

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM

Tujuan pengujian sistem ini adalah untuk menentukan apakah alat yang telah dibuat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perancangan. Pengujian pada sistem ini meliputi pengujian setiap blok maupun pengujian secara keseluruhan. Pengujian setiap blok ini dilakukan untuk menemukan letak kesalahan dan mempermudah analisis pada sistem apabila alat tidak bekerja sesuai dengan perancangan.

5.1 Pengujian Sinyal Kontrol Motor Servo

a. Tujuan

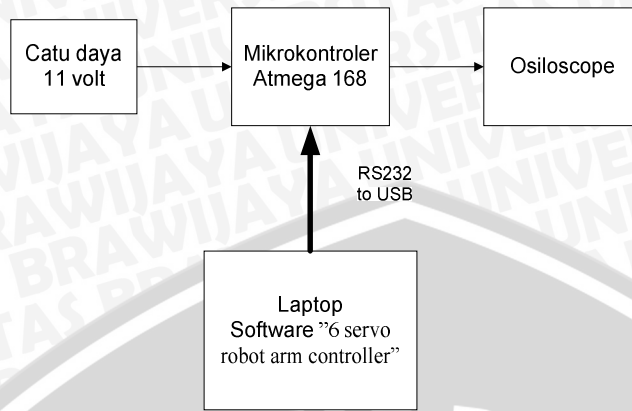
Mengetahui ketepatan lebar sinyal *high* yang dihasilkan oleh mikrokontroler. Lebar sinyal *high* mempengaruhi posisi dan arah putar motor servo. Kebanyakan motor servo memiliki sudut 0° dengan lebar sinyal *high* sebesar $600 \mu\text{s}$ dan sudut 180° dengan lebar sinyal *high* sebesar $2500 \mu\text{s}$.

b. Peralatan yang digunakan

- Board pengendali 32 motor servo mikrokontroler Atmega168 Arexx *intelligence center*
- Catu daya 6 - 12 volt
- Kabel serial usb to RS232
- Komputer/laptop
- Osiloskop TEKTRONIX TDS-1012B

c. Langkah Pengujian

1. Peralatan dirangkai seperti dalam Gambar 5.1.
2. Software kit robotic arm "6 servo robot arm controller" dinyalakan.
3. Dalam kondisi komunikasi serial *connect.0*
4. Catu daya 6 - 12 volt diaktifkan.
5. *Enable* port motor servo diaktifkan dan diberikan nilai lebar pulsa antara 500-2500 μs .
6. Osiloskop TEKTRONIX TDS-1012B digunakan untuk melihat periode sinyal dan lebar sinyal *high* yang dihasilkan oleh mikrokontroler

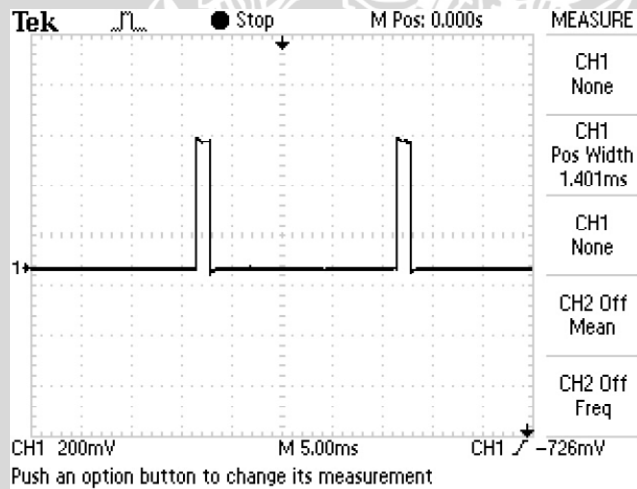


Gambar 5.1 Diagram Blok Pengujian Sinyal Kontrol Motor Servo

Sumber : Pengujian

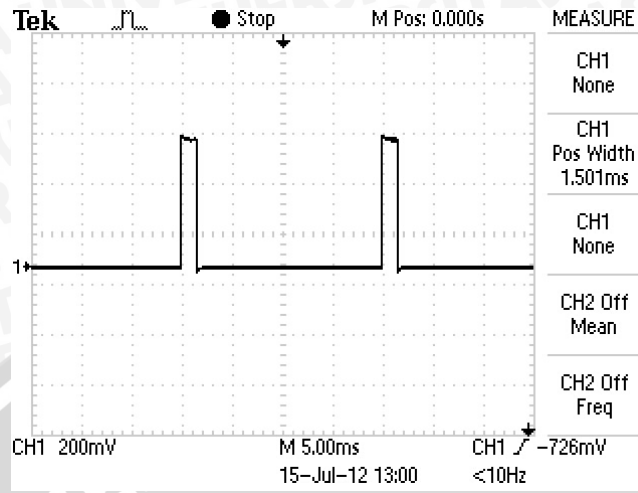
d. Hasil pengujian

Pengujian sinyal kontrol motor servo dapat ditunjukkan dalam Gambar 5.2 –5.5.



