

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab ini membahas tentang pengujian perangkat yang telah dibuat. Pengujian alat ini bertujuan untuk menentukan apakah alat yang telah dibuat berfungsi sesuai dengan perancangan dan berfungsi dengan baik. Pengujian ini meliputi pengujian setiap perangkat maupun pengujian secara keseluruhan. Pengujian setiap perangkat ini dilakukan untuk mempermudah analisis apabila alat tidak bekerja sesuai dengan perencanaan. Pengujian dan analisis yang dilakukan meliputi:

- 1) Pengujian sensor
- 2) Pengujian catu daya
- 3) Pengujian rangkaian PWM
- 4) Pengujian rangkaian DC *chopper*
- 5) Pengujian motor
- 6) Pengujian alat keseluruhan

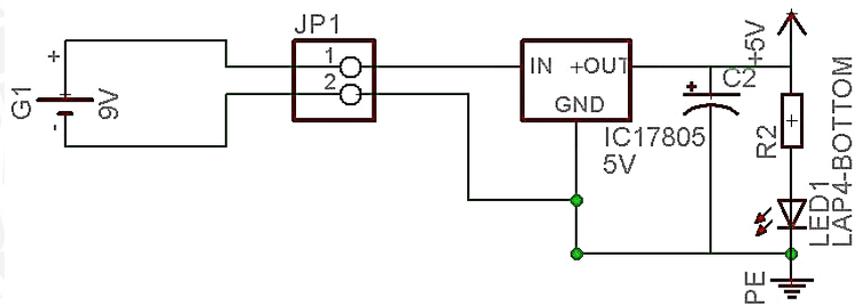
1.1 Pengujian Catu Daya

Pengujian catu daya bertujuan untuk melihat keluaran catu daya yang digunakan sebagai penyedia daya pada rangkaian yang terdapat pada sistem secara keseluruhan serta perangkat yang membutuhkan catu daya, meliputi motor dan sensor.

Peralatan yang digunakan dalam pengujian antara lain:

- Sumber baterai 12 V_{DC}
- Rangkaian Catu daya 5 dan 12 V_{DC}
- *Multimeter CD800A*
- Osciloskop *PCSU1000*

Pengujian dilakukan pada rangkaian catu daya 5 V_{DC} dan 12 V_{DC}. Untuk catu daya 5 V, komponen penunjang berupa *IC regulator 7805* sebagai pembatas tegangan keluaran. Sedangkan untuk catu 12 V, tidak ada komponen penunjang, hanya berupa baterai 12 V. Pengamatan besarnya keluaran catu daya menggunakan multimeter dan bentuk gelombang menggunakan *osciloskop*. Rangkaian ditunjukkan dalam gambar rangkaian berikut.



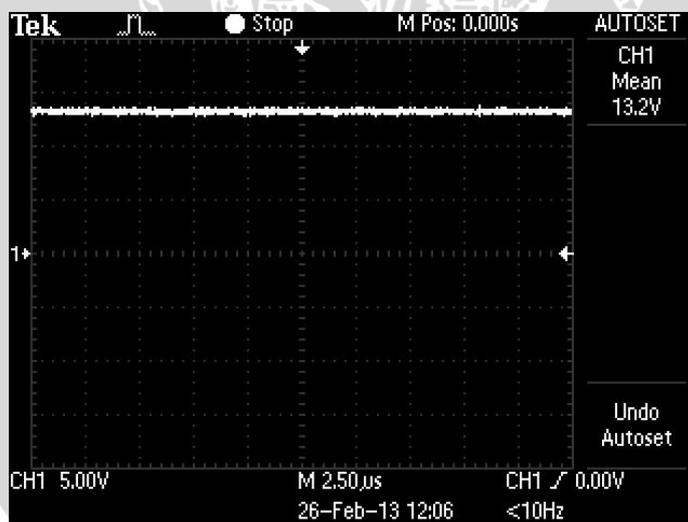
Gambar 1.1 Rangkaian Pengujian Catu Daya Mikrokontroler dan Sensor

Berikut hasil pengujian tegangan keluaran rangkaian catu daya 5 dan 12 V_{DC}:

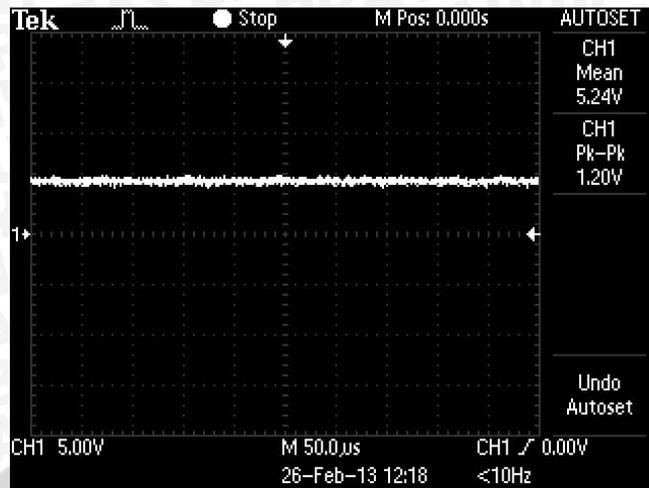
Tabel 1.1 Hasil Keluaran Tegangan Rangkaian Catu Daya

