

Prototipe Manipulator Robot 3 Degree of Freedom Menggunakan Artificial Intelligence

Abdul Kadir Muhammad^{1*}, Mukhtar², Remigius Tandioga³, Simon Ka'ka⁴,
Putu Herdy Kurniawan⁵, dan Abdullah Ghullam Rafliansyah⁶

^{1,2,3,4,5,6}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia
*kadir.muhammad@poliupg.ac.id

Abstract: Rising technology in artificial intelligence (AI) is an increasing concern in developing technology of industrial robot, particularly manipulator robot for efficiency and accuracy. The purpose of this research is to study the implementation of artificial intelligence into manipulator robot and the implications of its operation. Using mean absolute error of inverse kinematics calculations on deep learning and linear regression model algorithm which implemented into manipulator robot, this study analyzed accuracy and error of the robot. The robot shows increase in accuracy and lower its error while also shows that the algorithm proves that the total error of tested servos is linear to the parameter of error of the training model. This study definitively answers the question regarding correlation between the impacts of the good practice implementation of artificial intelligence into manipulator robot and the efficiency and accuracy it earns. Further studies are needed to establish integration with industrial internet of things (IIoT) for more advanced technology.

Keywords: artificial intelligence (AI); manipulator robot; deep learning

Abstrak: Meningkatnya teknologi dalam kecerdasan buatan (AI) merupakan perhatian yang meningkat dalam pengembangan teknologi robot industri, khususnya robot manipulator untuk efisiensi dan akurasi. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari implementasi kecerdasan buatan pada robot manipulator dan implikasi pengoperasiannya. Dengan menggunakan mean absolute error perhitungan *inverse kinematics* pada *deep learning* dan algoritma model regresi linier yang diimplementasikan ke dalam robot manipulator, penelitian ini menganalisa akurasi dan error robot. Robot menunjukkan peningkatan akurasi dan penurunan pada error, serta juga menunjukkan bahwa algoritma yang telah dibuat membuktikan bahwa total kesalahan pada servo yang diuji sejalan dengan parameter error pada *training model*. Studi ini secara definitif menjawab pertanyaan tentang korelasi antara dampak implementasi kecerdasan buatan dengan praktik yang baik ke dalam robot manipulator dengan efisiensi dan akurasi yang dihasilkannya. Diperlukan studi lebih lanjut untuk membangun integrasi dengan *industrial internet of things* (IIoT) untuk teknologi yang lebih maju.

Kata kunci : kecerdasan buatan; robot manipulator; deep learning

I. PENDAHULUAN

Berdasarkan laporan *World Robotics 2022* oleh *International Federation of Robotics* (IFR), pada tahun 2021, terjadi peningkatan yang signifikan terhadap volume instalasi robot industri global sehingga menyebabkan rekor baru pada pertumbuhan peningkatan jumlah instalasi robot industri sepanjang sejarah.

Di era industri modern saat ini atau yang juga sering disebut sebagai era industri 4.0, salah satu elemen utama pada otomatisasi industri adalah penggunaan ilmu robotika, salah satu contohnya adalah robot manipulator yang biasanya terdiri dari manipulator mekanis dan sistem kontrol. Kelebihan dari menggunakan robot manipulator yaitu dapat mengurangi biaya produksi. Namun, kelemahannya adalah harga robot manipulator yang sangat mahal, namun hal tersebut dapat diatasi dengan jumlah produksi yang ditingkatkan (Goryanina et al., 2018:1) ^[1].

Penelitian terkait robot manipulator ini telah dilakukan dua kali sebelumnya. Penelitian pertama pada tahun 2016 berjudul "Rancang Bangun Prototipe Robot Manipulator". Penelitian ini bertujuan untuk membuat robot manipulator 3 *Degree of Freedom* (DOF) tanpa *end effector* dengan

