

SISTEM NAVIGASI PADA PROTOTYPE ROBOT PEMOTONG RUMPUT MENGGUNAKAN METODE TRACKING PATH MENGHINDARI OBSTACLE STATIS

Catur Suko Sarwono¹, Mohamad Agung Prawira Negara², Okman Nurochim³

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik, Universitas Jember

Jl. Kalimantan 37, Jember 68121

E-mail: catur.teknik@unej.ac.id, mohagungpn@gmail.com, nurochimokman@gmail.com.

Abstrak — Kemajuan teknologi dibidang robotika membuat banyak kegiatan manusia yang dapat dilakukan secara otomatis oleh robot. Salah satu kegiatan yang dapat dilakukan oleh robot adalah proses pemotongan rumput menggunakan autonomous mobile robot yang mampu berperilaku secara mandiri. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah sistem navigasi robot pemotong rumput yang dapat melakukan tugasnya secara mandiri dalam memotong rumput. Sensor yang digunakan pada penelitian ini yaitu rotary encoder dan sensor ultrasonik. Pengujian sensor rotary encoder pada gerak lurus didapatkan tingkat keakuratan dengan rata-rata error sebesar 4.07% , pada gerak rotasi ke kanan dengan rata-rata error sebesar 4.03% dan gerak rotasi ke kiri dengan error rata-rata 5.05%. Pengujian sensor ultrasonik dengan range jarak 5cm didapatkan tingkat keakuratan dengan error rata-rata sebesar 1.08%. Pengujian pemotongan rumput dilakukan dengan jumlah dan posisi halangan yang berbeda. Pada pengujian pertama dengan 1 halangan didapatkan tingkat akurasi dengan error terbesar sebesar 5 cm dan menyisakan rumput $\pm 10\%$. Pengujian kedua dilakukan dengan dua halangan dan didapatkan tingkat akurasi dengan error terbesar sebesar 6 cm dan menyisakan rumput $\pm 20\%$. Pengujian ketiga dilakukan dengan dua halangan namun dengan posisi yang berbeda dari sebelumnya. Pada pengujian ketiga didapatkan tingkat akurasi dengan error terbesar sebesar 4 cm dan juga menyisakan rumput $\pm 20\%$.

Kata kunci : sistem navigasi robot, pemotong rumput , rotary encoder, tracking path.

Abstract— The development of the technology in term of robotic makes an effect that many human's activities can be done automatically by robots. One of the activities that can be done by robots is the process of mowing by using autonomous mobile robot which capable of behaving independently. This research has an objective to create a navigation system on the lawn mower robot Which can do its task independently in mowing. The sensor used in this research is the rotary encoder and ultrasonic sensor. The testing of the rotary encoder on the straight movement showed that the accuracy level by the average of 4.07%. On the rotation movement to the right with the average of error is 4.03% and the rotation movement to the left with the average of error is 5.05 % . The testing of ultrasonic sensor by the distance range 5 cm showed the accuracy level by the average of error is 1.08%. This testing was done with the different number and position of the obstacle. On the first testing, where with only one obstacle showed that the accuracy level with the biggest error was 6 cm on the 10th coordinate. On the second testing, there was only 20% of grass left. The third testing was done with two obstacles but with the different position of the obstacles from the previous testing. On the third testing, it showed the accuracy level with the biggest error was 4 cm and there was only 20% grass left.

Keyword: robot navigation system, lawn mower , rotary encoder, tracking path

I. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi dibidang robotika membuat banyak kegiatan manusia yang dapat dilakukan secara otomatis oleh robot. Salah satu kegiatan yang dapat dilakukan oleh robot adalah proses pemotongan rumput menggunakan autonomous mobile robot. Untuk melakukan pekerjaan tersebut, mobile robot harus mampu melakukan navigasi dapat menjalankan tugasnya dengan baik.

