

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian dan analisis sistem ditujukan untuk menguji dan menganalisis apakah alat yang telah dibuat sudah berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perancangan. Pengujian dilakukan per blok dan kemudian secara keseluruhan. Adapun pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- 1) Pengujian rotary encoder
- 2) Pengujian motor DC
- 3) Pengujian *driver* motor
- 4) Pengujian sistem secara keseluruhan

5.1 Pengujian Rotary Encoder

a. Tujuan

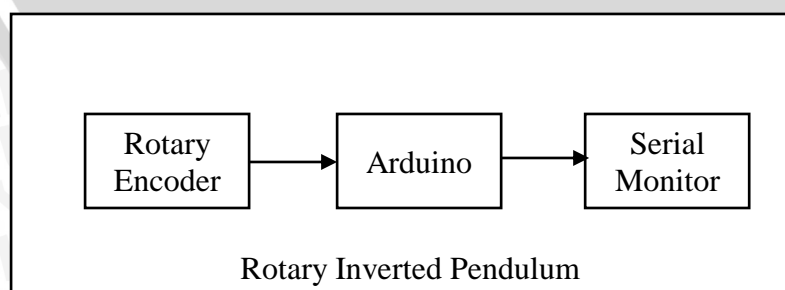
Mengetahui perubahan sudut dari *rod* pada *Rotary Inverted Pendulum*.

b. Peralatan yang digunakan

- Sistem mekanik *Rotary Inverted Pendulum* dengan rotary encoder terhubung pada *rod*.
- Arduino Mega 2560
- Catu daya 5 volt.
- Penggaris busur

c. Langkah pengujian

1. Memasang alat seperti dalam Gambar 5.1 yang menunjukkan diagram blok pengujian *rotary encoder*.



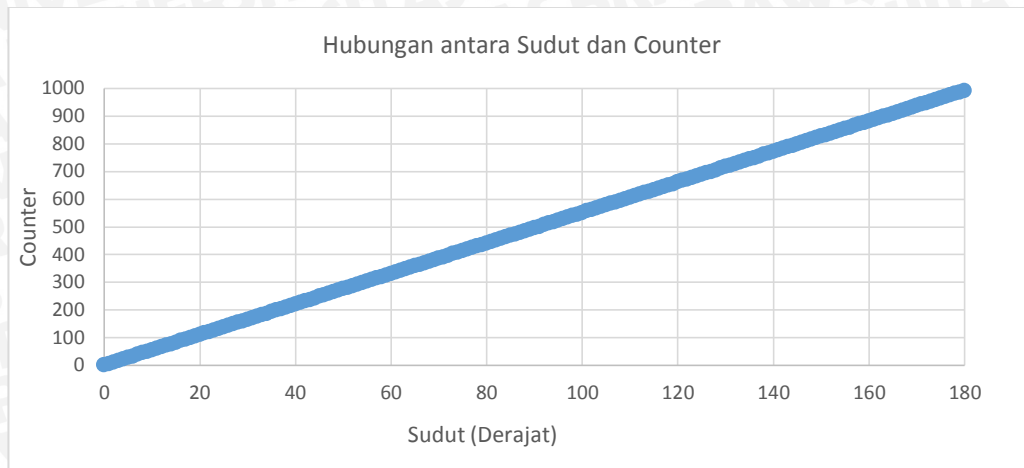
Gambar 5.1 Diagram Blok Pengujian *Rotary Encoder*

2. Menghubungkan *rotary encoder* dengan *rod* dari *Rotary Inverted Pendulum*. Kemudian kemiringan dari *rod* dirubah mulai dari sudut 0° hingga 180° dan mencatat counter keluaran *rotary encoder*.
3. Merubah data counter menjadi sudut (derajat).
4. Menggambar data perbandingan *counter* dengan sudut keluaran *rotary encoder* pada grafik untuk melihat kelinieran dari *rotary encoder*.

