

BAB 4

PENGUJIAN DAN ANALISA

Bab ini akan membahas hasil pengujian data dan analisis yang didapat. Pengujian data dilakukan untuk mengetahui hasil kerja robot lengan pemindah bahan kimia. Hal-hal yang diuji meliputi kepekaan sensor, dan keakuratan gerakan robot keseluruhan. Dalam prosesnya, pengambilan data dapat dilakukan berulang ulang untuk mengetahui tingkat akurasi dan presisi robot lengan.

4.1 Pengujian Alat

Pengujian komponen dilakukan untuk memastikan semua komponen yang digunakan dapat bekerja sesuai dengan spesifikasinya.

4.3.1 Komunikasi antara PLC dengan laptop

Pengujian komunikasi antara PLC dengan laptop bertujuan untuk memastikan *software* Ebpro dapat terhubung dengan PLC. Pengujian ini mengharuskan, laptop, *software* EBPro, dan *software* CX-Programmer untuk saling berkomunikasi. Protokol komunikasi yang digunakan adalah Ethernet dengan jaringan LAN. Hal ini karena metode komunikasi yang didukung antara PLC dengan laptop hanya Ethernet.

Ethernet adalah protokol komunikasi yang mengatur transfer data antar perangkat dengan standar IEEE 802.3. Sedangkan, LAN atau *Local Area Network* adalah jenis jaringan yang menghubungkan beberapa perangkat dalam lingkup kecil. Model jaringan yang digunakan adalah P2P atau *Peer to Peer*, karena hanya 2 perangkat saja yang terhubung dan saling berbagi data. Masing-masing perangkat perlu diberikan IP Address agar data dapat dikirim dan diterima oleh perangkat yang tepat. Semua perangkat diatur pada Subnet Mask yang sama agar komunikasi menjadi efisien, cepat, dan mengoptimalkan penggunaan IP Address.

Pada pengujian komunikasi antara PLC dengan laptop, pengaturan IP Address, Subnet Mask, dan status komunikasi dapat dilihat pada Tabel

4.1. EBPro dan CX-Programmer memiliki IP Address yang sama karena keduanya hanya dijalankan secara software atau simulasi virtual [40].

Tabel 4.1. Pengujian komunikasi antara PLC dengan Laptop

No	Perangkat	IP Address	Subnet Mask	Status
1	Laptop	192.168.250.2	255.255.255.0	Terhubung
2	EBPro	192.168.250.1	255.255.255.0	Terhubung
3	PLC	192.168.250.1	255.255.255.0	Terhubung

4.3.2 Rotary Encoder

Pengujian rotary encoder bertujuan untuk memastikan perangkat ini dapat bekerja mendeteksi putaran batang *shaft*-nya. Pengujian ini memerlukan encoder untuk terhubung dengan catu daya dan PLC agar hasil pembacaannya dapat dilihat. Rentang nilai encoder yang mampu dibaca oleh PLC adalah -2.147.483.648 sampai 2.147.483.648. Rentang terbaca yang ada di Tabel 4.2 menunjukkan bahwa nilai benar bertambah saat tuas diputar *clockwise* dan berkurang saat diputar *counter clockwise*. Sehingga, hasil pengujian pada Tabel 4.2 sudah sesuai.

Tabel 4.2. Pengujian rotary encoder

No	Perangkat	Kondisi	Status	Rentang terbaca
1	Rotary Encoder 1	<i>Clockwise</i>	Nilai bertambah	0-312
		<i>Counter clockwise</i>	Nilai berkurang	314-51
2	Rotary Encoder 2	<i>Clockwise</i>	Nilai bertambah	0-307
		<i>Counter clockwise</i>	Nilai berkurang	307-33
3	Rotary Encoder 3	<i>Clockwise</i>	Nilai bertambah	0-322
		<i>Counter clockwise</i>	Nilai berkurang	315-48

4.3.3 Motor DC

Pengujian motor DC bertujuan untuk memastikan kerja perangkat ini sesuai dengan spesifikasi yang tertera. Pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan motor DC ke catu daya dan modul driver motor. Pada datasheet tertulis tegangan motor DC 12V, sedangkan tegangan yang diterapkan sebesar 6V. hal ini dilakukan dengan alasan untuk mengurangi kecepatan putar motor atau RPM.

Hubungan antara tegangan dengan torsi dan kecepatan adalah linier [39, 41]. Sehingga semakin kecil tegangan input motor DC, semakin kecil pula torsi dan kecepatannya. Meskipun sebenarnya ada faktor lain yang mempengaruhi nilai torsi dan kecepatannya seperti nilai arus armatur, resistansi, dan induktansi. Namun, nilai tersebut tidak tertulis pada datasheet motor DC sehingga tidak dimasukkan pada perhitungan konversi torsi dan kecepatan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran 5.

Tabel 4.3. Pengujian Motor DC.

Axis	Tegangan diterapkan	Rasio gear	Kecepatan	Torsi
1	6 V	1:1,5	4 RPM	12 kg.cm
2	6 V	1:1,5	4 RPM	12 kg.cm
3	6 V	1:1,5	4 RPM	12 kg.cm

4.3.4 Limit Switch

Pengujian limit switch bertujuan untuk memastikan komponen ini dapat bekerja dan dapat memberikan masukan ke PLC. Pengujian ini menggunakan multimeter digital untuk mengetahui nilai tegangan keluarannya. Ketiga Limit Switch yang diuji dihubungkan ke sumber tegangan 24VDC. Saat Limit Switch ditekan, ketiganya menunjukkan tegangan keluaran yang terukur 24VDC dan saat tidak ditekan 0V. Hal ini masih dibawah batas rentang datasheet yaitu 125VDC.

