Kendali Posisi Robot Lengan pada Misi *Pick and Place* dengan Metode *Fuzzy Logic Control*

Dzeini Rizki Ramadhan[1], Adnan Rafi Al Tahtawi[2], Kartono Wijayanto[3]

[1]*Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559*
E-mail : dzeini.rizki.toi17@polban.ac.id
[2]*Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559*
E-mail : adnan.raf@polban.ac.id
[3]*Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559*
E-mail : kartono.wijayanto@polban.ac.id

ABSTRAK

Penggunaan robot lengan saat ini sudah banyak ditemukkan pada industri yang membutuhkan teknologi efisien secara akurat. Robot lengan terdiri atas sendi penggerak dan badan robot itu sendiri yang seringkali disebut *joint* dan *link*. Pada penelitian ini simulasi robot lengan menggunakan MATLAB digunakan untuk mengendalikan posisi pada misi *pick and place*. Robot lengan yang digunakan memiliki tiga derajat kebebasan (3 DoF). Metode pengendalian yang dipakai yaitu *fuzzy logic control* yang dinilai lebih cerdas karena tidak membutuhkan model dari *plant* dalam perancangannya. Pergerakan lengan robot dikendalikan oleh *fuzzy logic control* tipe Sugeno dengan membandingkan inferensi input berupa *error* dan perubahannya. Keluaran yang dihasilkan dari *fuzzy logic control* berupa sudut servo yang ditambahkan ke sudut servo nominal yang menyebabkan robot bergerak ke target. Kemudian untuk dicapai koordinat target, hasil penjumlahan sudut servo diolah dengan metode *forward kinematic*s. Hasil simulasi pada MATLAB menunjukan *fuzzy logic control* dapat mengendalikan posisi koordinat robot menuju target tertentu. Kesalahan target koordinat yang dihasilkan rata-rata kurang dari 2 cm dan kesalahan pada setiap servo rata-rata kurang dari 3 derajat.

Kata Kunci
Robot Lengan, Pick And Palce, Fuzzy Logic Control, Forward Kinematic

1. PENDAHULUAN

Robot lengan saat ini sangat masif digunakan untuk kebutuhan teknologi yang sangat efisien dan akurat dalam penggunaannya. Namun hal tersebut tidak akan berjalan dengan baik jika masih menggunakan metode konvensional dengan perhitungan yang rumit dan tidak praktis dalam penggunaanya [1]. Maka perlu didukung dengan metode yang praktis dan cerdas dalam pengaplikasiaanya agar menghasilkan gerakan yang halus, presisi dan akurat [2].

Berdasarkan cara kerjanya robot lengan *pick and place* dapat melakukan gerak perpindahan posisi dari satu titik ke titik lain dengan penentuan posisi koordinat [3]. Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengatasi permasalahan yang ada pada pemodelan robot lengan, seperti menggunakan metode PID dan PD dalam mengoprasikan pengendaliannya [4]. Analisa perhitungan kinematika robot lengan juga dapat diterapkan untuk mempermudah perhitungan sudut maupun posisi dengan menggunakan metode *inverse kinematic* dan *forward kinematic* [5]. Seperti contoh dengan hanya menggunakan perhitungan kinematik dapat mengasilkan *error* sekitar 3,7% saat diaplikasikan [6].

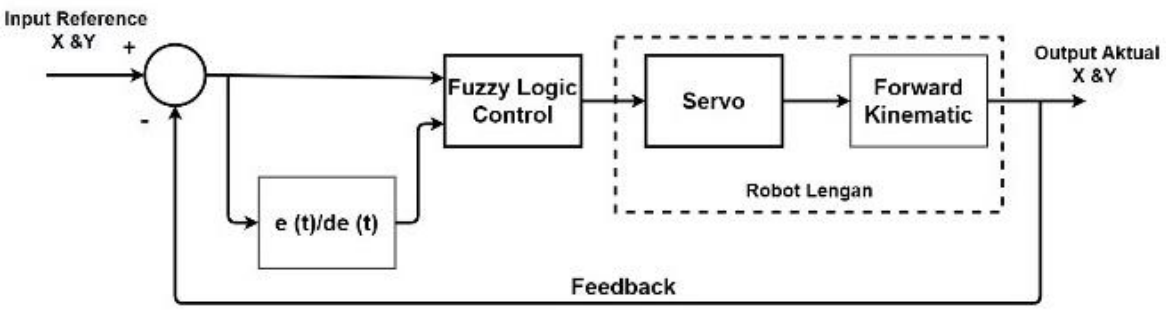
Salah satu permasalahan yang muncul dalam melakukan penelitian kendali robot lengan adalah mengatur motor servo agar dapat menghasilkan *time setting* dan posisi yang linear dengan yang diinginkan sehingga menggangu kestabilan gerakan robot lengan [7]-[8].