Autonomous robot merupakan robot yang mampu berperilaku secara mandiri. Autonomous robot dapat dibagi menjadi dua yaitu autonomous stationary robot dan autonomous mobile robot. *Autonomous stationary* robot telah banyak dikembangkan di dunia industri semisal untuk lengan robot penyeleksi dan pemindah barang dengan jangkauan pergerakan yang terbatas. Oleh karena itu untuk memenuhi spesifikasi robot yang lebih fleksibel dan memiliki jangkauan pergerakan yang lebih luas, saat ini perkembangan teknologi dan penelitian lebih fokus ke arah *autonomous mobile* robot, yakni robot yang dapat berpindah posisi secara mandiri tanpa tergantung pada operator. [1]

Sistem navigasi merupakan bagian penting dari sebuah *mobile robot*, sehingga robot mampu bergerak secara mandiri dari suatu tempat ke tempat lain yang dituju tanpa melakukan kontak langsung dengan objek pada lingkungan melalui penentuan posisi dan arah pergerakannya. Salah satu sistem navigasi yang dapat diterapkan pada *autonomous mobile* robot beroda adalah sistem navigasi berbasis posisi.

Mobile robot juga harus memiliki kemampuan untuk menghindari halangan (*obstacle avoidance*), sehingga robot tidak menabrak benda yang dapat menyebabkan kerusakan pada robot. Untuk menghindari sebuah halangan, robot menggunakan sensor ultrasonik untuk mendeteksi benda. Salah satu sensor ultrasonik yang mudah digunakan dengan mikrokontroler adalah sensor ultrasonik HC-SR04 dengan kemampuan yang cukup baik. Pada penelitian sebelumnya, hasil pengujian sensor ultrasonik HC-SR04 dengan range jarak yang berbeda didapatkan tingkat keakuratan dengan nilai rata-rata error persen sebesar 1,74% dan bekerja dengan baik pada sudut maksimal sebesar 30°. [2]

Untuk dapat berjalan dan bernavigasi dengan baik sebuah robot memerlukan sistem kontrol. Sebuah sistem kontrol dapat digunakan untuk mengendalikan kecepatan dan mengendalikan gerakan robot. Salah satu metode kontrol klasik yang cukup banyak digunakan untuk melakukan kontrol pada motor adalah kontroler Proportional Integral Derivative (PID).

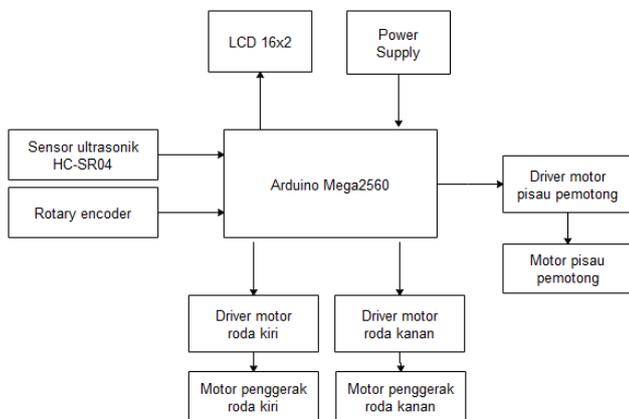
Path tracking dengan menggunakan kontrol PID memiliki tingkat akurasi yang baik.[3]

Pada penelitian sebelumnya robot masih bergantung pada dinding pembatas area lapangan sehingga tidak bisa digunakan pada area tanpa dinding pembatas. Robot tersebut juga masih bergantung pada sensor kompas untuk menentukan arah gerakan. [1] Tujuan dari penelitian skripsi ini adalah untuk membuat sistem navigasi *mobile* robot pemotong rumput yang mampu mengenali posisi dan jarak terhadap pergerakannya, dan dapat menghindari halangan statis dalam mencapai posisi yang dituju dengan rute atau jalur berupa koordinat kartesian (*path*) yang telah ditentukan.

II. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini robot yang digunakan adalah robot beroda dengan dua penggerak (*differential drive*). Sensor yang digunakan yaitu *rotary encoder* untuk mengetahui posisi dan pergerakan robot menggunakan perhitungan *odometry*. Sensor ultrasonik digunakan untuk mendeteksi benda yang ada di depan robot. *Input* yang diberikan berupa titik koordinat yang membentuk jalur (*path*). Robot berjalan dengan mencari titik koordinat tersebut (*tracking path*).

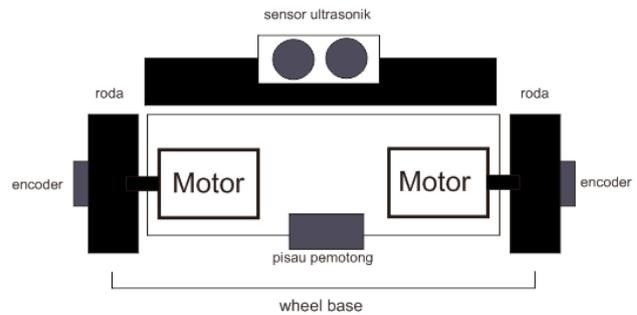
2.1 Perancangan Hardware



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Hardware terdiri dari sensor rotary encoder, sensor ultrasonik, motor DC, kontroler Arduino Mega2560, dan LCD 2x16. Kedua sensor tersebut adalah *input* dari sistem robot pemotong rumput. Arduino Mega2560 tegangan kepada *driver* motor berdasarkan output PWM dari proses perhitungan kontrol PID. *Driver* pisau pemotong diberi output PWM yang tetap untuk menggerakkan motor pada pisau pemotong saat robot berjalan. LCD digunakan untuk menampilkan informasi posisi dan sudut robot. Diagram blok sistem dapat dilihat pada Gambar 1.

2.2 Desain Mekanik Robot



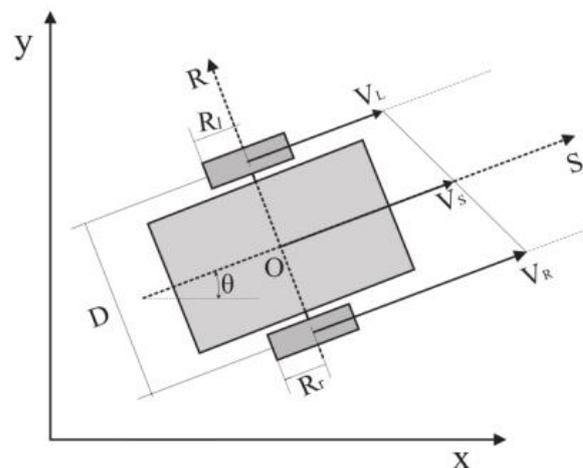
Gambar 2. Desain Mekanik Robot

Robot menggunakan sistem penggerak diferensial *drive* (dua roda penggerak) dengan dua *encoder*. Roda menggunakan roda jenis rantai untuk mengurangi selip. Parameter odometry berasal dari jarak antara kedua roda (*wheel base*), diameter roda dan *rotary encoder*. Pisau pemotong rumput berada dibawah sehingga lintasan yang dilalui robot rumputnya terpotong.

2.3 Odometry

Odometry merupakan penggunaan data pergerakan aktuator untuk memperkirakan perubahan posisi dari waktu ke waktu. *Odometry* digunakan untuk memperkirakan posisi relatif terhadap posisi awal. Posisi relatif robot dihitung dari pergerakan roda yang diketahui dari *rotary encoder*.

