

BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISA

Setelah proses pembuatan alat selesai, langkah berikutnya adalah melakukan pengujian dan analisis. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa kinerjanya sesuai dengan rancangan yang telah dibuat dan ditetapkan. Untuk memastikan data yang akurat dan lengkap, perlu melakukan pengecekan, pengukuran, dan evaluasi. Setelah pengujian selesai, dilakukan analisa data yang telah dikumpulkan. Analisa ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi masalah atau perbaikan yang mungkin diperlukan.

4.1 Pengujian Baterai

Pada pembuatan *Lawn Mower Autonomous* dibutuhkan catu daya untuk menyalakan alat ini. Baterai yang digunakan yaitu baterai 12V 8Ah. Baterai ini memiliki tegangan operasi 2,5 Volt hingga 13 Volt dan memiliki kapasitas baterai yaitu 8Ah. Berikut ini merupakan hasil pengujian dari tegangan yang terdeteksi pada baterai yang diuji menggunakan multimeter dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Pengujian baterai dengan multimeter dan hasilnya 12.76

Tabel 4. 1 Pengujian Baterai

Waktu Operasi	Tegangan V	Penurunan V
0 menit	12.76 V	0.0 V
30 Menit	12.50 V	0.26 V
45 Menit	12.30 V	0.20 V
1 Jam	12.10 V	0.20 V
1 Jam 30 Menit	11.80 V	0.30 V
2 Jam	11.50 V	0.30 V

Bedasarkan pengujian pada tabel 4.1 dilakukan untuk mengetahui penurunan tegangan baterai selama motor pemotong rumput beroperasi menggunakan multimeter dalam rentang waktu 0 hingga 2 jam. Berdasarkan tabel, tegangan awal baterai adalah 12,76 V pada kondisi 0 menit. Setelah digunakan selama 30 menit, tegangan turun menjadi 12,50 V dengan penurunan sebesar 0,26 V. Setelah 45 menit, tegangan aki menurun lagi menjadi 12,30 V dengan penurunan 0,20 V. Setelah 1 jam penggunaan, tegangan mencapai 12,10 V dengan penurunan 0.20 V, menunjukkan kapasitas aki berkurang

seiring waktu pemakaian.

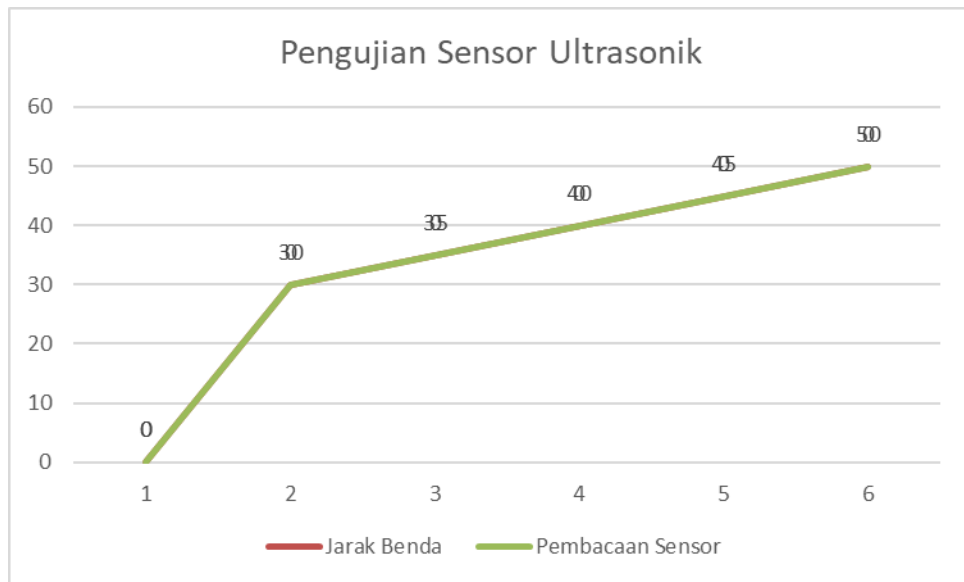
Selanjutnya, pada 1 jam 30 menit tegangan aki menurun menjadi 11,80 V dengan penurunan sebesar 0.30 V. Setelah 2 jam penggunaan, tegangan aki mencapai 11,50 V, dengan penurunan sebesar 0.30 V dari kondisi awal. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa tegangan baterai mengalami penurunan bertahap seiring bertambahnya waktu operasi. Pada durasi penggunaan hingga 1 jam 30 menit, Baterai masih dalam kondisi aman, sedangkan setelah 2 jam penggunaan diperlukan pengisian ulang agar motor dapat tetap beroperasi dengan optimal.

4.2 Pengujian Sensor Ultrasonik

Pada tugas akhir ini robot *Lawn Mower* menggunakan Sensor Ultrasonik sebagai pendeteksi halangan/rintangan. Pengujian dilakukan dengan cara mengukur jarak antara halangan/rintangan dengan Sensor Ultrasonik :

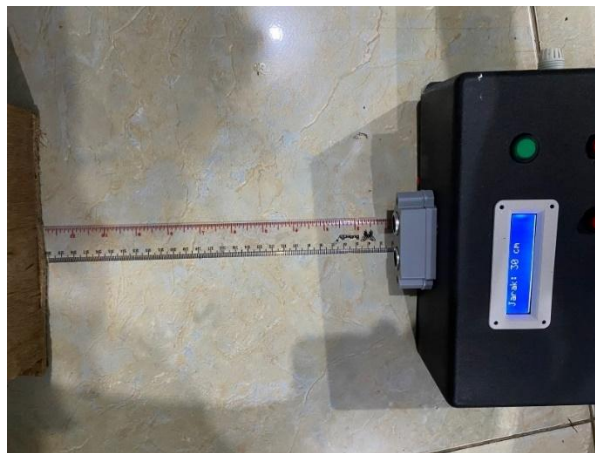
Tabel 4. 2 Pengujian Sensor Ultrasonik

Jarak Benda (cm)	Pembacaan Sensor Ultrasonik (cm)	Selisih (cm)	Error
30 cm	30 cm	0	-
35 cm	35 cm	0	-
40 cm	40 cm	0	-
45 cm	45 cm	0	-
50 cm	50 cm	0	-



