%. this manipulator uses inverse kinematic as its movement process and has the greatest accuracy value with a value of 89.13% at distance and 95.34% at height.

Keywords: Fuzzy System, Manipulator, Ultrasonic Sensor, Forward Kinematic, Inverse Kinematic

1. PENDAHULUAN

Manipulator robot adalah suatu rangkaian elektronik mekanik yang memiliki cara kerja menyerupai lengan manusia. Robot manipulator biasa digunakan pada bidang industri sebagai bentuk perkembangan teknologi dan peningkatan efisiensi untuk menggantikan peranan SDM pada bidang industri dan manufaktur. Manipulator robot adalah peralatan yang cukup sering digunakan pada bidang industri robot. Manipulator tersusun dari beberapa komponen yaitu sendi (joint), penghubung (link) dan end effector. Pada bagian sendi (joint) manipulator terdapat dua jenis cara kerja, yaitu dengan berputar disebut dengan sendi putar (revolute joint) dan dengan cara bergeser disebut dengan sendi geser (prismatic joint). Terdapat dua cara perhitungan untuk menghitung pergerakan manipulator yaitu dengan menggunakan forward kinematic dan inverse kinematic (**Arlean, 2017**). Manipulator robot sendiri dapat di gerakan atau diberikan perintah menggunakan banyak metoda salah satunya dengan menggunakan metoda fuzzy system. Fuzzy system adalah sistem yang bekerja menggunakan basis pengetahuan atau basis aturan. (**Wang, 1999**).

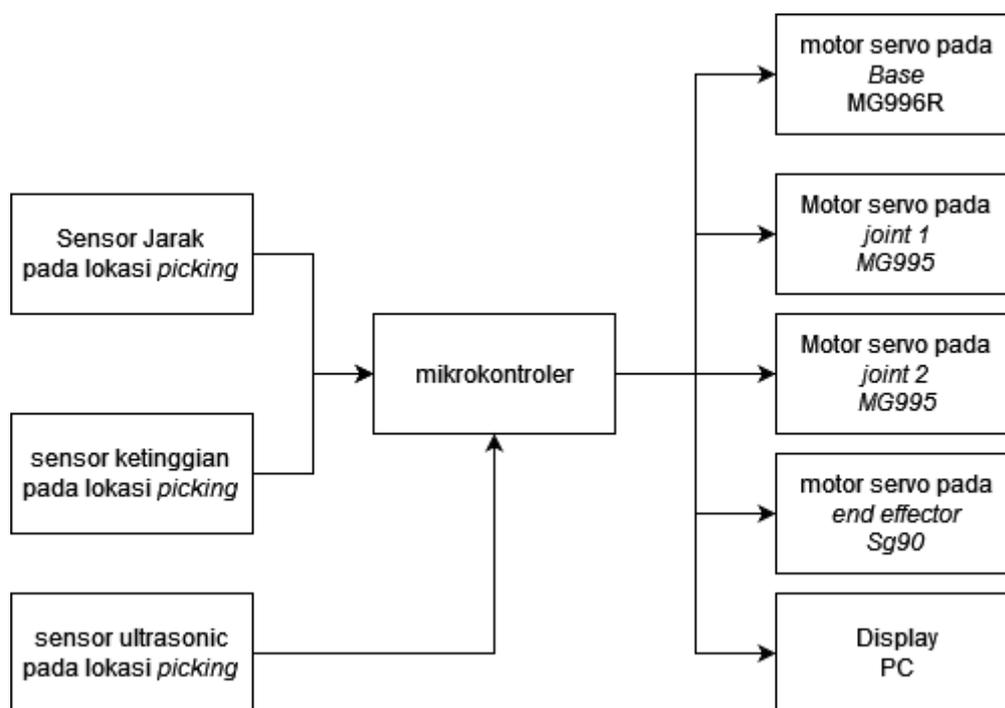
Pada tahun 2021, melalui jurnal prosiding The 12th industrial Research Workshop and National Seminar Bandung, yang ditulis oleh Dzeini Rizki Ramdhan, Adnan Rafi Al Tahtawi, dan Kartono Wijayanto dengan judul "Kendali posisi robot lengan pada misi pick and place dengan metode fuzzy logic", pada penelitian tersebut dilakukan penelitian menggunakan aplikasi Matlab untuk mengendalikan posisi manipulator pada misi pick and place, digunakan robot manipulator dengan 3 Derajat Kebebasan (DoF), dengan fuzzy logic control sebagai pengendali. dengan fuzzy logic control sebagai pengendali. Pada penelitian tersebut digunakan fuzzy logic control tipe Sugeno untuk membandingkan inferensi input berupa error dan nilai perubahan. Hasil output dari pengolahan data fuzzy logic control tipe Sugeno didapatkan nilai sudut. Selanjutnya nilai sudut tersebut di masukan pada motor servo yang selanjutnya digunakan metode forward kinematic untuk dapat mencapai titik koordinat yang diinginkan. Pada penelitian tersebut didapatkan hasil dan kesimpulan, nilai kesalahan koordinat yang dihasilkan memiliki nilai rata – rata kurang dari 2 cm dan pada sudut output untuk motor servo sebesar rata – rata kurang dari 3°. (**Ramadhan, 2021**).

