

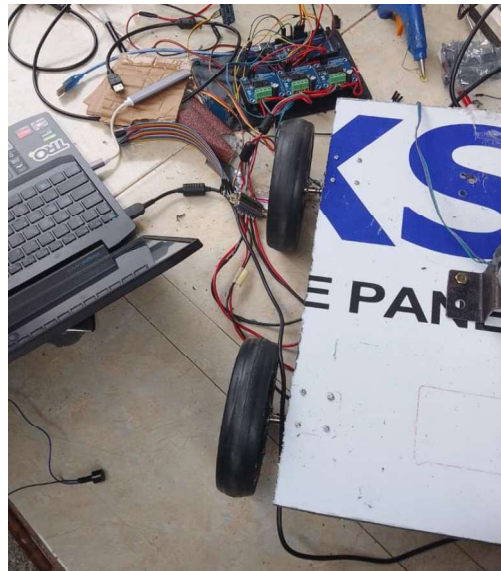
## BAB IV

### PEMBAHASAN DAN ANALISA

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

#### 4.1 Hasil Pembuatan Rancangan *Lawn Mower*

Berikut adalah hasil penerapan dari rancangan kerangka bodi yang telah dibuat pada Gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Hasil rangka bodi *Lawn Mower*

Setelah melakukan perakitan bodi selanjutnya adalah melakukan pemasangan komponen elektrik seperti baterai, mikrokontroler, driver motor, motor dc, dan komponen lainnya. Berikut adalah gambar hasil dari perakitan komponen elektrik pada bodi *Lawn Mower* terdapat pada Gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Setelah *part* terpasang

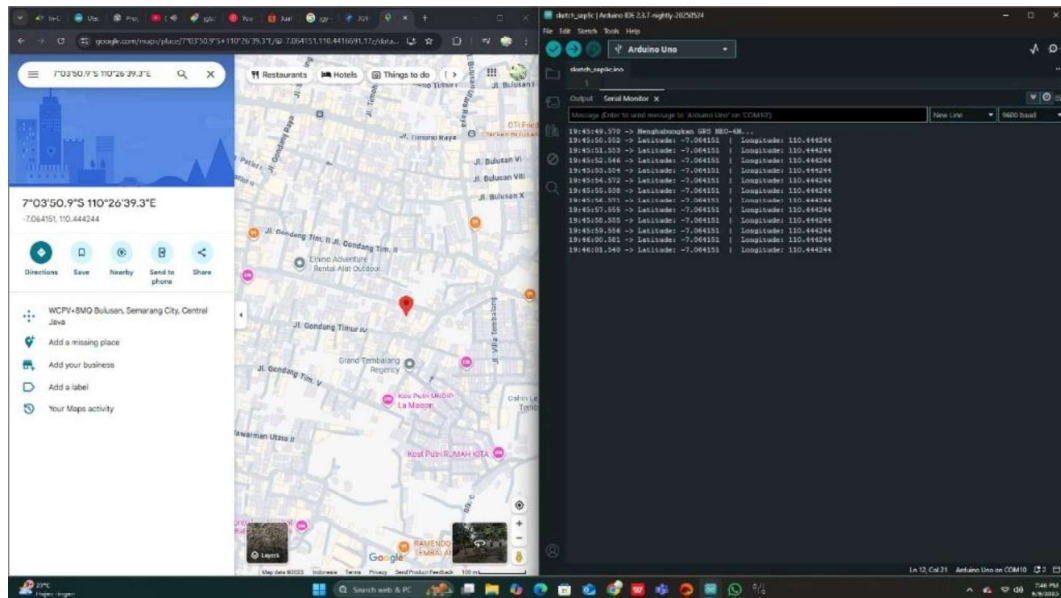
Setelah melakukan perakitan *part* elektrik dan mekanikal pada robot *Lawn Mower* siap dilakukan pengujian dari kemampuan pada *Lawn Mower* tersebut, sebelum melakukan perakitan pastikan terlebih dahulu komponen yang digunakan berfungsi dan telah diuji untuk mengetahui kondisi setiap komponen yang terpasang.

## **4.2 Pengujian Komponen**

Pengujian komponen bertujuan untuk memastikan setiap komponen bekerja sebagaimana mestinya dan sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan dalam rancangan awal. Berikut adalah hasil pengujian setiap komponen yang terpasang.

### **4.2.1 Pengujian Sensor GPS**

Pada pembuatan robot *Lawn Mower* dibutuhkan sensor GPS Neo-6M untuk mengetahui titik lokasi dari robot ketika sedang beroperasi di ruangan terbuka yang cukup luas. Berikut adalah hasil dari pengujian dari sensor GPS menggunakan google maps untuk mengecek titik longitude dan latitude sesuai dengan sensor GPS.



Gambar 4.3 Pengujian Sensor GPS

Tabel 4.1 Pengujian Sensor GPS

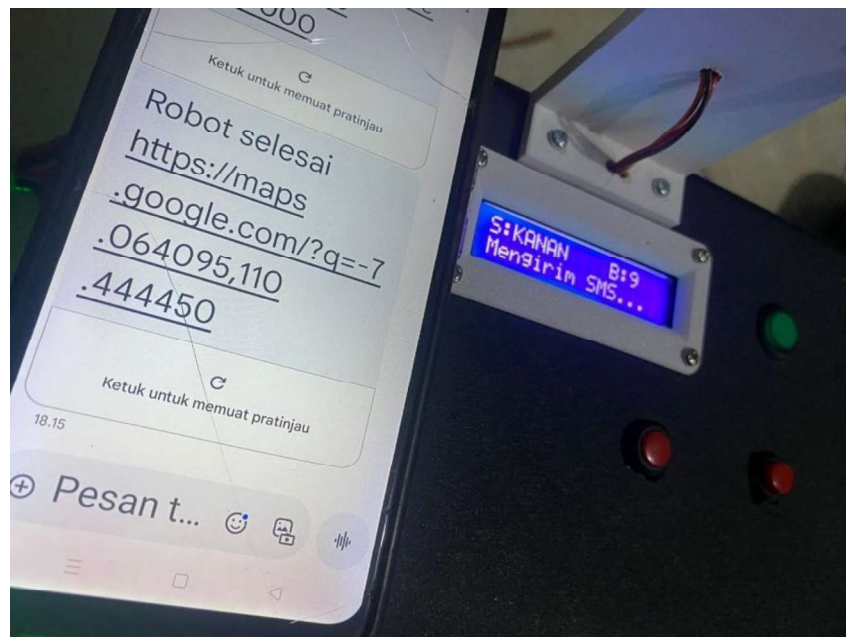
| No. | Lokasi                           | Latitude<br>(°) | Longitude<br>(°) | Data GPS<br>Terekam      | Data<br>Referensi<br>(Google<br>Maps) | Selisih<br>(m) |
|-----|----------------------------------|-----------------|------------------|--------------------------|---------------------------------------|----------------|
| 1.  | Perumahan<br>Bukit<br>Diponegoro | -7.030215       | 110.45687<br>2   | -7.030215,<br>110.456872 | -7.030215,<br>110.456872              | 2,1 m          |
| 2.  | Sekolah<br>Vokasi<br>UNDIP       | -7.053214       | 110.43765<br>0   | -7.053214,<br>110.437650 | -7.053214,<br>110.437650              | 2,4 m          |
| 3.  | Gondang<br>Raya                  | -7.005743       | 110.44218<br>8   | -7.005743,<br>110.442188 | -7.005743,<br>110.442188              | 1,9 m          |
| 4.  | Mulawarman                       | -6.981215       | 110.45102<br>2   | -6.981215,<br>110.451022 | -6.981215,<br>110.451022              | 2,5 m          |
| 5.  | Sirojudin                        | -6.995311       | 110.44578<br>9   | -6.995311,<br>110.445789 | -6.995311,<br>110.445789              | 1,7 m          |

Berdasarkan hasil pengujian, dapat dilihat bahwa sensor GPS Neo-6M dilakukan pengujian di 5 titik lokasi di Semarang yang ada pada Tabel 4.1, dan diperoleh data bahwa koordinat GPS yang terekam memiliki selisih nilai sekitar 1,7-2,5 meter dibandingkan dengan data referensi dari Google Maps.

Nilai selisih tersebut masih berada dalam rentang akurasi dari spesifikasi modul GPS Neo-6M, yaitu  $\pm 2,5$  meter, sehingga hasil yang didapatkan cukup baik hingga sangat baik [20]. Hal ini menunjukkan bahwa GPS Neo-6M dapat diandalkan untuk menentukan titik lokasi robot *Lawn Mower*, sehingga posisi robot dapat dipantau dengan cukup presisi untuk keperluan pengujian maupun pengendalian area kerja terbuka.