Pada desain kontrol PID telah berhasil dilaksanakan namun masih terdapat *overshoot* meskipun memiliki respon *rise time* yang lebih rendah dibanding *fuzzy logic control* [9]. Berbagai metodologi pengembangan lainya khususnya pengendalian robot lengan telah dilakukan. Seperti pada [10] yang merancang pengendalian robot lengan berdasar kode angka dan [11] yang merancang pengendalian robot lengan menggunakan teknologi *computer vision*.

Makalah ini bertujuan untuk merancang pengendalian robot lengan yang memiliki banyak manfaat, khususnya dalam penelitian tentang robot lengan. Simulasi ini dibuat menggunakan bantuan *software* MATLAB dengan memanfaatkan salah satu fungsi yaitu Simulink. Struktur makalah ini terdiri dari pemodelan sistem dan perancangan sistem dengan merujuk pada berbagai penelitian terkait sebelumnya mengenai robot lengan.

2. METOE PENELITIAN

Pada penelitian ini menerapkan kombinasi metode *forward kinematic* dan *fuzzy logic control* untuk mengontrol robot lengan 3 DoF yang difungsikan untuk mengendalikan posisi pada *misi pick and place*. Sehingga penerapan metode ini dapat disimulasikan dalam MATLAB untuk mengetahui desain sistem dan kelancaran *end-effector*. Skematik diagram pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1, sementara desain robot lengan dapat dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.



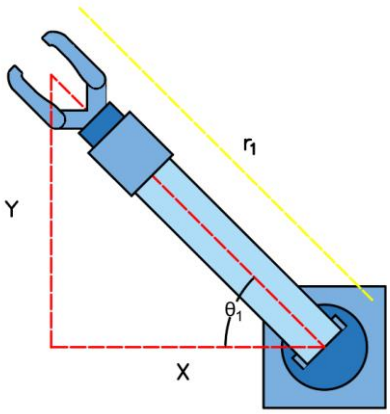
Gambar 1. Skematik Diagram

Pada sistem ini menerapkan input koordinat untuk posisi X dan Y sebagai input referensi posisi dengan dikombinasikan input sudut pada *forward kinematic* pada setiap DoF robot lengan. *Fuzzy logic control* digunakan untuk menentukan pergeseran posisi agar mendekati target yang diinginkan dengan mempertimbangkan *error* dan *derror* pada sistem yang dijalankan.

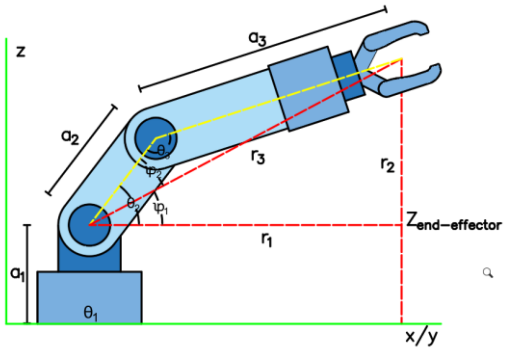
Robot lengan 3 DoF diterapkan seperti pada Gambar 2 dan Gambar 3 dimana masing-masing sendi memiliki motor servo. Setiap putaran motor servo pada masing-masing sendi akan membentuk posisi robot lengan menggunakan analisa perhitungan metoda forward kinematik sehingga dapat mengetahui posisi X, Y dan Z. Dengan metode forward kinematic dapat memberikan parameter yang tepat dalam melakukan perhitungan kinematika robot lengan. Untuk memastikan posisi yang ideal pada robot lengan maka perlu dikombinasikan dengan *fuzzy logic control* agar dapat mengurangi tingkat *error* pada penentuan posisi perhitungan dengan aktual.

2.1 Kinematika Robot Lengan

Kinematika robot lengan merupakan studi analisis gerakan robot lengan terhadap sistem kerangka dengan referensi koordinat berdasarkan perhitungan trigonometri. Model kinematika mewakili hubungan gerakan *end-effector* pada ruang tiga dimensi dengan pergerakan sudut X, Y dan Z.



Gambar 2. Robot Lengan Tampak Atas



Gambar 3. Robot Lengan Tampak Samping

Forward kinematic dalam metode geometri akan sangat dipengaruhi oleh jumlah sendi terhadap persamaan yang akan digunakan untuk menentukan posisi *end-effector* pada lengan robot berdasarkan perhitungan sudut setiap sendi yang diciptakan robot. Persamaan vektor *forward kinematic* dari Gambar 2 dan Gambar 3 dapat dilihat sebagai berikut.