Berdasarkan jurnal tersebut, maka penelitian ini bertujuan untuk menguji secara nyata dengan cara membuat prototype manipulator 3 Derajat Kebebasan (DoF) dengan menggunakan fuzzy system Mamdani sebagai penentu keputusan pick dan place, dengan menggunakan inverse kinematic sebagai metode penggerak manipulator. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besar nilai akurasi pada hasil akhir posisi end effector manipulator. Pada pengujian ini komponen motor servo sudah terpasang dan rangka manipulator sudah dibuat. Dengan posisi link pada joint 1 memiliki posisi awal 45° dari sumbu y dan link pada joint 2 tegak lurus dengan posisi dari link pada joint 1, digunakan dua jenis motor servo dengan kemampuan putaran 0° sampai 180° dan satu jenis motor servo dengan kemampuan -90° sampai 90°, serta digunakan tiga buah sensor ultrasonik Hy Srf 05 sebagai input pada sistem.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Deskripsi Sistem

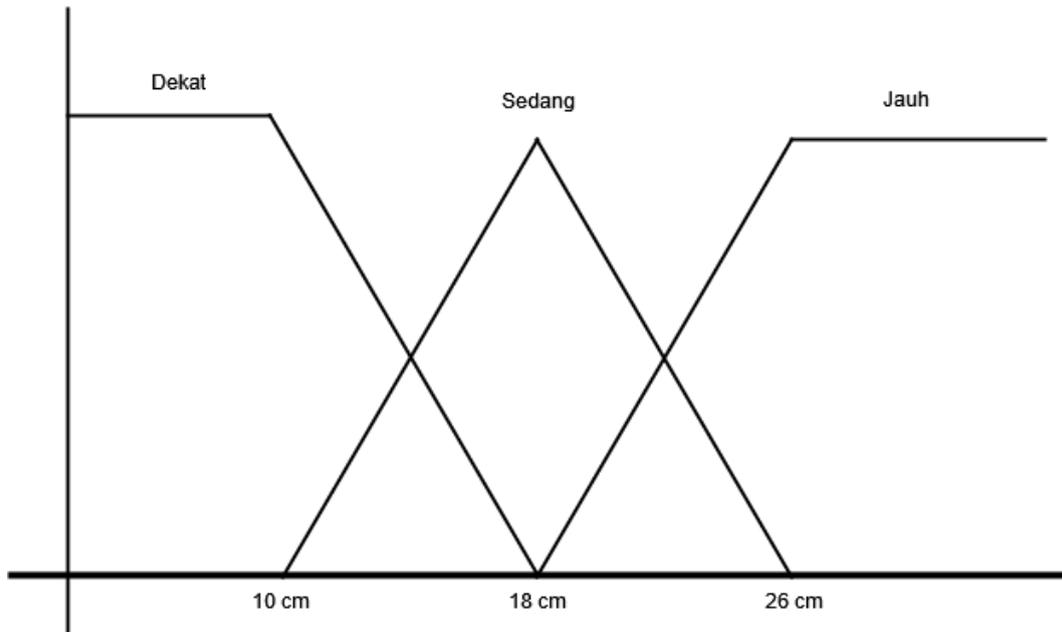
Sistem yang akan dirancang pada penelitian ini adalah manipulator dengan dua sensor ultrasonik pada bagian picking dan satu sensor ultrasonik pada bagian placing dengan menggunakan mikrokontroler sebagai perangkat kendali dan pengolahan data, dimana sensor ultrasonik pada bagian picking memberikan informasi jarak antara benda dengan manipulator dan ketinggian benda. Yang selanjutnya data tersebut diolah menggunakan fuzzy system dimana fuzzy system akan menentukan manipulator dapat mencapai lokasi benda atau tidak. Jika manipulator dapat mencapai lokasi sesuai dengan input sensor ultrasonik, mikrokontroler selanjutnya melakukan pengolahan data input menggunakan inverse kinematic untuk diteruskan kepada motor servo sebagai penggerak manipulator digunakan sebuah PC (Personal Computer) sebagai display untuk menampilkan besar perubahan sudut setiap motor servo pada setiap joint. Gambaran sistem yang akan dirancang terlampir pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Blok diagram sistem manipulator menggunakan fuzzy system