Tiga parameter utama *odometry* adalah jari-jari roda kanan dan roda kiri (R_l dan R_r), *wheel base* (D) dan perubahan pada tiap roda (ω_l dan ω_r). Perubahan sudut hadap robot (θ) dapat dihitung dengan persamaan 1. Sudut tersebut masih dalam bentuk radian, sudut hadap robot (θ) dihitung dengan persamaan 2. Jarak tempuh robot dapat dihitung dengan persamaan 3. Setelah sudut hadap robot dan jarak tempuh diketahui, perubahan posisi robot dapat diketahui dengan persamaan 4 dan persamaan 5. Ilustrasi odometry dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Ilustrasi Odometry [4]

$$\omega = \frac{\omega r.Rr + \omega l.Rl}{D} \quad (1)$$

$$\theta = \omega \frac{180}{\pi} \quad (2)$$

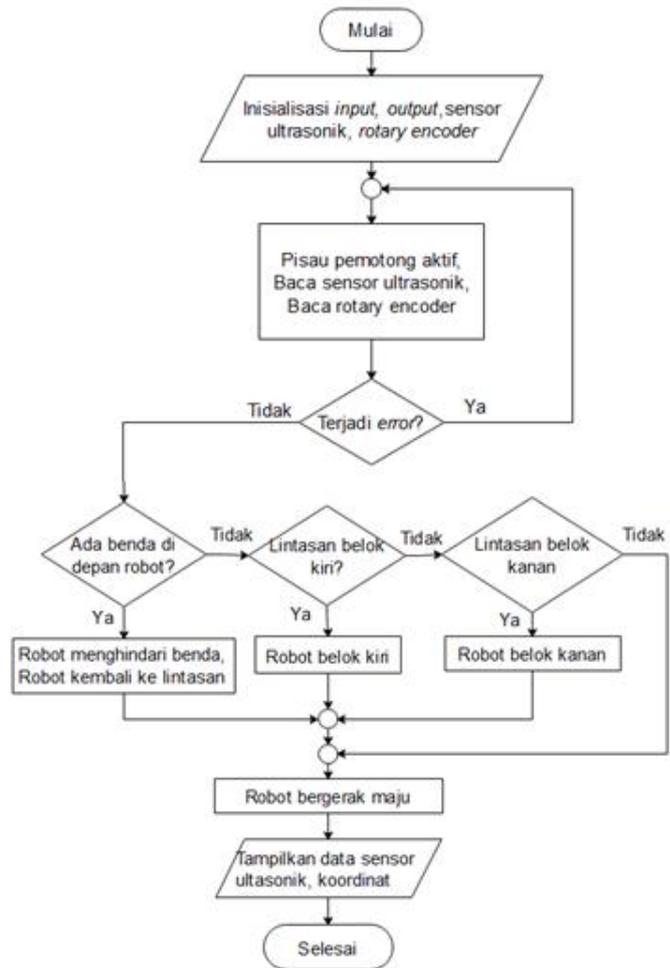
$$Vs = \frac{\omega r.Rr + \omega l.Rl}{2} \quad (3)$$

$$x' = Vs \cdot \cos(\theta) \quad (4)$$

$$y' = Vs \cdot \sin(\theta) \quad (5)$$

2.4 Flowchart

Flowchart sistem menggambarkan cara kerja dari robot yaitu dari robot dimulai, menerima input, memberi output, hingga proses selesai. Setelah robot dimulai, robot akan menginisialisasi data dari sensor ultrasonik, rotary encoder, dan mengaktifkan pisau pemotong. Dari data sensor ultrasonik, robot mengetahui apakah ada benda di depannya atau tidak, jika iya maka robot akan menghindar. Dari sensor rotary encoder, robot dapat mengetahui posisinya dan menentukan apakah harus berbelok ke kiri atau ke kanan. Jika tidak ada halangan pada jalur maka robot bergerak lurus. Data dari sensor ultrasonik dan posisi robot ditampilkan pada LCD 2x16. Flowchart dari sistem dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Flowchart Sistem

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui kinerja dari prototype robot pemotong rumput menggunakan metode *tracking path*, maka dilakukan beberapa pengujian.

3.1 Pengujian Rotary Encoder

Pengujian ini untuk mengetahui kinerja dari rotary encoder dan metode odometry dalam membaca pergerakan robot. Pengujian dilakukan dengan membandingkan jarak terbaca dengan jarak tercapai pada jarak tertentu. Setiap jarak diuji sebanyak 3 kali. Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian *rotary encoder*.