Rangkaian	Masukan (V _{DC})	Keluaran (V _{DC})
Catu daya 5 V _{DC}	9 V	5 V
Catudaya 12 V _{DC}	12 V	12 V

Sedangkan gelombang yang didapatkan dari osiloskop ditunjukkan oleh gambar berikut:



Gambar 1.2 Gelombang Tegangan Catu Daya 12V



Gambar 1.3 Gelombang Tegangan Catu Daya 5 V

Dari hasil pengujian didapatkan bahwa keluaran dari rangkaian catu daya adalah sebesar 5 V dan 12 V.

1.2 Pengujian Sensor

Sensor yang dipakai dalam sistem ini hanya menggunakan sensor kecepatan berupa sensor rotari. Sehingga pada pengujian sensor, hanya diperlukan pengujian pada keluaran sensor, berupa sinyal kotak yang nantinya digunakan mikrokontroler sebagai masukan. Peralatan yang digunakan dalam pengujian adalah sebagai berikut:

- Catu daya 5 V
- Multimeter CD800A
- *Osciloskop* PCSU1000
- *Optocoupler* U HY860D
- Piringan sensor

Pengujian ini dilakukan dengan mengalirkan tegangan DC 5 V pada sensor. Setelah itu memutar piringan sensor dengan kecepatan tertentu. Sensor berupa *optocoupler* U HY860D akan membaca lubang pada piringan sensor sebagai saklar on/off. Pada saat on, sensor membaca kondisi sebagai algoritma 1, sedangkan pada saat off dibaca sebagai algoritma 0. Pada saat kondisi 1, sensor mengalirkan tegangan sebesar 5 V, sedangkan pada kondisi 0, sensor mengalirkan tegangan sebesar 0 V. Tujuan pengujian sensor disini adalah mengetahui apakah sensor berhasil mendeteksi lubang dan dapat menghasilkan sinyal kotak dengan frekuensi sesuai putaran piringan sensor. Frekuensi yang dibutuhkan sesuai dengan yang telah ditentukan pada sistem yang terletak pada perancangan perangkat lunak. Berikut adalah hasil keluaran tegangan *optocoupler* HY860D.

Tabel 1.2 Hasil Keluaran Tegangan Sensor Rotari

No.	Posisi Sensor	Keluaran (V)
1.	Terbuka	0
2.	Tertutup	3,75

Tabel 5.2 menunjukkan bahwa keluaran tegangan sensor pada posisi sensor tertutup sebesar 3,75. Besar tegangan tersebut sudah mencukupi untuk dibaca mikrokontroler sebagai kondisi *high*. Maka sensor telah berfungsi sesuai dengan fungsinya.

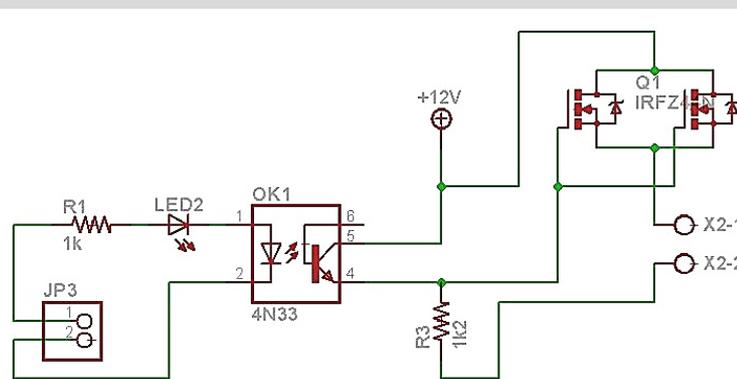
1.3 Pengujian Rangkaian PWM

Pengujian rangkaian PWM bertujuan untuk mengetahui sinyal keluaran dari *optocoupler* 4N33 dan MOSFET IRFZ44N dengan masukan berupa *duty cycle* yang bervariasi dari keluaran mikrokontroler ATMEGA 8. PIN yang ditentukan sebagai keluaran dari mikrokontroler adalah OCR1B. *Duty cycle* yang dimaksudkan adalah perbandingan antara T_{on} dan periode dalam satu gelombang kotak yang menunjukkan *high* dan aktif.