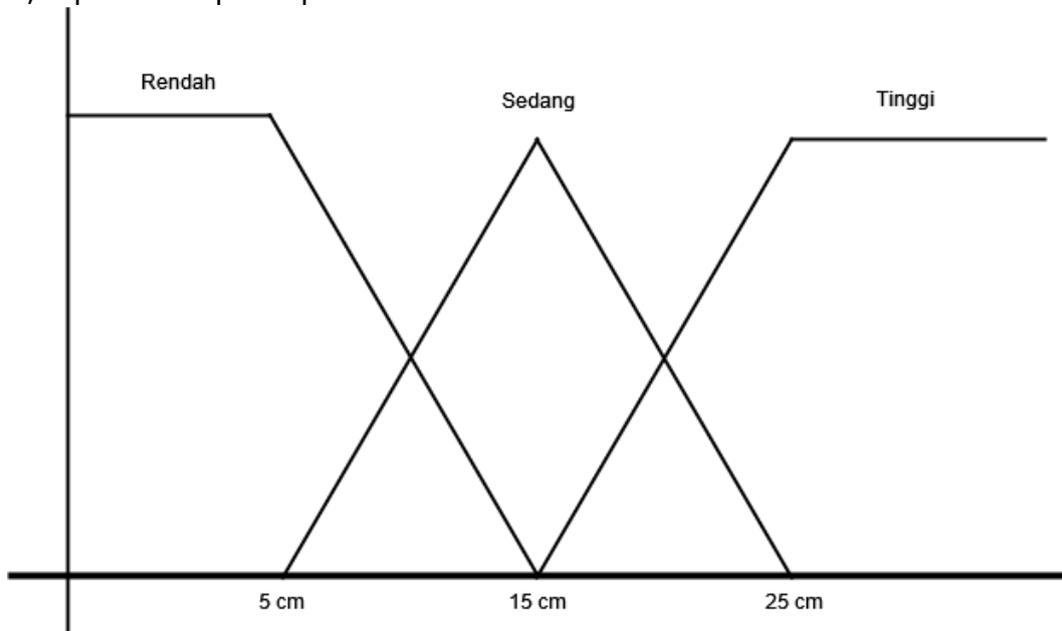
2.2 Perancangan Perangkat Lunak

Rancangan fuzzy system tipe Mamdani digunakan setelah parameter input dan output sudah ditentukan, dimana fungsi keanggotaan merupakan hasil dari pembagian jarak maksimal dan ketinggian maksimal manipulator dimana akan berpengaruh terhadap kemampuan manipulator. Pada penelitian ini manipulator dibatasi hanya untuk koordinat X dan Y. Pada penelitian ini terdapat dua input masukan fuzzy system dimana merupakan nilai tinggi dan jarak sedangkan untuk nilai output merupakan kesanggupan manipulator. Sebagai penentu apakah end effector dapat mencapai koordinat jarak dan ketinggian sesuai dengan input yang sudah diberikan. Untuk input jarak dibagi menjadi tiga fungsi keanggotaan yaitu : Dekat, Sedang dan Jauh, seperti ditampilkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Keanggotaan jarak

Dan untuk input ketinggian dibagi menjadi tiga fungsi keanggotaan yaitu Tinggi, Sedang dan Rendah, seperti ditampilkan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Keanggotaan ketinggian