Gambar 4. 2 Grafik Pengujian Sensor Ultrasonik

Bedasarkan hasil dari Tabel 4.2 percobaan pengujian dilakukan dengan membandingkan jarak sebenarnya menggunakan penggaris dengan hasil pembacaan sensor ultrasonik. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa pada jarak 30 cm hingga 50 cm sensor mampu membaca dengan baik, tanpa ada nilai error yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 4.3.



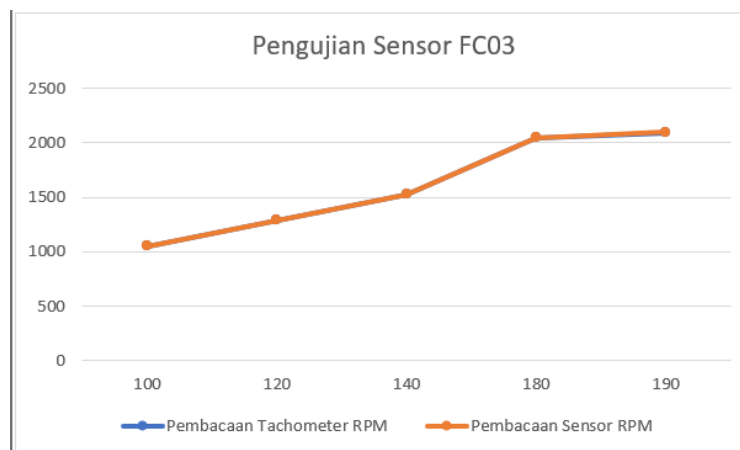
Gambar 4. 3 Pengujian Sensor ultrasonik saat jaraknya 30 cm diukur menggunakan penggaris

4.3 Pengujian Sensor FC-03

Pada pembuatan *Lawn Mower* ini menggunakan FC-03 sebagai sensor kecepatan yang hasil pembacaanya akan diolah kontroler. Pengujian FC-03 dilakukan setelah FC-03 dilakukan proses kalibrasi agar memperkecil nilai *error* pada pembacaan FC-03. Untuk mengetahui kesesuaian hasil pembacaan FC-03 dengan kecepatan putaran asli maka motor diuji menggunakan tachometer untuk mengetahui kecepatan asli pada motor lalu akan dibandingkan dengan hasil pembacaan FC-03.

Tabel 4. 3 Pengujian Sensor FC-03

Pengujian PWM	Pembacaan Tachometer (RPM)	Pembacaan Sensor FC 03 (RPM)	Selisih Pengukuran RPM	Error (%)
100	1054	1054	-	-
120	1286	1286	-	-
140	1527	1525	2	0.13%
180	2043	2043	-	-
190	2093	2096	3	0.14%



Gambar 4. 4 Grafik Pengujian Sensor

Dari data pengujian pada Tabel 4.3 dilakukan untuk membandingkan hasil pembacaan sensor FC-03 terhadap alat ukur tachometer sebagai acuan. Dari hasil pengujian terlihat bahwa nilai pembacaan sensor RPM memiliki tingkat kedekatan yang tinggi dengan hasil tachometer.

- Pada PWM 100, baik tachometer maupun sensor membaca 1054 RPM, sehingga tidak terdapat error.
- Pada PWM 120, baik tachometer maupun sensor membaca 1286 RPM, sehingga tidak terdapat eror
- Pada PWM 140, pembacaan tachometer 1527 dan sensor 1525 RPM, selisih 2 RPM dengan error 0.13%.
- Pada PWM 180, baik tachometer maupun sensor membaca 2043 RPM, sehingga tidak terdapat error.
- Pada PWM 190, pembacaan tachometer 2093 dan sensor 2096 selisih 3 RPM dengan error 0.14%.

Secara keseluruhan, error pengukuran sensor FC-03 terhadap tachometer berada dalam rentang 0% – 0.13%, yang masih dapat diterima. Dengan demikian, sensor FC-03 terbukti dapat bekerja dengan baik dan akurat dalam mengukur kecepatan putaran motor, serta dapat digunakan sebagai alat ukur RPM pada sistem kendali motor pemotong rumput dapat dilihat pada gambar 4.5.



Gambar 4. 5 Pengujian Sensor FC-03 saat rpm diukur dengan tachometer mendapatkan hasil 2093.