Peralatan yang digunakan dalam pengujian ini adalah:

- Catu daya 5 V dan 12 V
- Rangkaian catu daya 5 V dan 12 V
- Rangkaian mikrokontroler ATIMEGA8
- Rangkaian PWM
- Multimeter CD800A
- Osciloskop PCSUI1000

Rangkaian PWM yang akan diuji adalah sebagai berikut:



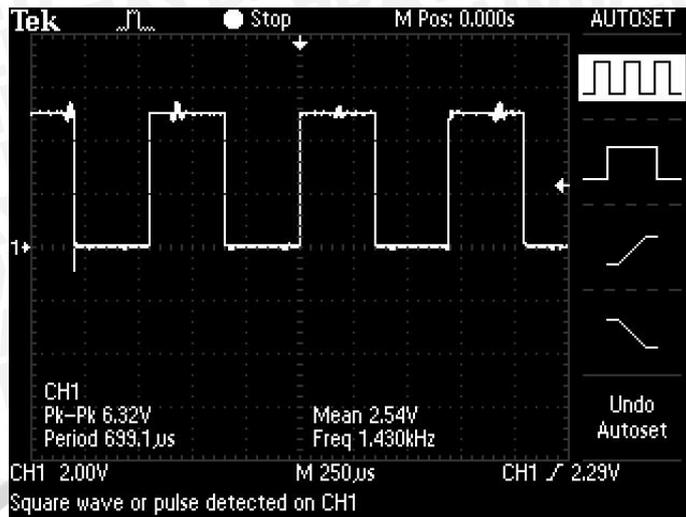
Gambar 1.4 Rangkaian PWM

Melalui pengamatan pada *oscilloskop*, didapatkan hasil pengujian rangkaian PWM yang ditunjukkan pada tabel berikut:

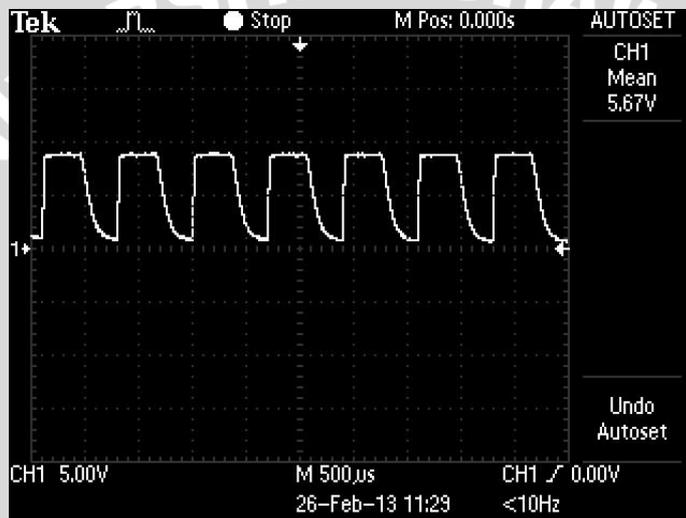
Tabel 1.3 Pengaruh Variasi *Duty Cycle* Terhadap Keluaran Rangkaian PWM

No	<i>Set-Point Duty Cycle (%)</i>	Keluaran OCR1B (%)	Keluaran <i>Optocoupler (%)</i>	Keluaran MOSFET (%)
1	0	0	26,1	0
2	10	10,2	41,7	0
3	20	20,3	51,5	0
4	30	30,1	60,7	2,2
5	40	40,2	70,5	13,6
6	50	50,0	78,7	23,8
7	60	60,2	86,2	33,7
8	70	69,9	92,4	44,0
9	80	80,1	97,3	54,2
10	90	89,8	98,8	62,6
11	100	100,0	100,0	74,4