Data hasil pengujian *rotary encoder* ditunjukkan dalam Tabel 5.1 dan dalam bentuk grafik pada Gambar 5.2 sebagai berikut:

Tabel 5.1 Data Hasil Pengujian Rotary Encoder

Counter	Derajat	Counter	Derajat	Counter	Derajat	Counter	Derajat
0	0	142	26	286	52	429	78
5	1	148	27	292	53	434	79
10	2	154	28	297	54	440	80
16	3	159	29	302	55	446	81
22	4	164	30	308	56	451	82
27	5	170	31	314	57	456	83
32	6	176	32	319	58	462	84
38	7	181	33	324	59	468	85
44	8	186	34	330	60	473	86
49	9	192	35	336	61	478	87
54	10	198	36	341	62	484	88
60	11	203	37	346	63	490	89
66	12	208	38	352	64	495	90
71	13	214	39	358	65	500	91
76	14	220	40	363	66	506	92
82	15	226	41	368	67	512	93
88	16	231	42	374	68	517	94
93	17	236	43	380	69	522	95
98	18	242	44	385	70	528	96
104	19	248	45	390	71	534	97
110	20	253	46	396	72	539	98
115	21	258	47	402	73	544	99
120	22	264	48	407	74	550	100
126	23	270	49	412	75	556	101
132	24	275	50	418	76	561	102
137	25	280	51	424	77	566	103



Gambar 5.2 Grafik Hubungan antara Sudut dan Counter Rotary Encoder

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan pada *rotary encoder*, dapat dilihat bahwa *rotary encoder* yang digunakan mempunyai kelinieran yang baik, sehingga ideal digunakan sebagai pembaca kemiringan dari *rod Rotary Inverted Pendulum*.

5.2 Pengujian Motor DC

a. Tujuan

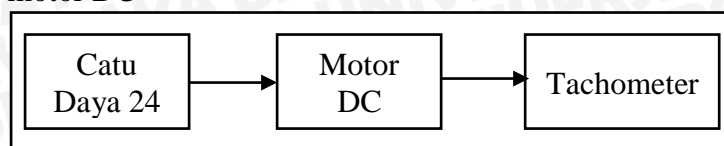
Mengetahui karakteristik motor DC yang digunakan pada sistem *Rotary Inverted Pendulum* terhadap tegangan.

b. Peralatan yang digunakan

- Motor DC 12v
- Catu daya 24volt
- *Rotary encoder*
- Tachometer
- Multimeter

c. Langkah Pengujian

1. Menyusun alat seperti dalam Gambar 5.3 diagram blok pengujian motor DC



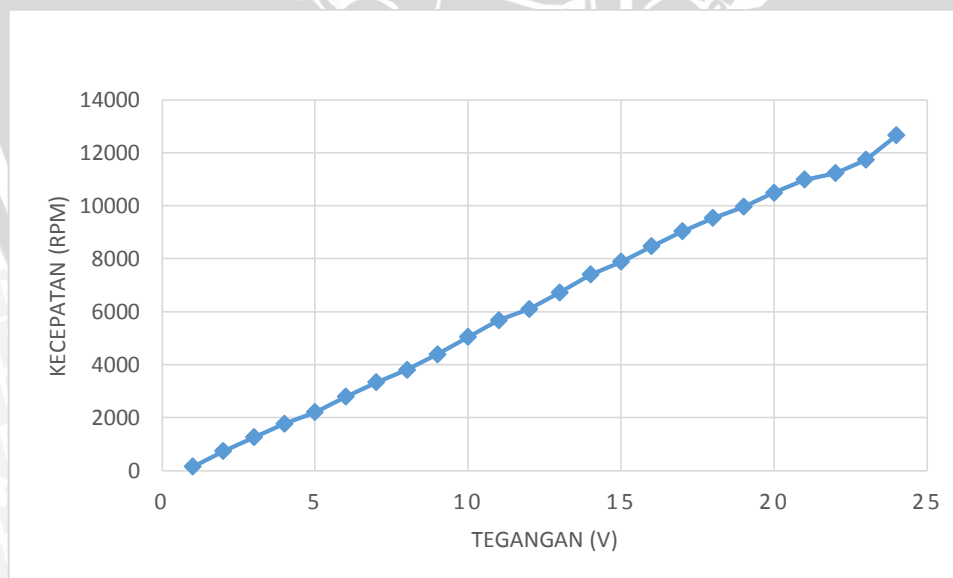
Gambar 5.3 Diagram Blok Pengujian Motor DC

2. Mengatur tegangan *input* motor mulai dari 0 volt hingga 24 volt dengan *interval* 1 volt. Catu daya yang digunakan adalah catu daya sebesar 24 volt. Catu daya ini dipilih berdasarkan spesifikasi motor yang dapat bekerja dengan tegangan maksimal sebesar 24 volt.
3. Mengukur kecepatan motor dengan tachometer.
4. Menggambar data kecepatan motor untuk mendapatkan grafik karakteristik kecepatan motor terhadap tegangan.

Tabel 5.2 menunjukkan data dari pengujian motor DC dan grafik karakteristik motor DC ditunjukkan dalam Gambar 5.3.