Tabel 4.4. Pengujian limit switch

No	Perangkat	Kondisi ON	Kondisi OFF	Datasheet
1	Limit Switch 1	22,3 VDC	0 VDC	125 VDC
2	Limit Switch 2	22,3 VDC	0 VDC	125 VDC
3	Limit Switch 3	22,3 VDC	0 VDC	125 VDC

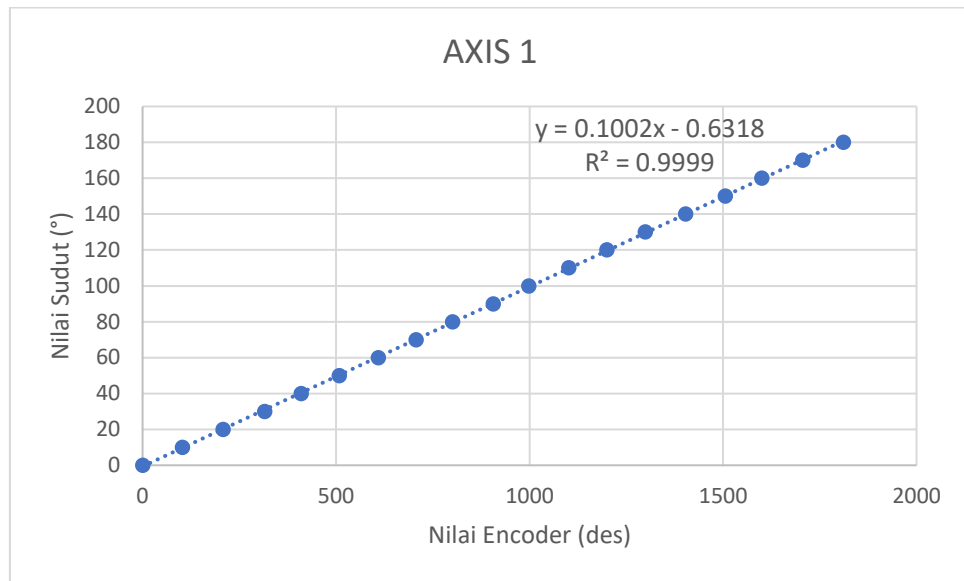
4.4 Pengujian Data Gerak Robot

Pengujian selanjutnya dilakukan dalam 2 bagian yaitu pengambilan dan pengujian sudut putar. Robot lengan ini bergerak berdasarkan perhitungan sudut putar motor DC. Sudut putar adalah sudut yang dibentuk oleh *base*, *shoulder*, dan *elbow*. Gerakan motor DC juga menghasilkan nilai encoder. Variabel sudut putar dan nilai encoder inilah yang dijadikan persamaan regresi linier sederhana.

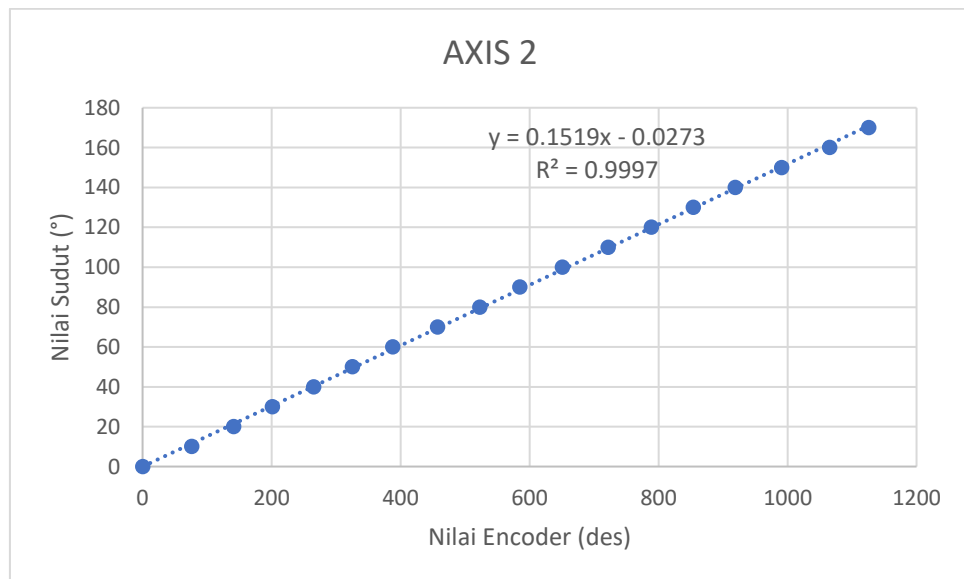
4.4.1 Pengambilan data sudut putar

Pengambilan data sudut putar dilakukan untuk mengetahui tingkat linieritas masing-masing sumbu lengan robot. Hasil grafik menunjukkan ketiga axis memiliki hubungan linier yang sangat kuat. Dibuktikan dengan nilai koefisien determinasi (R^2) masing-masing sebesar 0,9999 (axis 1), 0,9997 (axis 2), dan 0,999 (axis 3). Hal ini menunjukkan bahwa perubahan nilai encoder sangat mempengaruhi nilai sudut.