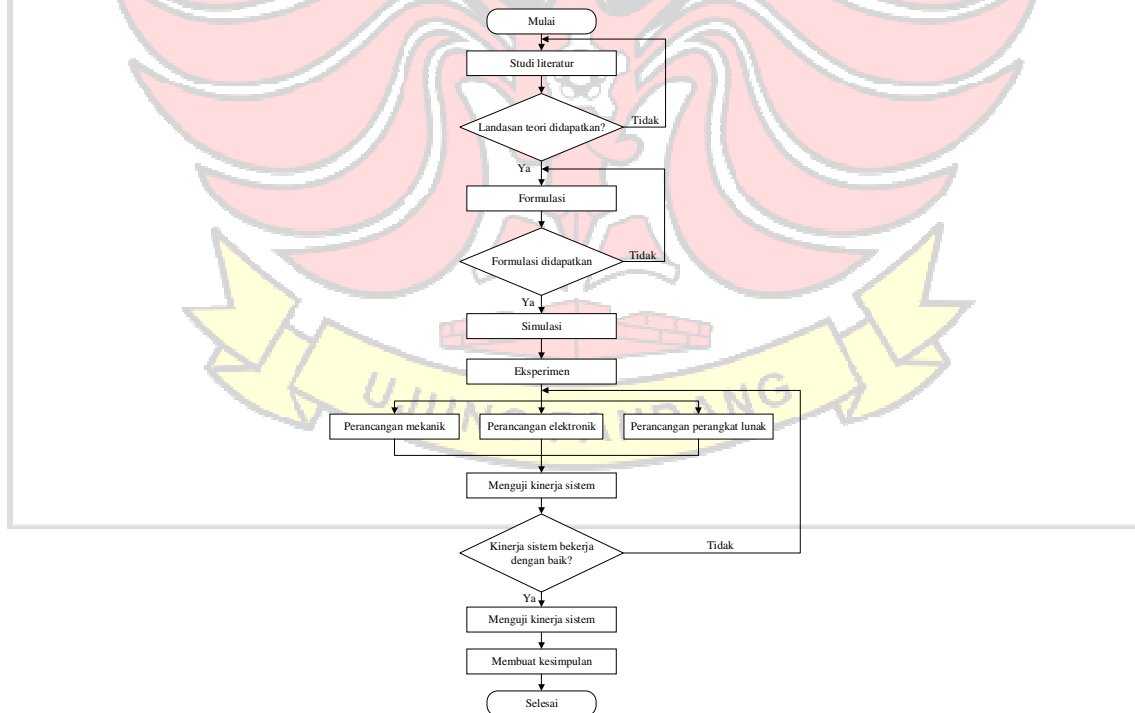
menggunakan mikrokontroler Arduino Uno, serta memformulasikan matriks rotasi, matriks transformasi homogen dan vektor posisi robot manipulator untuk kemudian dilakukan pengujian terhadap akurasi dari pergerakan (*movement*) robot manipulator (Mustarin dan Miansari Mogot, 2016:2).^[2]

Penelitian tersebut kemudian dikembangkan pada tahun 2017 atau satu tahun setelah penelitian pertama. Penelitian ini berjudul “Pengembangan Prototipe Robot Manipulator”. Pada penelitian ini ditambahkan *end effector* pada konstruksi robot, mengganti mikrokontrolernya menjadi Arduino Mega, memperbaiki panel kontrol dan sistem monitoring, serta menambahkan *emergency button* pada panel robot. (Baso dan John Michael Adiputra, 2017:2).^[3]