4.4 Pengujian Motor Driver BTS 7960

Pengujian ini dilakukan pada motor untuk pergerakan *Lawn Mower*, yang bertujuan untuk mengetahui kesesuaian kerja *software* dengan *hardware* yang telah dibuat. Pengujian pada motor sebagai aktuator pada *Lawn Mower* sebagai kontrol arah putaran motor yang dikendalikan dengan *driver* motor. Pengujian dilakukan dengan cara pengambilan data keadaan *high* atau *low* pada masing-masing port *output*. Berikut data pengujian pada motor kanan dan motor kiri:

Tabel 4. 4 Pengujian Gerak Motor

<i>Output 1</i> <i>Output 3</i>	<i>Output 2</i> <i>Output 4</i>	Keterangan	Eror
1	0	Putaran Berlawanan Jarum Jam	0
0	1	Putaran Searah Jarum Jam	0
1	0	Putaran Berlawanan Jarum Jam	0
0	1	Putaran Searah Jarum Jam	0

Dari hasil pengujian pada tabel 4.4 dapat diketahui bahwa jika *Output 2* (motor depan kanan) diberi logika “0” dan *Output 1*(motor depan kiri) diberi logika “1” maka respon putaran motor berlawanan jarum jam sedangkan jika *output 2*(motor kanan depan) diberi logika “1” dan *output 1* (motor kiri depan) diberi logika “0” maka respon putaran motor searah jarum jam. Dan jika *output 4* (motor belakang kanan) diberi logika “1” dan *output 3* (motor belakang kiri) diberi logika “0” maka respon putaran motor searah jarum jam sedangkan jika *output 4* (motor belakang kanan) diberi logika “0” dan *output 3* (motor kiri belakang) diberi logika “1” maka respon putaran motor berlawanan arah jarum jam.

Tabel 4. 5 Pengujian Arah

Motor Kanan		Motor Kiri		Respon Motor	Error
<i>Output 1</i>	<i>Output 2</i>	<i>Output 3</i>	<i>Output 4</i>		
1	0	0	1	Mundur	0
0	1	1	0	Maju	0

Berdasarkan tabel 4.5 dapat diketahui bahwa pemberian logika “0” atau “1” pada setiap chanel driver motor mempengaruhi arah kerja motor. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa *input* berupa logika sesuai dengan *output* yang diharapkan.

PWM (*Pulse Width Modulation*). Untuk dapat menggunakan fungsi dari PWM arduino dapat menggunakan fungsi instruksi `analogWrite()`. Pada arduino, fungsi analog Write memiliki nilai 8 bit (0 – 254).

4.5 Pengujian Motor Gerak

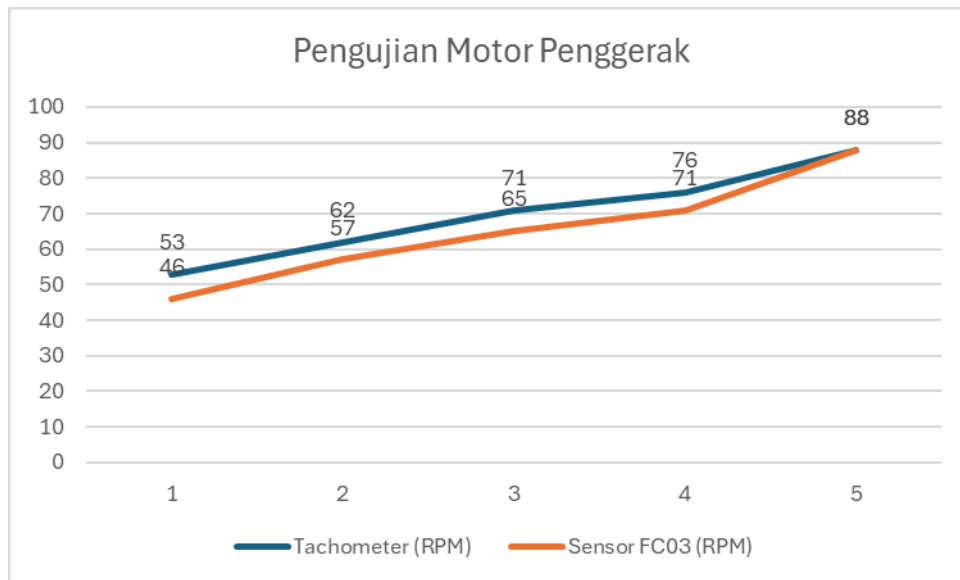
Pada Pengujian ini motor penggerak diletakan diatas papan guna untuk menguji hasil kecepatan gerak pada motor yang diukur dengan tachometer dan sensor kecepatan apakah rpm pada motor sudah sesuai dengan lcd dapat dilihat pada gambar 4.6



Gambar 4. 6 Pengujian Motor Penggerak Menggunakan Tachometer

Tabel 4. 6 Pengujian Motor Penggerak

Duty Cycle	Tachometer (RPM)	Sensor FC03 (RPM)	Eror Selisih	Eror (%)	(m/s)
60	53	46	7	13.21%	0.20
70	62	57	5	8.06%	0.23
80	71	65	6	8.45%	0.26
90	76	71	5	6.58%	0.28
100	88	88	0	0%	0.30



Gambar 4. 7 Grafik Pengujian Motor Penggerak

Bedasarkan Tabel 4.6 pengujian dilakukan untuk mengetahui hubungan antara duty cycle PWM dengan kecepatan putar motor penggerak yang diukur menggunakan tachometer dan sensor hall effect.

Pada duty cycle 60% diperoleh kecepatan 53 RPM dengan tachometer dan 46 RPM pada sensor, sehingga terdapat error sebesar 7 RPM atau 13,21%. Error ini relatif besar pada duty cycle rendah karena putaran motor belum stabil. Namun, seiring bertambahnya duty cycle, error semakin kecil.

Misalnya, pada duty cycle 70% diperoleh kecepatan 62 RPM pada tachometer dan 57 RPM pada sensor dengan error 5 RPM atau 8,06%. Pada duty cycle maksimum (100%), hasil pengukuran sensor sama dengan tachometer, yaitu 88 RPM dengan error 0%. Hal ini menunjukkan bahwa pada putaran tinggi, sensor mampu membaca kecepatan dengan lebih akurat. Secara keseluruhan, tingkat kesalahan pembacaan sensor terhadap tachometer berada pada rentang 0% hingga 13,21%, dengan kecenderungan menurun seiring bertambahnya duty cycle.