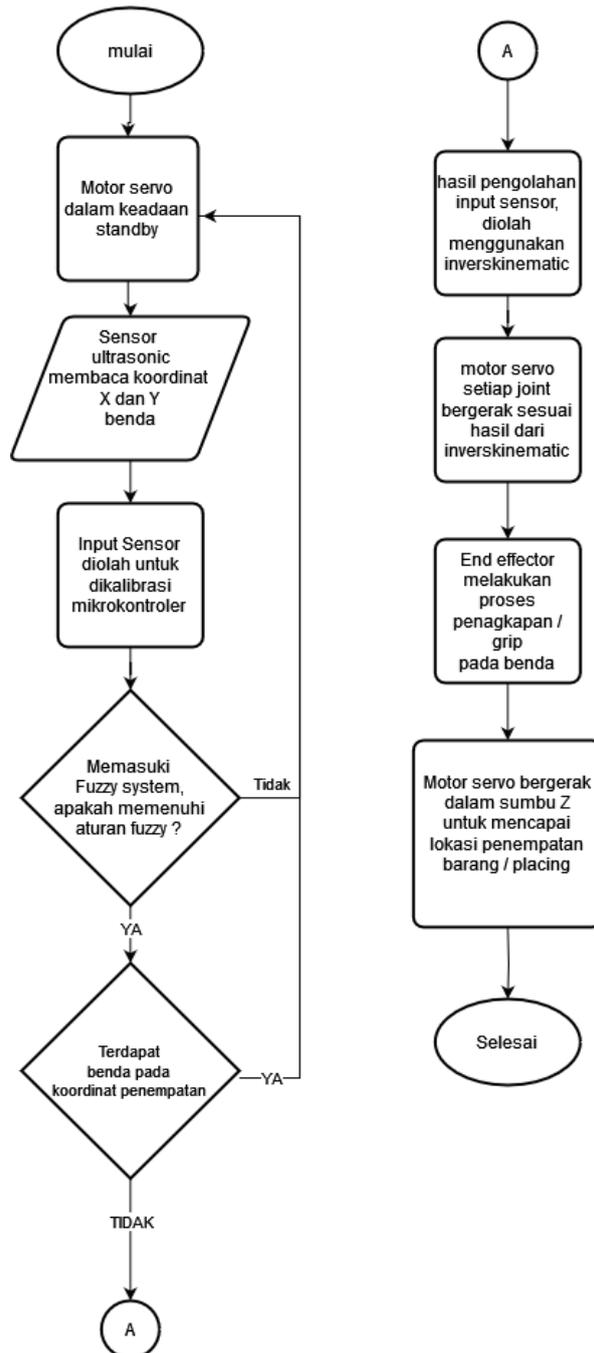
Untuk *output* dibagi menjadi dua keanggotaan yaitu mampu dan tidak mampu. Setelah ditentukan keanggotaan *input* dan *output* perlu dirumuskan aturan yang akan digunakan, aturan yang dirumuskan pada penelitian ini dapat ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Aturan Fuzzy yang digunakan

		Ketinggian		
		Rendah	Sedang	Tinggi
Jarak	Dekat	Tidak mampu	Tidak mampu	Tidak mampu
	Sedang	Mampu	Mampu	Mampu

	Jauh	Mampu	Tidak mampu	Tidak mampu
--	-------------	-------	-------------	-------------

Dalam perancangan perangkat lunak untuk menunjang penelitian ini, dilakukan perancang perangkat lunak menggunakan software Arduino IDE. Untuk perancangan perangkat lunak yang akan dibangun akan dijelaskan menggunakan flowchart pada Gambar 4 berikut.



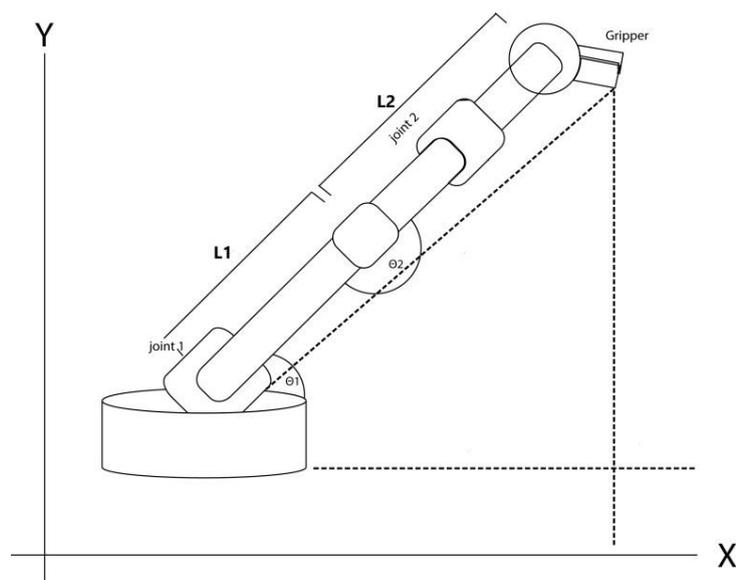
Gambar 4. Diagram alir perangkat lunak

Berdasarkan Gambar 4 Penelitian ini memiliki sistem sebagai berikut. Pertama, sensor ultrasonik pada lokasi pengambilan atau pick membaca koordinat x dan y benda, selanjutnya data tersebut diolah untuk dilakukan kalibrasi oleh mikrokontroler. Selanjutnya data hasil