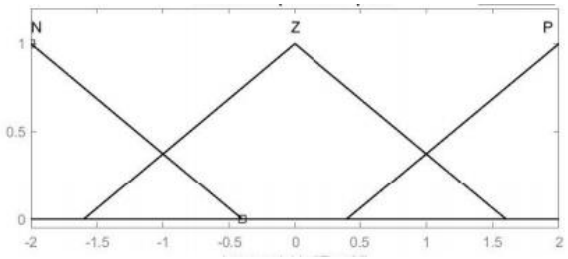
$$X = \{(a_2 \cos\theta_2) + (a_3 \cos(\theta_3 - \theta_2))\} \times \cos\theta_1 \quad (1)$$

$$Y = \{(a_2 \cos\theta_2) + (a_3 \cos(\theta_3 - \theta_2))\} \times \sin\theta_1 \quad (2)$$

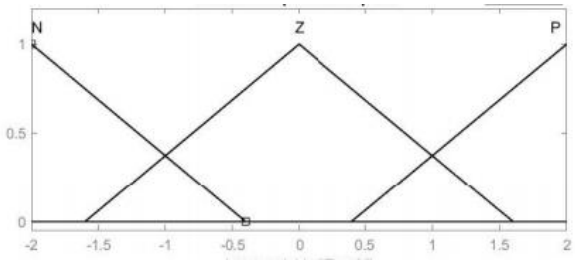
$$Z = a_1 + (a_2 \sin\theta_2) - (a_3 \sin(\theta_3 - \theta_2)) \quad (3)$$

2.2 Perancangan *Fuzzy Logic Control*

Himpunan fuzzy adalah logika berdasarkan input yang berasal dari cara berpikir manusia. Rancangan *fuzzy logic control* tipe Sugeno digunakan setelah parameter input dan output ditentukan. Fungsi keanggotaan kemudian didefinisikan sesuai keterbatasan robot lengan itu sendiri yang dibatasi hanya untuk koordinat X dan Y dengan desain FIS menggunakan *fuzzy logic toolbox* kemudian digunakan untuk melalui serangkaian uji coba untuk mengetahui delta θ_1 dan delta θ_2. Fungsi output keanggotaan fuzzy digunakan dengan mempertimbangkan sensitivitas pengontrol terhadap input. Gambar 4 dan Gambar 5 adalah fungsi keanggotaan dari parameter input *error* dan *derror* X maupun Y dengan diberi variabel linguistik untuk Positif (P), Negatif (N) dan Zero (Z).



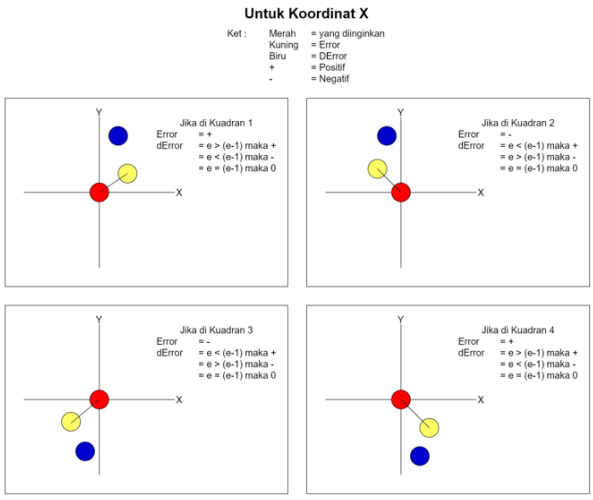
Gambar 4. Fungsi Keanggotaan ErrorX dan ErrorY



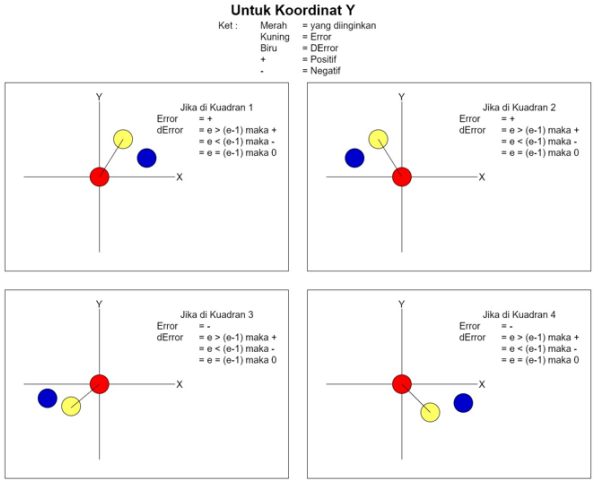
Gambar 5. Fungsi Keanggotaan DErrorX dan DErrorY

Fungsi yang dirancang perubahan nilai sudut pada delta θ_1 dan delta θ_2 yang akan digunakan pada simulasi robot lengan dengan MATLAB. Adapun fungsi output yang digunakan adalah metode Sugeno fungsi tegas berupa Positif (P) = 15°, Zero (Z) = 0°, dan Negatif (N) = -15°.