4.6 Pengujian Autonomous

Pengujian pergerakan *Autonomous* menjadi salah satu hal yang perlu diuji karena *Lawn Mower Autonomous* adalah gerakan berjalan yang telah diprogram guna untuk menghindari suatu rintangan atau halangan agar dapat berjalan secara otomatis sembari memotong rumput.

Dalam pengujian ini *Lawn Mower Autonomous* telah diuji dari titik awal yang pergerakan ketika tombol start ditekan tampilan lcd akan menampilkan pilihan untuk gerakan belok kiri atau kanan. Pengujian telah dilakukan untuk menghindari obstacle menghindar dengan data tabel tiap gerakan kanan dan kiri seperti tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Pengujian Autonomous

Pengujian Percobaan	Respon Gerakan	Hasil	Derajat	Error
1	Belok Kiri	Benar	90	0
2	Belok Kanan	Benar	90	0
3	Belok Kiri	Benar	90	0
4	Belok Kanan	Benar	90	0
5	Belok Kiri	Benar	90	0

Berdasarkan Tabel 4.7 Pengujian Autonomous, dilakukan lima kali percobaan untuk menguji kemampuan sistem navigasi autonomous pada robot pemotong rumput dalam merespons arah belok secara otomatis. Dari hasil pengujian, diketahui bahwa pada setiap percobaan robot mampu memberikan respon gerakan yang sesuai dengan perintah sistem, yaitu belok kiri dan belok kanan secara bergantian sesuai dengan kondisi lingkungan yang terdeteksi oleh sensor.

Setiap respon gerakan menunjukkan hasil yang benar dengan sudut belokan sebesar 90°, yang berarti robot mampu melakukan perubahan arah dengan akurasi tinggi. Selain itu, nilai error sebesar 0

pada seluruh percobaan menandakan bahwa sistem kendali dan sensor bekerja secara optimal, tanpa terjadi penyimpangan pada arah maupun sudut belokan.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa fungsi autonomous pada robot berjalan sangat baik, mampu mendeteksi hambatan dan melakukan manuver arah dengan tingkat ketelitian dan kestabilan yang tinggi.



Gambar 4. 8 Robot Berbelok

4.7 Pengujian Pemotong Rumput

Pada pengujian ini, motor pemotong di letakan di lapangan atau taman yang memiliki rumput kemudian mengukur tinggi rumput dan meletakan *Robot Lawn Mower* untuk memotong rumput tersebut dapat dilihat pada gambar 4.5 ,gambar 4.6, gambar 4.7, gambar 4.8.



Gambar 4. 9 Rumput Lapangan

Gambar 4.5 Menunjukkan lapangan rumput yang akan dipotong, rumput cukup tebal dan tinggi sehingga ada kemungkinan sensor ultrasonik mendeteksi rumput sehingga menghindari bagian rumput yang tinggi.



Gambar 4.10 Ukuran Rumput 30 cm

Gambar 4.6 Menunjukkan ukuran rumput sebelum dipotong, rumput memiliki ketinggian 30 cm dari tanah hingga ujung atas rumput.



Gambar 4. 10 Robot *Lawn Mower*

Gambar 4.7 Menunjukkan bahwa Robot *Lawn Mower* sedang memotong rumput di lapangan sesuai dengan program jalan dan *fuzzy* pemotong rumput.



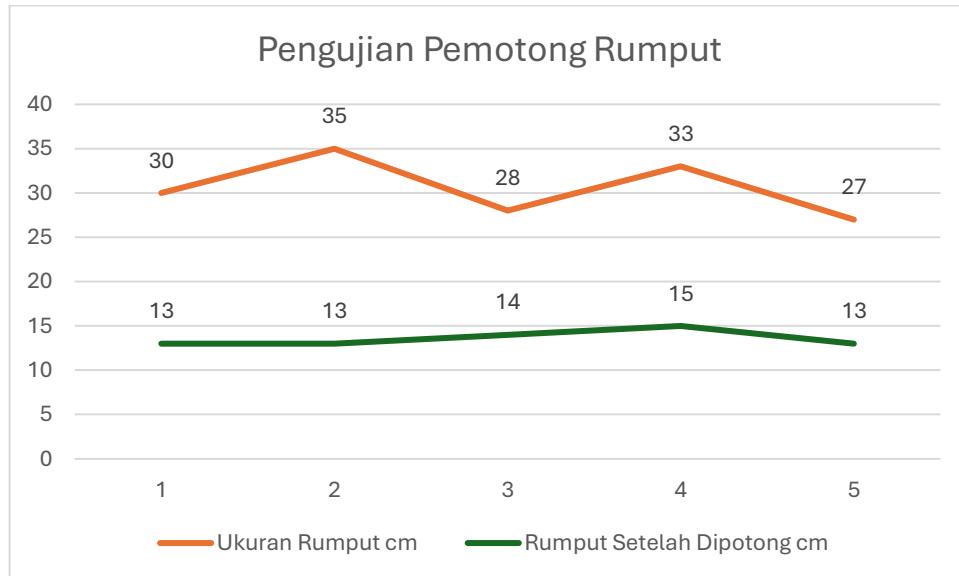
Gambar 4. 11 Rumput setelah dipotong menjadi 13 cm

Gambar 4.8 Ukuran rumput setelah dipotong menjadi 13 cm dari tanah meskipun masih ada beberapa rumput yang tinggi karena pemotongan tidak merata dikarenakan pisau pemotong kurang turun dan pisau pemotong kurang lebar.