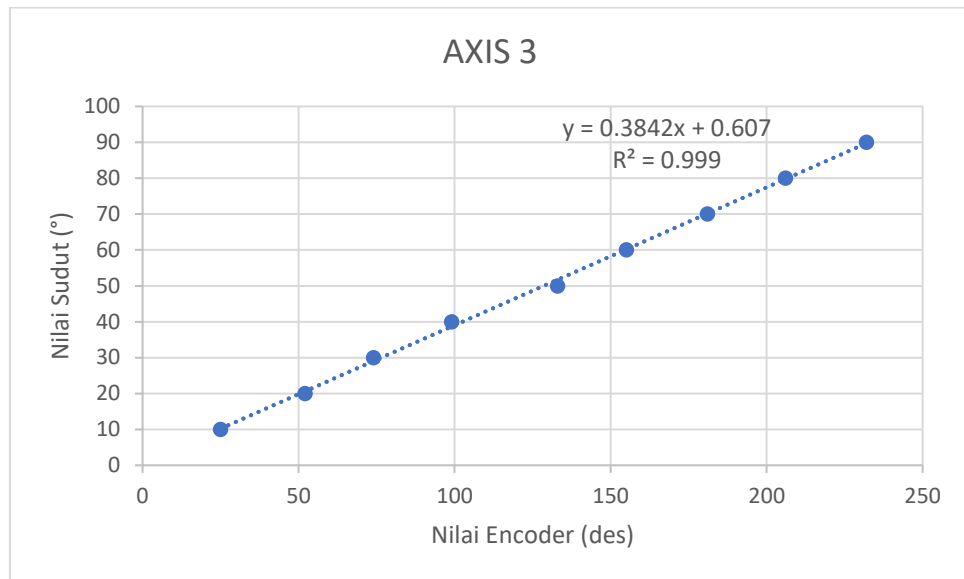
Berdasarkan Gambar 2.3 semakin besar sudut putar motor DC, semakin besar pula nilai encodernya. Hubungan ini dapat digambarkan dengan garis linier guna mendapatkan persamaannya. Hasil persamaan dari axis 1 dapat dilihat pada Gambar 4.1 dengan persamaan $y = 0,1002x - 0,6318$. Hasil persamaan dari axis 2 dapat dilihat pada Gambar 4.2 dengan persamaan $y = 0,1519x - 0,0273$. Hasil persamaan dari axis 3 dapat dilihat pada Gambar 4.3 dengan persamaan $y = 0,3842x - 0,607$.



Gambar 4.1. Grafik hubungan sudut putar dengan encoder axis 1



Gambar 4.2. Grafik hubungan sudut putar dengan encoder axis 2



Gambar 4.3. Grafik hubungan sudut putar dengan encoder axis 3

4.4.2 Pengujian data sudut putar

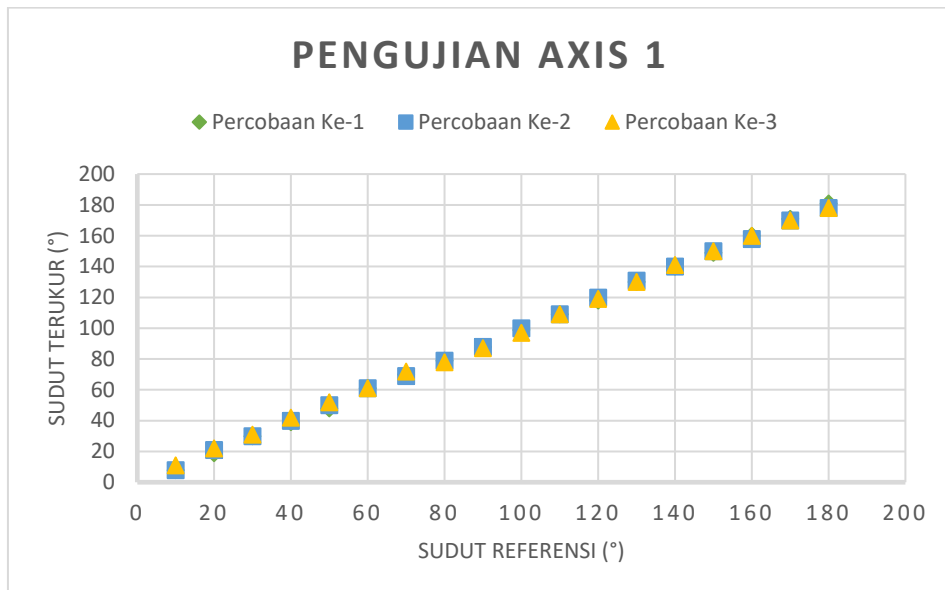
Pengujian data sudut putar dilakukan sebanyak tiga kali untuk membandingkan sudut referensi dengan sudut terukur. Sudut referensi adalah nilai sudut dari hasil persamaan linier Gambar 4.1, Gambar 4.2, dan Gambar 4.3. Sedangkan sudut terukur adalah hasil ukur sudut dengan alat ukur busur.