Setelah parameter input dan output ditentukan sebagai penunjang fungsi keanggotaan masing-masing, maka perlu dirumuskan inferensinya. *Rule base* bisa dirumuskan dengan menganalisa berbagai posisi robot lengan yang mungkin terjadi dalam ruang kerja sehingga dapat membagi kisaran nilai kedalam himpunan fuzzy dengan fungsi keanggotaan. Pose robot lengan dapat dianalisis seperti yang ditunjukan oleh Gambar 6 dan Gambar 7. Perbedaan pose pada koordinat X dan Y akan menjadi dasar dalam merumuskan *rule base*. Aturan harus diformulasikan sedemikian rupa agar dapat meminimalisir kesalahan setiap iterasi.



Gambar 6. Kemungkinan Posisi Pada Koordinat X



Gambar 7. Kemungkinan Posisi Pada Koordinat Y

Setelah menganalisa perbedaan posisi robot lengan seperti yang ditunjukan Gambar 6 dan Gambar 7, maka dalam desain simulasi ini bertujuan untuk mengontrol besaran sudut servo yang didalamnya terdiri dari beberapa *rule base* yang membangun logika pengambilan keputusan. Maka didapatkan 9 *rule base* yang digunakan pada kontrol yang didasarkan pada pengalaman manusia sebagai informasi seperti pada Tabel 1.

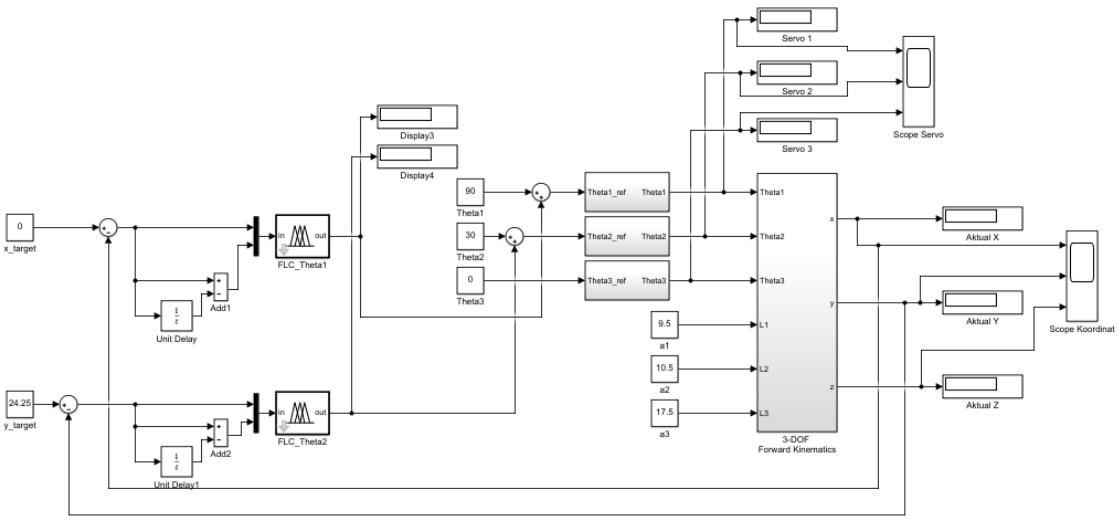
Tabel 1. Rule Base Koordinat X dan Y

		DError		
		N	Z	P
Error	N	P	P	Z
	Z	P	Z	N
	P	Z	N	N

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Simulasi MATLAB/Simulink

Untuk menguji coba cara kerja robot lengan maka perlu disimulasikan pada MATLAB dengan bantuan fungsi Simulink seperti terlihat pada Gambar 8. Dimana rangkaiaan tersebut dirancang untuk dapat memasukan data konstanta koordinat yang kemudian diolah dengan sistem inferensi fuzzy agar dapat mengeluarkan sinyal pembanding dalam menentukan sudut pada setiap sendi robot lengan yang diolah dengan metode *forward kinematic* sehingga pada akhirnya dapat menghasilkan titik koordinat X dan Y yang mendekati nilai ideal. Pada Gambar 8 ditunjukkan data yang diinput menggunakan simulasi robot lengan dengan asumsi konstanta setiap link yaitu a_1 = 9,5 cm, a_2= 10,5 cm dan a_3= 17,5 cm.