Tabel 1. Hasil Pengujian *Rotary Encoder*

| Jarak Target | Jarak Terbaca (cm) | Jarak Tercapai (cm) |
|--------------|--------------------|---------------------|
| 25 cm | 24.178 | 26 |
| | 24.618 | 25.5 |
| | 24.618 | 26 |
| 50 cm | 49.675 | 48 |
| | 49.675 | 47.5 |
| | 49.675 | 49 |
| 75 cm | 74.732 | 73 |

| | | |
|--------|--------|------|
| | 74.732 | 70 |
| | 78.600 | 72 |
| 100 cm | 99.789 | 93 |
| | 99.789 | 97.5 |
| | 99.789 | 95 |

3.2 Pengujian Sensor Ultrasonik

Pengujian ini untuk mengetahui kinerja dari sensor ultrasonik dalam mendeteksi benda didepan robot.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04

| Jarak Pada Mistar | Jarak Terbaca Sensor | Waktu (μ s) |
|-------------------|----------------------|------------------|
| 0 | 0 | - |
| 5 | 5 | 310 |
| 10 | 10 | 590 |
| 15 | 14 | 865 |
| 20 | 20 | 1183 |
| 25 | 25 | 1476 |
| 30 | 29 | 1745 |
| 35 | 35 | 2064 |
| 40 | 40 | 2361 |
| 45 | 44 | 2634 |
| 50 | 49 | 2893 |

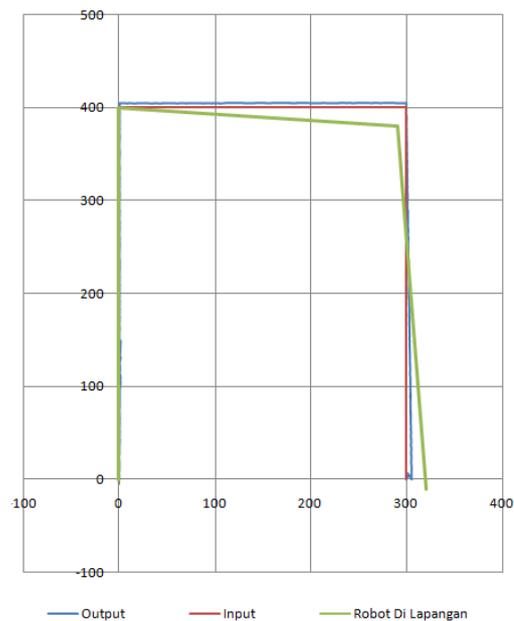
3.3 Pengujian Path

Pada pengujian robot diberi jalur (*path*) berupa beberapa titik koordinat (X,Y) yang harus ditempuh. titik pertama yang diberikan menjadi titik acuan dimana titik acuan ini selalu bernilai (0,0) dengan sudut hadap robot 90°. Pengujian ini dilakukan di lintasan tanpa rumput dan tanpa halangan (*obstacle*). Pengujian dilakukan sebanyak dua kali dimana pengujian pertama dengan *path* atau jalur yang sederhana kemudian pengujian kedua dengan *path* yang lebih kompleks. Pengujian *path* bertujuan untuk menguji kemampuan robot dalam bernavigasi sebelum memotong rumput.