a. Axis 1

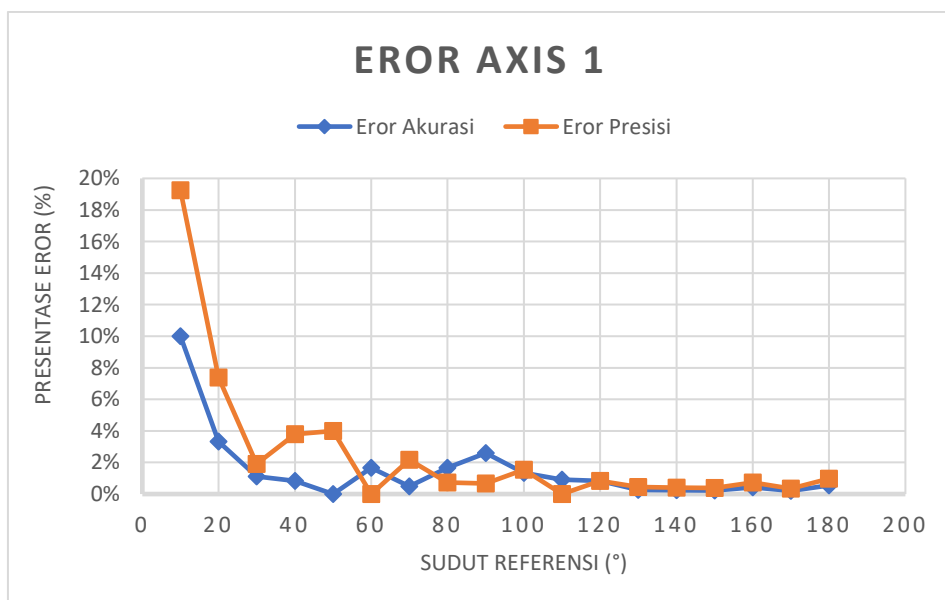
Grafik pada Gambar 4.4 adalah gabungan dari 3 percobaan pengujian axis 1. Secara umum, ketiga grafik percobaan memiliki bentuk yang linier. Kestabilan grafik percobaan ini dapat terjadi karena beban yang diangkat axis 1 adalah yang paling rendah dari ketiga axis. Motor DC 1 hanya mengangkat *elbow* atau axis 1. Grafik percobaan ke-1 dan ke-2 terlihat mirip karena perbedaan data hanya sebesar $\pm 2^\circ$. Sedangkan percobaan ke-3 terlihat mengalami *undershoot* 2° – 3° di sekitar tengah grafik.

Grafik pada Gambar 4.5 adalah gabungan dari grafik eror akurasi dan eror presisi axis 1. Kedua grafik memiliki pola yang sama yakni

semakin besar sudutnya, nilai eror semakin berkurang. Nilai penyimpangan sudut terbesar yang terukur adalah $\pm 3^\circ$. Hal ini dapat disebabkan oleh toleransi encoder, *backlash* roda gigi, dan kesalahan pembuatan badan robot. Tingkat akurasi dan presisi axis 1 sebesar 98.52% dan 97.47%. Data lebih lengkap dapat dilihat pada Lampiran 2.