kalibrasi memasuki aturan fuzzy untuk menentukan apakah alat mampu bekerja pada koordinat yang sudah didapatkan. Selanjutnya sensor ultrasonik pada lokasi penempatan akan bekerja membaca keberadaan objek pada lokasi penempatan, hal tersebut menjadi penentu apakah sistem dapat dioperasikan. Setelah dinyatakan tidak ada objek pada lokasi penempatan dan aturan fuzzy sudah terpenuhi, alat akan bekerja jika dinyatakan tidak alat akan kembali ke dalam keadaan standby. Apabila dinyatakan alat mampu bekerja dalam koordinat yang sudah didapatkan, selanjutnya data kalibrasi dioleh menggunakan inverse kinematic untuk didapatkan besar perubahan sudut pada motor servo setiap joint. Setelah motor servo bergerak sesuai hasil inverse kinematic, end effector pada manipulator akan menangkap benda, selanjutnya benda yang sudah ditangkap akan dipindahkan pada lokasi penempatan atau placing.

2.3 Inverse Kinematic

Inverse Kinematic adalah suatu proses matematis yang digunakan untuk menghitung berapa sudut setiap sendi robot berdasarkan informasi dari koordinat posisi ujung robot (end effector). Pada penelitian ini persamaan atau rumus inverse kinematic digunakan untuk pendekatan geometri untuk menghitung sudut setiap joint manipulator agar posisi end effector dapat mencapai posisi yang sudah ditentukan. Pada penelitian ini sumbu yang digunakan dibatasi menjadi hanya dua yaitu sumbu x dan sumbu y, dimana pada sumbu z motor servo pada joint base dan Wrist tidak digunakan atau selalu dalam keadaan 0° , untuk end effector selalu dalam sudut 90° , dan untuk nilai L_1L_2 sudah ditentukan berdasarkan ukuran manipulator yang digunakan dimana $L_1= 13 \text{ cm}$, $L_2= 25\text{cm}$. Digunakan inverse kinematic untuk mendapatkan nilai sudut (θ) untuk setiap joint .



Gambar 5. Tampak Samping Inverse Kinematic

Pada Gambar 5, ditampilkan dua buah sudut yaitu sudut x (horizontal) sebagai permukaan bidang dan sudut y (vertikal), melalui gambar tersebut dapat dicari persamaan untuk mencari sudut setiap joint berdasarkan lokasi (x, y) pada end effector. Didapatkan persamaan untuk mencari sudut pada joint 1 dan joint 2 yang dapat ditampilkan pada persamaan 1 dan 2 sebagai berikut :

$$\text{arc cos } \theta_2 = \left(\frac{x^2+y^2-l_1^2-l_2^2}{2 l_1 l_2} \right) \dots\dots(1)$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{\text{koordinat } y}{\text{koordinat } x} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{l_2 \sin \theta_2}{l_1 + l_2 \cos \theta_2} \right) \dots\dots(2)$$

2.4 Metode Pengambilan Data

proses pengambilan data, dilakukan beberapa proses pengujian sebelum dilakukan proses pengambilan data akurasi manipulator, tahapan yang dilakukan pada proses pengambilan penelitian ini mencakup beberapa proses sebagai berikut:

1. Pengujian dan kalibrasi sensor jarak. Pada proses pengujian dan kalibrasi sensor jarak, dilakukan kalibrasi sensor jarak yang akan digunakan sebagai input penelitian ini. Kalibrasi dilakukan dengan cara membandingkan nilai input yang terbaca pada sensor dengan alat ukur. Pada penelitian ini alat ukur yang digunakan sebagai pembanding adalah meteran.
2. Pengujian fuzzy system. Pada proses pengujian fuzzy system dilakukan dengan cara meletakkan sebuah benda pada lokasi berdasarkan keanggotaan fuzzy dan aturan fuzzy yang sudah ditentukan. Kemudian dilihat apakah manipulator dapat mengambil keputusan sesuai dengan aturan fuzzy yang sudah ditentukan
3. Pengujian inverse kinematic. Pada proses pengujian inverse kinematic dilakukan dengan cara meletakkan sebuah benda pada lokasi picking secara acak lalu dilihat perubahan besar sudut pada motor servo pada setiap joint serta melihat seberapa dekat end effector pada koordinat yang diberikan. Pada penelitian ini alat ukur yang digunakan adalah penggaris