Tabel 4. 8 Pengujian *Lawn Mower*

No	Ukuran Rumput cm	Rumput Setelah Dipotong cm	Error (%)
1	30 cm	13 cm	0

2	35 cm	13 cm	0
3	28 cm	14 cm	7.69%
4	33 cm	15 cm	15.38%
5	27 cm	13 cm	0



Gambar 4. 12 Grafik Pengujian Pemotong Rumput

Pengujian dilakukan untuk mengetahui tingkat ketepatan sistem pemotong rumput dalam mempertahankan tinggi rumput setelah dipotong dengan setpoint 13 cm. Pengujian dilakukan sebanyak lima kali percobaan dengan variasi tinggi awal rumput antara 27 cm hingga 35 cm.

Pada percobaan pertama, tinggi rumput sebelum dipotong adalah 30 cm dan setelah pemotongan menjadi 13 cm, sehingga tidak terjadi error (0%) karena hasil pemotongan sesuai dengan setpoint. Percobaan kedua menunjukkan hasil serupa, yaitu dari tinggi awal 35 cm menjadi 13 cm, dengan error 0% yang berarti sistem mampu memotong pada ketinggian target yang tepat. Pada percobaan ketiga, tinggi awal 28 cm berkurang menjadi 14 cm setelah pemotongan, sehingga terdapat selisih 1 cm di atas setpoint dengan nilai error sebesar 7,69%. Dalam hal ini sistem menunjukkan kurang dalam pemotongan. Percobaan keempat menunjukkan hasil pemotongan dari

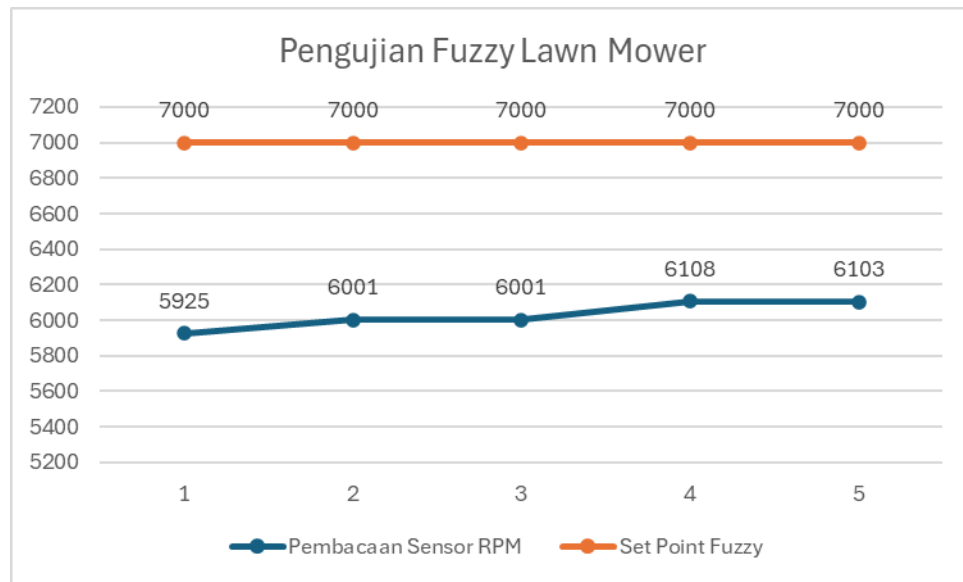
33 cm menjadi 15 cm, dengan selisih 2 cm di atas setpoint dan error sebesar 15,38%, yang menjadi nilai error tertinggi pada pengujian ini. Sementara itu, pada percobaan kelima, tinggi rumput awal 27 cm dipotong menjadi 13 cm, dengan error 0%, menunjukkan hasil yang kembali akurat sesuai setpoint.

Secara keseluruhan, dari lima percobaan yang dilakukan, tiga percobaan menghasilkan hasil yang tepat sesuai setpoint dengan error 0%, sedangkan dua percobaan menunjukkan penyimpangan positif dengan nilai error 7,69% dan 15,38%. Rata-rata error keseluruhan adalah sekitar 4,62%, yang menunjukkan bahwa sistem pemotong rumput bekerja dengan cukup baik dalam menjaga tinggi pemotongan mendekati nilai setpoint.

Penyimpangan yang terjadi kemungkinan disebabkan oleh variasi kondisi permukaan tanah, keausan pisau pemotong, atau fluktuasi kecepatan motor pemotong yang menyebabkan hasil potongan tidak seragam. Namun demikian, secara umum sistem mampu memotong rumput dengan akurasi tinggi dan stabilitas yang baik pada sebagian besar percobaan.

Tabel 4. 9 Pengujian Fuzzy *Lawn Mower*

Pengujian PWM	Pembacaan Sensor RPM	Set Point <i>Fuzzy</i>	Selisih Pengukuran	Error (%)
224	5925	7000	1075	15.36
224	6001	7000	999	14.27
225	6001	7000	999	14.27
225	6108	7000	892	12.74
225	6103	7000	897	12.81



Gambar 4. 13 Grafik pengujian *fuzzy lawn mower*

Hasil data pengujian pada Tabel 4.9 Pengujian dilakukan pada kondisi set point motor pemotong sebesar 7000 RPM, di mana pembacaan kecepatan menggunakan sensor RPM. Hasil pengukuran menunjukkan nilai pembacaan sensor sebesar 5925, 6001, 6001, 6108, dan 6103 RPM. Berdasarkan hasil tersebut, diperoleh selisih terhadap set point masing-masing sebesar 897, 892, 999, 999, dan 1075 RPM, dengan persentase error berturut-turut sebesar 12,81%, 12,74%, 14,27%, 14,27%, dan 15,36%.