Tabel 5.2 Data Hasil Pengujian Motor DC

Tegangan (V)	Kecepatan (RPM)	Tegangan (V)	Kecepatan (RPM)	Tegangan (V)	Kecepatan (RPM)
1	147	9	4387	17	9033
2	730	10	5042	18	9534
3	1259	11	5676	19	9956
4	1768	12	6098	20	10491
5	2206	13	6722	21	10987
6	2783	14	7398	22	11227
7	3329	15	7880	23	11727
8	3806	16	8463	24	12656



Gambar 5.4 Grafik Hubungan antara Tegangan Motor terhadap Kecepatan Motor

Berdasarkan hasil pengujian dapat dilihat bahwa motor akan berputar secara linier sesuai dengan perubahan tegangan. Sehingga dapat disimpulkan

bahwa motor DC tipe gm1&2 24v ini cukup baik untuk diterapkan pada sistem *Rotary Inverted Pendulum*.

5.3 Pengujian Driver Motor

a. Tujuan

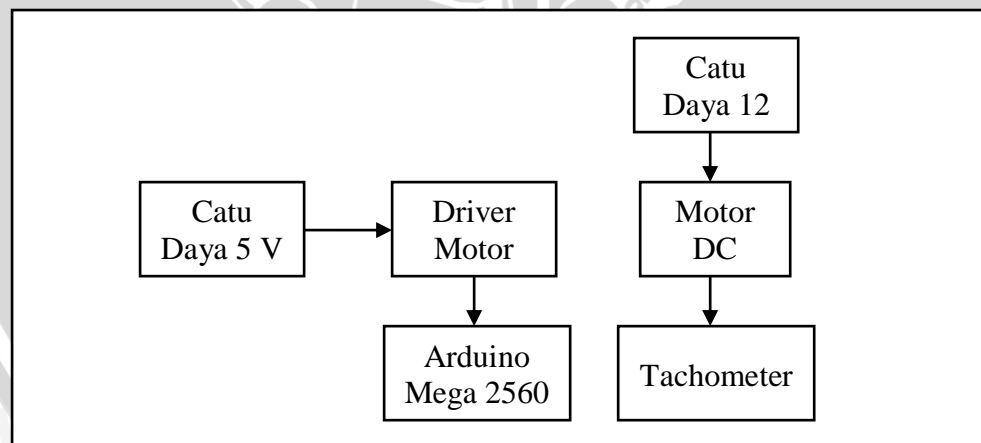
Mengetahui *output* dari *driver* motor apabila diberi *input* yang berbeda-beda.

b. Peralatan yang digunakan

- *Driver* motor EMS 5A H-Bridge
- Arduino Mega 2560
- Kabel USB
- Motor DC
- Catu daya 5 V dan 12 V
- Tachometer

c. Langkah pengujian

1. Merangkai alat seperti dalam Gambar 5.5 diagram blok pengujian *driver* motor.



Gambar 5.5 Diagram Blok Pengujian *Driver* Motor

2. Membuat program untuk menentukan arah dan kecepatan motor pada *software* arduino.
3. Mengukur kecepatan putar motor dengan tachometer.
4. Menggambar data yang didapatkan pada grafik.

Hasil pengujian didapatkan seperti dalam Tabel 5.3 pengujian arah putaran motor.

Tabel 5.3 Data Hasil Pengujian Arah Putaran Motor

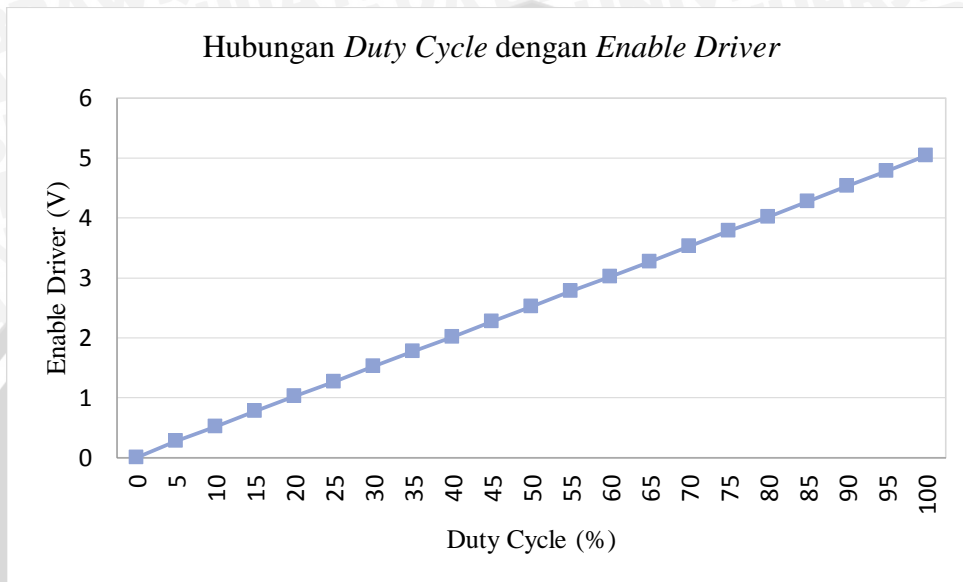
MEN	MSLP	Tegangan pada Pin (V)				Arah Putar Motor
		MIN 1	MIN2	MOUT 1	MOUT 2	
5	5	5	0	12	0	Putar Kanan
0	5	0	0	0	0	Berhenti
5	5	0	5	0	12	Putar Kiri
5	0	0	0	0	0	Berhenti