Gambar 4.4. Grafik pengujian axis 1

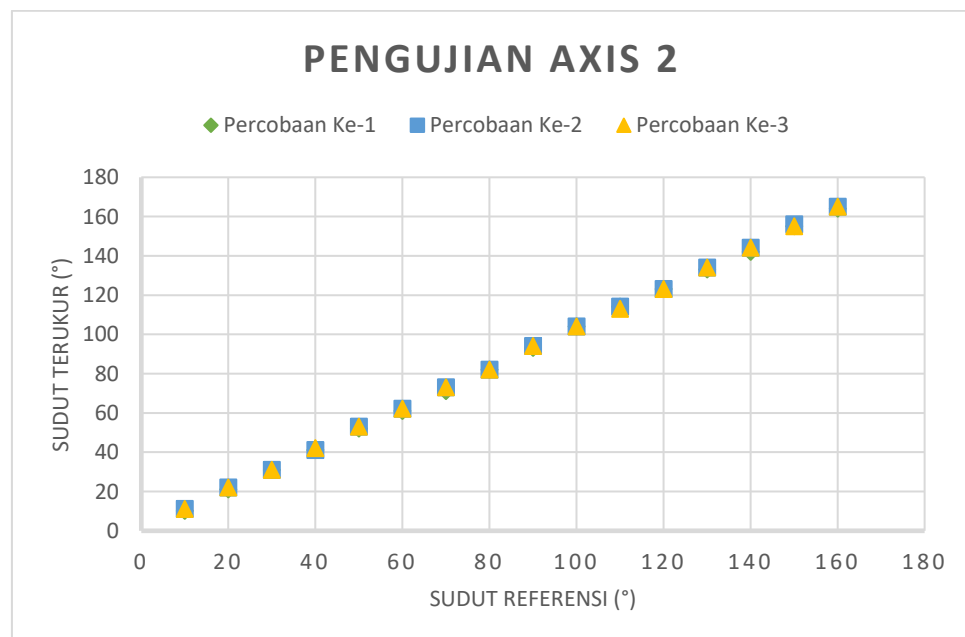


Gambar 4.5. Grafik eror axis 1

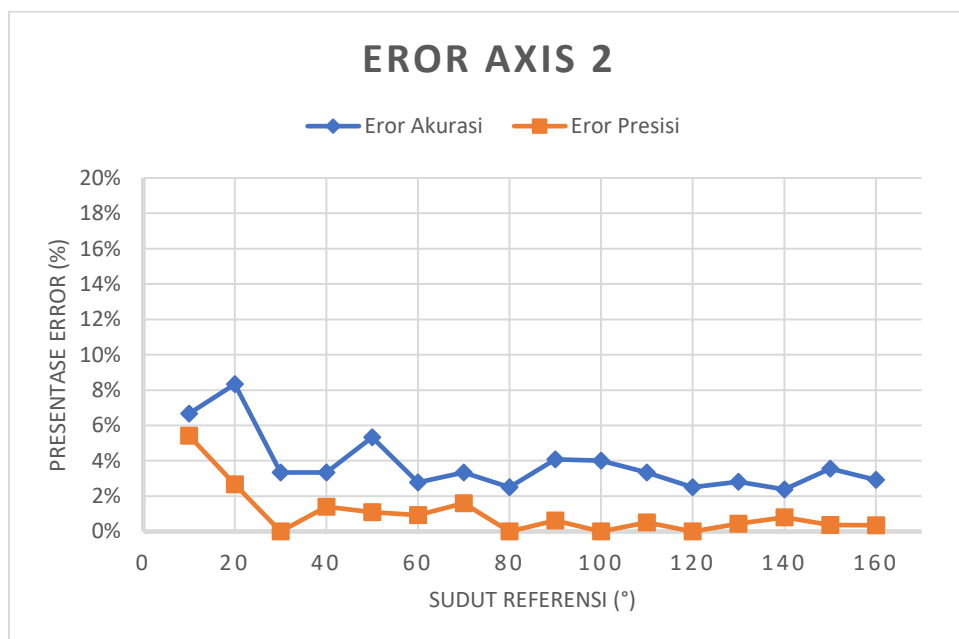
b. Axis 2

Grafik yang ditunjukkan Gambar 4.6 adalah gabungan dari 3 percobaan pengujian axis 2. Secara umum, ketiga grafik percobaan memiliki bentuk yang linier. Kestabilan grafik percobaan ini mengindikasikan hasil perubahan sudut yang konsisten. Menurut data, ketiga grafik sebenarnya mengalami *overshoot* 2° – 6° pada sudut diatas 80° . Hal ini dapat terjadi karena beban yang diangkat oleh *shoulder* atau axis 2 lebih besar dari axis 1. Beban yang diangkat meliputi *elbow*, motor DC 1, rotary encoder 1, dan limit switch 1.

Grafik pada Gambar 4.7 adalah gabungan dari grafik eror akurasi dan eror presisi axis 2. Kedua grafik memiliki pola yang mirip meskipun pada tingkat presentase yang berbeda. Kemiripannya yakni semakin besar sudutnya, nilai eror semakin berkurang. Nilai penyimpangan sudut terbesar yang terukur adalah $\pm 6^{\circ}$. Hal ini dapat disebabkan oleh toleransi encoder, *backlash* roda gigi, dan kesalahan pembuatan badan robot. Tingkat akurasi dan presisi axis 2 sebesar 96.18% dan 98.99%. Data lebih lengkap dapat dilihat pada Lampiran 3.



Gambar 4.6. Grafik pengujian axis 2



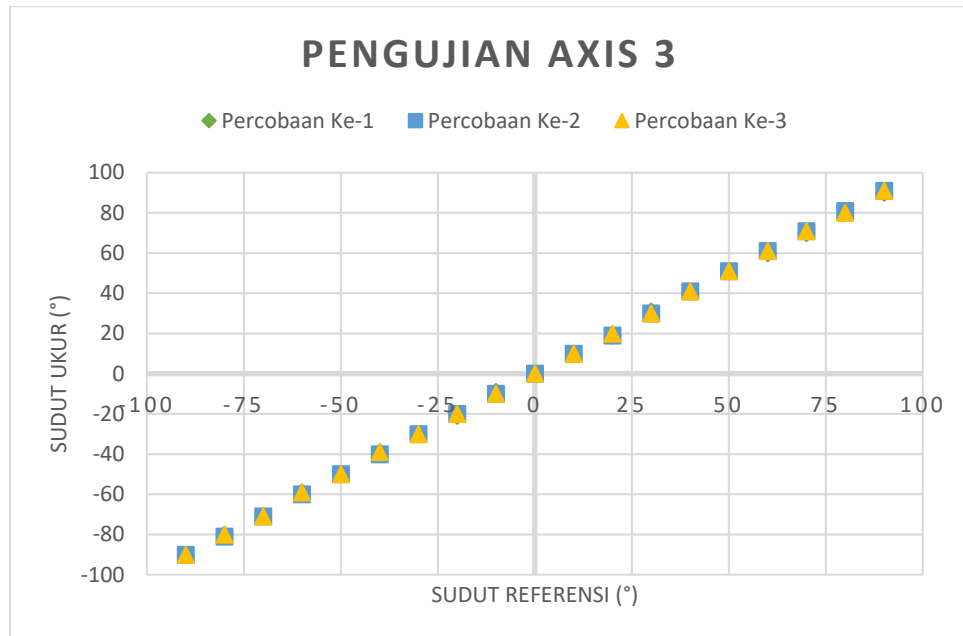
Gambar 4.7. Grafik eror axis 2

c. Axis 3

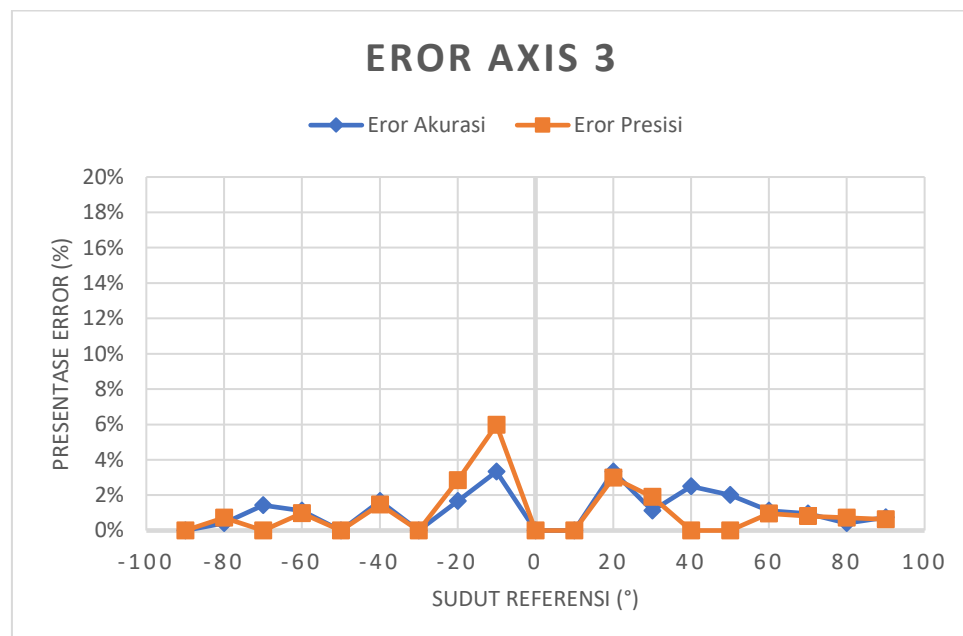
Grafik yang ditunjukkan Gambar 4.8 adalah gabungan dari 3 percobaan pengujian axis 3. Secara umum, ketiga grafik percobaan memiliki bentuk yang linier. Kestabilan grafik percobaan ini mengindikasikan hasil perubahan sudut yang konsisten. Menurut data, hasil pengukuran ketiga percobaan sangat identik. Hal ini dapat terjadi karena terdapat gesekan antara *shoulder* dengan *base*. Gesekan ini menyebabkan gerakan axis 3 lebih lambat dan mengurangi putaran sisa motor DC.