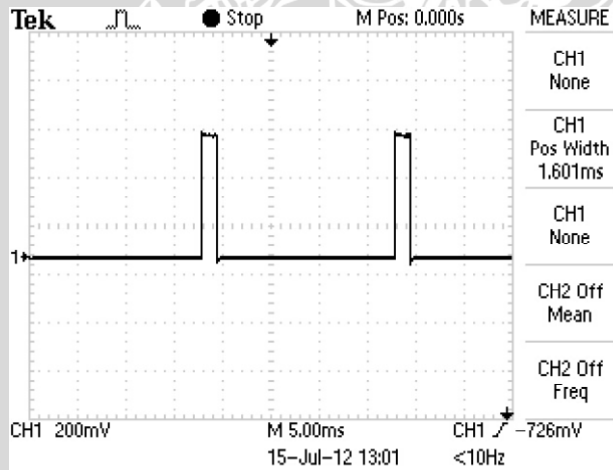
Gambar 5.2 Sinyal Kontrol Motor Servo dengan Lebar Pulsa High 1400 μs

Sumber : Pengujian



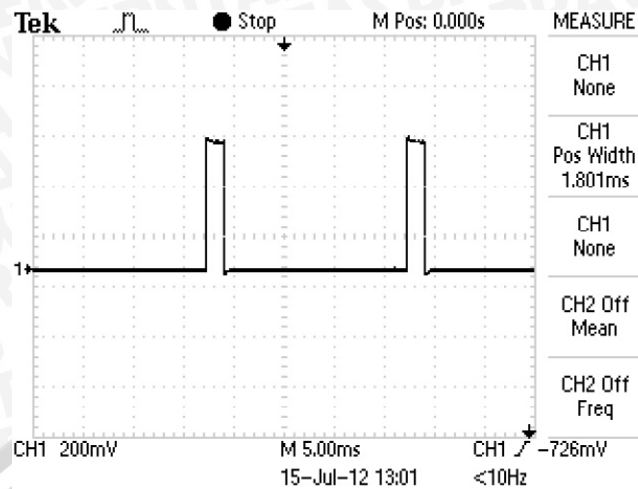
Gambar 5.3 Sinyal Kontrol Motor Servo dengan Lebar Pulsa High 1500 μ s

Sumber : Pengujian



Gambar 5.4 Sinyal Kontrol Motor Servo dengan Lebar Pulsa High 1600 μ s

Sumber : Pengujian



Gambar 5.5 Sinyal Kontrol Motor Servo dengan Lebar Pulsa High 1800 μ s

Sumber : Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian sinyal kontrol motor servo, dapat disimpulkan bahwa rangkaian *board* pengendali 32 motor servo mikrokontroler Atmega168 Arexx *intelligence center* mengeluarkan sinyal kontrol motor servo dengan baik dan sesuai dengan sistem yang direncanakan.

5.2 Pengujian Motor Servo

a. Tujuan

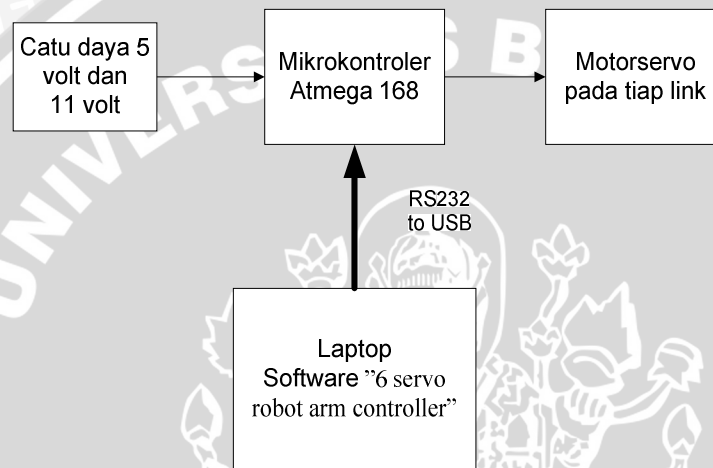
Mengetahui tingkat kelinieran dari motor servo dalam melakukan perubahan sudut dari tiap sendi pada robot lengan.