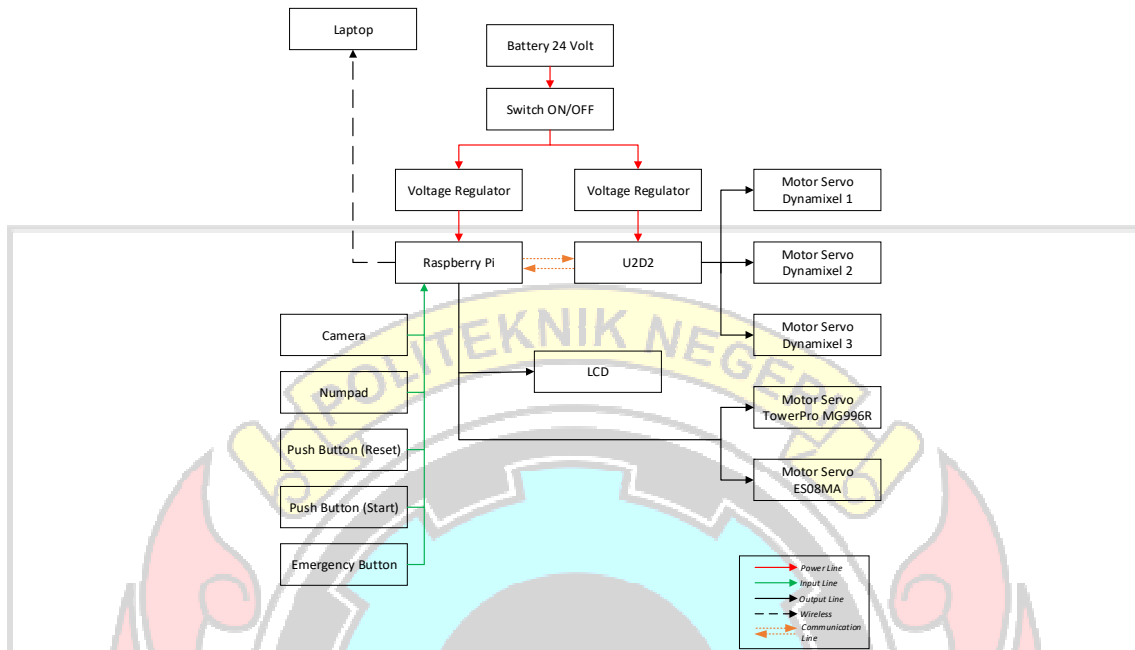
Manipulasi adalah suatu proses menggunakan tangan mengatur ulang lingkungan seseorang. Manipulasi dapat dikatakan merupakan sebuah seni, teknik, dan juga sekaligus sebuah disiplin ilmu. Disebut seni karena itu dipraktikkan oleh semua orang, tanpa pemahaman yang sistematis serta mendasar. Disebut disiplin teknik karena ada beberapa alat sistematis untuk menerapkan manipulasi robot ke berbagai masalah. Disebut disiplin ilmu karena merupakan proses yang melibatkan keingintahuan manusia yang dapat dipelajari melalui metode ilmiah (Mason, 2001:1).^[4]

II. METODE PENELITIAN

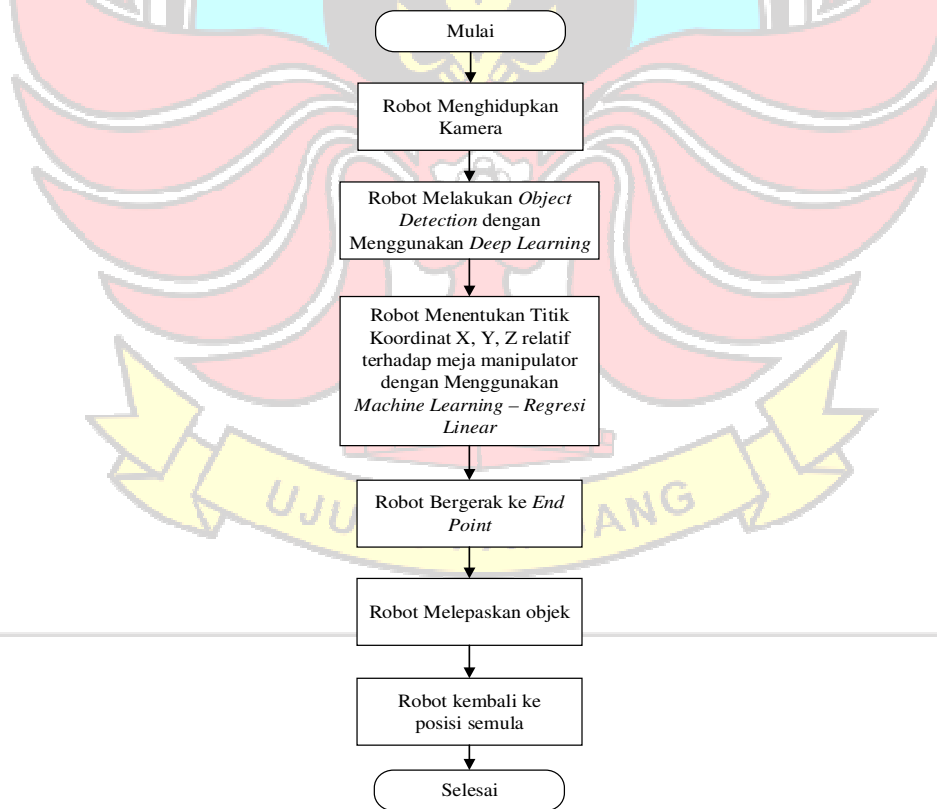
Metode penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut: 1) Studi literatur dilakukan untuk memperoleh landasan teori dalam penelitian dan pembuatan alat. 2) Formulasi dan Simulasi dilakukan untuk memodelkan sebuah sistem dalam analisis kinematika, sehingga diperoleh model matematisnya. Simulasi dilakukan untuk melihat hasil dari formulasi yang telah dibuat. 3) Eksperimen: a) Mekanik, yaitu membuat perangkat keras dari robot manipulator yang telah dirancang. b) Elektronik, yaitu merangkai sistem elektronika untuk driver kontroler yang menggerakkan robot manipulator. c) Kontrol, yaitu membuat perangkat lunak (program) pada robot manipulator. 4) Menguji kinerja sistem secara keseluruhan serta mengambil data dari hasil pengujian yang dibuktikan perhitungan matematis. 5) Menganalisis hasil serta menarik kesimpulan.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