Seperti yang telah dijelaskan pada perancangan perangkat keras, ada empat buah sebagai *input* driver motor. Tiga buah *output* itu adalah pin input MIN1 dan MIN2 dari *driver* motor dan berfungsi sebagai penentu arah berputarnya motor, input MEN dari driver motor yang berfungsi sebagai penentu kecepatan motor, serta input MSLP untuk mengatur kerja driver motor. Hasil pengujian didapatkan seperti dalam Tabel 5.4.

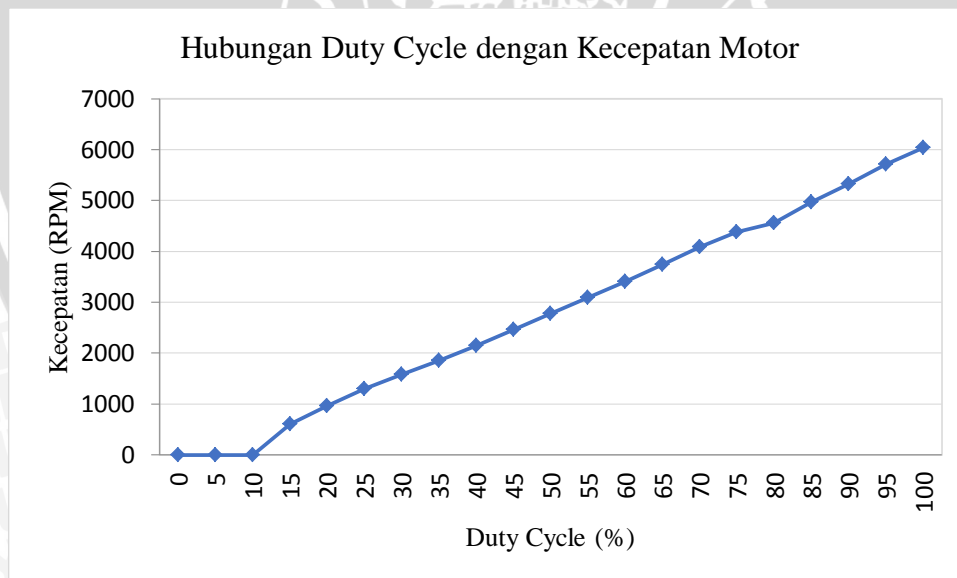
Tabel 5.4 Data Hasil Pengujian Motor dengan PWM

MIN 1 (%)	MIN 2 (%)	Tegangan pada Pin (V)			Kecepatan Motor (RPM)
		MEN	MOUT 1	MOUT2	
0	100	0	0	0	0
5	100	0,282	4,3	0	0
10	100	0,518	4,69	0	0
15	100	0,774	5,12	0	607
20	100	1,029	5,54	0	959
25	100	1,265	5,93	0	1300
30	100	1,52	6,35	0	1576
35	100	1,776	6,78	0	1853
40	100	2,011	7,17	0	2149
45	100	2,267	7,59	0	2457
50	100	2,523	8,01	0	2775
55	100	2,779	8,4	0	3090
60	100	3,015	8,79	0	3404
65	100	3,27	9,2	0	3743
70	100	3,525	9,62	0	4081
75	100	3,781	10,004	0	4383
80	100	4,016	10,23	0	4561
85	100	4,27	10,84	0	4962
90	100	4,53	11,26	0	5323
95	100	4,78	11,67	0	5711
100	100	5,04	12,03	0	6035