#### 4.2.2 Pengujian Modul SIM800L V2

Pada pembuatan robot *Lawn Mower* ini menggunakan sensor SIM sebagai pengirim titik koordinat melalui SMS yang dikirimkan berbentuk link google maps.



**Gambar 4.4** Pengujian Modul SIM800L V2

**Tabel 4.2** Pengujian Modul SIM800L V2

| No | Lokasi                     | Kondisi Pengujian | Pesan Terkirim                                                     | Status   |
|----|----------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------------|----------|
| 1  | Perumahan Bukit Diponegoro | Lokasi Terbuka    | “Robot selesai<br>https://maps.google.com/?q=-7.064095,110.444450” | Terkirim |

| No | Lokasi                  | Kondisi Pengujian | Pesan Terkirim                                                                                                                     | Status   |
|----|-------------------------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| 2  | Sekolah Vokasi<br>UNDIP | Lokasi<br>Terbuka | “Robot selesai<br><a href="https://maps.google.com/?q=-7.053214,110.437650">https://maps.google.com/?q=-7.053214, 110.437650</a> ” | Terkirim |
| 3  | Gondang Raya            | Lokasi<br>Terbuka | “Robot selesai<br><a href="https://maps.google.com/?q=-7.005743,110.442188">https://maps.google.com/?q=-7.005743, 110.442188</a> ” | Terkirim |
| 4  | Mulawarman              | Lokasi<br>Terbuka | “Robot selesai<br><a href="https://maps.google.com/?q=-6.981215,110.451022">https://maps.google.com/?q=-6.981215, 110.451022</a> ” | Terkirim |
| 5  | Sirojudin               | Lokasi<br>Terbuka | “Robot selesai<br><a href="https://maps.google.com/?q=-6.995311,110.445789">https://maps.google.com/?q=-6.995311, 110.445789</a> ” | Terkirim |

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.2 , dapat dilihat bahwa modul GSM SIM800L V2 yang digunakan pada robot *Lawn Mower* dapat berfungsi dengan baik untuk mengirimkan pesan SMS berisi informasi lokasi titik koordinat gps ke nomor tujuan melalui modul SIM800L V2. Dapat dilihat pada Gambar 4.4 LCD menampilkan sedang mengirim SMS, dan pada ponsel SMS sudah terkirim ke ponsel penerima dengan format titik koordinat tautan dari Google Maps, sehingga operator dapat langsung melacak posisi robot *Lawn Mower* melalui link google maps yang sudah terkirim melalui SMS.

#### 4.2.3 Pengujian *Driver Motor* BTS7960

Pengujian ini dilakukan pada motor penggerak untuk robot *Lawn Mower*, yang bertujuan untuk mengetahui kinerja motor yang telah dibuat. Pengujian pada motor sebagai aktuator robot *Lawn Mower* untuk kontrol arah putaran motor yang dikendalikan oleh *Driver motor*. Proses pengujian dilakukan dengan mencatat kondisi sinyal *high* dan *low* pada setiap port *Output* . Data hasil pengujian tersebut mencakup motor kanan dan motor kiri.

**Tabel 4.3** Pengujian Motor Driver

| <i>Output 1</i> | <i>Output 2</i> | Keterangan                   | Error |
|-----------------|-----------------|------------------------------|-------|
| 1               | 0               | Putaran Berlawanan Jarum Jam | 0     |
| 0               | 1               | Putaran searah Jarum Jam     | 0     |
| <i>Output 3</i> | <i>Output 4</i> | Keterangan                   |       |
| 1               | 0               | Putaran Berlawanan Jarum Jam | 0     |
| 0               | 1               | Putaran searah Jarum Jam     | 0     |

Berdasarkan Tabel 4.3 di atas menjelaskan logika pengendalian motor menggunakan dua *Output* (*Output 1* untuk motor bagian kanan depan *Output 2* untuk motor kanan bagian belakang dan *Output 3* untuk motor bagian kiri depan dan *Output 4* untuk motor kiri bagian belakang). Kombinasi sinyal 1–0 akan menghasilkan putaran berlawanan jarum jam, sedangkan kombinasi 0–1 menghasilkan putaran searah jarum jam. Dengan demikian, kombinasi logika ini harus dijaga agar motor berputar sesuai arah yang diinginkan dan menghindari kondisi *error*.

**Tabel 4.4** Pengujian Arah Motor

| Motor Kanan     |                 | Motor Kiri      |                 | Respon Motor | Error |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|-------|
| <i>Output 1</i> | <i>Output 2</i> | <i>Output 3</i> | <i>Output 4</i> |              |       |
| (Depan)         | (Belakang)      | (Depan)         | (Belakang)      |              |       |
| 1               | 0               | 0               | 1               | Mundur       | 0     |
| 0               | 1               | 1               | 0               | Maju         | 0     |

Berdasarkan Tabel 4.4 di atas menunjukkan kombinasi logika *Output* motor kanan dan kiri untuk menentukan respon gerak robot. Ketika kombinasi *Output 1* motor kanan depan (1) aktif dan *Output 2* motor kanan belakang (0) mati, sementara *Output 3* motor kiri depan (0) mati dan *Output 4* motor kiri belakang (1) aktif, maka keempat motor akan berputar ke arah berlawanan yang menghasilkan robot bergerak mundur. Sebaliknya, ketika *Output 1* motor kanan depan (0), *Output 2* motor kanan belakang (1), *Output 3* motor kiri depan (1), dan *Output 4* motor kiri belakang (0), keempat motor akan berputar searah sehingga robot akan berjalan maju.

**Tabel 4.5** Pengukuran Tegangan Driver Motor

| <i>Duty Cycle (%)</i> | <i>Tegangan (Volt)</i> |
|-----------------------|------------------------|
| 10                    | 1.20 V                 |
| 20                    | 2.45 V                 |
| 30                    | 3.70 V                 |
| 40                    | 4.95 V                 |
| 50                    | 6.20 V                 |
| 60                    | 7.45 V                 |
| 70                    | 8.70 V                 |
| 80                    | 9.95 V                 |
| 90                    | 11.20 V                |
| 100                   | 12.45 V                |

#### 4.2.4 Pengujian Motor Penggerak

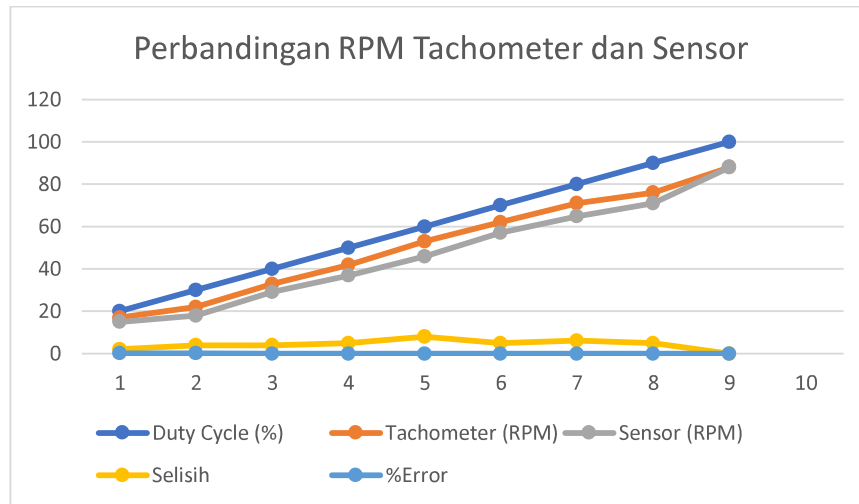
Pada perancangan robot *Lawn Mower* ini menggunakan sensor *hall effect* sebagai pembaca hasil kecepatan roda. Pengujian ini dilakukan setelah melakukan kalibrasi agar memperkecil nilai *Error* pada pembacaan sensor. Untuk mengetahui kesesuaian sensor dengan kecepatan putaran roda asli maka motor diuji menggunakan alat tachometer untuk mengetahui kecepatan asli pada motor lalu dibandingkan dengan hasil pembacaan sensor *hall effect*.