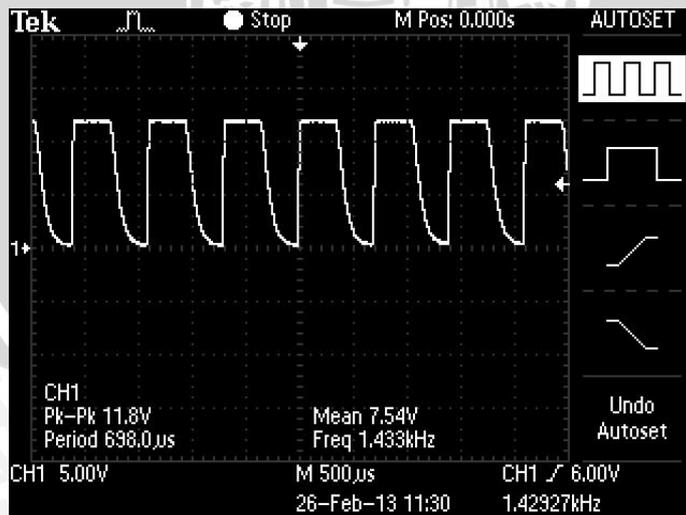
Tabel 5.3 merupakan nilai presentase *duty cycle* dari masing-masing komponen mulai dari PIN OCR1B dari mikrokontroler *optocoupler* 4N33 dan MOSFET IRFZ44N. Pada kolom *duty cycle* merupakan *set-point* awal yang akan diterapkan pada *listing* program di dalam mikrokontroler. Terlihat pada salah satu PIN dari mikrokontroler, yaitu PIN OCR1B menunjukkan nilai keluaran yang hampir sama dengan *set-point*. Keluaran tegangan dari mikrokontroler menuju *optocoupler* menunjukkan perbedaan cukup besar. Hal ini dikarenakan adanya kapasitansi dari komponen dan ketidak presisian spesifikasi dari komponen yang menyebabkan perbedaan nilai tersebut. Sedangkan keluaran dari MOSFET menunjukkan adanya perbedaan nilai presentase *duty cycle* relatif kecil. Berikut contoh gambar sinyal dan data keluaran masing-masing komponen dengan *duty cycle* sebesar 50% ditunjukkan pada gambar 5.5, 5.6, dan 5.7:



Gambar 1.5 Keluaran Tegangan Mikrokontroler



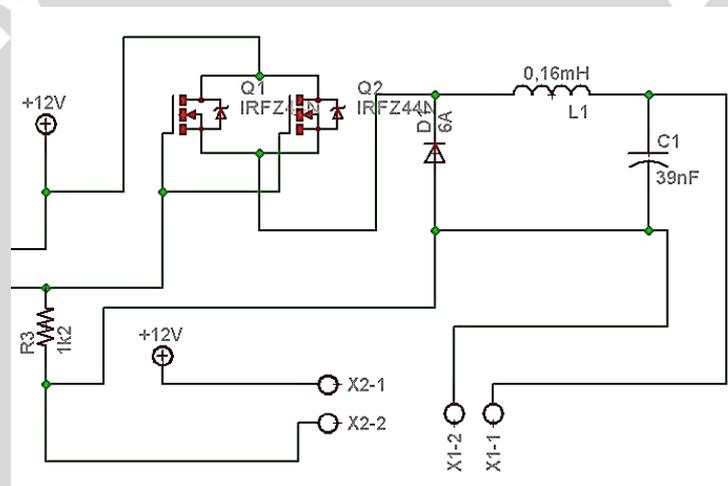
Gambar 1.6 Keluaran Tegangan MOSFET



Gambar 1.7 Keluaran Tegangan Octocoupler

1.4 Pengujian Rangkaian DC Chopper

Rangkaian *chopper* pada sistem ini digunakan agar arus keluaran dari MOSFET dapat kontinyu, sehingga gelombang yang terlihat selalu dalam keadaan maksimal tanpa ada kondisi off. Karena terdapat Induktor yang menyimpan muatan, sehingga saat gelombang berada pada kondisi *cut off*, arus tetap kontinyu menuju beban, sehingga beban selalu mendapatkan daya. Pengujian pada rangkaian ini bertujuan untuk mengetahui keluaran dari rangkaian *chopper*. Sehingga dapat digunakan sebagai masukan oleh motor. Pengujian ini dilakukan dengan tegangan pada kondisi *duty cycle* yang bervariasi hasil dari keluaran MOSFET. Pada pengujian ini dilakukan dengan tanpa beban motor, sehingga terlihat keluaran murni dari rangkaian DC *chopper* sesuai dengan catu tegangan dari keluaran MOSFET. Rangkaian DC *chopper* ditunjukkan oleh gambar 5.8 berikut:



Gambar 1.8 Rangkaian DC Chopper

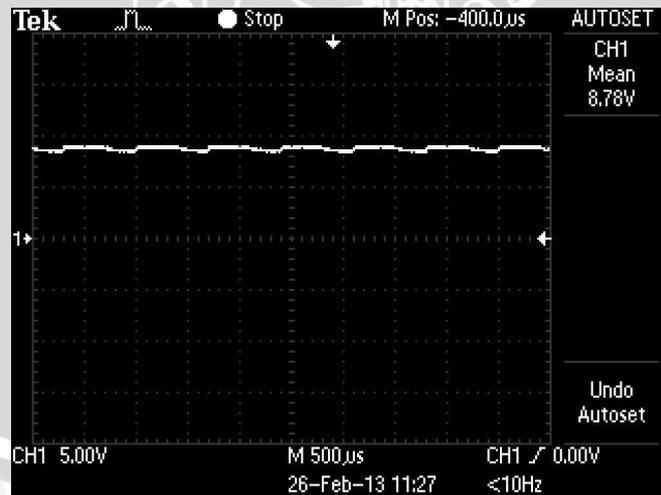
Pengujian rangkaian DC *chopper* ditunjukkan oleh tabel 5.4 berikut:

Tabel 1.4 Tabel Pengujian Rangkaian DC *Chopper*

No.	Sumber Tegangan (V)	Tegangan Keluaran MOSFET (V)	Tegangan Keluaran Chopper (V)
1	1	0,556	0
2	2	1,02	0
3	3	1,45	0
4	4	1,99	0
5	5	2,90	1,7
6	6	3,90	2,55

7	7	4,3	3,8
8	8	5,5	4,6
9	9	6,15	5,38
10	10	6,89	6,38
11	11	7,86	7,28
12	12	8,93	8,45

Dari Tabel 5.4 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan antara tegangan sumber dengan tegangan keluaran MOSFET. Terutama pada rangkaian DC *chopper*, dimana pada kondisi catu tegangan 1 V sampai 4 V belum ada keluaran tegangan. Karena sesuai dengan kondisi masing-masing keluaran, terdapat drop tegangan sebesar 4 V, jadi apabila tegangan masukan belum melebihi 4 V, belum terdapat keluaran berupa tegangan pada rangkaian DC *chopper*. Hal ini disebabkan adanya drop tegangan dari masing-masing komponen yang terdapat pada rangkaian PWM serta komponen driver. Terutama pada induktor dan kapasitor. Karena kedua komponen ini bersifat sebagai beban induktif dan kapasitif, sehingga menimbulkan impedansi dan kapasitansi yang menyebabkan timbulnya drop tegangan yang cukup besar. Berikut merupakan contoh gambar keluaran tegangan dari rangkaian DC *chopper* dengan *duty cycle* 50%.



Gambar 1.9 Keluaran Tegangan DC *Chopper* pada *Duty Cycle* 50%

1.5 Pengujian Motor

Pengujian motor dilakukan yang bertujuan untuk mendapatkan parameter-parameter motor sehingga proses perhitungan arus dan tegangan pada motor dapat dilakukan dengan baik.

Peralatan yang digunakan dalam pengujian antara lain:

- *Power supply DF1730SB5A*
- *Multimeter CD800A*
- *Tachometer*

Hasil pengujian yang telah dilakukan seperti ditunjukkan tabel 5.5 dan 5.6 serta gambar 5.10 dibawah ini:

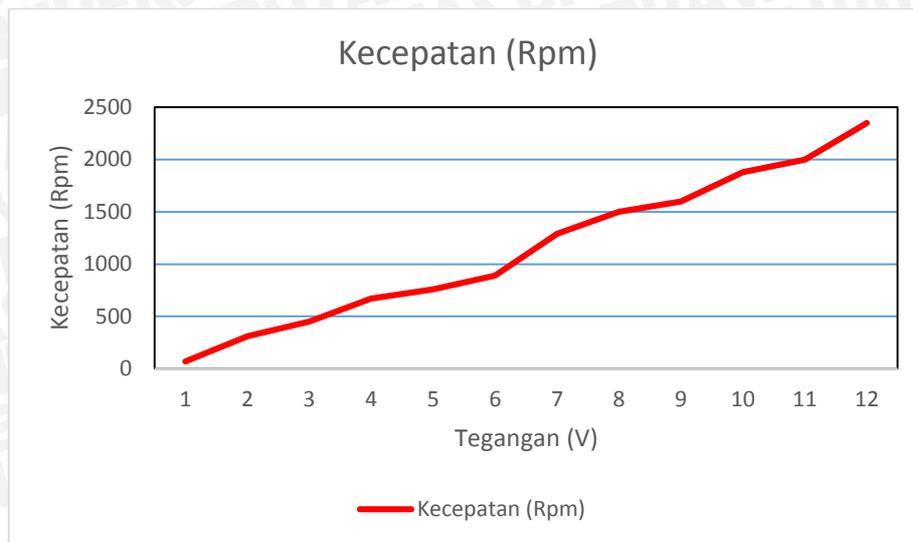
Tabel 1.5 Resistansi Belitan Jangkar Motor

No.	Motor	Ra (ohm)
1	Motor Utama	1,5
2	Motor penggerak sensor	40

Untuk Pengujian tegangan, arus, dan kecepatan motor, dilakukan hanya pada motor penggerak utama saja. Hal ini dikarenakan motor penggerak sensor hanya sebagai simulator roda berputar, sehingga bukan merupakan fokus utama dari sistem dan pengujian.