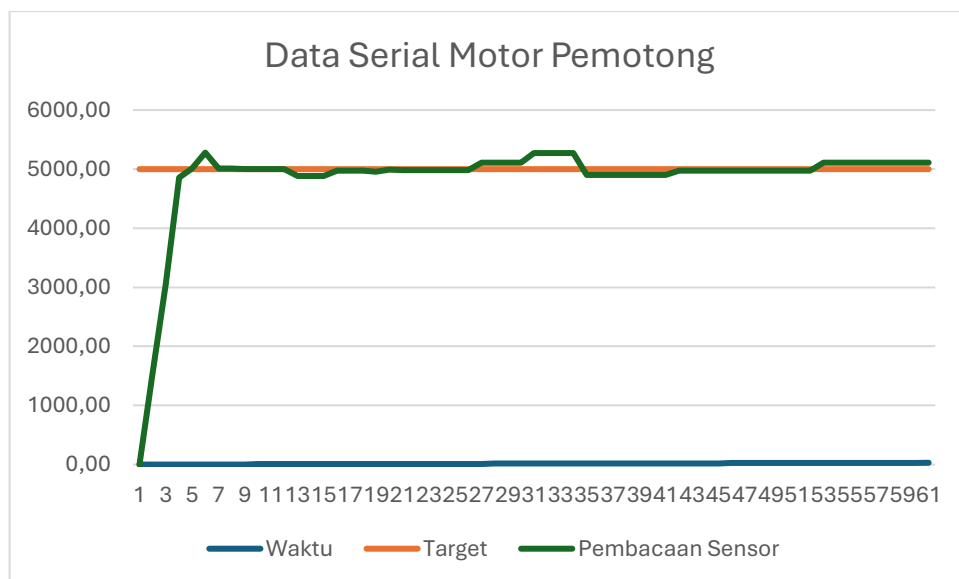
Dari seluruh hasil pengukuran, nilai error rata-rata yang diperoleh adalah sekitar 13,89%. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem kendali fuzzy Mamdani telah mampu mengatur kecepatan motor mendekati set point 7000 RPM meskipun masih terdapat sedikit penyimpangan akibat respon motor dan karakteristik beban pemotong. Secara keseluruhan, sistem bekerja dengan baik dalam menjaga kestabilan kecepatan motor pada kisaran yang diharapkan. Dengan demikian, sensor RPM dapat diandalkan sebagai alat ukur kecepatan putar motor pemotong dalam sistem ini, meskipun tetap disarankan dilakukan proses kalibrasi berkala untuk meningkatkan konsistensi pembacaan hasil dapat dilihat pada Gambar 4.14 .



Gambar 4. 14 Pengujian *Fuzzy Lawn Mower*

Tabel 4. 10 Pengujian Motor Pemotong Tanpa Beban Set Point 5000

Waktu (s)	Pembacaan Sensor RPM	Set Point <i>Fuzzy</i>	Selisih Pengukuran	Error (%)
2	4996	5000	4	0.08
4	5010	5000	10	0.20
6	4950	5000	50	1.00
8	5012	5000	12	0.24
10	5001	5000	1	0.02

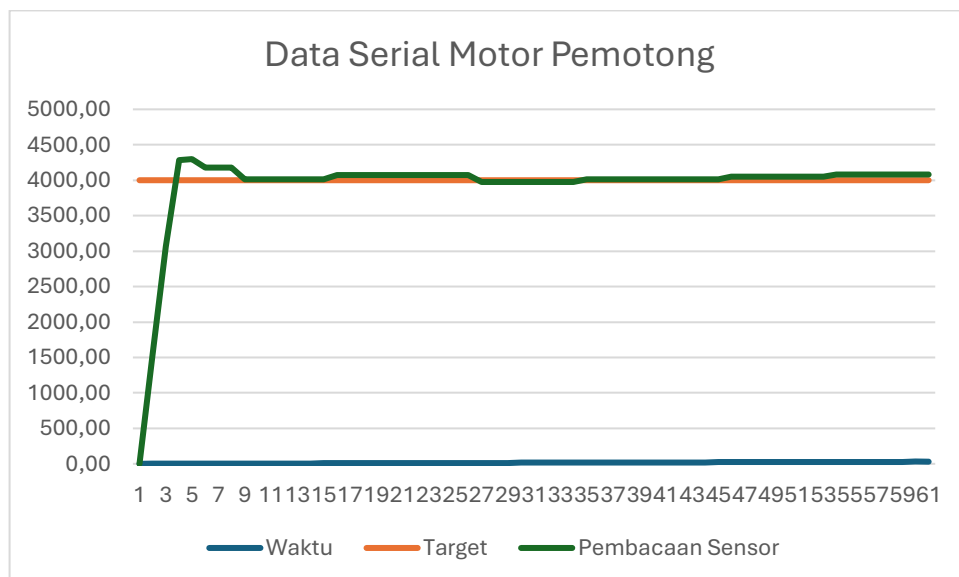


Gambar 4. 15 Data Serial Motor Pemotong Tanpa Beban

“Berdasarkan hasil pengujian motor pemotong tanpa beban, diperoleh bahwa pembacaan sensor RPM berada sangat dekat dengan nilai set point 5000 RPM. Nilai error yang dihasilkan berada pada rentang 0,02% hingga 1,00%, dengan error terkecil sebesar 0,02% pada RPM 5001 dan error terbesar sebesar 1,00% pada RPM 4950. Nilai error yang sangat kecil ini menunjukkan bahwa sistem pengendalian berbasis logika fuzzy mampu mengatur kecepatan motor pemotong secara stabil dan mendekati set point ketika motor beroperasi tanpa beban. Hal ini membuktikan bahwa kontrol fuzzy bekerja dengan baik dalam menjaga kestabilan putaran motor pada kondisi ideal.”