**Gambar 4.5** Hasil Pembacaan Kecepatan Pada LCD dan Tachometer

**Tabel 4.6** Hasil Pengukuran Motor Penggerak

| <i>Duty Cycle</i><br>(%) | Tegangan<br>(Volt) | Tachometer<br>(RPM) | Sensor<br>(RPM) | Selisih<br>(RPM) | <i>Error %</i> |
|--------------------------|--------------------|---------------------|-----------------|------------------|----------------|
| 20                       | 2.52 V             | 17                  | 15              | 2                | 11.8%          |
| 30                       | 3.78 V             | 22                  | 18              | 4                | 7.7%           |
| 40                       | 5.04 V             | 33                  | 29              | 4                | 5.7%           |
| 50                       | 6.30 V             | 42                  | 37              | 5                | 4.5%           |
| 60                       | 7.56 V             | 53                  | 46              | 8                | 3.8%           |
| 70                       | 8.82 V             | 62                  | 57              | 5                | 1.6%           |
| 80                       | 10.08 V            | 71                  | 65              | 6                | 1.4%           |
| 90                       | 11.34 V            | 76                  | 71              | 5                | 1.3%           |
| 100                      | 12.60 V            | 88                  | 88              | 0                | 0%             |



**Gambar 4.6** Grafik Perbandingan RPM

Berdasarkan hasil pengujian yang menguji motor penggerak dengan variasi *Duty Cycle* 20%-100%, yang terdapat pada tabel 4.6 diperoleh bahwa nilai RPM yang terbaca oleh tachometer dan sensor menunjukkan kecenderungan linear terhadap kenaikan *Duty Cycle* yang terlampir pada Gambar 4.6, di mana semakin besar *Duty Cycle*, semakin tinggi pula kecepatan putar motor. Pada *Duty Cycle* rendah (20–40%), *Error* relatif lebih besar, yaitu sekitar 6–12%, karena motor masih belum stabil dan cenderung mengalami kehilangan torsi awal. Seiring bertambahnya *Duty Cycle* (50–80%), nilai *Error* semakin mengecil, hanya berkisar 1–5%, menunjukkan bahwa sensor dan tachometer memiliki kesesuaian yang lebih baik. Pada *Duty Cycle* tinggi (90–100%), dapat dilihat pada Gambar 4.6 grafik pembacaan sensor dan tachometer hampir sama, dengan *Error* mendekati nol, sehingga sistem dapat dikatakan stabil dan akurat dalam mengukur kecepatan motor. Hal ini membuktikan bahwa pada kondisi *Duty Cycle* penuh, baik sensor maupun tachometer mampu merepresentasikan RPM motor dengan sangat baik.

#### 4.2.5 Pengujian Motor Pemotong

Pada pembuatan robot *Lawn Mower* ini menggunakan sensor fc-03 untuk membaca RPM motor pemotong. Pada pengujian ini menggunakan tachometer untuk mengetahui kesesuaian sensor dengan putaran motor yang terbaca pada LCD.

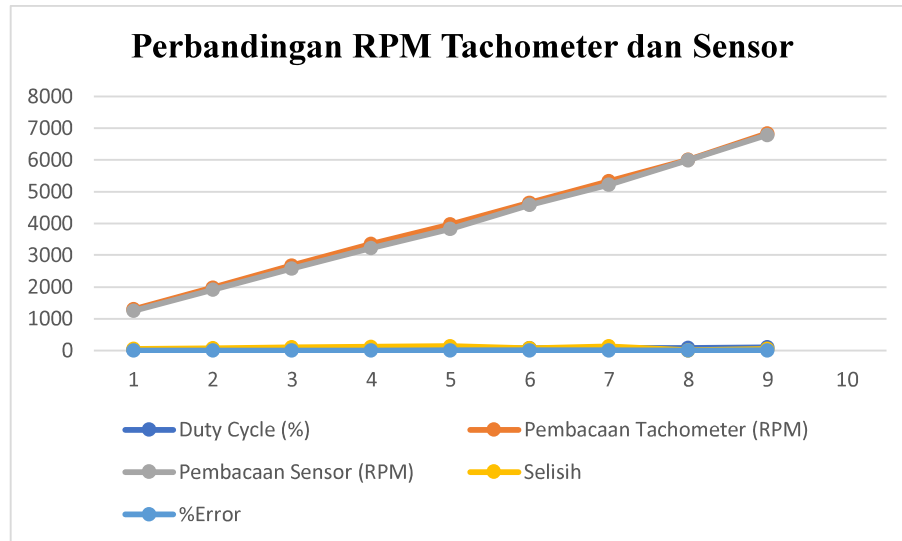


**Gambar 4.7** Pengujian RPM Motor Pemotong Ketika Pakai Logika *Fuzzy*

Berikut adalah hasil dari pengujian tachometer dan sensor FC-03. Pada tachometer terbaca 6001 RPM sedangkan pada pembacaan LCD 5999 RPM yang dapat dilihat pada Gambar 4.7. Hal ini memiliki selisih yang relatif rendah yaitu 2 RPM dan *Error* hanya sekitar 0,033%. Nilai *Error* yang sangat kecil ini membuktikan jika sensor FC-03 mampu memberikan pengukuran yang cukup akurat dengan pengukuran tachometer.

**Tabel 4.7** Hasil Pengujian Pada Motor Pemotong

| <i>Duty Cycle</i><br>(%) | Pembacaan<br>Tachometer (RPM) | Pembacaan Sensor<br>(RPM) | Selisih<br>(RPM) | <i>Error</i><br>% |
|--------------------------|-------------------------------|---------------------------|------------------|-------------------|
| 19                       | 1299                          | 1250                      | 49               | 3.77%             |
| 29                       | 1982                          | 1910                      | 72               | 3.63%             |
| 39                       | 2666                          | 2570                      | 96               | 3.60%             |
| 49                       | 3349                          | 3230                      | 119              | 3.55%             |
| 58                       | 3965                          | 3833                      | 132              | 3.33%             |
| 68                       | 4648                          | 4590                      | 58               | 1.25%             |
| 78                       | 5331                          | 5210                      | 121              | 2.27%             |
| 88                       | 6001                          | 5999                      | 2                | 0.03%             |
| 100                      | 6835                          | 6788                      | 47               | 0.69%             |



**Gambar 4.8** Grafik Pengujian Pada Motor Pemotong

Berdasarkan grafik data pengujian *encoder* motor pemotong nilai selisih terbesar pada PWM 19 yaitu sebesar 3.77% yang dapat dilihat pada Tabel 4.7, sedangkan untuk rata-rata nilai keseluruhan sebesar 2.46%. Hal ini menunjukkan bahwa sistem pembacaan sensor semakin akurat pada kecepatan tinggi sesuai grafik pada Gambar 4.8, di mana perbedaan antara tachometer dan sensor semakin kecil. Grafik ini menggambarkan performa pengukuran sensor yang stabil dan responsif terhadap variasi kecepatan motor, dengan kesalahan pengukuran rata-rata dibawah 3%, yang menunjukkan sistem pengendalian RPM bekerja dengan baik. Faktor yang mempengaruhi nilai *Error* pada pembacaan *encoder* dikarenakan keterbatasan kemampuan pada *encoder* tersebut.

#### 4.2.6 Pengujian Baterai

Pada perancangan robot *Lawn Mower* membutuhkan daya untuk menjalankan alat ini. Dalam penelitian ini baterai yang digunakan adalah VRLA 12V 8Ah. pengujian baterai menggunakan multimeter untuk mengetahui tegangan pada baterai yang dapat dilihat pada Gambar 4.9.



**Gambar 4. 9** Pengujian Tegangan Baterai

**Tabel 4.8** Pengukuran Tegangan Baterai

| <b>Waktu Pemakaian Tegangan (Volt) Penurunan (Volt)</b> |         |        |
|---------------------------------------------------------|---------|--------|
| 0 Menit                                                 | 12.87 V | 0.0 V  |
| 30 Menit                                                | 12.55 V | 0.32 V |
| 45 Menit                                                | 12.40 V | 0.47 V |
| 60 Menit                                                | 12.25 V | 0.62 V |
| 90 Menit                                                | 12.10 V | 0.77 V |
| 120 Menit                                               | 12.08 V | 0.75 V |

Pengujian ini dilakukan dengan baterai yang telah di *charge* penuh dan menghasilkan tegangan sebesar 12,87 Volt mengalami penurunan secara

bertahap selama pengoperasian robot *Lawn Mower* yang tertera pada tabel 4.8. Setelah 30 menit penggunaan tegangan baterai turun menjadi 12.55 Volt, kemudian menurun hingga 12.08 V pada penggunaan 120 menit. Penurunan tegangan ini disebabkan baterai mengalami *discharge* alami akibat beban kerja yang dijalankan oleh sistem robot *Lawn Mower*. Pola penurunan yang stabil menandakan bahwa sistem kelistrikan bekerja efisien tanpa adanya lonjakan arus yang signifikan.