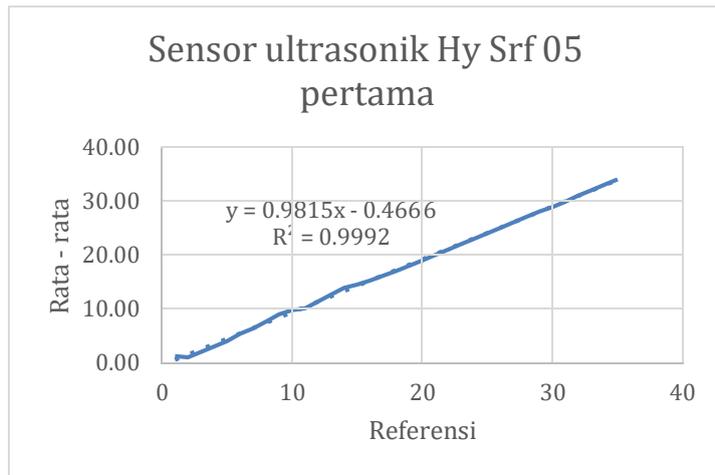
3. DATA DAN ANALISIS

3.1. Data Pengujian Sensor Ultrasonik

Pengujian sensor ultrasonik, yaitu melakukan pengambilan data berupa jarak pada sensor ultrasonik. Jenis sensor ultrasonik yang digunakan pada sistem ini adalah Hy SRF 05, tiga buah sensor ultrasonik digunakan untuk melakukan pengambilan data jarak secara berulang. Digunakan sebuah meteran sepanjang 150cm sebagai alat ukur referensi. Pengambilan data dilakukan dengan cara menyimpan sebuah objek pada jarak 1 cm hingga 35cm dari sensor, dengan kenaikan nilai 1cm, didapatkan 35 data. Selanjutnya dilakukan pengulangan sebanyak 8 kali. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai error pada sensor serta untuk keperluan kalibrasi sensor Hy SRF 05. Persentase error pengukuran dapat diketahui melalui pembagian selisih nilai pembacaan dengan nilai referensi kemudian dikalikan 100% (**Hanifan, 2019**). Untuk mencari nilai *error* dapat digunakan persamaan 3 sebagai berikut :

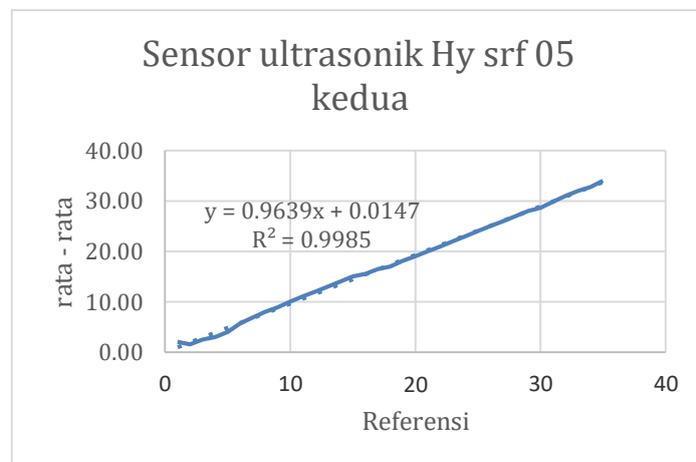
$$\text{nilai } error = \frac{\text{nilai selisih}}{\text{nilai sebenarnya}} \times 100\% \dots\dots(3)$$

Didapatkan data sebagai mana tertera pada Gambar 5 sampai Gambar 7 berikut :



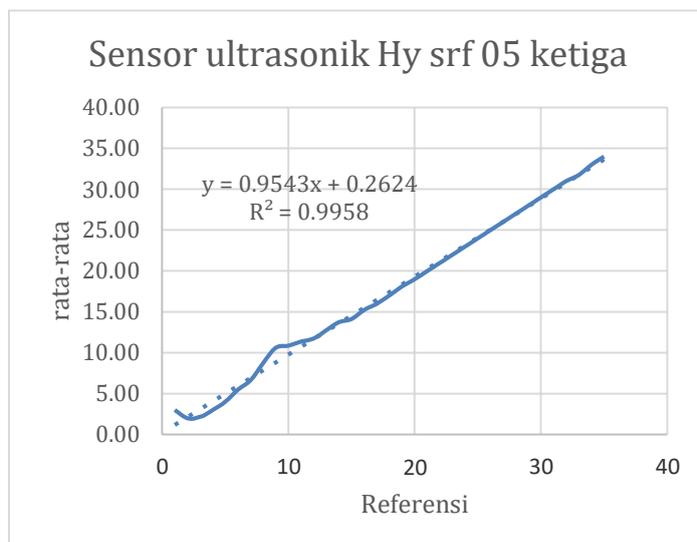
Gambar 5. Data Pengujian Sensor Ultrasonik Hy SRF 05 Pertama

Berdasarkan data pengujian sensor ultrasonik pertama yang ditunjukkan pada Gambar 5 dapat diketahui bahwa sensor ultrasonic pertama memiliki nilai error terbesar sebesar 50%, terdapat rata rata perbedaan nilai sebesar 1 cm antara hasil pembacaan sensor dengan alat ukur referensi.