Tabel 4. 11 Pengujian Motor Pemotong Tanpa Beban Set Point 4000

Waktu (s)	Pembacaan Sensor RPM	Set Point <i>Fuzzy</i>	Selisih Pengukuran	Error (%)
2	4010	4000	10	0.25
4	4072	4000	72	1.80
6	3972	4000	28	0.70
8	4012	4000	12	0.30
10	4051	4000	51	1.28



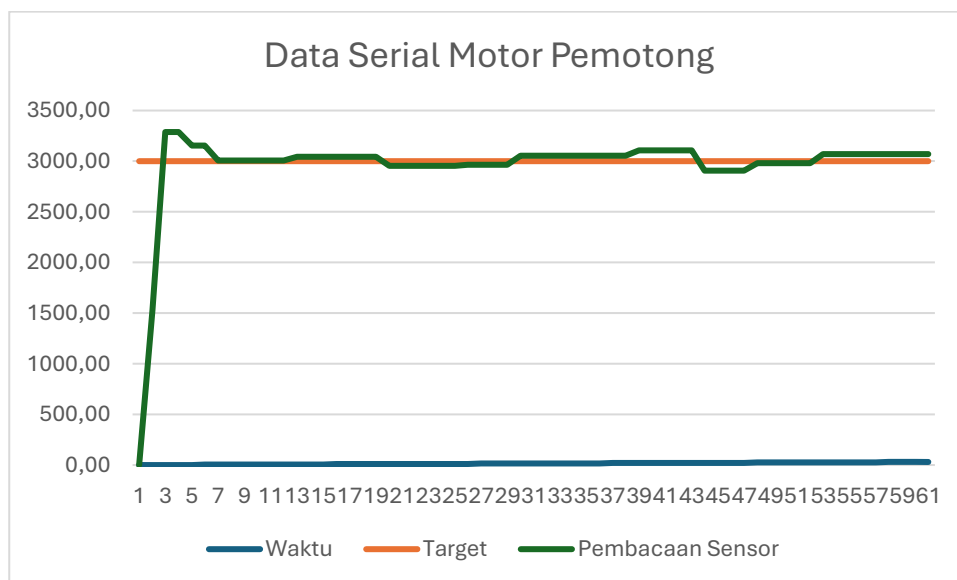
Gambar 4. 16 Data Serial Motor Pemotong Tanpa Beban

“Berdasarkan hasil pengujian dengan set point 4000 RPM, pembacaan sensor menunjukkan bahwa nilai RPM motor berada sangat dekat dengan target. Nilai error yang dihasilkan berada pada rentang

0,25% hingga 1,80%, dengan error terbesar sebesar 1,28% pada pembacaan 4051 RPM pada detik ke-10. Secara keseluruhan, nilai error yang kecil ini menunjukkan bahwa sistem pengendalian fuzzy mampu menjaga kecepatan motor tetap stabil di sekitar set point, dengan fluktuasi yang masih berada dalam batas toleransi. Hasil ini membuktikan bahwa kontrol fuzzy bekerja secara efektif dalam mempertahankan putaran motor pada kondisi pengujian tersebut.”

Tabel 4. 12 Pengujian Motor Pemotong Tanpa Beban Set Point 3000

Waktu (s)	Pembacaan Sensor RPM	Set Point <i>Fuzzy</i>	Selisih Pengukuran	Error (%)
2	3008	3000	8	0.27
4	3041	3000	41	1.37
6	2956	3000	56	1.47
8	2965	3000	35	1.17
10	3056	3000	56	1.87



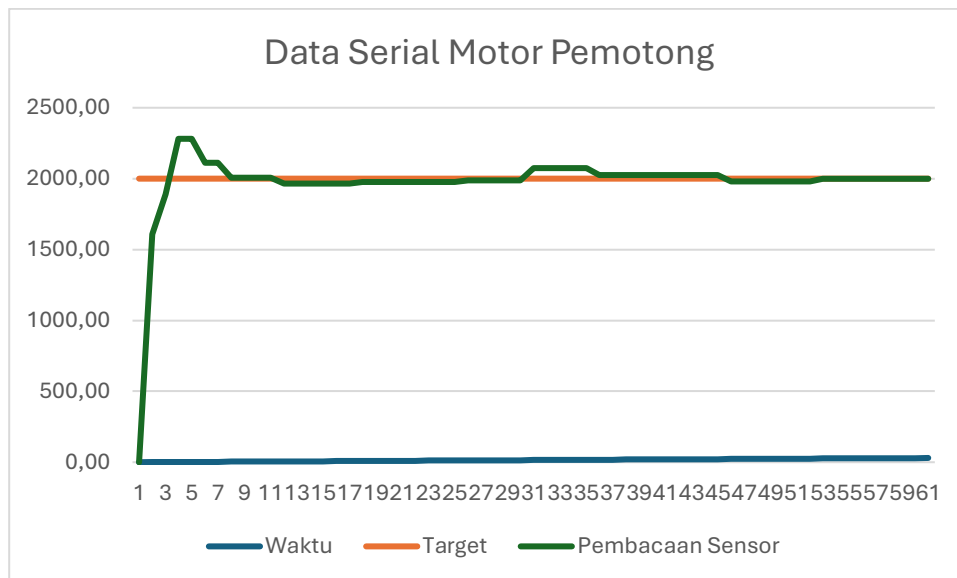
Gambar 4. 17 Data Serial Motor Pemotong Tanpa Beban