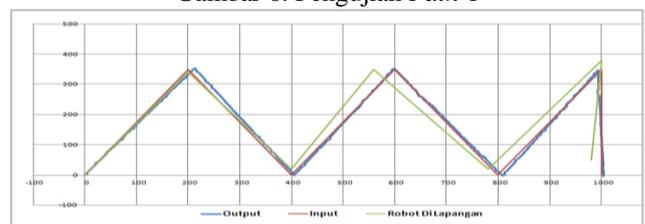
Gambar 5 dan Gambar 6 jalur *input* berwarna merah, *output* dari robot berwarna biru, dan jalur robot berjalan di lapangan ditunjukkan oleh garis berwarna hijau. Gambar 5 menunjukkan titik koordinat yang dicapai oleh robot pada pengujian *path* pertama. Setelah melakukan gerak rotasi pertama *output* menunjukkan bahwa gerak rotasi mendekati tepat 90°, namun robot dilapangan menunjukkan bahwa rotasi yang dilakukan melebihi 90° sehingga robot berbelok yang menyebabkan koordinat ketiga tidak dicapai dengan tepat. Pada gerak rotasi selanjutnya yaitu dari koordinat ketiga menuju koordinat keempat seharusnya robot melakukan gerak rotasi 90°. *Output* menunjukkan rotasi yang dilakukan kurang dari 90° begitu juga dengan kondisi robot dilapangan. Hal ini menyebabkan pada koordinat keempat robot berjalan melebar. Pengujian ini juga menunjukkan bahwa robot dapat melakukan gerak lurus dengan baik. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.2

dimana robot bergerak dengan lurus, hanya saja dengan sudut yang tidak sesuai dengan seharusnya. *Error* terbesar antara *output* dengan kondisi robot di lapangan terjadi pada koordinat 2 yaitu sekitar 3 cm.

Pengujian *path* kedua dengan jalur yang lebih kompleks seperti terlihat pada Gambar 6, robot langsung melakukan gerak rotasi untuk menuju koordinat kedua. Ketika robot melakukan gerak rotasi menuju koordinat 2, sudut yang dicapai robot dilapangan terlalu besar sehingga menyebabkan koordinat keempat terjadi *error* sekitar 4cm antara *output* dengan posisi robot di lapangan. Pada saat gerak rotasi menuju koordinat keempat sudut yang dicapai tepat, namun jarak yang ditempuh tidak tepat yang diakibatkan titik sebelumnya. *Error* pada koordinat keempat antara *output* dengan posisi robot sekitar 4cm. *Error* kem kembali terjadi pada koordinat kelima yaitu sekitar 3cm. Pada koordinat 6 juga terjadi *error* yang disebabkan *error* sebelumnya yaitu sekitar 5cm yang merupakan *error* terbesar antara *output* dengan pergerakan robot.



Gambar 6. Pengujian Path 1



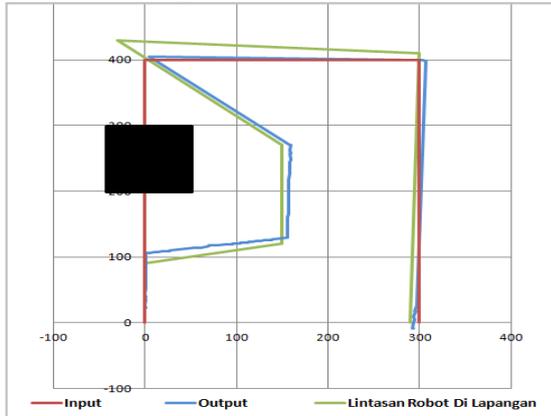
Gambar 6. Pengujian Path 2

3.4 Pengujian Path dengan Halangan

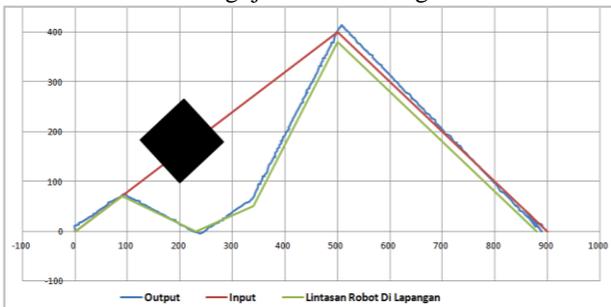
Pada pengujian robot diberi jalur (*path*) berupa beberapa titik koordinat (X,Y) yang harus ditempuh dan terdapat *obstacle* di lintasan yang dilalui robot. Titik pertama yang diberikan menjadi titik acuan

sama dengan pengujian sebelumnya yaitu bernilai (0,0) dengan sudut hadap robot 90°.