Gambar 8. Rangkaian Simulasi

Dengan pengujian tersebut dapat dilihat parameter dari hasil transien sistem berupa sinyal output yang dihasilkan pada koordinat X, Y dan Z dengan satuan centimeter dengan aktual dan menghasilkan juga parameter dari hasil transien sistem berupa sinyal output pada setiap sudut servo dengan satuan derajat yang digunakan pada robot lengan.

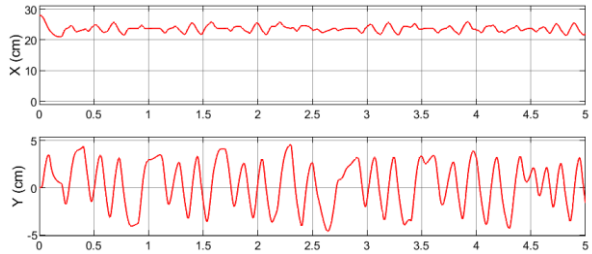
Agar dapat memudahkan uji coba dan analisis kerja sistem maka digunakan pengkodean untuk menentukan posisi dalam konstanta titik koordinat X dan Y yang akan dicapai *end-effector* dengan satuan centimeter dan sudut yang diinput pada setiap sendi lengan robot dalam satuan derajat untuk mengolah *forward kinematic* agar mencapai tujuan yang diinginkan seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengkodean Posisi

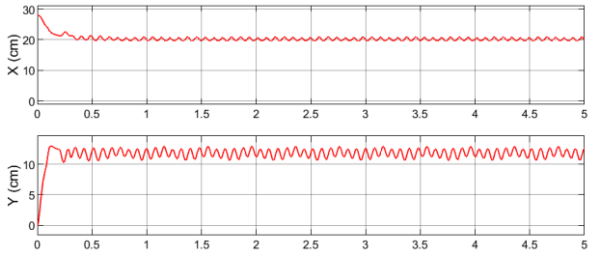
Kode Posisi	Input Konstanta				
	X (cm)	Y (cm)	θ_1	θ_2	θ_3
A	24,25	0	0°	30°	0°
B	21	12,12	30°	30°	0°
C	12,12	21	60°	30°	0°
D	0	24,25	90°	30°	0°
E	-12,12	21	120°	30°	0°
F	-21	12,12	150°	30°	0°
G	-24,25	0	180°	30°	0°

3.2 Pengujian Koordinat Robot Lengan

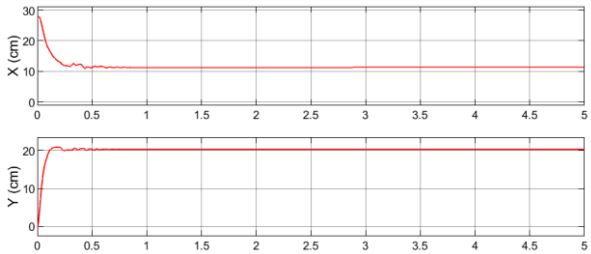
Pada bagian ini dilakukan pengujian sistem yang dibagi menjadi pengujian koordinat dengan *fuzzy logic control* menggunakan perhitungan kinematik untuk menentukan input set point pada referensi koordinat X dan Y. Pengujian dilakukan untuk mengetahui titik koordinat yang dapat dicapai *end-effector* robot lengan. Pengukuran dilakukan secara simulasi menggunakan bantuan MATLAB untuk mengetahui perbedaan perhitungan dengan hasil setelah digunakannya metode *fuzzy logic control*. Dapat dilihat pada Gambar 9 sampai Gambar 15.