b. Peralatan yang digunakan

- Penggaris busur.
- Robot lengan lengkap dengan motor servo pada masing-masing *link*.
- Komputer/laptop.
- Catu daya 6 volt dan 11 volt.

c. Langkah pengujian

1. Peralatan dirangkai seperti pada Gambar 5.6.
2. Berikan masukan pulsa mulai 500 – 2500 μ s pada *software* kit.
3. Busur derajat digunakan untuk mengukur sudut *link*.
4. Data PWM keluaran sudut dari motor servo dicatat dan digambarkan grafiknya untuk melihat kelinierannya
5. Agar data pengukuran mendekati keadaan yang sebenarnya langkah 2, 3 dan 4 dilakukan sebanyak tujuh kali.



Gambar 5.6 Blok Pengujian Motor Servo

Sumber : Pengujian

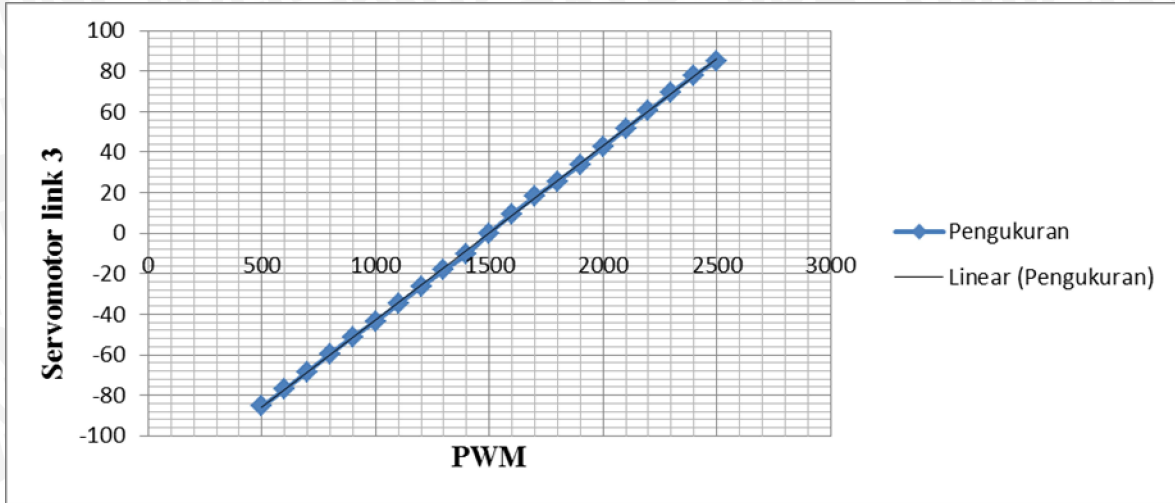
d. Hasil Pengujian

Hasil sudut keluaran dari motor servo sangat dipengaruhi oleh mekanik robot lengan yang kurang ideal. Data hasil pengujian motor servo ditunjukkan pada Tabel 5.1, Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 berikut:

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Motor Servo pada *Link 3*

No	PWM	Sudut							Rata-rata pengujian
		1	2	3	4	5	6	7	
1	500 μ s	-86°	-85°	-84.5°	-86.5°	-85.5°	-86°	-85°	-85.5°
2	600 μ s	-77°	-76.5°	-77.5°	-78°	-76.5°	-77.5°	-77°	-77.14285714°
3	700 μ s	-67°	-69.5°	-69°	-69°	-66.5°	-69.5°	-68°	-68.35714286°
4	800 μ s	-58°	-61.5°	-60.5°	-61.5°	-57.5°	-59°	-59°	-59.57142857°
5	900 μ s	-50°	-50.5°	-52.5°	-54°	-49.5°	-50.5°	-50.5°	-51.07142857°
6	1000 μ s	-44°	-44.5°	-45°	-44.5°	-42.5°	-43.5°	-40.5°	-43.5°
7	1100 μ s	-34.6°	-36°	-36.5°	-35.5°	-34°	-34.5°	-33°	-34.87142857°
8	1200 μ s	-28.5°	-26°	-29°	-26.5°	-24.5°	-26°	-24.5°	-26.42857143°
9	1300 μ s	-17°	-18.5°	-19.5°	-19.5°	-16.5°	-18.5°	-18°	-18.21428571°
10	1400 μ s	-11.5°	-10°	-13°	-11°	-9°	-9°	-9°	-10.35714286°
11	1500 μ s	1.5°	0.5°	-2°	-1°	1°	1°	-0.5°	0.071428571°
12	1600 μ s	8.5°	9°	8.5°	7.5°	11.5°	10°	11°	9.428571429°
13	1700 μ s	16.5°	16°	15.5°	16.5°	20°	22.5°	19°	18°
14	1800 μ s	26.5°	25.5°	25.5°	24°	25.5°	27°	25.5°	25.64285714°
15	1900 μ s	34°	33.5°	32.5°	32.5°	34.5°	33.5°	36°	33.78571429°
16	2000 μ s	42.5°	41.5°	41.5°	41.5°	45.5°	40.5°	45°	42.57142857°
17	2100 μ s	52.5°	50.5°	50°	50.5°	54.5°	50.5°	52.5°	51.57142857°
18	2200 μ s	60°	60°	58.5°	60.5°	62.5°	59°	61.5°	60.28571429°
19	2300 μ s	70°	69.5°	66.5°	68.5°	71.5°	68°	71.5°	69.35714286°
20	2400 μ s	76.5°	79.5°	78°	75.5°	80°	77.5°	78.5°	77.92857143°
21	2500 μ s	82.5°	85.5°	85.5°	85.5°	85°	85.5°	86°	85.07142857°

Sumber: Pengujian



Gambar 5.7 Grafik Sudut Terhadap PWM Motor Servo Link 3

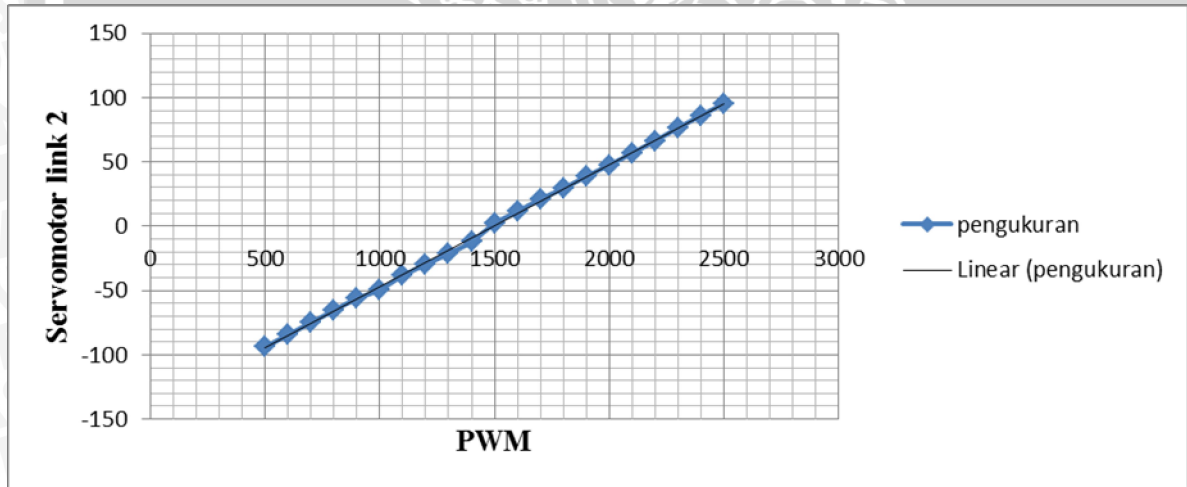
Sumber: Pengujian

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Motor Servo pada Link 2

No	PWM	Sudut							Rata-rata pengujian
		1	2	3	4	5	6	7	
1	500 μ s	-94.5°	-94.5°	-93.5°	-93.5°	-93.5°	-93.5°	-94°	-93.85714286°
2	600 μ s	-84.5°	-84°	-85°	-84°	-84.5°	-84°	-84.5°	-84.35714286°
3	700 μ s	-75.5°	-76°	-75°	-74.5°	-74.5°	-74.5°	-74.5°	-74.92857143°
4	800 μ s	-68°	-65°	-65°	-64.5°	-65°	-64.5°	-65.5°	-65.35714286°
5	900 μ s	-59.5°	-56.5°	-54.5°	-55.5°	-55.5°	-55.5°	-56.5°	-56.21428571°
6	1000 μ s	-50.5°	-57.5°	-49.5°	-47°	-46.5°	-46.5°	-47.5°	-49.28571429°
7	1100 μ s	-40.5°	-36.5°	-36.5°	-38.5°	-38.5°	-39°	-38.5°	-38.28571429°
8	1200 μ s	-30.5°	-28.5°	-29.5°	-30.5°	-29.5°	-29.5°	-30°	-29.71428571°
9	1300 μ s	-24.5°	-16.5°	-21°	-22°	-21.5°	-21.5°	-21.5°	-21.21428571°
10	1400 μ s	-13.5°	-10°	-11.5°	-12.5°	-13°	-12.5°	-11.5°	-12.07142857°
11	1500 μ s	5°	0.5°	2.5°	0.5°	2°	1°	3.5°	2.142857143°
12	1600 μ s	10.5°	13°	10°	11.5°	11.5°	12.5°	10.5°	11.35714286°