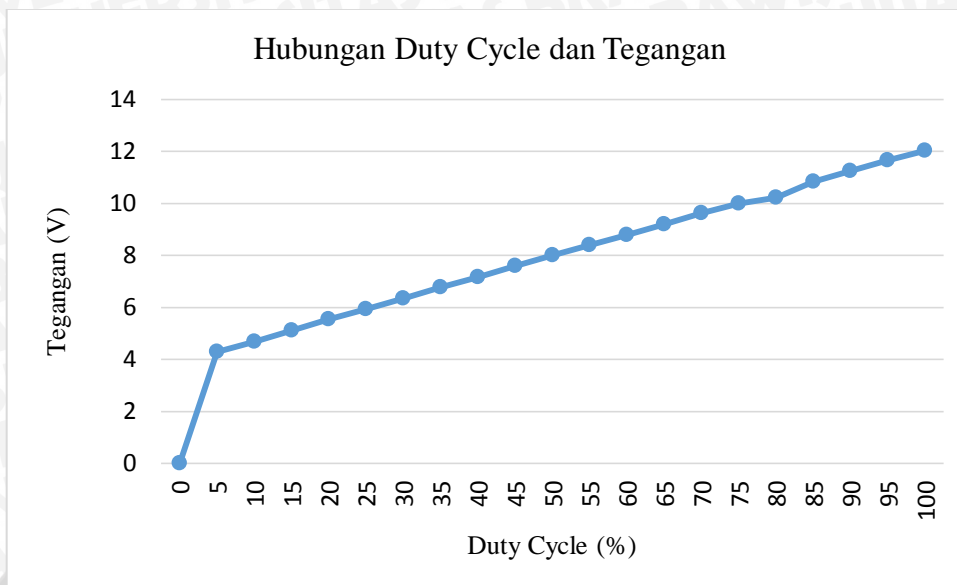
Hubungan antara (%) *duty cycle PWM* terhadap tegangan *enable pin MEN driver* motor dapat dilihat pada Gambar 5.6, sedangkan hubungan antara (%) *duty cycle PWM* terhadap tegangan dan kecepatan motor dapat dilihat pada Gambar 5.7 dan Gambar 5.8 di bawah ini



Gambar 5.6 Hubungan Antara *Duty Cycle PWM* dengan *Enable Driver* Motor



Gambar 5.7 Hubungan Antara *Duty Cycle PWM* dengan Kecepatan Motor



Gambar 5.8 Hubungan Antara Duty Cycle PWM dengan Tegangan Motor

Pada Gambar 5.6 dapat dilihat grafik hubungan antara tegangan *enable pin MEN driver* motor dengan (%) *duty cycle PWM* dapat dilihat bahwa hubungan antara kedua nilai tersebut linier. Sedangkan pada Gambar 5.7 dan Gambar 5.8 dapat dilihat grafik hubungan antara *duty cycle PWM* terhadap tegangan dan kecepatan motor bahwa hubungan antara kedua nilai tersebut linier. Menurut hasil pengujian, motor akan mulai bergerak ketika *duty cycle* bernilai 15% dan memiliki hubungan yang linier. Berdasarkan data-data tersebut driver motor EMS 5A H-Bridge memiliki kemampuan yang baik untuk men-*drive* motor DC.

5.4 Pengujian Keseluruhan

a. Tujuan

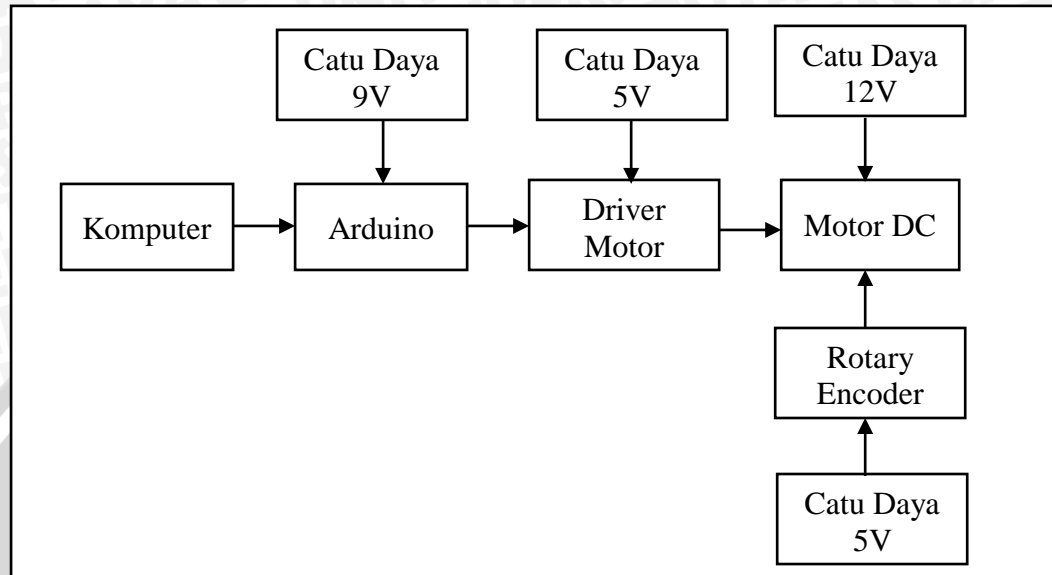
Untuk mengetahui kerja dari perangkat keras dan perangkat lunak setelah diintegrasikan dalam sebuah sistem terpadu.