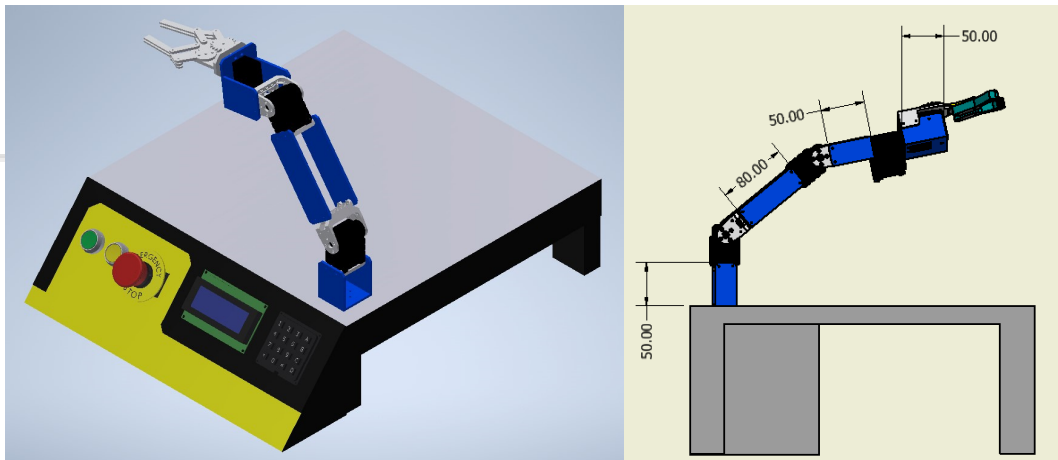


Gambar 2. Diagram Skematik Alat



Gambar 3. Diagram Alir Pengujian Alat

Berikut adalah gambar alat yang dibuat:



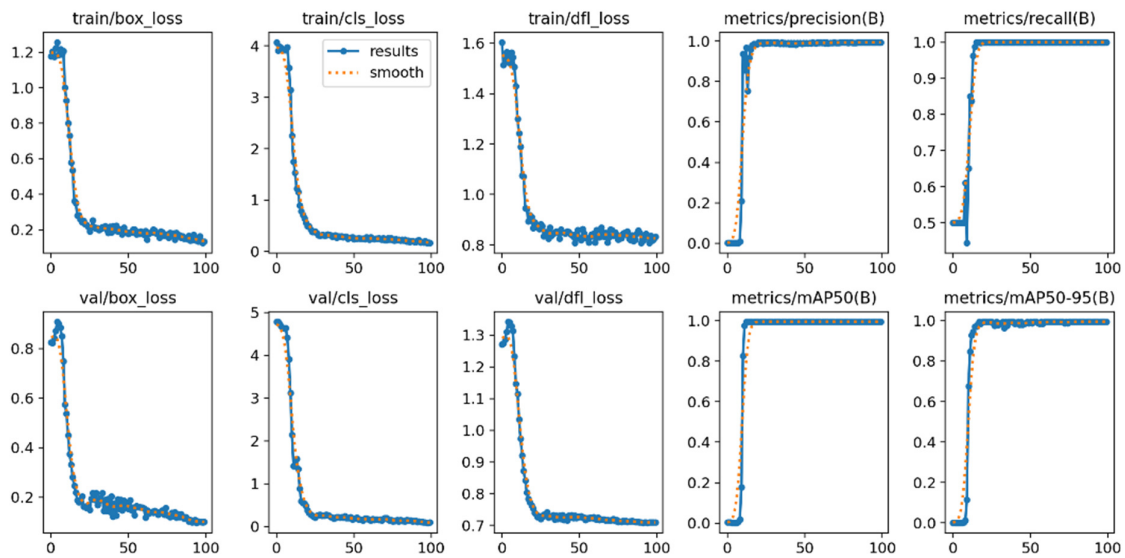
Gambar 4. Desain Prototipe Robot Manipulator