Tabel 1.6 Hasil Pengujian Karakteristik Tegangan, Arus, Kecepatan Motor Penggerak Utama

No.	Tegangan (V)	Arus (A)	Kecepatan (rpm)
1	1	0,85	70
2	2	1,25	210
3	3	1,4	400
4	4	1,6	580
5	5	1,63	760
6	6	1,69	890
7	7	1,74	1290
8	8	1,9	1500
9	9	2,1	1600
10	10	2,5	1880
11	11	2,7	2000
12	12	3	2350



Gambar 1.10 Kurva Kecepatan Fungsi Tegangan Pada Motor DC Magnet Permanen

Dari data tabel 5.6 yang kemudian diubah menjadi sebuah kurva, didapatkan sebuah garis yang relatif *linear*. Garis tersebut mewakili sebuah fungsi yang merupakan kecepatan fungsi dari tegangan. Dengan teknik meregresi garis miring maka akan didapatkan sebuah rumus untuk mencari persamaan garis *linear* nya, yaitu:

$$\frac{y-y_1}{y_2-y_1} = \frac{x-x_1}{x_2-x_1} \tag{5.1}$$

$$\frac{y - 70}{2350 - 70} = \frac{x - 1}{12 - 1}$$

$$y = 207,27 x - 137,27$$

$$\omega_L = A x - B \tag{5.2}$$

Dari 2 persamaan diatas terdapat korelasi yang formulasinya menghasilkan nilai konstanta motor :

$$K_e = \frac{A}{B} = \frac{K_T}{R_a T_{fd}} = 0,662 \tag{5.3}$$

K_e telah diketahui, selanjutnya mencari nilai *fluks* pada medan magnet motor. Karena keterbatasan alat yang tersedia, maka dengan menggunakan rumus torsi (T) dan mengasumsikan arus menggunakan besaran yang tertera di motor, *fluks* dapat dihitung.

$$T = K_e \phi I_a \tag{5.4}$$

$$1,4 \text{ N.m} = 0,662 \cdot \phi \cdot 3 \text{ A}$$

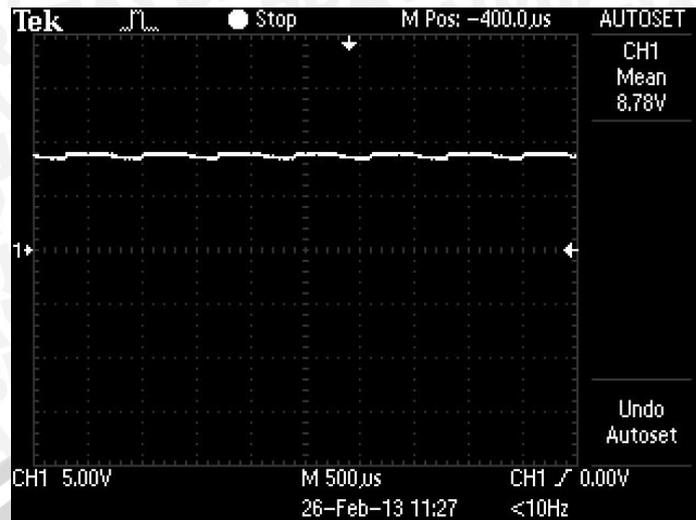
$$\phi = 0,705 \text{ Weber}$$

Fluks telah diketahui dengan besar 0,705 Weber, sehingga untuk menghasilkan torsi pada motor dengan menggunakan rumus yang sama merupakan fungsi dari arus jangkar ($T=f(I_a)$). Hal ini menyebabkan hanya arus jangkar yang akan mempengaruhi

perubahan torsi yang berbanding lurus karena nilai konstanta dan *fluks* tetap tidak berubah.