b. Peralatan yang digunakan

- Plant *Rotary Inverted Pendulum* lengkap dengan *rotary encoder* dan motor DC
- *Driver* motor EMS 5A H-Bridge
- Arduino Mega 2560
- Kabel serial

c. Langkah Pengujian

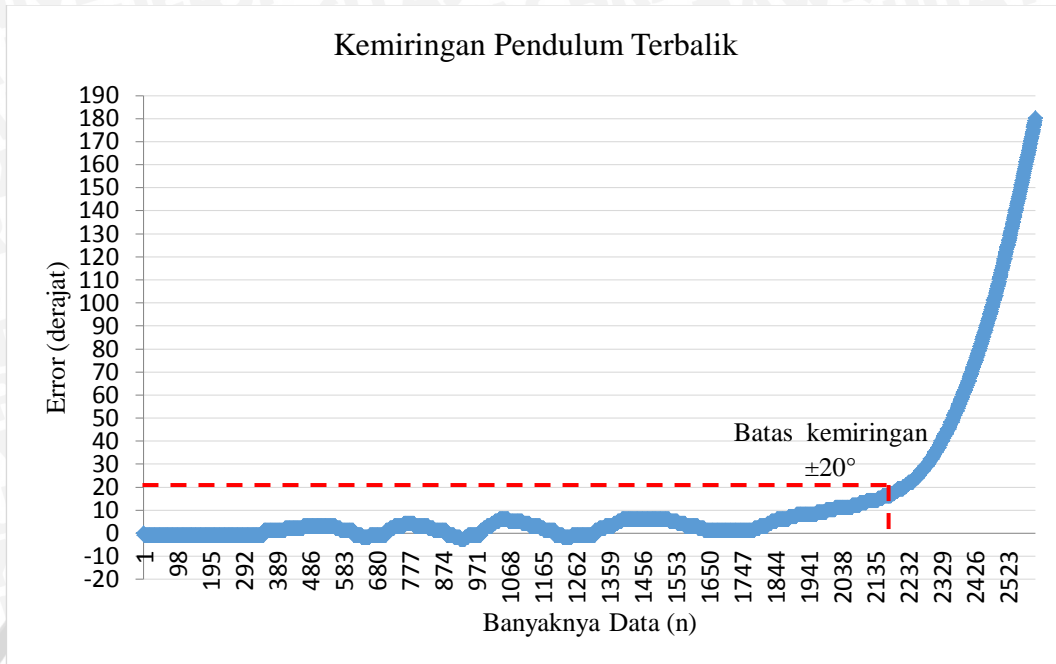
1. Memasang alat yang dibutuhkan seperti dalam Gambar 5.9



Gambar 5.9 Diagram Blok Pengujian Keseluruhan Sistem

2. Mengaktifkan semua catu daya.
3. Membuat program untuk pengendalian *Rotary Inverted Pendulum* dengan metode MRAS pada *software* arduino.
4. Mengamati kinerja dari *Rotary Inverted Pendulum* dalam menjaga kesetimbangan.
5. Melihat dan mengamati serial monitor untuk menghasilkan grafik respon kemiringan *Rotary Inverted Pendulum*.