13	1700 μ s	20°	22.5°	22°	20°	21°	22°	20.5°	21.14285714°
14	1800 μ s	26.5°	30°	31°	29.5°	29.5°	29.5°	29.5°	29.35714286°
15	1900 μ s	35.5°	40°	40°	39°	38.5°	39.5°	39.5°	38.85714286°
16	2000 μ s	46.5°	50°	49.5°	46.5°	46.5°	46.5°	47.5°	47.57142857°
17	2100 μ s	55.5°	59.5°	55.5°	55.5°	57°	57.5°	57°	56.78571429°
18	2200 μ s	65°	68.5°	66.5°	65.5°	66.5°	66.5°	66.5°	66.42857143°
19	2300 μ s	74.5°	77.5°	76.6°	75.5°	77°	76.5°	77.5°	76.44285714°
20	2400 μ s	84.5°	85.5°	90°	84.5°	87°	85.5°	86.5°	86.21428571°
21	2500 μ s	95°	95.5°	95°	95°	95.5°	95.5°	96°	95.35714286°

Sumber: Pengujian



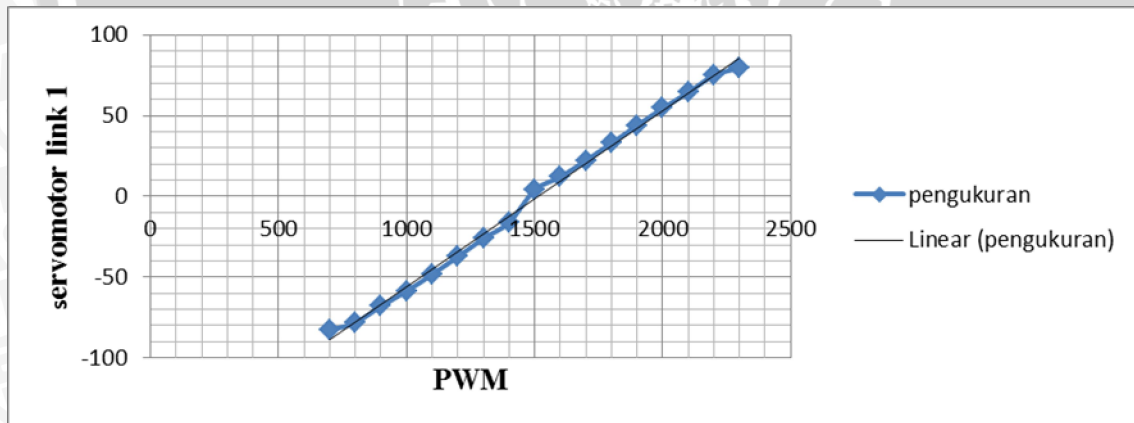
Gambar 5.8 Grafik Sudut Terhadap PWM Motor Servo Link 2

Sumber : Pengujian

Tabel 5.3 Pengujian Motor Servo pada Link 1

No	pwm	Sudut							Rata-rata pengujian
		1	2	3	4	5	6	7	
1	700	-81.5	-83.5	-83.5	-84	-83.5	-81.5	-82	-82.78825
2	800	-79.5	-79	-79	-80	-78.5	-79	-78	-78.20825
3	900	-69	-69.5	-69.5	-69.5	-68	-67.5	-68.5	-68.00325
4	1000	-59.5	-60.5	-59.5	-59.5	-58.5	-59.5	-60	-58.67325
5	1100	-49.5	-49	-49	-50	-48.5	-49	-49.5	-48.34325
6	1200	-41	-37.5	-38.5	-39.5	-37.5	-36	-37.5	-37.45075
7	1300	-27.5	-26.5	-26	-28.5	-26.5	-25	-26.5	-26.05825
8	1400	-16.5	-16.5	-16.5	-19	-16	-17	-16	-16.16575
9	1500	4	4.5	4	5	5.5	5	4.5	3.85175
10	1600	15	14.5	11.5	11.5	12.5	10.5	11.5	11.93175
11	1700	23.5	26.5	22.5	21.5	22.5	21.5	20.5	22.13675
12	1800	35	34.5	34.5	34.5	32.5	31.5	31.5	32.84175
13	1900	44.5	47	45.5	44.5	43.5	43	43.5	43.79675
14	2000	55.5	55	56.5	55	55	54.5	55.5	54.50175
15	2100	67	68.5	64.5	63.5	63.5	63.5	64.5	64.26925
16	2200	76	79	76	75	75	74	74.5	74.84925
17	2300	80.5	81	79.5	79.5	78.5	79	78.5	79.49175