#### 4.2.7 Pengujian Robot *Lawn Mower*

Sebelum melakukan pengujian robot *Lawn Mower* terlebih dahulu dilakukan pengujian kecepatan *Lawn Mower* secara parsial yang meliputi pengujian dengan *Duty Cycle* 19% sampai 100%. Pengujian dilakukan pada medan rata dan medan menanjak dengan kemiringan 5°, 10°, 15°. Pengujian dilakukan dengan kondisi dengan beban pemotongan rumput dengan jarak 1.2 meter. Untuk mengetahui kecepatan pengujian pada robot *Lawn Mower* dapat menggunakan persamaan 2.1.

Berikut adalah contoh hasil perhitungan :

Berapakah kecepatan robot *Lawn Mower* pada pengujian dengan *Duty Cycle* 100% dengan jarak 1.2 meter membutuhkan waktu 12 detik.

$$v = \frac{1.2}{12}$$

$$v = 0.10 \text{ m/s}$$

##### 4.2.7.1 Pengujian Pada Medan Rata

Pada pengujian robot *Lawn Mower* pada medan yang rata dengan beban pemotongan rumput menghasilkan rata-rata kecepatan sebesar 0.10 m/s, sedangkan pengujian tanpa beban mendapatkan nilai rata rata kecepatan yang lebih cepat sebesar 0.11 m/s. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.9.



**Gambar 4.10** Pengujian Pada Medan Yang Rata Sebelum Memotong

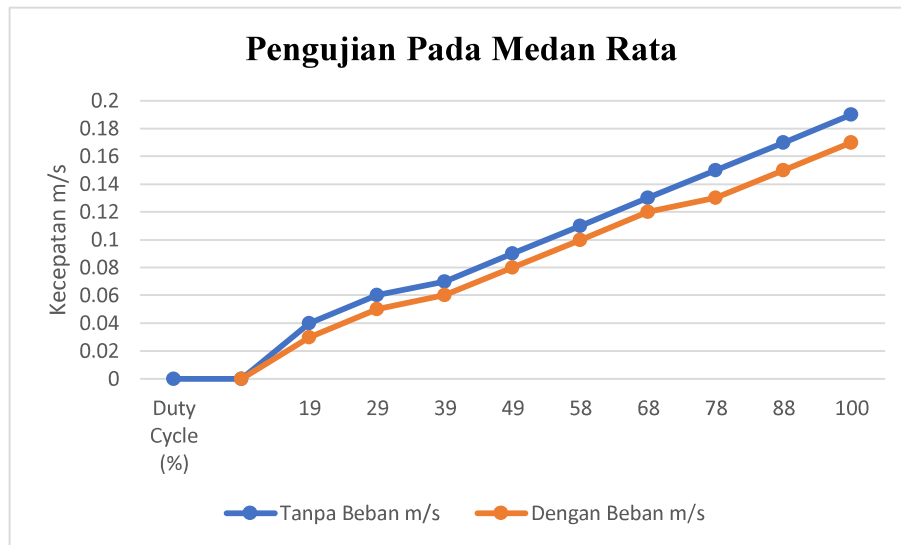


**Gambar 4.11** Pengujian Pada Medan Rata Setelah Memotong Rumput

**Tabel 4.9** Hasil Pengujian *Lawn Mower* Pada Medan Rata

| <i>Duty Cycle (%)</i> | <b>Kecepatan (m/s)</b> |                     |
|-----------------------|------------------------|---------------------|
|                       | <b>Tanpa Beban</b>     | <b>Dengan Beban</b> |
| 19                    | 0.04                   | 0.03                |
| 29                    | 0.06                   | 0.05                |
| 39                    | 0.07                   | 0.06                |
| 49                    | 0.09                   | 0.08                |
| 58                    | 0.11                   | 0.10                |
| 68                    | 0.13                   | 0.12                |

|     |      |      |
|-----|------|------|
| 78  | 0.15 | 0.13 |
| 88  | 0.17 | 0.15 |
| 100 | 0.19 | 0.17 |



**Gambar 4.12** Grafik Hasil Pengujian Pada Medan Rata

Berdasarkan hasil pengujian, dapat dilihat bahwa nilai *Duty Cycle* berbanding lurus dengan peningkatan kecepatan robot *Lawn Mower* yang ada pada tabel 4.9. Pada *Duty Cycle* sebesar 19%, kecepatan yang dihasilkan hanya sekitar 0.04 m/s tanpa beban pemotongan, sedangkan pada *Duty Cycle* maksimum 100%, kecepatan meningkat hingga 0.19 m/s. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai *Duty Cycle* yang diberikan pada motor DC, maka semakin tinggi pula tegangan efektif yang diterima motor, sehingga kecepatan putarannya bertambah secara signifikan. Pada pengujian ini dilakukan dengan adanya beban pemotongan dan tanpa beban pemotongan dalam kondisi aktif dan tidaknya motor pemotong, hal ini dapat mempengaruhi kinerja robot *Lawn Mower* akibat adanya hambatan dan gesekan seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.9.

#### 4.2.7.2 Pengujian Pada Medan Menanjak

Pengujian pada medan menanjak dilakukan dengan 2 percobaan yaitu tanpa beban pemotongan dan dengan beban pemotongan sama seperti pengujian pada medan rata, pada pengujian ini dibagi menjadi tiga bagian

yaitu pada kemiringan,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ . Untuk jalur kemiringannya memiliki panjang 1.2 meter, Dengan kemiringan yang sudah dihitung dengan busur derajat.



**Gambar 4.13** Pengukuran derajat kemiringan pada papan



**Gambar 4.14** Pengujian Pada Medan Menanjak

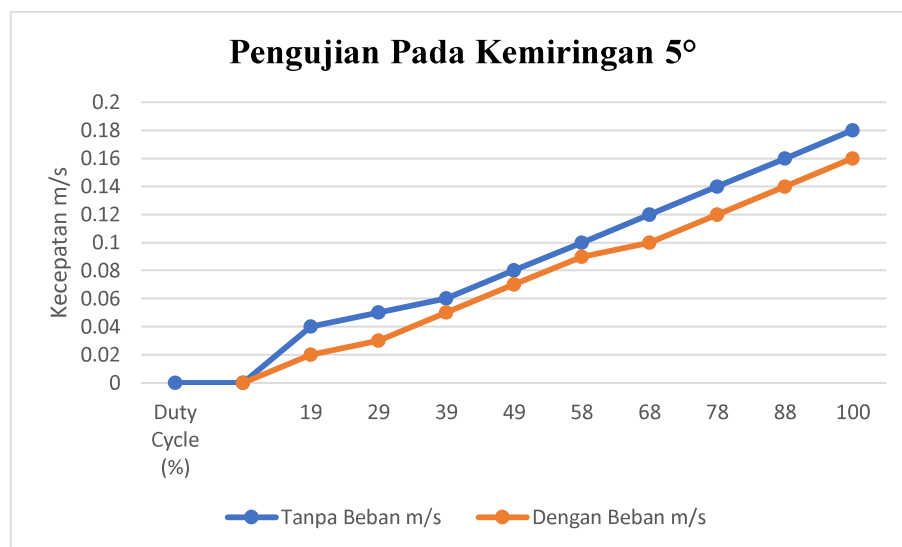
a. Tanjakan dengan kemiringan  $5^\circ$

Pada pengujian di medan tanjakan pada kemiringan  $5^\circ$  dengan beban pemotongan rumput rata rata sebesar 0.09 m/s, sedangkan tanpa beban pemotongan rata rata kecepatannya sebesar 0.10 m/s. Hasil pengukuran masing-masing PWM dapat dilihat pada Tabel 4.10.