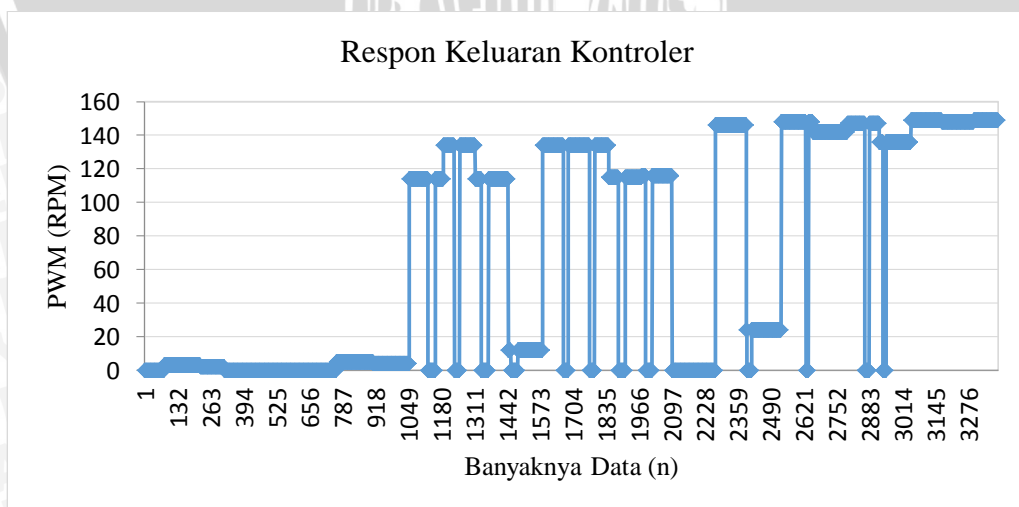
Pengujian dimulai dengan keadaan awal *rod* berada pada posisi tegak pada posisi 0^0 . Setelah itu *rod* perlahan dilepaskan dan motor akan berputar untuk menjaga kesetimbangan.



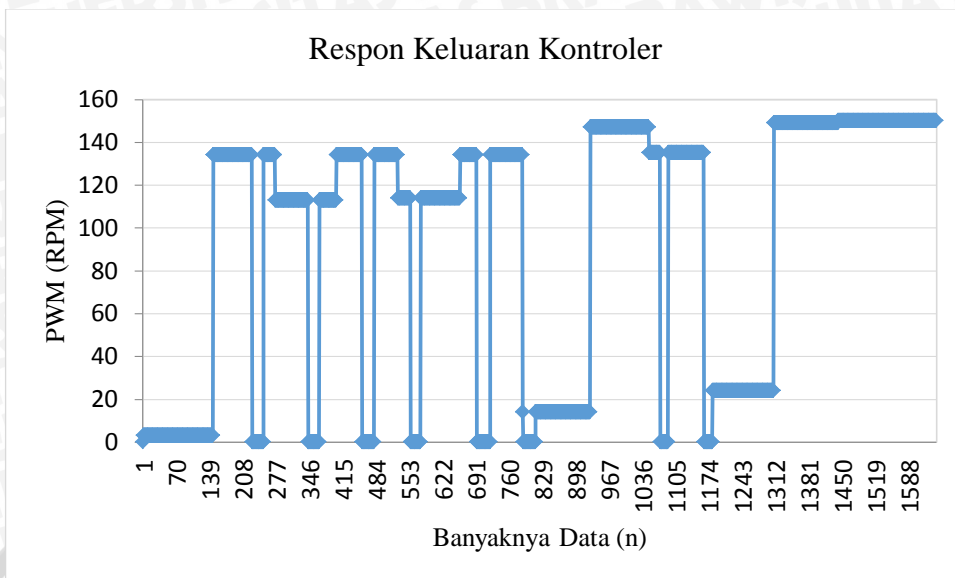
Gambar 5.10 Grafik Kemiringan Pendulum Terbalik (*Error*)

Berdasarkan Gambar 5.10 dapat dilihat ketika sudut kemiringan tersebut melebihi dari batas sudut yang telah ditentukan yaitu $\pm 20^\circ$, maka sistem tersebut akan *collapse* atau kontroler sudah tidak dapat memberikan aksi kontrol karena kemampuan aktuator berupa sebuah motor sudah tidak dapat mengimbangi kecepatan jatuh dari *rod* pada *Rotary Inverted Pendulum*.