Gambar 6. Data Pengujian Sensor Ultrasonik Hy SRF 05 Kedua

Berdasarkan data pengujian sensor ultrasonik kedua yang ditunjukkan pada Gambar 6 dapat diketahui bahwa sensor ultrasonik kedua memiliki nilai error terbesar sebesar 100%. Pada range 10 cm hingga 15 cm hasil pembacaan sensor memiliki hasil yang akurat. Terdapat rata-rata perbedaan nilai sebesar 1 cm antara hasil pembacaan sensor dengan alat ukur referensi.



Gambar 7. Data Pengujian Sensor Ultrasonik Hy SRF 05 Ketiga

Berdasarkan data pengujian sensor ultrasonik ketiga yang ditunjukkan pada Gambar 7 dapat diketahui bahwa sensor ultrasonik ketiga memiliki nilai error terbesar sebesar 200%. Serta terdapat rata-rata perbedaan nilai sebesar 1 cm antara hasil pembacaan sensor dengan alat ukur referensi.

3.2. Data Pengujian Aturan Fuzzy

Pengujian aturan fuzzy, yaitu untuk melihat kinerja program pada alat, apakah kinerja alat sudah sesuai dengan aturan fuzzy yang sudah dibuat. Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan input dalam range keanggotaan fuzzy yang sudah dibuat, kemudian melihat hasil output dan membandingkannya dengan aturan fuzzy yang sudah dibuat. Pada pengujianya terdapat 6 nilai keanggotaan fuzzy, dilakukan sembilan kali pengujian dengan pengambilan keanggotaan fuzzy yang berbeda-beda. Didapatkan data sebagai tertera pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Pengujian Aturan Fuzzy

Percobaan ke	Keanggotaan fuzzy		jarak	ketinggian	Aturan fuzzy
	Jarak	Ketinggian			
1	Dekat	Rendah	5	5	Tidak bekerja
2	Dekat	Sedang	5	11	Tidak bekerja
3	Dekat	Jauh	5	25	Tidak bekerja
4	Sedang	Rendah	24,7	5,81	Bekerja
5	Sedang	Sedang	25,26	11,6	Bekerja
6	Sedang	Tinggi	24	22,6	Bekerja
7	Jauh	Rendah	33	4,76	Bekerja
8	Jauh	Sedang	35	18	Tidak bekerja
9	Jauh	Tinggi	33	22	Tidak bekerja

Berdasarkan data pengujian aturan fuzzy yang ditunjukkan pada Tabel 2 dapat diketahui program sudah mampu mengikuti aturan fuzzy yang sudah ditentukan dalam penentuan keputusan pick and place.

3.3. Data Pengujian Inverse Kinematic

Pengujian ini dilakukan dengan cara memberikan input secara nyata menggunakan sensor ultrasonik sebagai pemberi informasi koordinat jarak dan ketinggian yang dituju. Sebuah objek disimpan dengan koordinat secara acak kemudian dilakukan pengukuran jarak dan ketinggian end effector, digunakan sebuah penggaris sebagai alat ukur referensi untuk mengukur jarak dan ketinggian end effector, digunakan sebuah personal computer untuk mengetahui besar perubahan sudut motor servo pada setiap joint serta melihat nilai input jarak dan ketinggian yang terbaca pada alat sebelum memasuki perhitungan inverse kinematic. Untuk menentukan hasil akurasi pada sistem dapat digunakan persamaan 4 sebagai berikut (**Nafiah,2018**).

$$akurasi = 100\% - \left(\frac{\text{nilai terbaca} - \text{nilai referensi}}{\text{nilai referensi}} \times 100\% \right) \dots (4)$$

Didapatkan hasil pengujian inverse kinematic sebagaimana tertera pada tabel 3 berikut:

Tabel 3. Data Pengujian Inverse Kinematic

Nilai referensi		Terukur oleh sensor		Posisi end effector		Sudut servo joint 1(°)	Sudut servo joint 2(°)	Akurasi posisi end effector terhadap sensor (%)	
Jarak (cm)	Ketinggian (cm)	Jarak (cm)	Ketinggian (cm)	Jarak (cm)	Ketinggian (cm)			Jarak	ketinggian
33	5	32	4,76	27	18	-31	66	118,182	-178,151
35	17	34	18	-	-	0	0	0	0
33	21	32	22	-	-	0	0	0	0
25	5	24,7	5,81	22	9	-63	105	112	20
28	11	25,26	11,6	24,5	11,3	-38	88	112,5	97,27
23	21,5	24	22,6	25,5	22,5	6	61	89,13	95,34