Pengujian *path* dengan halangan dimaksudkan untuk menguji kemampuan robot dalam melakukan navigasi ketika ada halangan (*obstacle*) pada jalur yang dilalui. Sensor ultrasonik memancarkan gelombang ultrasonik dan menangkapnya kembali, waktu yang ditempuh gelombang tersebut dikonversi menjadi jarak sehingga robot mengetahui benda yang ada didepannya dan menghindarinya. Gambar 7 dan Gambar 8 jalur *input* berwarna merah, *output* dari robot berwarna biru, dan jalur robot berjalan di lapangan ditunjukkan oleh garis berwarna hijau serta *obstacle* berwarna hitam.



Gambar 7. Pengujian Path 1 dengan Obstacle



Gambar 8. Pengujian Path 2 dengan Obstacle

3.5 Pengujian Driver Pisau Pemotong

Pengujian *driver* pisau pemotong bertujuan untuk mengetahui kemampuan *driver* motor dan pisau pemotong itu sendiri dalam melakukan pemotongan rumput. Kemampuan *driver* pemotong dapat diuji dengan memberi nilai PWM (*Pulse Width Modulation*) sedangkan kemampuan pisau pemotongnya dapat diuji dengan cara memotong rumput. Pisau pemotong pada robot *prototype* robot pemotong rumput terletak dibagian bawah yaitu berada diantara kedua roda penggerak agar rumput yang dilewati oleh robot dapat terpotong.

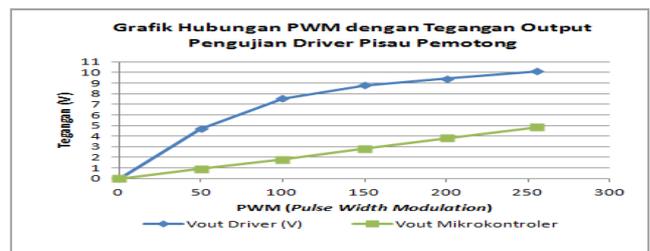
Tabel 3. Hasil Pengujian Pisau Pemotong

| PWM | Tingkat Kecepatan Pemotong | Vout Mikrokontroler (V) | Vout Driver (V) |
|-----|----------------------------|-------------------------|-----------------|
| 0 | Berhenti | 0 | 0 |
| 50 | Lambat | 0.9 | 4.7 |
| 100 | | 1.8 | 7.55 |

| | | | |
|-----|--------------|------|-------|
| 150 | Cepat | 2.82 | 8.81 |
| 200 | | 3.8 | 9.4 |
| 255 | Sangat Cepat | 4.84 | 10.11 |

Dari hasil pengujian diatas dapat dilihat bahwa nilai PWM berpengaruh pada tegangan *output* dari mikrokontroler yang juga akan mempengaruhi tegangan *output* driver sehingga kecepatan motor berubah. Hubungan antara nilai PWM dan tegangan *output driver* dapat dilihat pada Gambar 9.

Dari grafik hubungan antara nilai PWM dengan tegangan *output* tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar nilai PWM maka besar tegangan juga akan semakin besar. Tegangan *output* mikrokontroler yang semakin besar juga akan membuat tegangan *output* driver semakin besar sehingga motor pisau pemotong bergerak semakin cepat. Dengan begitu makan nilai PWM berbanding lurus dengan putaran motor pisau pemotong.



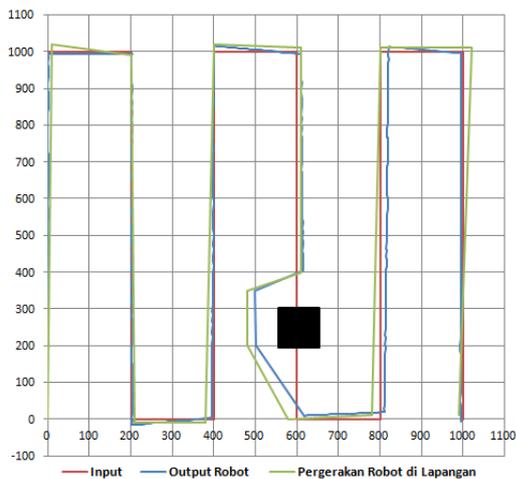
Gambar 9. Hubungan PWM dengan Tegangan Output

3.6 Pengujian Keseluruhan

Pengujian sistem secara keseluruhan adalah menguji kemampuan robot untuk melakukan navigasi dan memotong rumput pada lintasan yang terdapat *obstacle*.