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada saat melakukan eksperimen pada konfigurasi parameter model *training*, didapatkan konfigurasi terbaik yang cocok untuk penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

- *Pre-trained model* : yolov8m.pt
- *Epochs* : 100
- *Imgsize* : 640
- *Batch size* : 64

Konfigurasi di atas menghasilkan grafik *training results* sebagai berikut:



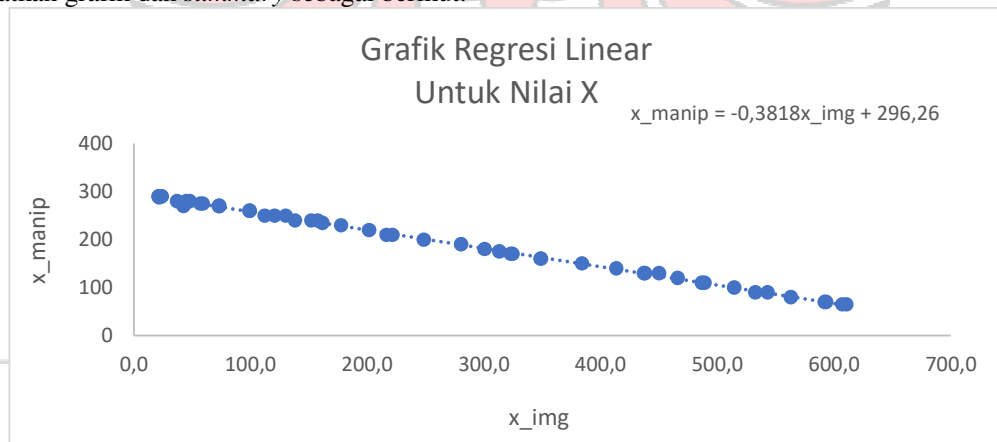
Gambar 5. Grafik Hasil *Training Model Deep Learning* Menggunakan YOLO

Akurasi (mAP50)	: 0.995
Presisi	: 0.99305
Recall	: 1

image	x_img	y_img	x_manip	y_manip
img0001	43.500000	363.500000	270	155
img0002	161.500000	251.500000	235	200
img0003	313.000000	197.000000	175	220
img0004	450.000000	168.500000	130	230
img0005	57.000000	556.500000	275	92
img0006	59.000000	603.500000	275	70
img0007	73.500000	583.000000	270	80
img0008	138.000000	400.500000	240	150
img0009	323.000000	285.500000	170	190
img0010	592.000000	47.500000	70	280
img0011	21.500000	600.500000	288	70
img0012	37.000000	462.000000	280	125
img0013	112.000000	329.500000	250	175
img0014	216.500000	237.500000	210	210
img0015	280.500000	153.500000	190	240

Gambar 6. Header Dataset Untuk Model Machine Learning

Jika data tersebut dianalisis dengan menggunakan Scikit-Learn atau Microsoft Excel, maka akan didapatkan grafik dan *summary* sebagai berikut:



Gambar 7. Grafik Regresi Linear untuk Nilai X

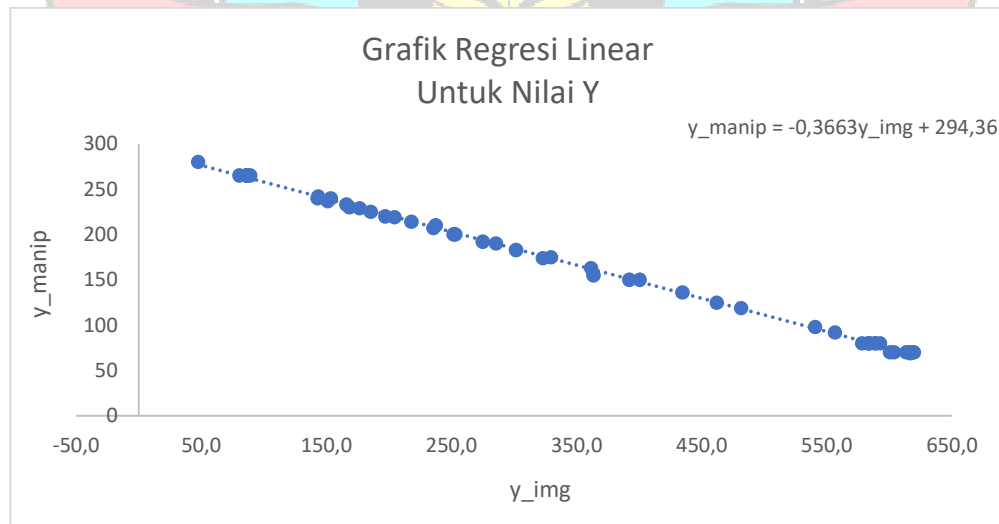
Tabel 1. Summary Output untuk Nilai X

Regression Statistics	
Multiple R	0,99941654
R Square	0,998833421
Adjusted R Square	0,998809117
Standard Error	2,526391356
Observations	50

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	262313,9526	262313,9526	41097,94798	4,62638E-72
Residual	48	306,3673577	6,382653284		
Total	49	262620,32			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%	Lower 95,0%	Upper 95,0%
Intercept	296,2609004	0,619915672	477,9051635	6,2849E-90	295,0144764	297,5073244	295,0144764	297,5073244
X_img	-0,381816122	0,001883407	-202,7262883	4,62638E-72	-0,385602965	-0,378029278	-0,385602965	-0,378029278

Dapat dilihat bahwa pemetaan nilai y_{img} yang merupakan koordinat objek terhadap sumbu y relatif dalam grafis yang diukur dengan satuan pixel terhadap nilai y_{manip} yang merupakan koordinat objek terhadap sumbu y relatif dalam dunia nyata yang diukur dengan satuan milimeter menghasilkan grafik yang relatif membentuk garis linear. Ini membuktikan bahwa algoritma regresi linear cocok untuk digunakan pada penelitian ini.



Gambar 8. Grafik Regresi Linear untuk Nilai Y

Tabel 2. Summary Output untuk Nilai Y

Regression Statistics	
Multiple R	0,999601009
R Square	0,999202178
Adjusted R Square	0,999185557
Standard Error	2,064172127
Observations	50

ANOVA

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	1	256141,8013	256141,8013	60115,80132	5,06953E-76
Residual	48	204,5187154	4,260806571		
Total	49	256346,32			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95,0%</i>	<i>Upper 95,0%</i>
Intercept	294,3671088	0,608575593	483,6985117	3,52504E-90	293,1434856	295,590732	293,1434856	295,590732
X Variable 1	-0,366321896	0,001494062	-245,1852388	5,06953E-76	-0,369325908	-0,363317883	-0,369325908	-0,363317883

Untuk menghitung nilai error pergeseran nilai bit posisi servo digunakan rumus berikut. Nilai sinyal ini menandakan posisi servo saat ini (*present position*) yang disimbolkan dengan $T1_{Act}$, $T2_{Act}$, dan $T3_{Act}$ yang berarti nilai posisi aktual servo dynamixel AX-12A. Range posisi servo *default* adalah 0-1023.

$$Mean\ Absolute\ Error\ (MAE) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Ti_{Act} - Ti|$$

$$Mean\ Absolute\ Error\ (\%) = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Ti_{Act} - Ti| \right) \div 1023 \times 100$$