Sumber : Pengujian



Gambar 5.9 Grafik Sudut Terhadap PWM Motor Servo Link 1

Sumber : Pengujian

Data hasil pengujian di atas digunakan untuk memberikan pwm yang tepat. Grafik pengujian motor servo pada masing-masing link kita linierkan, sehingga diharapkan memberi masukan pwm yang tepat untuk sudut yang kita harapkan.

5.3 Pengujian *forward kinematic*

a. Tujuan

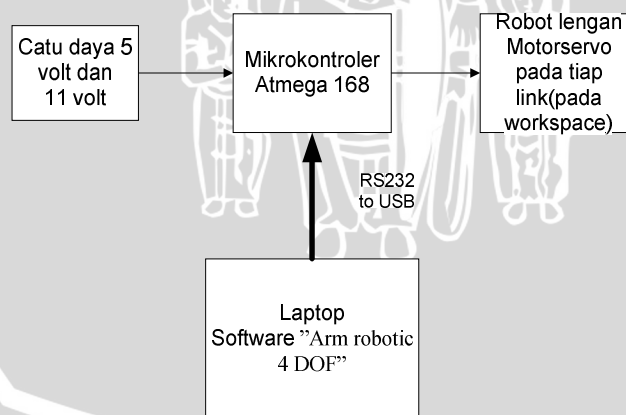
Untuk mengetahui ketelitian posisi *end-effector* dengan metode *forward kinematic*.

b. Peralatan yang digunakan

- Robot lengan
- *Board* pengendali 32 motor servo mikrokontroler Atmega168 Arexx *intelligence center*
- Catu daya 6 - 12 volt
- Kabel serial usb to RS232
- Komputer/laptop
- Penggaris siku
- Medan robot lengan

c. Langkah pengujian

1. Rangkai peralatan seperti dalam Gambar 5.10.
2. *Software* kinematika robot lengan empat DOF dinyalakan dan diberikan nilai sudut yang diinginkan pada masing-masing *link*.
3. Tombol *forward* ditekan, perhitungan secara teoritis akan diperlihatkan oleh *software*
4. Ukur *end-effector* posisi dengan dua buah penggaris siku dan papan penunjuk posisi



Gambar 5.10 Blok Pengujian *Forward Kinematic*

Sumber: Pengujian

d. Hasil pengujian

Pada Tabel 5.4 Menunjukkan hasil pengujian *forward kinematic*

Tabel 5.4 Pengujian *Forward Kinematic*

No	Sudut			posisi pengukuran		Posisi teori		Error	
	link1	link2	link3	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)
1	10.95083°	24.07665°	-61.84°	12.519	22.99	12.479914	21.99758	-0.039086	-0.99242
				12.491	23			-0.011086	-1.00242
				12.489	23.1			-0.009086	-1.10242
				12.519	22.99			-0.039086	-0.99542
				12.522	22.95			-0.042086	-0.95242
				12.51	22.98			-0.030086	-0.98242
				12.519	22.98			-0.039086	-0.98242
				2	10.44841°			68.3901°	0°
12.389	25.878	0.110999	-0.87801						
12.357	25.885	0.142999	-0.88501						
12.335	25.889	0.164999	-0.88901						
12.291	25.989	0.208999	-0.98901						
12.319	25.887	0.180999	-0.88701						
12.295	25.98	0.204999	-0.97901						
3	-43.6496°	-19.8133°	0°			16.512	-28.13		
				16.495	-28.19	0.004998	1.188999		
				16.498	-28.19	0.001998	1.189999		
				16.52	-28.04	-0.020002	1.039999		
				16.498	-28.15	0.001998	1.149999		
				16.532	-27.98	-0.032002	0.984999		
				16.5	-28.09	-2E-06	1.088999		