Grafik pada Gambar 4.9 adalah gabungan dari grafik eror akurasi dan eror presisi axis 3. Kedua grafik memiliki pola yang sangat berbeda dibandingkan grafik eror axis 1 dan axis 2. Grafik ini dibaca mulai dari sudut referensi 0° . Jika dilihat ke kanan, pola grafik mirip dengan yang lain. Jika dilihat ke kiri, pola grafik mirip dengan yang lain namun berada pada presentase negatif. Keduanya punya kesamaan yakni semakin jauh dari sudut 0° , eror semakin kecil. Nilai penyimpangan sudut terbesar yang terukur adalah $\pm 1^\circ$. Hal ini disebabkan oleh toleransi

encoder dan *backlash* roda gigi yang dapat menyebabkan penyimpangan hingga $\pm 3^\circ$. Tingkat akurasi dan presisi axis 3 sebesar 98.85% dan 98.95%. Data lebih lengkap dapat dilihat pada Lampiran 4.



Gambar 4.8. Grafik pengujian axis 3



Gambar 4.9. Grafik error axis 3

4.5 Pengujian Pengambilan Tawas

Sebelum melakukan pengujian pengambilan tawas. Perlu diketahui bahwa robot bergerak atas perintah sudut per langkah. Artinya, operator perlu mengetahui berapa banyak langkah dan sudut gerakanya yang dibutuhkan untuk mengambil dan menaruh tawas.



Gambar 4.10. Langkah (*Travel Move*) robot lengan

Pada Gambar 4.10 memperlihatkan 5 langkah yang dibutuhkan dari mengambil hingga menaruh tawas. Langkah A adalah posisi *standby* atau posisi siap robot sebelum melakukan kerja. Langkah B adalah posisi robot siap mengambil tawas. Langkah C adalah posisi robot sesaat setelah mengambil tawas. Langkah D adalah posisi robot menyesuaikan tinggi *elbow* dengan tinggi wadah penampung agar tidak bertubrukan. Langkah E adalah posisi robot menaruh tawas pada wadah. Pada Tabel 4.5 memperlihatkan nilai sudut gerak tiap axis dan tiap langkah dari posisi *standby* hingga posisi menaruh tawas.

Tabel 4.5. Sudut referensi gerak robot lengan

Axis	Langkah				
	A	B	C	D	E
1.	115°	126°	61°	45°	102°
2.	77°	157°	130°	118°	118°
3.	40°	40°	40°	-30°	-30°

Pengujian dilakukan untuk mengetahui perbedaan jumlah tawas terambil pada tiap variasi gerak robot. Variasi gerak robot didasarkan pada satu gerak referensi yang sudah ditentukan, dapat dilihat pada Tabel 4.6,

Tabel 4.8, dan Lampiran 6. Tiap variasi gerakan diulang 3 kali untuk melihat konsistensi data. Variasi ganjil adalah variasi dengan sudut gerak lebih besar 5° dari sudut referensi. Sedangkan variasi genap adalah variasi dengan sudut gerak lebih kecil 5° dari sudut referensi.

Hasil yang terlihat pada Tabel 4.7 menunjukkan bahwa variasi ke-2, ke-4, dan ke-6 mengambil tawas lebih banyak dari variasi ke-1, ke-3, dan ke-5. Hal ini menunjukkan variasi sudut gerak yang lebih kecil dari sudut referensi mengambil tawas lebih banyak. Selisih variasi ke-1 dan ke-2 sebanyak 1 gram. Selisih ini paling kecil karena gerak yang divariasikan adalah gerakan robot saat posisi sebelum mengambil tawas. Selisih pengambilan paling banyak ada pada variasi ke-3 dan ke-4 sebanyak 7 gram. Hal ini karena variasi ke-4 menyebabkan posisi *elbow* lebih tajam 10° dibandingkan variasi ke-3. Terakhir selisih variasi ke-5 dan ke-6 sebanyak 4 gram. Selisih ini tidak terlalu besar karena ada inkonsistensi pengambilan pada percobaan pertama. Khusus variasi ke-5, hasil pengambilan tawas terlihat paling konsisten dengan selisih pengambilan di tiap percobaannya paling sedikit.