1.6 Pengujian Alat Keseluruhan

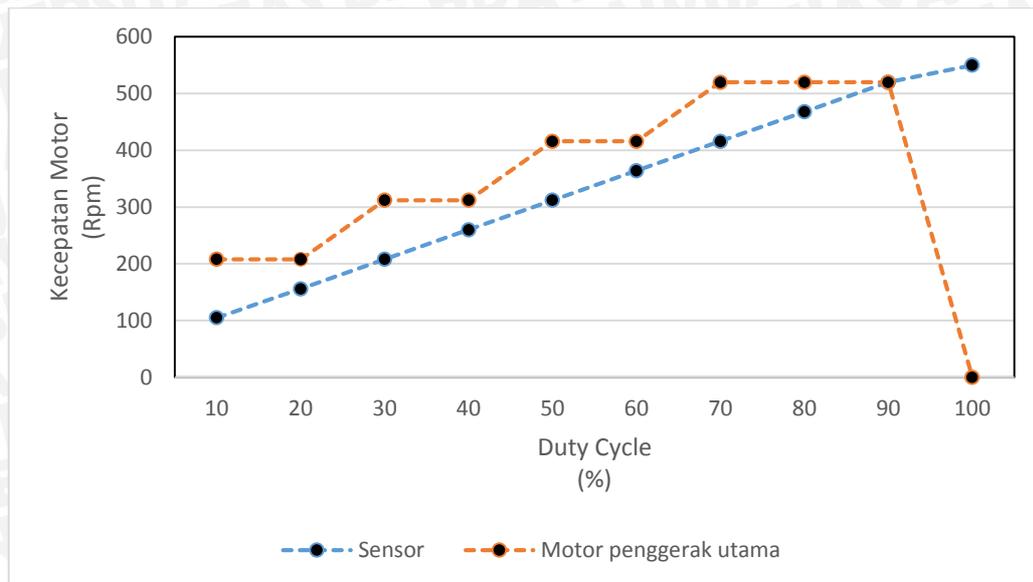
Pengujian alat secara keseluruhan ini dilakukan dengan simulasi dari sistem yang telah dirancang pada mikrokontroler. Pengoperasian dilakukan dengan cara menjalankan motor penggerak sensor hingga mencapai kecepatan 10 km/jam, atau dengan frekuensi on/off sensor sebesar 56 on/off. Kondisi ini sesuai dengan rancangan awal dari perangkat lunak dimana motor penggerak utama pertama kali aktif pada kondisi sensor dalam frekuensi *on/off* lebih dari 56 Hz. Pada kondisi tersebut motor penggerak sensor mendapat bantuan kecepatan dari motor penggerak utama hingga mencapai kecepatan putar 10 km/jam atau dalam kondisi on/off sensor sebanyak 56 kali. Setelah mencapai kecepatan tersebut, mikrokontroler kembali mengatur kecepatan motor penggerak utama berputar lebih cepat apabila motor penggerak sensor berputar melebihi 10 km/jam atau jumlah on/off sensor sebanyak 56 kali, dengan memperbesar *duty cycle*. Selanjutnya sinyal akan diproses di *driver* motor, lalu sinyal dari *driver* motor digunakan sebagai sinyal masukan dari motor. Dengan nilai *duty cycle* yang semakin besar, maka *Vout* juga semakin besar. Sehingga motor penggerak utama bergerak lebih cepat. Peningkatan kecepatan akan terus meningkat hingga mencapai batas kecepatan 50 km/jam. Apabila kecepatan sensor telah melewati kecepatan ini, maka mikrokontroler mengatur *duty cycle* menjadi 0, sehingga tidak ada tegangan masukan untuk motor penggerak utama. Hal ini bertujuan apabila motor telah berputar melewati 50 km/ jam, atau sama dengan 520 rpm, motor berhenti berputar. Ini dimaksudkan apabila diaplikasikan langsung untuk sepeda listrik, saat sepeda melewati kecepatan 50 km/ jam, motor penggerak akan berhenti memberi bantuan kecepatan. Karena untuk tujuan keselamatan, sehingga motor tidak dapat melaju lebih cepat. Berikut adalah keluaran *chopper* dengan *duty cycle* 50% pada pengujian keseluruhan, tabel peningkatan kecepatan dari motor penggerak utama berdasarkan peningkatan frekuensi on/off sensor dan peningkatan kecepatan motor penggerak sensor akibat kompensasi dari motor penggerak utama.



Gambar 1.11 Sinyal Keluaran Tegangan Rangkaian *Chopper* dengan *Duty cycle* 50% pada Pengujian Keseluruhan

Tabel 1.7 Peningkatan Kecepatan Motor dan Sensor Tiap Pertambahan *Duty Cycle*

No.	<i>Duty Cycle</i>	Tegangan <i>Chopper</i> (V)	Kecepatan Sensor (rpm)	Kecepatan Motor Penggerak Utama (rpm)	Penambahan Kecepatan Sensor (rpm)
1.	38%	1,3	105	208	103
2.	41%	1,7	156	208	52
3.	45%	2	209	312	103
4.	47%	2,3	260	312	52
5.	52%	2,7	313	416	103
6.	54%	3	364	416	52
7.	55%	3,3	417	520	103
8.	57%	3,6	468	520	52
9.	60%	3,9	521	520	0
10.	64%	4,1	550	0	0