**Tabel 4.10** Pengujian Pada Kemiringan  $5^\circ$

| <i>Duty Cycle (%)</i> | <b>Kecepatan (m/s)</b> |                     |
|-----------------------|------------------------|---------------------|
|                       | <b>Tanpa Beban</b>     | <b>Dengan Beban</b> |
| 19                    | 0.04                   | 0.02                |
| 29                    | 0.05                   | 0.03                |

|     |      |      |
|-----|------|------|
| 39  | 0.06 | 0.05 |
| 49  | 0.08 | 0.07 |
| 58  | 0.10 | 0.09 |
| 68  | 0.12 | 0.10 |
| 78  | 0.14 | 0.12 |
| 88  | 0.16 | 0.14 |
| 100 | 0.18 | 0.16 |



**Gambar 4.15** Grafik Pengujian Pada Kemiringan 5°

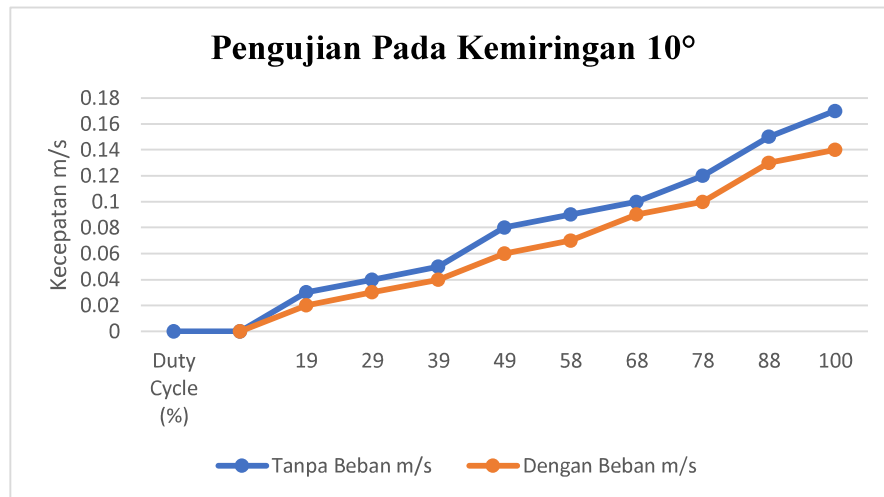
b. Tanjakan dengan kemiringan 10°

Pada pengujian di medan tanjakan pada kemiringan 10° dengan beban pemotongan rumput rata rata sebesar 0.09 m/s, sedangkan tanpa beban pemotongan rata rata kecepatannya sebesar 0.08 m/s. Hasil pengukuran masing-masing PWM dapat dilihat pada tabel 4.11.

**Tabel 4.11** Hasil Pengukuran Kecepatan Pada Kemiringan 10°

| <i>Duty Cycle (%)</i> | <b>Kecepatan (m/s)</b> |                     |
|-----------------------|------------------------|---------------------|
|                       | <b>Tanpa Beban</b>     | <b>Dengan Beban</b> |
| 19                    | 0.03                   | 0.02                |
| 29                    | 0.04                   | 0.03                |
| 39                    | 0.05                   | 0.04                |

|     |      |      |
|-----|------|------|
| 49  | 0.08 | 0.06 |
| 58  | 0.09 | 0.07 |
| 68  | 0.10 | 0.09 |
| 78  | 0.12 | 0.10 |
| 88  | 0.15 | 0.13 |
| 100 | 0.17 | 0.14 |



**Gambar 4.16** Grafik Pengujian Pada Kemiringan 10°

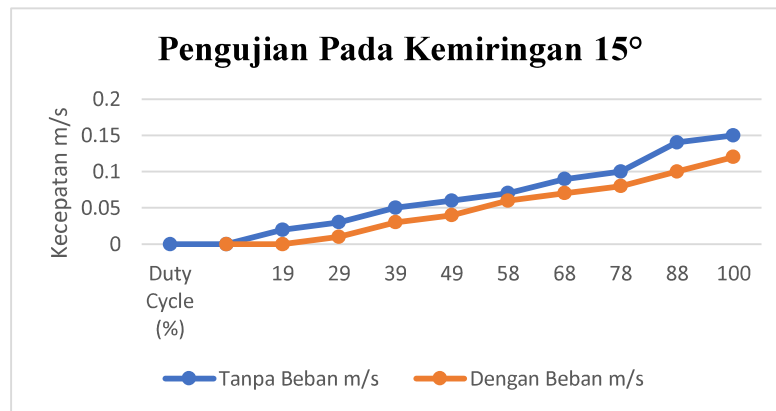
c. Tanjakan dengan kemiringan 15°

Pada pengujian di medan tanjakan pada kemiringan 15° dengan beban pemotongan rumput rata rata sebesar 0.08 m/s, sedangkan tanpa beban pemotongan rata rata kecepatannya sebesar 0.10 m/s. Hasil pengukuran masing-masing PWM dapat dilihat pada Tabel 4.12.

**Tabel 4.12** Hasil Pengukuran Kecepatan Pada Kemiringan 15°

| <i>Duty Cycle (%)</i> | <b>Kecepatan (m/s)</b> |                     |
|-----------------------|------------------------|---------------------|
|                       | <b>Tanpa Beban</b>     | <b>Dengan Beban</b> |
| 19                    | 0.02                   | 0.00                |
| 29                    | 0.03                   | 0.01                |
| 39                    | 0.05                   | 0.03                |
| 49                    | 0.06                   | 0.04                |

|     |      |      |
|-----|------|------|
| 58  | 0.07 | 0.06 |
| 68  | 0.09 | 0.07 |
| 78  | 0.10 | 0.08 |
| 88  | 0.14 | 0.10 |
| 100 | 0.15 | 0.12 |



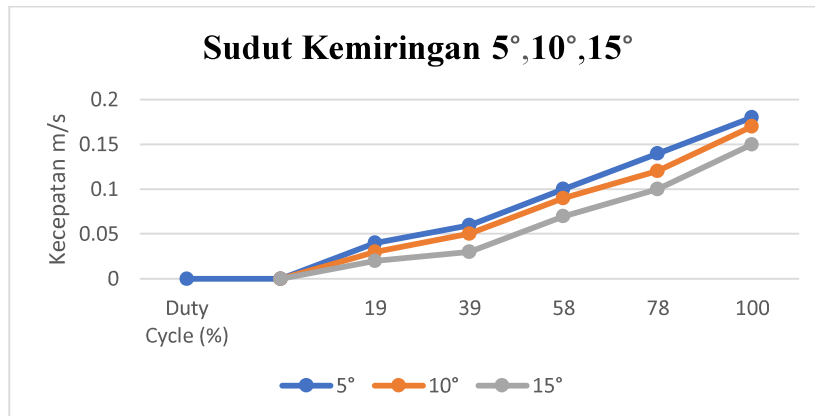
**Gambar 4.17** Grafik Pengujian Pada Kemiringan 15°

d. Karakteristik Duty Cycle dan Kecepatan Terhadap Drajat Kemiringan

Pengujian robot *Lawn Mower* pada medan menanjak dengan variasi kemiringan 5°, 10°, hingga 15° menunjukkan bahwa sudut tanjakan sangat berpengaruh terhadap kecepatan dan kinerja motor, perbandingan ini hanya diambil saat kondisi robot *Lawn Mower* dengan beban pemotongan. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.13.

**Tabel 4.13** Perbandingan Pada Sudut Kemiringan

| <i>Duty Cycle</i> (%) | Sudut Kemiringan |      |      |
|-----------------------|------------------|------|------|
|                       | 5°               | 10°  | 15°  |
| 19                    | 0.04             | 0.03 | 0.02 |
| 39                    | 0.05             | 0.04 | 0.03 |
| 58                    | 0.10             | 0.09 | 0.07 |
| 78                    | 0.14             | 0.12 | 0.10 |
| 100                   | 0.18             | 0.17 | 0.15 |



**Gambar 4.18** Grafik Hasil Perbandingan Antar Sudut

Pada kemiringan  $5^\circ$ , rata-rata kecepatan robot relatif stabil di antara semua sudut pengujian. Rata rata kecepatan mencapai 0.10 m/s tanpa beban dan 0.09 m/s dengan beban, hanya memiliki selisih 0.01 m/s di seluruh *duty cycle*. Nilai *error* yang dihasilkan relatif kecil, berkisar 10-15% dari kondisi medan datar hal ini disebabkan karena gaya gravitasi yang masih rendah, sehingga robot *Lawn Mower* mampu bergerak secara efisien. Secara keseluruhan pada kemiringan  $5^\circ$ , sistem bekerja optimal dan efisien,

Saat kemiringan meningkat ke  $10^\circ$ , pengaruh beban mulai terlihat. Rata - rata kecepatan turun menjadi sekitar 0.09 m/s ketika tanpa beban pemotongan, sedangkan dengan beban pemotongan menjadi 0.08 m/s. Nilai *error* yang dihasilkan sekitar 15-25 % dari kondisi datar, yang menunjukkan bahwa gaya gravitasi mulai memberikan pengaruh namun motor masih mampu menggerakkan robot *Lawn Mower*.

Pada kemiringan  $15^\circ$ , performa menurun dengan rata-rata kecepatan yang dihasilkan hanya mencapai 0.08 m/s ketika tanpa beban pemotongan, sedangkan ketika dengan beban pemotongan menurun menjadi 0.06 m/s, bahkan pada *duty cycle* 19% robot *Lawn Mower* hanya bergerak dengan kecepatan 0.02 m/s tanpa beban pemotongan dan ketika diberi beban robot *Lawn Mower* tidak dapat bergerak.