Berdasarkan hasil pengujian, motor pemotong menunjukkan kemampuan yang cukup baik dalam mengikuti set point 3000 RPM. Pada waktu 2 detik, pembacaan sensor hanya berbeda 8 RPM dengan error 0,27%, menandakan respons awal yang stabil. Pada waktu 4 dan

6 detik, pembacaan motor sedikit menyimpang lebih jauh dari set point, yaitu sebesar 3041 RPM dan 2956 RPM dengan error masing-masing 1,37% dan 1,47%, namun masih berada dalam batas toleransi sistem. Pada waktu 8 dan 10 detik, nilai pembacaan kembali mendekati set point dengan error 1,17% dan 1,87%, menunjukkan bahwa sistem kontrol mampu menjaga kecepatan motor tetap stabil tanpa beban. Secara keseluruhan, kinerja motor dapat dikatakan cukup stabil karena seluruh nilai error berada di bawah 2%.

Tabel 4. 13 Pengujian Motor Pemotong Tanpa Beban Set Point 2000

Waktu (s)	Pembacaan Sensor RPM	Set Point <i>Fuzzy</i>	Selisih Pengukuran	Error (%)
2	2008	2000	8	0.40
4	1967	2000	33	1.65
6	1978	2000	22	1.10
8	1989	2000	11	0.55
10	2076	2000	24	1.20



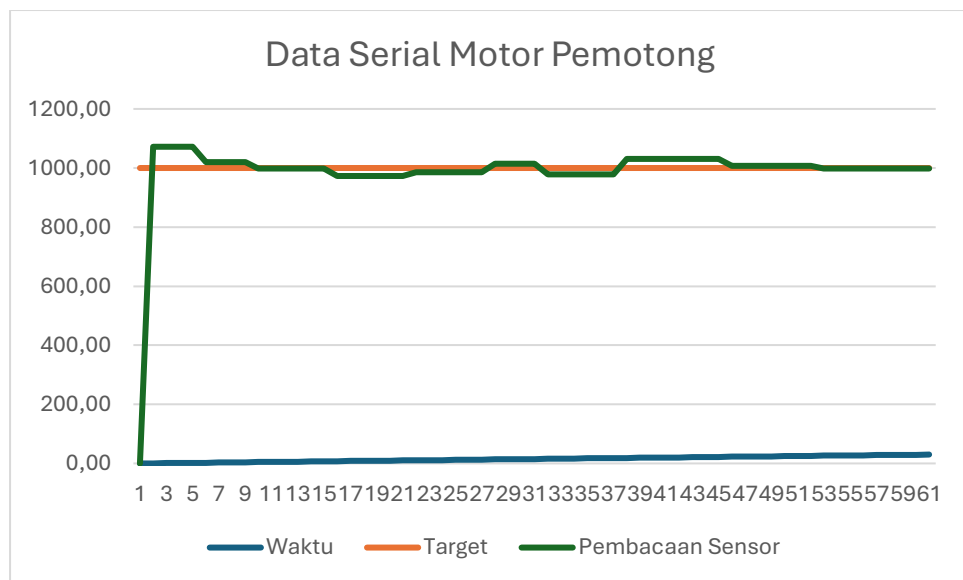
Gambar 4. 18 Data Serial Motor Pemotong Tanpa Beban

Berdasarkan hasil pengujian dengan set point 2000 RPM, motor menunjukkan respon yang cukup stabil terhadap perubahan waktu. Pada detik ke-2, pembacaan sensor berada sedikit di atas set point

dengan selisih 8 RPM dan error 0,40%, menunjukkan performa awal yang baik. Pada detik ke-4, pembacaan sebesar 1967 RPM menghasilkan selisih 33 RPM dengan error 1,65%, yang masih berada dalam batas toleransi sistem. Pada detik ke-6 hingga ke-10, nilai pembacaan berkisar antara 1978 hingga 2076 RPM dengan error antara 0,55% hingga 1,20%. Secara keseluruhan, motor mampu mempertahankan kecepatan yang mendekati set point, dan seluruh nilai error berada di bawah 2%, sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem kontrol bekerja dengan cukup stabil dan responsif tanpa beban.

Tabel 4. 14 Pengujian Motor Pemotong Tanpa Beban Set Point 1000

Waktu (s)	Pembacaan Sensor RPM	Set Point <i>Fuzzy</i>	Selisih Pengukuran	Error (%)
2	1020	1000	20	2.00
4	998	1000	2	0.20
6	987	1000	13	1.30
8	986	1000	14	1.40
10	1015	1000	15	1.50



Gambar 4. 19 Data Serial Motor Pemotong Tanpa Beban

Berdasarkan pengujian dengan set point 1000 RPM, motor menunjukkan kinerja yang cukup stabil. Pada detik ke-2, pembacaan sensor

sebesar 1020 RPM menghasilkan error 2,00%, yang menunjukkan adanya sedikit kelebihan kecepatan pada awal pengujian. Pada detik ke-4, nilai pembacaan sangat dekat dengan set point yaitu 998 RPM dengan error hanya 0,20%, menandakan respons kontrol yang baik. Pada detik ke-6 hingga 10, pembacaan sensor berada pada rentang 986–1015 RPM dengan nilai error antara 1,30% hingga 1,50%. Secara keseluruhan, seluruh nilai error berada di bawah 2%, sehingga dapat disimpulkan bahwa motor mampu mempertahankan kecepatan mendekati set point dan sistem kontrol bekerja dengan stabil dalam kondisi tanpa beban.



Gambar 4. 20 Pengambilan Data Log dan Pengambilan Data Motor Tanpa Beban



Gambar 4. 21 Pengambilan Data Log dan Pengambilan Data Motor Tanpa Beban