Tabel 4.6. Sudut variasi gerak axis 1

Variasi					
Ke-1	Ke-2	Ke-3	Ke-4	Ke-5	Ke-6
131°	121°	66°	56°	50°	40°

Tabel 4.7. Hasil variasi gerak axis 1

Perco baan	Variasi					
	Ke-1	Ke-2	Ke-3	Ke-4	Ke-5	Ke-6
1.	11 g	6 g	8 g	10 g	6 g	10 g
2.	3 g	7 g	5 g	8 g	6 g	6 g
3.	2 g	4 g	4 g	6 g	5 g	5 g
Total	16 g	17 g	17 g	24 g	17 g	21 g

Hasil yang terlihat pada Tabel 4.9 menunjukkan variasi ke-7, ke-9, dan ke-11 mengambil tawas lebih banyak dari variasi ke-8, ke-10, dan ke-12. Hal ini menunjukkan variasi sudut gerak yang lebih besar dari sudut referensi mengambil tawas lebih banyak. Selisih pengambilan paling banyak ada pada variasi ke-7 dan ke-8 sebanyak 19 gram. Hal ini karena variasi ke-7 menyebabkan posisi *shoulder* lebih rendah 10° dibandingkan variasi ke-8. Sehingga, selisih hasil pengambilannya paling banyak. Disusul selisih variasi ke-9 dan ke-10 sebanyak 5 gram. Selisih ini tidak terlalu besar karena saat axis 2 naik ada sebagian tawas yang terjatuh dari wadah. Terakhir selisih variasi ke-11 dan ke-12 sebanyak 2 gram. Selisih ini paling kecil karena gerak yang divariasikan adalah gerakan robot saat posisi siap menaruh tawas ke wadah penampung.

Tabel 4.8. Sudut variasi gerak axis 2

Variasi					
Ke-7	Ke-8	Ke-9	Ke-10	Ke-11	Ke-12
162°	152°	135°	125°	123°	113°

Tabel 4.9. Hasil variasi gerak axis 2

Perco baan	Variasi					
	Ke-7	Ke-8	Ke-9	Ke-10	Ke-11	Ke-12
1.	9 g	4 g	9 g	8 g	10 g	9 g
2.	6 g	1 g	6 g	4 g	6 g	4 g
3.	10 g	1 g	6 g	4 g	4 g	5 g
Total	25 g	6 g	21 g	16 g	20 g	18 g

Tabel 4.11 menunjukkan hasil dari gabungan dari 6 variasi, yaitu variasi ke-2, ke-4, ke-6, ke-7, ke-9, dan ke-11. Hal yang digabung adalah pengaturan gerak robot tiap variasi, jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.10. Hasilnya tawas yang terambil lebih banyak dibandingkan dengan 12 variasi sebelumnya. Hal ini menunjukkan bahwa gabungan pengaturan 6 variasi ini

mampu mengambil tawas lebih banyak meskipun pengambilannya tidak konsisten.

Tabel 4.10. Sudut gabungan 6 variasi pengambilan terbanyak

Axis	Langkah				
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
1.	115°	121°	56°	40°	102°
2.	77°	162°	135°	123°	118°
3.	40°	40°	40°	-30°	-30°

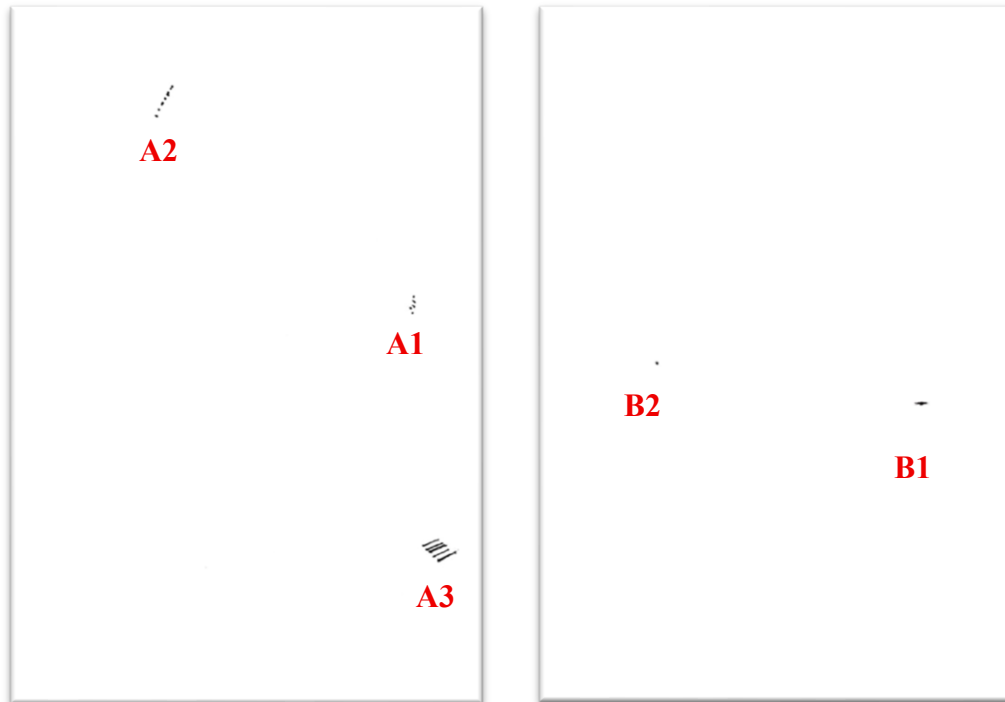
Tabel 4.11. Hasil gabungan 6 variasi pengambilan terbanyak

Perco baan	Variasi
	Ke-13
1.	13 g
2.	12 g
3.	7 g
Total	32 g

Gerak axis 3 tidak divariasikan karena axis ini mewakili gerak *base*. *Base* hanya menggerakkan lengan robot ke arah wadah tawas dan ke arah wadah penampung. Sehingga, gerakan axis 3 ini tidak berperan langsung dalam pengambilan tawas.