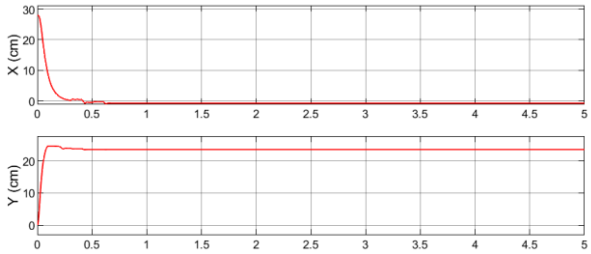
Gambar 9. Hasil Pengujian Koordinat Posisi A



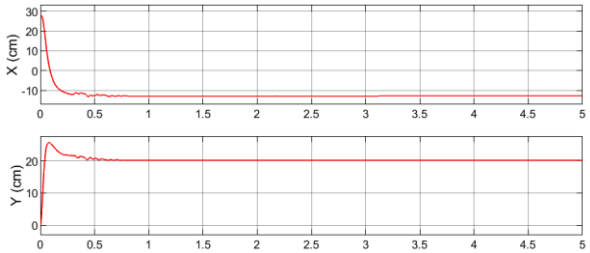
Gambar 10. Hasil Pengujian Koordinat Posisi B



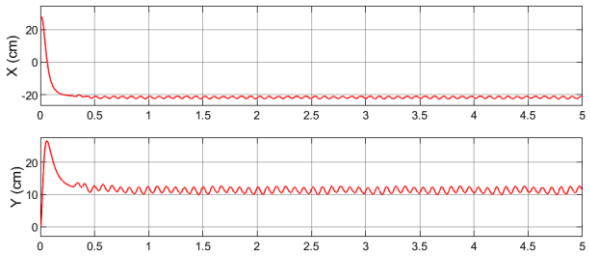
Gambar 11. Hasil Pengujian Koordinat Posisi C



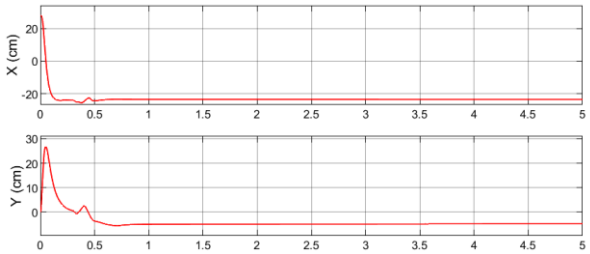
Gambar 12. Hasil Pengujian Koordinat Posisi D



Gambar 13. Hasil Pengujian Koordinat Posisi E



Gambar 14. Hasil Pengujian Koordinat Posisi F



Gambar 15. Hasil Pengujian Koordinat Posisi G

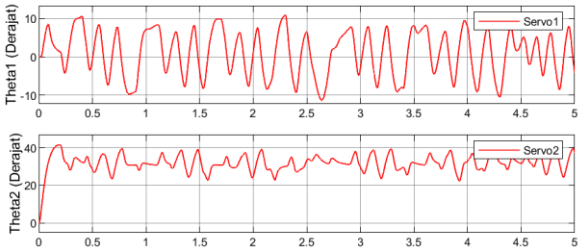
Setelah uji coba sistem berdasarkan parameter posisi dan waktu, didapatkan hasil pada grafik koordinat posisi A sampai G yang dapat menuju target set point koordinat. Pada hasil percobaan tersebut terlihat bahwa tingkat keakuratan hasil sistem sudah dapat mendekati nilai koordinat target yang diinginkan dengan rata-rata selisih kurang dari 2 cm pada setiap uji coba dan dapat disimpulkan pada Tabel 3. Namun untuk beberapa titik koordinat masih terjadi osilasi sehingga sulit tercapainya posisi *steady state*.

Tabel 3. Hasil Pengujian Koordinat

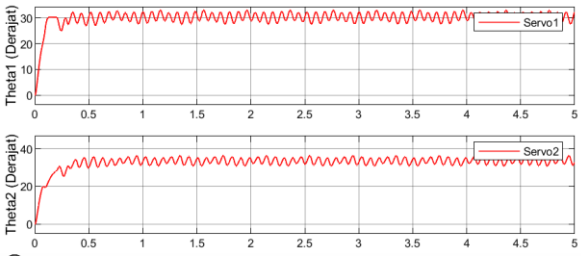
Posisi	Koordinat Target		Koordinat Hasil	
	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)
A	24.25	0	22,28	-1,631
B	21	12,12	19,94	12,56
C	12.12	21	11,28	20,3
D	0	24,25	-0,8012	23,5
E	-12,12	21	-12,9	20,17
F	-21	12,12	-21,18	11,19
G	-24,25	0	-23,6	-4.888

3.3 Pengujian Servo Robot Lengan

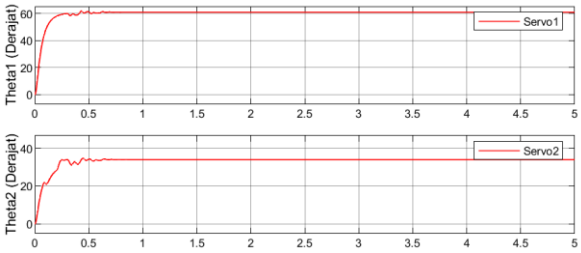
Pengujian dan pengukuran dilakukan secara simulasi menggunakan bantuan MATLAB untuk mengetahui hasil sudut inferensi input setelah diolah dengan metode *fuzzy logic control* menjadi sudut servo aktual. Dapat dilihat pada Gambar 16 sampai Gambar 22.