#### 4.2.8 Pengujian Parsial Open Loop

Pada pengujian ini, mendapatkan variasi kecepatan dengan *duty cycle* yang konstan yang dibutuhkan untuk mencapai set point pada robot *Lawn Mower*, nilai ini hanya diambil pada saat kondisi robot *Lawn Mower* dengan beban pemotongan.

**Tabel 4.14** Pengujian Opeen Loop

| Sudut Kemiringan | <i>Duty Cycle</i> % | Kecepatan m/s |
|------------------|---------------------|---------------|
| 5°               | 68                  | 0.10          |
| 10°              | 78                  | 0.10          |
| 15°              | 88                  | 0.11          |

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon kecepatan robot *Lawn Mower* ketika diberi nilai *duty cycle* konstan pada berbagai sudut kemiringan. Pengujian ini bertujuan untuk melihat hubungan antara beban kemiringan terhadap kebutuhan *duty cycle* agar dapat mencapai kecepatan mendekati set point, yaitu sekitar 0.10–0.11 m/s.

Berdasarkan Tabel 4.14, terlihat bahwa semakin besar sudut kemiringan, semakin tinggi nilai *duty cycle* yang diperlukan untuk mencapai kecepatan yang sama. Pada kemiringan 5°, robot hanya membutuhkan *duty cycle* sebesar 68% untuk mencapai kecepatan 0.10 m/s. Ketika sudut kemiringan meningkat menjadi 10°, *duty cycle* yang dibutuhkan naik menjadi 78% untuk mempertahankan kecepatan yang sama. Pada sudut 15°, *duty cycle* yang diperlukan menjadi 88%, dan kecepatan yang dicapai sedikit meningkat menjadi 0.11 m/s.

#### 4.2.9 Pengujian Pemotongan Rumput

Pada pengujian ini, robot *Lawn Mower* di letakkan di lapangan atau taman yang memiliki rumput. Sebelum melakukan pemotongan rumput terlebih dahulu mengukur tinggi rumput untuk mengetahui apakah robot *Lawn Mower* bekerja sesuai keinginan.



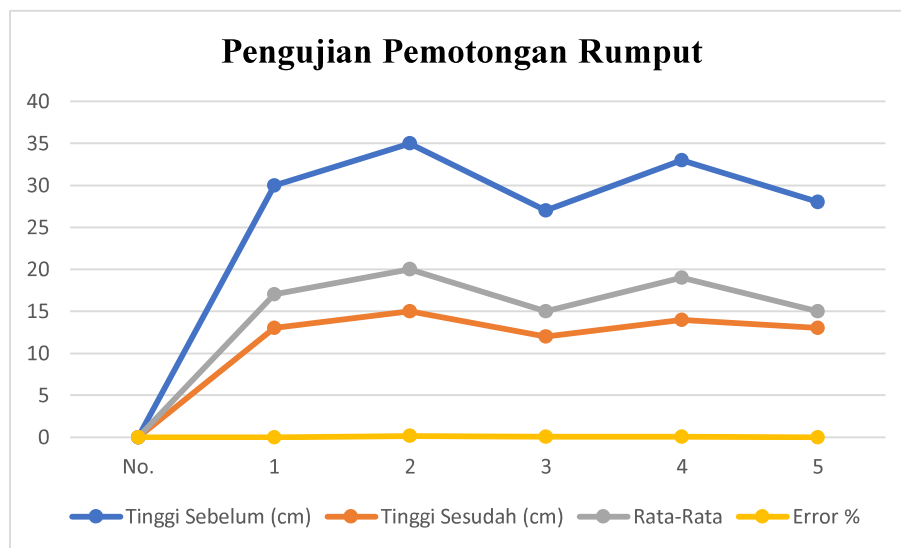
**Gambar 4.19** Ukuran Rumput Sebelum Pemotongan



**Gambar 4.20** Hasil Setelah Pemotongan

Tabel 4.15 Pengujian Pemotongan Rumput

| No. | Tinggi Sebelum (cm) | Tinggi Sesudah (cm) | Rata-rata Rumput Terpotong (cm) | Error (%) |
|-----|---------------------|---------------------|---------------------------------|-----------|
| 1.  | 30                  | 13                  | 17                              | 0.00%     |
| 2.  | 35                  | 15                  | 20                              | 15.38%    |
| 3.  | 27                  | 12                  | 15                              | 7.69%     |
| 4.  | 33                  | 14                  | 19                              | 7.69%     |
| 5.  | 28                  | 13                  | 15                              | 0.00%     |



Gambar 4.21 Grafik Pengujian Pemotongan Rumput

Berdasarkan hasil pengujian potong rumput yang ditampilkan pada Gambar 4.19 menunjukkan tinggi rumput sebelum pemotongan sekitar 30 cm, dan Gambar 4.20 adalah contoh rumput yang sudah terpotong memiliki ketinggian sekitar 13-15 cm. Sedangkan Tabel 4.15 adalah pengujian yang dilakukan pada rumput dan memiliki hasil yang relatif baik dan *Error* yang cukup kecil. Pada pengujian pemotongan memiliki set point sekitar 13 cm dan dapat diperoleh rata-rata *Error* sebesar 6,95% yang dapat di lihat pada Tabel 4.15. Nilai ini menunjukkan bahwa robot *Lawn Mower* dapat bekerja sesuai dengan target yang ditentukan.

Hasil pemotongan terdapat variasi ukuran hal ini dikarenakan kondisi rumput dan kondisi medan yang bervariasi yang dapat mempengaruhi gaya gesek antara pisau potong dan batang rumput, perbedaan torsi dan kecepatan motor pemotong dapat mempengaruhi ukuran potongan, hal ini disebabkan fluktuasi kecil yang dapat terjadi ketika pemotongan berlangsung. Kestabilan posisi robot dapat mempengaruhi hasil pemotongan terutama saat medan yang miring dapat membuat pisau pemotong tidak sejajar dengan permukaan tanah.

#### **4.2.10 Pengujian Hasil Pemotongan Rumput di Lahan 50m<sup>2</sup>**

Pengujian dilakukan pada lahan seluas 50 m<sup>2</sup> dengan kondisi tinggi rumput bervariasi dari 30-35 cm dan kondisi medan yang bergelombang dengan kemiringan yang bervariasi.



**Gambar 4.22** Pengujian Pada Lahan 50m<sup>2</sup>

**Tabel 4.16** Hasil Pemotongan

| Parameter Uji     | Hasil                    |
|-------------------|--------------------------|
| Waktu Operasi     | 60 Menit                 |
| Area Tercakup     | 80 %                     |
| Konsumsi Baterai  | 50 % (dari kondisi full) |
| Kualitas Potongan | 80 % (potongan bagus)    |

Berdasarkan Tabel 4.16 pengujian pemotongan rumput pada lahan 50 m<sup>2</sup> yang dapat dilihat pada Gambar 4.22, robot *Lawn Mower* mampu beroperasi selama 60 menit dengan area tercapuk 80%. Hasil ini menunjukkan robot *Lawn Mower* sudah dapat melakukan pemotongan pada sebagian besar area, namun masih terdapat sekitar 20% area yang belum tercapuk, yang umumnya disebabkan oleh pola lintasan yang belum optimal, *overlap* lintasan, atau area sudut/pinggir yang tidak terlewati. Dari sisi energi, konsumsi baterai mencapai 50% dari kondisi penuh, sehingga dapat disimpulkan penggunaan daya tergolong cukup efisien untuk durasi operasi 1 jam, meskipun konsumsi dapat meningkat ketika robot menghadapi beban rumput lebih tebal atau permukaan lahan yang tidak rata. Selain itu, kualitas potongan mencapai 80% yang menandakan hasil pemotongan relatif rapi dan merata, namun masih terdapat sebagian kecil area dengan potongan kurang maksimal yang bisa dipengaruhi oleh variasi ketebalan rumput, tinggi pisau, atau perubahan kecepatan sesaat. Secara keseluruhan, robot telah menunjukkan performa yang baik, tetapi peningkatan dapat difokuskan pada optimasi jalur agar coverage mendekati 100% serta penyesuaian sistem pemotongan untuk meningkatkan kualitas potongan pada area yang tersisa.

#### 4.3 Hasil Integrasi *Lawn Mower* dengan Pemrograman *Fuzzy*

Setelah mendapatkan hasil pengujian pada robot *Lawn Mower* dan menentukan nilai *tuning* aktuator pada *Lawn Mower* untuk mengontrol kecepatan dengan metode logika *Fuzzy* dengan melakukan pengujian *Lawn Mower* dengan program yang telah terintegrasi dengan logika *Fuzzy* untuk melihat keberhasilan program pada motor penggerak. Pengujian dilakukan pada medan total sepanjang 1.2 meter

pada detik 1 - 3 medan rata kemudian robot *Lawn Mower* akan menanjak pada kemiringan bervariasi  $5^\circ, 10^\circ, 15^\circ$  dengan keadaan saat memotong.