Gambar 1.12 Kurva Kecepatan Motor dan Sensor Terhadap *Duty Cycle*

Dari tabel 5.7 dan gambar 5.12 dapat dilihat bahwa terdapat penambahan kecepatan pada sensor yang disebabkan adanya kompensasi berupa kecepatan dari motor penggerak utama. Hal ini berarti bahwa putaran roda yang disimulasikan oleh putaran motor penggerak sensor mengalami penambahan kecepatan pada kecepatan tertentu sesuai dengan program pada mikrokontroler. Dari tabel 5.7 dan gambar 5.12 juga dapat dilihat bahwa mikrokontroler mengatur putaran motor penggerak utama berputar pada kondisi tetap pada setiap penambahan kecepatan sensor di luar batasan kecepatan yang telah ditentukan. Sedangkan apabila sensor telah menunjukkan kecepatan melebihi 520 rpm, atau lebih dari 50 km/ jam, maka mikrokontroler mengatur *duty cycle* menjadi 0. Dari tabel 5.7 dan kurva pada gambar 5.12 menunjukkan bahwa untuk mencapai kecepatan maksimum yang diinginkan sebesar 50 km / jam, baterai tidak perlu bekerja maksimum dalam penggunaannya. Hal ini dikarenakan *duty cycle* dari keadaan kecepatan maksimum hanya 55%. Sehingga baterai hanya perlu mencatu hingga 7 V dan Arus sebesar 1,74 A perjam. Dimana tegangan maksimal baterai adalah 12 V dan arus maksimal dari baterai adalah 3,5 A. Di sisi putaran sensor, sensor hanya perlu berputar sebesar 105 rpm untuk mencapai kecepatan 208 rpm. Karena putaran sensor mensimulasikan putaran roda sepeda, sehingga didapatkan kondisi bahwa pengendara hanya perlu memutar roda sebesar 105 rpm untuk mencapai kecepatan 208 rpm.

Tabel 1.8 Perubahan Tegangan dan Arus Motor Penggerak Sensor

No	Kecepatan Sensor (rpm)	Kecepatan Motor Penggerak Utama (rpm)	Tegangan Motor Penggerak Sensor (V)	Arus Pada Motor Penggerak Sensor (A)	Tegangan Setelah Terkompensasi (V)	Arus Setelah Terkompensasi (A)
1.	105	208	10	0,06	5,3	0,01
2.	209	312	12	0,08	5,7	0,03
3.	313	416	15,5	0,11	7	0,04
4.	417	520	20	0,12	10,3	0,05

Dari tabel 5.8 menunjukkan bahwa adanya perubahan tegangan dan arus pada motor penggerak sensor setelah terkompensasi putaran oleh motor penggerak utama. Tegangan masukan dan arus masukan terlihat jelas berkurang setelah terkompensasi. Dengan melakukan perhitungan torsi pada persamaan 2.3, maka didapatkan torsi yang timbul berdasarkan besarnya arus yang terukur pada sensor arus sebagai berikut.

Tabel 1.9 Arus Torsi Pada Motor Penggerak Sensor

No.	Kecepatan Sensor (rpm)	Arus Motor Penggerak Sensor Sebelum Terkompensasi (A)	Arus Motor Penggerak Sensor Setelah Terkompensasi (A)	Torsi Motor Penggerak Sensor Sebelum Terkompensasi (N.m)	Torsi Motor Penggerak Sensor Setelah Terkompensasi (N.m)
1.	105	0,06	0,01	0,028	0,005
2.	209	0,08	0,03	0,037	0,014
3.	313	0,11	0,04	0,051	0,019
4.	417	0,12	0,05	0,056	0,023

Tabel 5.9 menunjukkan bahwa motor penggerak sensor yang merupakan representasi dari kayuhan sepeda bekerja lebih ringan dari pada kondisi sebelum terkompensasi oleh motor penggerak utama. Hal ini dikarenakan terjadi penurunan torsi yang terjadi pada saat motor penggerak sensor terkompensasi putaran oleh motor penggerak utama.

BAB VI PENUTUP

2.1 Kesimpulan

Dari hasil dari analisis dan pengujian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- a. Alat pengatur kecepatan motor DC magnet permanen dengan menggunakan sensor rotari berhasil dibuat sesuai dengan rancangan dan dapat berfungsi sesuai spesifikasi yang telah ditentukan.
- b. Fungsi motor sebagai penggerak diperoleh dengan memanfaatkan konverter daya MOSFET yang ditunjang oleh *optocoupler* dan rangkaian DC *chopper* yang dikendalikan oleh sinyal keluaran mikrokontroler.
- c. Fungsi *hybrid* untuk memperkecil konsumsi daya baterai diperoleh dengan mengatur putaran motor DC magnet permanen oleh mikrokontroler.

2.2 Saran

Dalam perancangan ini, tentunya banyak kekurangan yang terjadi. Oleh karena itu untuk menyempurnakan perancangan berikutnya, terdapat beberapa saran yang perlu dilakukan, sebagai berikut :

Struktur mekanik untuk simulator roda dibuat semirip mungkin dengan struktur sepeda listrik agar lebih presisi dalam pengambilan data dan lebih menyerupai sepeda listrik yang sebenarnya.