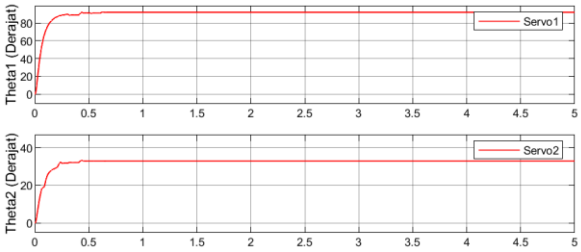
Gambar 16. Hasil Pengujian Servo Posisi A



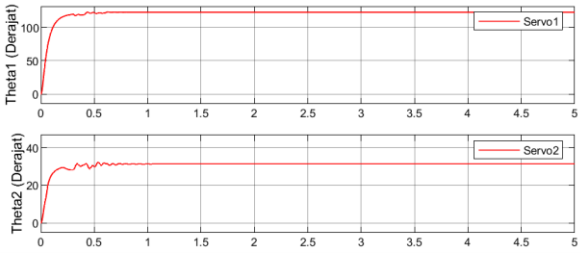
Gambar 17. Hasil Pengujian Servo Posisi B



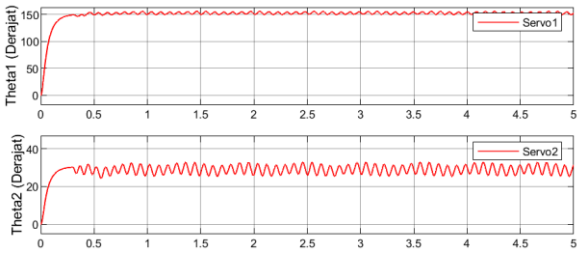
Gambar 18. Hasil Pengujian Servo Posisi C



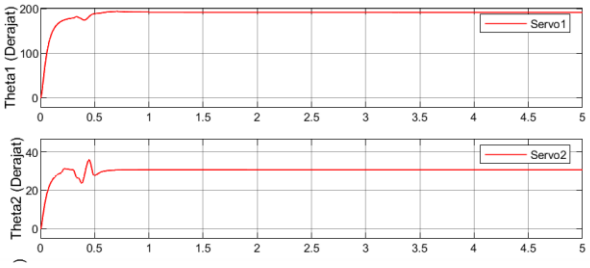
Gambar 19. Hasil Pengujian Servo Posisi D



Gambar 20. Hasil Pengujian Servo Posisi E



Gambar 21. Hasil Pengujian Servo Posisi F



Gambar 22. Hasil Pengujian Servo Posisi G

Pada hasil pengujian setiap sudut dapat dilihat bahwa nilai aktual sudut servo yang tercipta sesuai parameter target yang diinginkan sudah mendekati nilai sebenarnya dengan rata-rata selisih setiap servo kurang dari 3° dari setiap percobaan yang dapat disimpulkan pada Tabel 4. Namun untuk beberapa percobaan masih terjadinya osilasi sinyal masukan sudut pada servo sehingga sulit tercapainya *steady state*.

Tabel 4. Hasil Pengujian Sudut Servo

Posisi	Sudut Servo Target			Sudut Servo Hasil		
	θ_1	θ_2	θ_3	θ_1	θ_2	θ_3
A	0°	30°	0°	-4,185°	37°	0°
B	30°	30°	0°	32,2°	32,68°	0°
C	60°	30°	0°	60.95°	33,96°	0°
D	90°	30°	0°	91,95°	32,87°	0°
E	120°	30°	0°	122,6°	32,23°	0°
F	150°	30°	0°	152,2°	32,21°	0°
G	180°	30°	0°	191,7	30,6°	0°