4	-20.0648°	-47.9197°	0°	16.523	-25.94	16.499999	-25.000001	-0.023001	0.9449988
				16.459	-25.97			0.040999	0.9779988
				16.542	-25.878			-0.042001	0.8779988
				16.521	-25.99			-0.021001	0.9899988
				16.489	-25.97			0.010999	0.9679988
				16.498	-25.98			0.001999	0.9779988
				16.503	-25.9			-0.003001	0.8999988

Sumber: Pengujian

Dari hasil pengujian dapat kita lihat rata-rata *error* posisi pada sumbu x yaitu sebesar ± 0.057807 cm, sedangkan rata-rata *error* yang terjadi pada sumbu y yaitu ± 0.9935 cm. *Error* yang terjadi diakibatkan oleh mekanik robot lengan yang kurang baik sehingga *error* yang ditimbulkan sangat mempengaruhi ketepatan.

Contoh perhitungan tabel 5.4 (lihat tabel 4.1 dan persamaan 4.8):

$$\theta_1 = 10.95083^\circ$$

$$\theta_2 = 24.07665^\circ$$

$$\theta_3 = -61.84^\circ$$

$$P_x = a_3 \cos(\theta_1 + \theta_2 - \theta_3) + a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) + a_1 \cos(\theta_1)$$

$$P_y = a_3 \sin(\theta_1 + \theta_2 - \theta_3) + a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) + a_1 \sin(\theta_1)$$

$$P_x = 16 \cos(96.86748) + 8 \cos(35.02748) + 8 \cos(10.95083) = 12.4922$$

$$P_y = 16 \sin(96.86748) + 8 \sin(35.02748) + 8 \sin(10.95083) = 21.9967$$

5.4 Pengujian *Invers Kinematic*

a. Tujuan

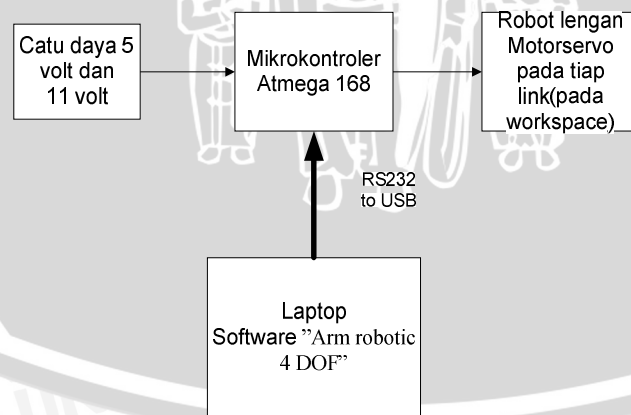
Untuk mengetahui ketelitian posisi *end-effector* dengan metode *invers kinematic*.

b. Peralatan yang digunakan

- Robot lengan
- *Board* pengendali 32 motor servo mikrokontroler Atmega168 Arexx *intelligence center*
- Catu daya 6 - 12 volt
- Kabel serial usb to RS232
- Komputer/laptop
- Dua buah penggaris siku
- Medan robot lengan

c. Langkah pengujian

1. Rangkai peralatan seperti dalam Gambar 5.11.
2. Buka *software* kinematika robot lengan empat DOF dan berikan nilai sudut yang diinginkan pada masing-masing *link*.
3. Tombol *forward* diklik, perhitungan secara teoritis akan diperlihatkan oleh *software*
4. *End-effector* posisi diukur dengan penggaris siku dan papan penunjuk posisi