Berdasarkan data pengujian inverse kinematic yang ditunjukkan pada Tabel 2 dapat diketahui bahwa end effector tidak dapat mencapai koordinat secara akurat sesuai dengan koordinat yang diberikan oleh sensor. Didapatkan nilai akurasi terbesar atau mendekati 100% adalah 89,13% pada jarak dan 95,34% pada ketinggian.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis terdapat beberapa point yang dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Bahwa sensor ultrasonik Hy SRF 05 memiliki kesalahan pembacaan nilai jarak rata – rata 1cm, dengan nilai error terbesar pada sensor ultrasonik pertama 50%, pada sensor ultrasonik kedua 100%, pada sensor ultrasonik ketiga 200%.
2. Prototype manipulator 3 DoF dengan posisi link pada joint 1 dengan posisi awal 45° dari sumbu y dan link pada joint 2 tegak lurus dengan posisi dari link pada joint 1, dan menggunakan motor servo dengan kemampuan putaran 0° sampai 180°. Serta menggunakan inverse kinematic sebagai metode penghitung pergerakan. Didapatkan hasil nilai akurasi posisi end effector terbesar adalah 89,13% pada sumbu x (jarak) dan 95,34% pada sumbu y (ketinggian).
3. Prototype manipulator yang menggunakan motor servo dengan kemampuan putaran 0° sampai 180°, tidak dapat mampu mencapai koordinat yang dituju, disebabkan oleh hasil perhitungan inverse kinematic yang menghasilkan nilai perubahan sudut motor servo dalam bentuk negatif (-).

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, M, A., & Munadi (2014). Permodelan Dan Simulasi Fuzzy Logic Control Pada Model Arm Robot Manipulator. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, Vol. 2, No. 3, Tahun 2014.
- Hakim, G, P, N., Septiyana, D., Firdausi, A., Mariati, F, R, I., Budiyo, S. (2021), Sistem Fuzzy panduan lengkap aplikatif.
- Hanifan, E, M (2019). Stasiun Pemantau Cuaca Jalur Pendakian Gunung Berbasis Web Menggunakan Mikrokontroler ESP8266.
- Lochan, K., and B.K. Roy (2015). Control of Two-Link 2-DoF Robot Manipulator Using Fuzzy Logic Techniques : A Review.
- L.Sciavicco and B.Siciliano (2001). *Modelling and Control of Robot Manipulators*, Second Edition. Hal 6.
- Nafiah, S (2018). Rancang Bangun Automatic Water Filling Tub System Menggunakan Algoritma Fuzzy Mamdani.
- Pambudi, W, S., & Sumanang, N, M, A. (2014). Implementasi Fuzzy – PD untuk menentukan obyek pada model simulasi robot arm manipulator 3 DoF (Degree of Freedom) dalam bidang 2 dimensi. *Jurnal ilmiah Mikrotek* Vol.1, No.2 , 2014.
- Ramadhan, D, R., Tahtawi, A, R, A., dan Wijayanto, K. (2021). Kendali Posisi Robot Lengan Pada Misi Pick and Place Dengan Metode Fuzzy Logik, *Jurnal prosiding The 12th Industrial Research Workshop and National Seminar Bandung*, 4 – 5 Agustus 2021.
- Ridarmin, Fauzansyah. Elisawati, Prasetyo, E. (2019). Prototype Robot Line Follower Arduino Uno menggunakan 4 Sensor TCRT5000. *Jurnal Informatika, Manajemen, dan Komputer*, Vol.11, No.2, Desember 2019.
- Triawan, Y., Sardi, J. (2020). Perancangan sistem otomatisasi pada aquascpae berbasis mikrokontroler Arduino Nano, *JTEIN : Jurnal elektro Indonesia* Vol 1, No 2, 2020.
- Wang, L, X. (1998). *A Course In Fuzzy Systems And Control*.
- Yulianto, A., Salim, A., dan Bukardi, E, S. (2014). Implementasi Metode Fuzzy Logic Controller Pada Kontrol Posisi Lengan Robot 1 DoF. *Jurnal CENTRE, Civil and Electrical Engginering Jurnal*, Vol.9 No.2 December 2014 ISSN 1907 – 6452.