Tabel 3. Pengujian Servo Dynamixel AX-12A pada Sistem Robot Manipulator

Eksperimen	Kalkulasi Matematis			Aktual			Mean Absolut Error (%)
	T1	T2	T3	$T1_{Act}$	$T2_{Act}$	$T3_{Act}$	
1	617	225	406	613	217	402	0,52
2	649	222	411	646	213	406	0,55
3	692	278	288	689	266	284	0,62
4	723	299	237	719	287	234	0,62
5	572	273	300	569	262	298	0,52
6	771	276	292	766	264	289	0,65
7	770	287	266	767	278	262	0,52
8	691	303	225	687	292	225	0,49
9	561	301	229	558	293	227	0,42
10	566	276	282	563	266	281	0,46
Total Error							0,54 %

Jika diukur pada sumber daya arus listrik bolak-balik (AC) maka didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

Tabel 4. Energi yang Digunakan Robot Manipulator

Eksperimen	Menit Pencatatan	Tegangan [V]	Arus [A]	Power Factor	Daya Tertinggi [Watt]	Total Energi [kWh]
0 (<i>Idle</i>)	2	232	0,145	0,61	22,7	0,000
1	4	~ 232	0,230	0,67	37,6	0,001
2	7	~ 232	~ 0,230	~ 0,67	36	0,002
3	9	~ 232	~ 0,230	~ 0,67	~ 36	0,003
4	10	~ 232	~ 0,230	~ 0,67	30	0,004

Dengan sumber daya arus bolak-balik (AC), daya yang digunakan rata-rata ~35 watt, serta total energi yang digunakan sebesar ~0,001 kWh untuk setiap 1 kali eksperimen untuk mengambil dan memindahkan objek.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis pada data-data hasil pengujian, maka dapat dibuat kesimpulan hasil penelitian sebagai berikut:

- a. Formulasi robot manipulator 3 DOF telah berhasil dan sesuai dengan kaidah *inverse kinematic* pada ilmu kinematika dan dinamika robot, sehingga formulasi ini dapat diimplementasikan ke dalam sistem prototipe robot manipulator 3 DOF.
- b. Sistem mekanika, elektronika, dan sistem kontrol robot masing-masing telah dilakukan pengembangan untuk meningkatkan kinerja robot. Terbukti dengan nilai hasil uji rata-rata *error* keseluruhan servo dynamixel AX-12A yang lebih rendah dari penelitian sebelumnya, yang sebelumnya 0,77% menjadi 0,54%.
- c. Hasil pengujian menunjukkan bahwa prototipe robot manipulator 3 DOF yang telah dikembangkan dengan mengadopsi teknologi *deep learning* juga berkontribusi besar untuk meningkatkan kinerja sistem robot manipulator. Terbukti dengan nilai rata-rata *error* keseluruhan servo dynamixel AX-12A sebesar 0,54%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh dana riset Politeknik Negeri Ujung Pandang. Untuk itu, peneliti mengucapkan terima kasih kepada *stakeholders* terkait yang telah membantu kelancaran penelitian ini hingga berhasil.

Selain itu peneliti juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya terhadap Fakultas *Computer Science and Information Engineering* (CSIE) Asia University yang telah banyak memberikan kontribusi pembelajaran mengenai *deep learning* dan *machine learning* kepada peneliti.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K.I. Goryanina, A.D. Lykhanov, and O.I. Katin, "Review of robotic manipulators and identification of the main problems," MATEC Web of Conferences, vol. 226, no. 02015, pp. 1-7, 2018.
- [2] J. Mustarin and M. Mogot, "Rancang Bangun Prototipe Robot Manipulator," B.App.Eng. thesis, Dept. Mech. Eng., Politeknik Negeri Ujung Pandang., Makassar, South Sulawesi, Indonesia, 2016.
- [3] A. Baso and J.M. Adiputra, "Pengembangan Prototipe Robot Manipulator," B.App.Eng. thesis, Dept. Mech. Eng., Politeknik Negeri Ujung Pandang., Makassar, South Sulawesi, Indonesia, 2017.
- [4] M.T. Mason, *Mechanics of Robotic Manipulation*, London: The MIT Press, 2001.