Gambar 5.11 Blok Pengujian *Invers Kinematic*

Sumber: Pengujian

d. Hasil pengujian

Pada Tabel 5.5 Menunjukkan hasil pengujian *invers kinematic*

Tabel 5.5 Pengujian *Invers Kinematic*

No	posisi yang diinginkan		solusi sudut invers			posisi yang terukur		Error	
	X (cm)	Y (cm)	link1	link2	link3	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)
1	12.5	22	10.95083°	24.07665°	61.8417°	12.13	23.48	0.37	-1.48
						11.98	23.55	0.52	-1.55
						12.14	23.48	0.36	-1.48
						12.05	23.5	0.45	-1.5
						12	23.5	0.5	-1.5
						12.1	23.45	0.4	-1.45
						12	23.5	0.5	-1.5
2	12.5	27	10.44841°	68.3901°	0°	11.54	28.48	0.96	-1.48
						11.48	28.58	1.02	-1.58
						11.55	28.5	0.95	-1.5
						11.5	28.54	1	-1.54
						11.55	28.5	0.95	-1.5
						11.45	28.5	1.05	-1.5
						11.5	28.56	1	-1.56
3	16.5	-26	-43.6496°	-19.8133°	0°	16.24	-26.8	0.26	0.8
						16.18	-26.77	0.32	0.77
						16.22	-26.8	0.28	0.8
						16.2	-26.82	0.3	0.82
						16.19	-26.78	0.31	0.78
						16.19	-26.73	0.31	0.73
						16.2	-26.8	0.3	0.8
4	16.5	-25	-20.0648°	-47.9197°	0°	16.5	-26.5	0	1.5
						16.52	-26.47	-0.02	1.47
						16.45	-26.56	0.05	1.56
						16.55	-26.48	-0.05	1.48
						16.48	-26.54	0.02	1.54
						16.53	-26.48	-0.03	1.48
						16.5	-26.52	0	1.52

Sumber: Pengujian

Dari hasil pengujian dapat kita lihat *error* posisi pada sumbu x yaitu sebesar ± 0.436071 cm sedangkan *error* yang terjadi pada sumbu y yaitu sebesar ± 1.3275 cm. *Error* yang terjadi diakibatkan oleh mekanik robot lengan yang kurang baik dan solusi sudut *invers* yang kurang tepat sehingga ikut memberikan *error*.

Contoh perhitungan tabel 5.5 (lihat sub bab 4.2.2.2)

Untuk solusi sudut motor servo 1

$$a = 8 \text{ cm}$$

$$b = \{17.9 \text{ cm}, 21 \text{ cm}, 24 \text{ cm}\}$$

$$c = \sqrt{y_0^2 + x_0^2} = \sqrt{22^2 + 12.5^2} = 25.30316186 \text{ cm}$$

$$\tan \alpha_1 = \frac{y_0}{x_0}$$

$$\alpha_1 = \arctan \frac{y_0}{x_0}$$

$$\phi_1 = \arccos \frac{(a^2 + c^2 - b^2)}{2 * a * c}$$

$$\alpha_1 = \arctan \frac{22}{12.5} = 60.39555^\circ$$

$$\phi_1 = \arccos \frac{(8^2 + 25.30316^2 - 21^2)}{2 * 8 * 25.30316} = 49.4403^\circ$$

Jika alpha 1 positif (+) maka

$$\theta_1 = \alpha_1 - \phi_1 = 60.39555^\circ - 49.4403^\circ = 10.95525^\circ$$

Untuk solusi sudut motor servo 2

$$x_1 = -8 + x_0 \cos \theta_1 + y_0 \sin \theta_1 = -8 + 12.5 \cos 10.95525^\circ + 22 \sin 10.95525^\circ = 8.453 \text{ cm}$$

$$y_1 = x_0 \sin \theta_1 - y_0 \cos \theta_1 = 12.5 \sin 10.95525^\circ - 22 \cos 10.95525^\circ = -19.223 \text{ cm}$$

$$\tan \alpha_2 = \frac{y_1}{x_1}$$

$$\alpha_2 = \arctan \frac{y_1}{x_1} = \arctan \frac{-19.223}{8.453} = -66.2632^\circ$$

$$a = 8 \text{ cm}$$

$$b = 16 \text{ cm}$$

$$c = \sqrt{y_1^2 + x_1^2} = \sqrt{(-19.223^2 + 8.453^2)} = 20.99 \text{ cm}$$

$$\phi_2 = \arccos \frac{(a^2 + c^2 - b^2)}{2 * a * c} = \arccos \frac{(8^2 + 20.99^2 - 16^2)}{2 * 8 * 20.99} = 42.2537^\circ$$

Jika alpha 2 positif (-) maka

$$\theta_2 = -\alpha_2 - \phi_2 = 66.2632 - 42.2537 = 24.0095^\circ$$

Untuk solusi sudut motor servo 3

$$a = 8 \text{ cm}$$

$$b = 16 \text{ cm}$$

$$c = \sqrt{y_1^2 + x_1^2} = \sqrt{-19.223^2 + 8.453^2} = 20.999 \text{ cm}$$

$$\phi_3 = \arccos \frac{(a^2 + b^2 - c^2)}{2 * a * b} = 118.1962^\circ$$

Jika phi 3 positif (+) maka

$$\theta_3 = -(180^\circ - \phi_3) = -(180^\circ - 118.1962) = -61.8038^\circ$$