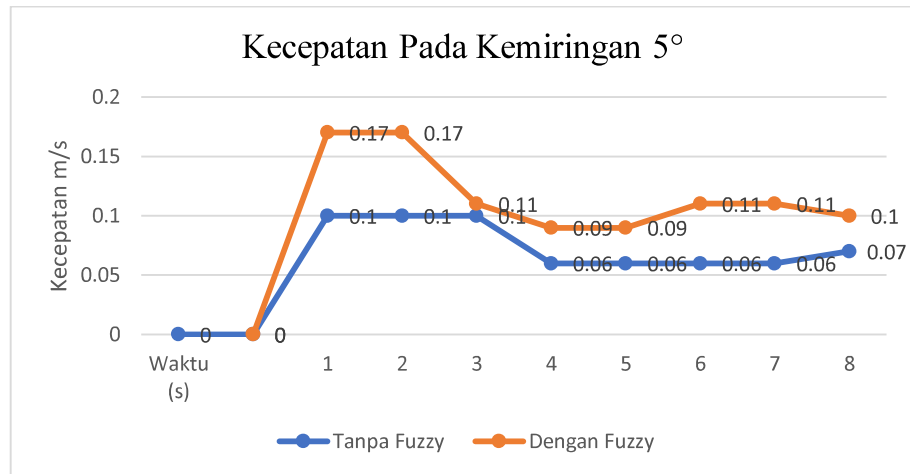


**Gambar 4.23** Lintasan Ketika Pengujian

a. Tanjakan kemiringan  $5^\circ$

**Tabel 4.17** Hasil Pengujian Kontrol Kecepatan Pada *Lawn Mower* Pada Kemiringan  $5^\circ$

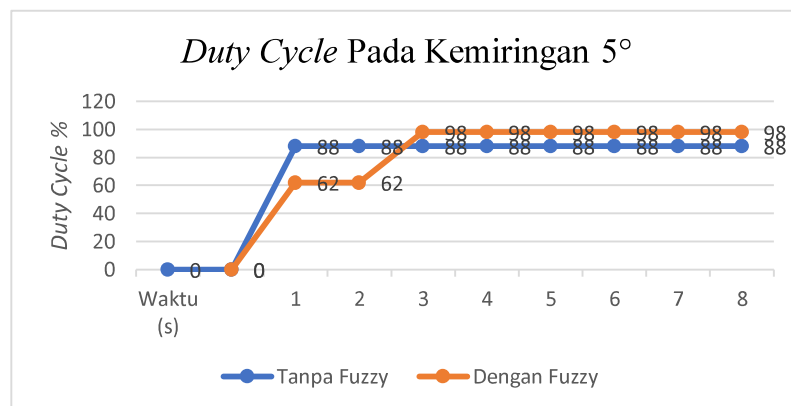
| Waktu (s) | Kecepatan (m/s)    |                     | Error % |
|-----------|--------------------|---------------------|---------|
|           | Tanpa <i>Fuzzy</i> | Dengan <i>Fuzzy</i> |         |
| 1         | 0.10               | 0.17                | 70%     |
| 2         | 0.10               | 0.17                | 70%     |
| 3         | 0.10               | 0.12                | 20%     |
| 4         | 0.08               | 0.12                | 20%     |
| 5         | 0.08               | 0.12                | 20%     |
| 6         | 0.08               | 0.11                | 10%     |
| 7         | 0.08               | 0.10                | 0%      |
| 8         | 0.08               | 0.10                | 0%      |



**Gambar 4.24** Grafik Pengujian Kontrol Kecepatan Pada *Lawn Mower* Pada Kemiringan 5°

**Tabel 4.18** Hasil Perubahan PWM Terhadap Kecepatan *Lawn Mower* Pada Kemiringan 5°

| Waktu (s) | Duty Cycle (%) |              |
|-----------|----------------|--------------|
|           | Tanpa Fuzzy    | Dengan Fuzzy |
| 1         | 68             | 62           |
| 2         | 68             | 62           |
| 3         | 68             | 98           |
| 4         | 68             | 98           |
| 5         | 68             | 98           |
| 6         | 68             | 98           |
| 7         | 68             | 98           |
| 8         | 68             | 98           |



**Gambar 4.25** Grafik Perubahan *Duty Cycle* Terhadap Waktu Dan Kecepatan Pada Kemiringan 5°

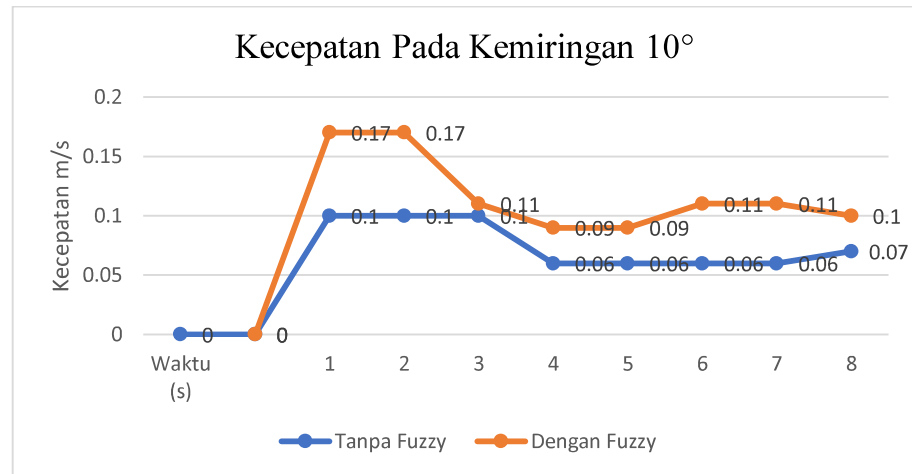
Dari pengujian robot *Lawn Mower* pada kemiringan  $5^\circ$ , diperoleh bahwa sistem kendali kecepatan berbasis logika *Fuzzy* mampu menyesuaikan nilai *Duty Cycle* untuk menjaga kestabilan kecepatan robot *Lawn Mower*. Pada kondisi awal pengujian pada detik 1 - 3 kecepatan robot *Lawn Mower* tanpa kendali logika *Fuzzy* 0.10 m/s, sedangkan dengan kendali logika *Fuzzy* robot langsung mencapai kecepatan yang lebih tinggi yaitu 0.17 m/s Hal ini menyebabkan nilai error yang cukup besar 35% pada awal pengujian akibat terjadinya *overshoot*, namun kondisi tersebut menunjukkan bahwa logika *Fuzzy* memberikan tenaga awal yang lebih besar untuk mengatasi gaya gravitasi saat menanjak..

Saat adanya beban pemotongan dan gaya gravitasi meningkat, kecepatan dengan logika *fuzzy* sempat menurun namun segera distabilkan oleh *fuzzy* melalui *duty cycle* secara otomatis dari 62% menjadi 98% berbeda dengan sistem tanpa *fuzzy* yang merespon lebih lambat dan tidak adaptif terhadap perubahan segala kondisi.

b. Tanjakan pada kemiringan  $10^\circ$

**Tabel 4.19** Hasil Pengujian Kontrol Kecepatan Pada *Lawn Mower* Pada Kemiringan  $10^\circ$

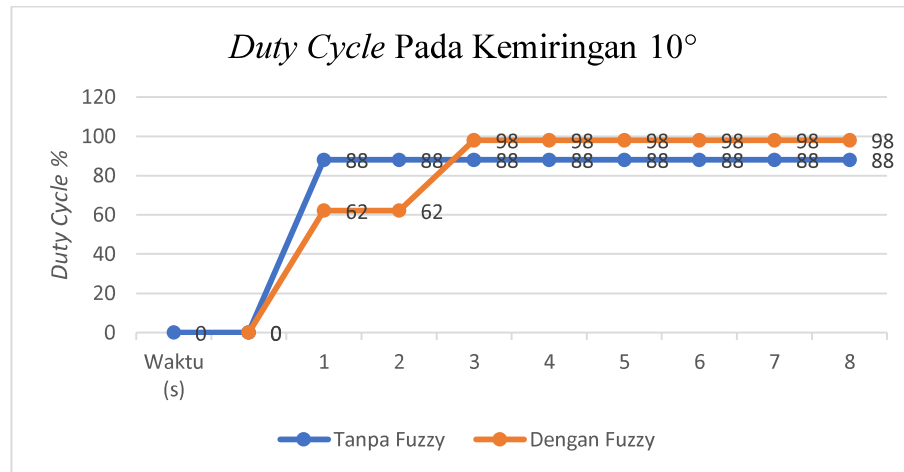
| Waktu (s) | Kecepatan (m/s)    |                     | Error % |
|-----------|--------------------|---------------------|---------|
|           | Tanpa <i>Fuzzy</i> | Dengan <i>Fuzzy</i> |         |
| 1         | 0.10               | 0.17                | 70%     |
| 2         | 0.10               | 0.17                | 70%     |
| 3         | 0.10               | 0.13                | 30%     |
| 4         | 0.07               | 0.11                | 10%     |
| 5         | 0.07               | 0.11                | 10%     |
| 6         | 0.07               | 0.11                | 10%     |
| 7         | 0.07               | 0.10                | 0%      |
| 8         | 0.07               | 0.10                | 0%      |