4. KESIMPULAN

Kesimpulan percobaan ini didapat bahwa simulasi kendali robot lengan untuk menentukan titik koordinat yang diinginkan dengan metode *fuzzy logic control* dan dibantu dengan perhitungan *forward kinematic* dapat berjalan baik, sehingga didapatkan hasil percobaan dengan rata-rata kesalahan koordinat yang diinginkan berdasarkan inferensi X dan Y dengan hasil aktual kurang dari 2 cm. Kemudian hasil kesalahan dari percobaan sudut servo antara inferensi sudut dengan hasil sudut aktual yang dihasilkan memiliki rata-rata selisih kurang dari 3°. Hal tersebut terjadi karena perbedaan saturasi motor servo. Penelitian berikutnya adalah untuk menguji coba desain simulasi pada *hardware* agar dapat melihat pergerakan aktual pada robot lengan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Tim peneliti mengucapkan terimakasih kepada Politeknik Negeri Bandung, atas bantuan pendanaan penelitian nomor B/402/PL1.R1/EP.00.08/2021 kelompok A1.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. C. Abad, D. Dominic, E. P., L. Jaeron, M. Carlo, and J. Nathan, "Fuzzy Logic-Controlled 6-DOF Robotic Arm Color-based Sorter with Machine Vision Feedback," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 9, no. 5, 2018, doi: 10.14569/IJACSA.2018.090503.

[2] B. H. Purwoto, "Pemodelan Robot Kinematik Manipulator menggunakan MATLAB," *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 20, no. 02, pp. 156–161, Aug. 2020, doi: 10.23917/emitor.v20i02.11345.

[3] M. Agni, "Perancangan Robot Lengan Lima Derajat Kebebasan untuk Misi Pick and Place Berbasis Inverse Kinematics," p. 6, 2020.

[4] U. Kabir, M. F. Hamza, A. Haruna, and G. S. Shehu, "PERFORMANCE ANALYSIS OF PID, PD AND FUZZY CONTROLLERS FOR POSITION CONTROL OF 3-DOF ROBOT MANIPULATOR," . *ISSN*, vol. 8, no. 1, p. 8.

[5] A. Surriani, M. Arrofiq, and F. Fahmizal, "Pemodelan Forward kinematic dan Inverse Kinematic Robot Berlengan PUMA 560," *J. Ilm. Tek. Elektro Komput. Dan Inform.*, vol. 4, no. 2, p. 1, Jan. 2019, doi: 10.26555/jiteki.v4i2.11795.

[6] A. R. A. Tahtawi, M. Agni, and T. D. Hendrawati, "Small-scale Robot Arm Design with Pick and Place Mission Based on Inverse Kinematics," *J. Robot. Control JRC*, vol. 2, no. 6, 2021, doi: 10.18196/26124.

[7] I. G. E. Putra, "Rancang Aplikasi Pengendalian Robot Lengan 4 DOF Berbasis Desktop,"*SENAPATI ke-9*, 2018.

[8] F. Rahman, F. Faridah, A. Ikram Nur, and A. N. Makkaraka, "RANCANG BANGUN PROTOTIPE MANIPULATOR LENGAN ROBOT MENGGUNAKAN MOTOR SERVO BERBASIS MIKROKONTROLER," *ILTEK J. Teknol.*, vol. 15, no. 01, pp. 42–46, Sep. 2020, doi: 10.47398/iltek.v15i01.508.

[9] M. A. Akbar, "PEMODELAN DAN SIMULASI FUZZY LOGIC CONTROL PADA MODEL ARM ROBOT MANIPULATOR," vol. 2, no. 3, p. 9, 2014.

[10] R. W. S. Nugroho, "APLIKASI COMPUTER VISION PADA LENGAN ROBOT PEMINDAH BENDA BERDASARKAN KODE ANGKA," p. 254, 2019.

[11] H. S. Nu'man and Y. Sofyan, "Pengendalian Robot Lengan Pemilah Benda Berdasarkan Bentuk Menggunakan Teknologi," p. 7, 2020.

[12] C. Yang, Y. Jiang, J. Na, Z. Li, L. Cheng, and C.-Y. Su, "Finite-Time Convergence Adaptive Fuzzy Control for Dual-Arm Robot With Unknown Kinematics and Dynamics," *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol. 27, no. 3, pp. 574–588, Mar. 2019, doi: 10.1109/TFUZZ.2018.2864940.

[13] M. A. Llama, W. Z. Castañon, and R. Garcia-Hernandez, "Force and Position Fuzzy Control: A Case Study in a Mitsubishi PA10-7CE Robot Arm," in *Advanced Topics on Computer Vision, Control and Robotics in Mechatronics*, O. O. Vergara Villegas, M. Nandayapa, and I. Soto, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 165–194. doi: 10.1007/978-3-319-77770-2_7.

[14] A. Uchrowi, L. Lasmadi, and S. Soekarno, "Pemodelan dan Simulasi Robot Lengan 3 DOF Menggunakan V-REP," *AVITEC*, vol. 1, no. 1, Aug. 2019, doi: 10.28989/avitec.v1i1.489.