4.6 Pengujian *Point to Point* Gerak Robot

Pengujian ini dilakukan dengan cara menggerakkan robot dari satu titik ke titik yang lain secara berulang. Tujuannya untuk mengetahui seberapa jauh kesalahan gerak yang dilakukan oleh robot.



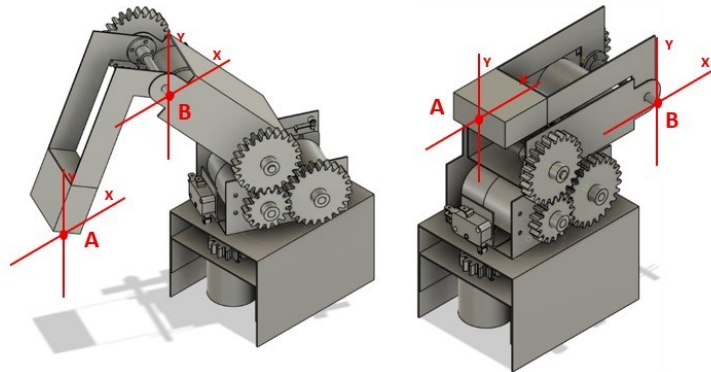
Gambar 4.11. Hasil uji 3 titik (A) dan hasil uji 2 titik (B)

Hasil uji A menunjukkan adanya pergeseran untuk ketiga titik dari titik seharusnya. Titik A1 bergeser 2mm – 6mm dari titik seharusnya, titik A2 bergeser 5mm – 12mm dari titik seharusnya, dan titik A3 bergeser 4mm – 7mm dari titik seharusnya. Pada titik A3 terdapat garis yang berulang karena efek toleransi perpindahan sudut.

Hasil uji B menunjukkan tidak ada titik yang bergeser. Namun pada titik B1 terdapat garis sepanjang 7mm karena efek toleransi perpindahan sudut.

4.7 Perbandingan Data Koordinat

Data koordinat diambil dari konversi data sudut menggunakan persamaan *forward kinematic*. Data yang dibandingkan adalah data yang tertampil pada HMI virtual dengan data yang dihitung secara matematis.



Gambar 4.12. Ilustrasi titik koordinat untuk Axis 1 dan Axis 2

A = Ujung Axis 1

B = Ujung Axis 2

$$X = (L_A \times \cos \alpha) \pm (L_B \times \cos \beta) \quad (4,1)$$

$$Y = (L_A \times \sin \alpha) \pm (L_B \times \sin \beta) \quad (4,2)$$

XA = Koordinat X titik A

XB = Koordinat X titik B

YA = Koordinat Y titik A

YB = Koordinat Y titik B

Variasi 1. Axis 1 pada sudut 30°, 60°, 90°, 120°, dan 150°.

Axis 2 berhenti pada sudut 0°.

Tabel 4.12. Perbandingan data koordinat variasi 1

Tampilan Koordinat HMI Virtual (mm)					Perhitungan Koordinat (mm)					
30°	60°	90°	120°	150°	30°	60°	90°	120°	150°	
15.1	-36.3	-104.5	-173.1	-225.9	XA	16.2	-35	-105	-175	-226.2
-104.8	-104.8	-104.8	-104.8	-104.8	XB	-105	-105	-105	-105	-105
71.7	122	140	122.3	70.6	YA	70	121.2	140	121.2	70
0	0	0	0	0	YB	0	0	0	0	0

Pada Tabel 4.12 terlihat perbedaan antara 1-2 mm. Hal ini terjadi karena robot mengalami *backlash* pada roda gigi dan ditambah dengan toleransi gerakannya. Sehingga sudut gerak robot bergeser $0,1^\circ - 2^\circ$.

Variasi 2. Axis 1 pada sudut 30° , 60° , 90° , 120° , dan 150° .

Axis 2 berhenti pada sudut 90° .

Tabel 4.13. Perbandingan data koordinat variasi 2

Tampilan Koordinat HMI Virtual (mm)						Perhitungan Koordinat (mm)				
30°	60°	90°	120°	150°		30°	60°	90°	120°	150°
72.1	123.4	140.1	118.9	71.4	XA	70	121.2	140	121.2	70
0	0	0	0	0	XB	0	0	0	0	0
-14.9	39.3	109.9	179.2	225.5	YA	-16.2	35	105	175	226.2
105	105	105	105	105	YB	105	105	105	105	105

Pada Tabel 4.13 terlihat perbedaan antara 1-4 mm. Hal ini terjadi karena robot mengalami *backlash* pada roda gigi dan ditambah dengan toleransi gerakannya. Sehingga sudut gerak robot bergeser $0,1^\circ - 3^\circ$.

Variasi 3. Axis 2 pada sudut 30° , 60° , 90° , 120° , dan 150° .

Axis 1 berhenti pada sudut 120° .

Tabel 4.14. Perbandingan data koordinat variasi 3

Tampilan Koordinat HMI Virtual (mm)						Perhitungan Koordinat (mm)				
30°	60°	90°	120°	150°		30°	60°	90°	120°	150°
-95.6	-19.3	123.4	192	211.7	XA	-90.9	-17.5	121.2	192.4	212.7
-89.8	-53.1	0.8	51.9	90.7	XB	-90.9	-52.5	0	52.5	90.9
193.9	211.7	172.9	90.7	-18	YA	192.5	212.1	175	90.9	-17.5
54.1	90.5	105	91.2	52.7	YB	52.5	90.9	105	90.9	52.5

Pada Tabel 4.14 terlihat perbedaan antara 1-5 mm. Hal ini terjadi karena robot mengalami *backlash* pada roda gigi dan ditambah dengan toleransi gerakannya. Sehingga sudut gerak robot bergeser $0,1^\circ - 3^\circ$.