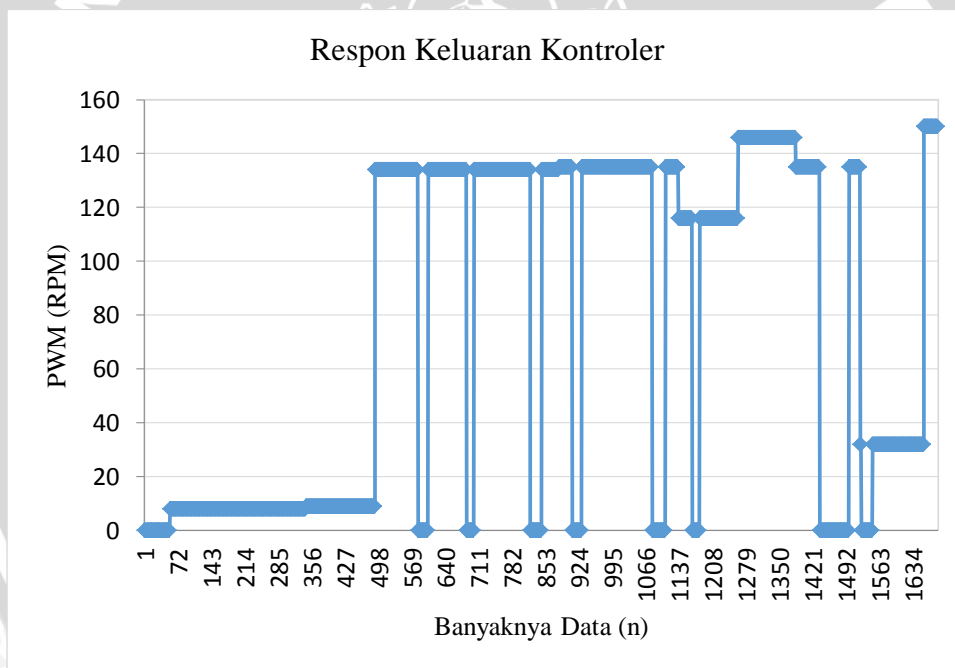
Pada penelitian ini, digunakan *gain* adaptasi yang berbeda yaitu sebesar 0,25; 0,5; 0,75 dan 1. Berikut merupakan grafik hasil respon keluaran kontroler



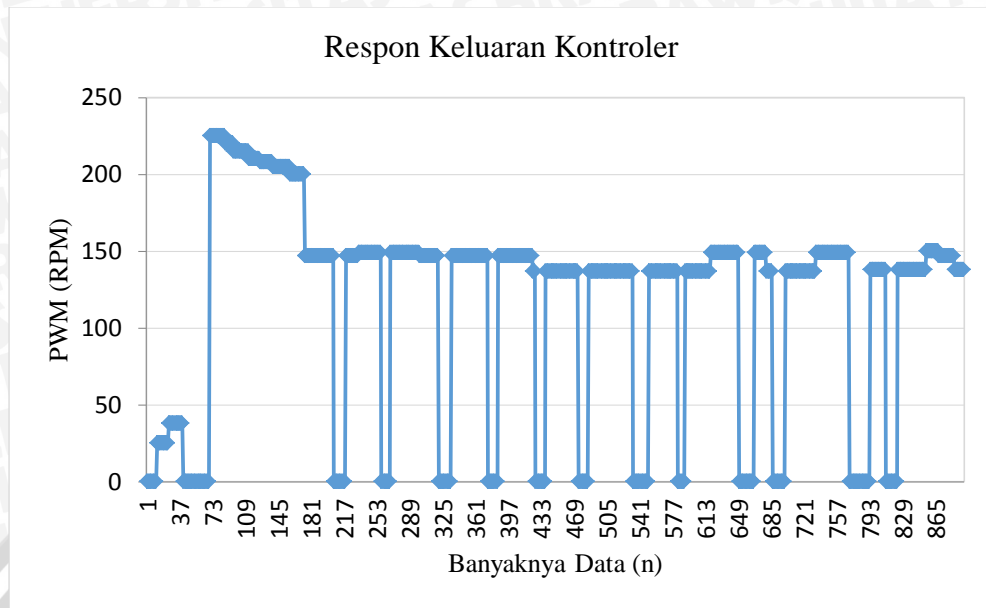
Gambar 5.11 Respon Keluaran Kontroler dengan *Gain* Adaptasi 0,25



Gambar 5.12 Respon Keluaran Kontroler dengan Gain Adaptasi 0,5



Gambar 5.13 Respon Keluaran Kontroler dengan Gain Adaptasi 0,75



Gambar 5.14 Grafik Respon Keluaran Kontroler dengan Gain Adaptasi 1

Dari hasil pengujian pada *gain* adaptasi 0,25; 0,5; 0,75 dan 1 di atas dapat dilihat bahwa keluaran dari kontroler berupa PWM. Jika tidak terjadi *error* antara *output* model referensi dengan *output* model *plant*, maka kontroler akan memberikan aksi kontrol yaitu tidak mengeluarkan PWM. Sehingga pendulum terbalik dapat mengambil keputusan untuk penyetabilannya dengan bergerak sesuai arah kemiringan dengan kecepatan tertentu untuk mendapatkan titik tegaknya. Pada pengujian tersebut rata-rata pendulum dapat mempertahankan kestabilannya selama 4 detik.