**Gambar 4.26** Grafik Pengujian Kontrol Kecepatan Pada *Lawn Mower* Pada Kemiringan 10°

**Tabel 4.20** Hasil Perubahan PWM Terhadap Kecepatan *Lawn Mower* Pada Kemiringan 10°

| Waktu (s) | Duty Cycle (%) |              |
|-----------|----------------|--------------|
|           | Tanpa Beban    | Dengan Beban |
| 1         | 78             | 62           |
| 2         | 78             | 62           |
| 3         | 78             | 98           |
| 4         | 78             | 98           |
| 5         | 78             | 98           |
| 6         | 78             | 98           |
| 7         | 78             | 98           |
| 8         | 78             | 98           |



**Gambar 4.27** Grafik Perubahan *Duty Cycle* Terhadap Waktu Dan Kecepatan Pada Kemiringan 10°

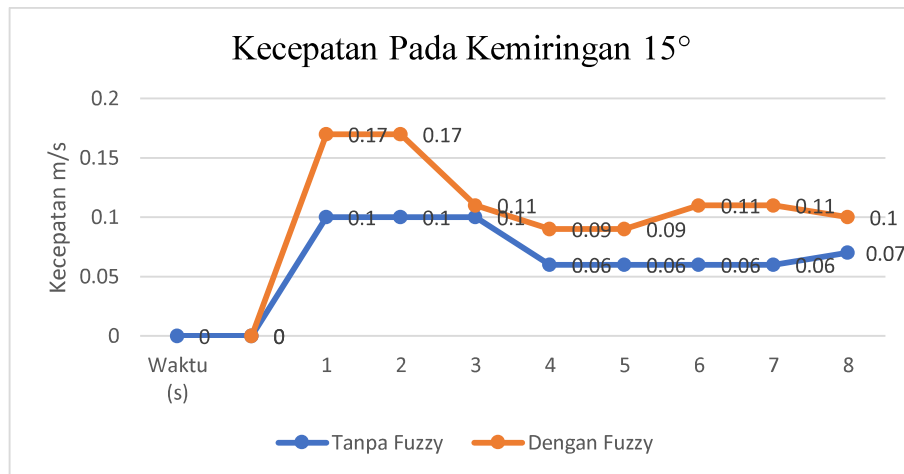
Berdasarkan Tabel 4.18 hasil pengujian, terlihat bahwa pada kondisi awal pengujian detik 1 - 2, sistem dengan kendali logika *fuzzy* menghasilkan kecepatan yang lebih tinggi dibandingkan sistem tanpa *fuzzy*, yaitu sebesar 0.17 m/s. Kondisi ini menyebabkan nilai error yang cukup besar, yaitu 35%, akibat terjadinya *overshoot* terhadap set point 0.10 m/s. Hal ini menunjukkan bahwa kontrol *fuzzy* memberikan respon awal yang agresif untuk mengatasi beban kemiringan. Pada pengujian di detik akhir 6 - 8 kecepatan dengan logika *fuzzy* stabil pada kisaran 0.10 m/s meskipun *duty cycle* tinggi yaitu 98%. Sebaliknya, kecepatan yang tidak menggunakan logika *fuzzy* baru mencapai nilai maksimal sekitar 0.07 m/s di detik 8. Hasil ini dapat dilihat bahwa logika *fuzzy* efektif untuk menyesuaikan kebutuhan *duty cycle* yang dibutuhkan oleh robot *Lawn Mower*.

c. Tanjakan Pada Kemiringan 15°

**Tabel 4.21** Hasil Pengujian Kontrol Kecepatan Pada *Lawn Mower* Pada Kemiringan 15°

| Waktu (s) | Kecepatan (m/s)    |                     | Error % |
|-----------|--------------------|---------------------|---------|
|           | Tanpa <i>Fuzzy</i> | Dengan <i>Fuzzy</i> |         |
| 1         | 0.10               | 0.17                | 70%     |
| 2         | 0.10               | 0.17                | 70%     |
| 3         | 0.10               | 0.11                | 10%     |
| 4         | 0.06               | 0.09                | 10%     |
| 5         | 0.06               | 0.09                | 10%     |

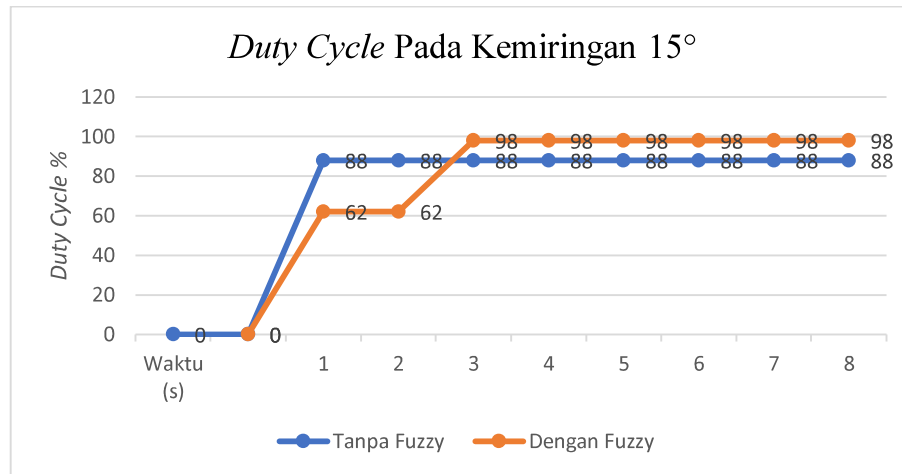
|   |      |      |     |
|---|------|------|-----|
| 6 | 0.06 | 0.11 | 10% |
| 7 | 0.06 | 0.11 | 10% |
| 8 | 0.07 | 0.10 | 0%  |



**Gambar 4.28** Grafik Kontrol Kecepatan Pada *Lawn Mower* Pada Kemiringan 15°

**Tabel 4.22** Hasil Perubahan PWM Terhadap Kecepatan *Lawn Mower* Pada Kemiringan 15°

| Waktu (s) | Duty Cycle (%)     |                     |
|-----------|--------------------|---------------------|
|           | Tanpa <i>Fuzzy</i> | Dengan <i>Fuzzy</i> |
| 1         | 88                 | 62                  |
| 2         | 88                 | 62                  |
| 3         | 88                 | 98                  |
| 4         | 88                 | 98                  |
| 5         | 88                 | 98                  |
| 6         | 88                 | 98                  |
| 7         | 88                 | 98                  |
| 8         | 88                 | 98                  |



**Gambar 4.29** Grafik Perbandingan Kecepatan Pada Tanjakan 15°

Dari pengujian robot *Lawn Mower* pada kemiringan 15°, adanya peningkatan kemiringan permukaan menyebabkan penurunan performa kecepatan dibanding kemiringan 5° dan 10°. Kecepatan robot *Lawn Mower* mampu langsung mencapai nilai relatif tinggi, yaitu sekitar 0.17 m/s, sementara kondisi tanpa *Fuzzy* dari 0.10 m/s pada detik 1 - 3. Perbedaan ini menunjukkan bahwa sistem kendali *Fuzzy* bekerja untuk mengimbangi hambatan awal tanjakan dengan menaikkan *duty cycle* sejak detik pertama agar robot tetap mampu bergerak.

Pada pertengahan pengujian pada detik 4 - 5, kecepatan mulai beradaptasi hingga 0.09 m/s. Penurunan ini terjadi akibat meningkatnya komponen gaya gravitasi yang harus dilawan motor pada sudut 15° serta tambahan beban pemotongan. Untuk mengatasi kondisi tersebut, *duty cycle* dinaikkan secara otomatis dari 62% menjadi 98%, sehingga kecepatan kembali meningkat dan stabil di kisaran 0.10 m/s hingga akhir pengujian.