Pengujian sistem secara keseluruhan ini bertujuan untuk menguji hardware dan juga software dari *prototype* robot pemotong rumput. Semua komponen bekerja pada pengujian ini diantaranya sensor ultrasonik, sensor *rotary encoder*, motor penggerak roda, dan motor penggerak pisau pemotong. Hasil pembacaan sensor ultrasonik dan sensor *rotary encoder* akan menjadi *input*. Kemudian *input* diproses oleh mikrokontroler menggunakan algoritma yang diprogram untuk memberikan *output*. Motor penggerak roda dan motor penggerak pisau pemotong sebagai *output* dari sistem.

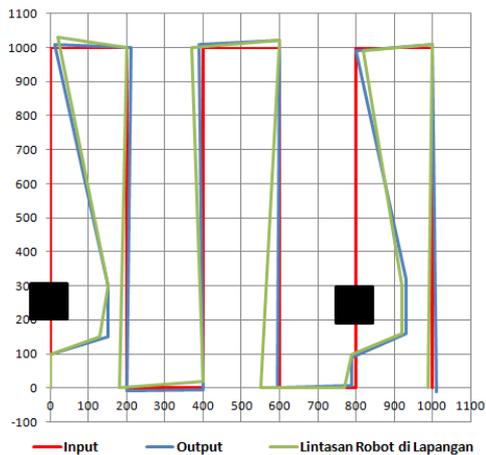
Pada pengujian pertama dengan dengan satu *obstacle* proses pemotongan rumput menyisakan ±10% rumput yang belum terpotong. Sisa rumput yang belum terpotong dapat dilihat pada Gambar 11. Output dan pergerakan robot di lapangan dapat dilihat pada Gambar 10. Pada Gambar 10 jalur *input* berwarna merah, *output* berwarna biru, dan pergerakan robot di lapangan berwarna hijau. Dengan demikian maka dapat dikatakan bahwa *prototype* robot pemotong rumput dapat bekerja dengan baik pada pengujian keseluruhan 1 dengan satu halangan. Selama proses pemotongan rumput, robot juga berhasil menghindari halangan sehingga robot tidak menabrak saat memotong rumput.



Gambar 10. Path Pengujian Keseluruhan 1



Gambar 11. Sisa Rumput Pengujian Keseluruhan 1



Gambar 12. Path Pengujian Keseluruhan 2



Gambar 13. Sisa Rumput Pengujian Keseluruhan 2

Pengujian keseluruhan yang kedua menggunakan *obstacle* sebanyak dua buah. Hasil proses pemotongan pada pengujian keseluruhan 2 ini menyisakan rumput yang belum terpotong dengan jumlah yang lebih banyak dari pengujian keseluruhan 1 yang hanya menggunakan satu halangan. Hal ini terjadi karena ketika robot menemukan halangan maka robot harus menghindari halangan tersebut sehingga rumput yang ada di sekitar halangan tidak dilewati oleh pergerakan robot dan membuat rumput tersebut tidak terpotong. Robot yang menempuh jarak tercepat menyebabkan sebagian rumput tidak terpotong karena tidak dilalui seperti ditunjukkan pada Gambar 12. Sisa pemotongan $\pm 20\%$ ditunjukkan pada gambar 13.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan dari hasil pengujian baik pengujian perbagian maupun pengujian sistem secara keseluruhan yang telah dilakukan pada penelitian yang berjudul “Sistem Navigasi *Prototype* Robot Pemotong Rumput Menghindari *Obstacle* Statis Menggunakan Metode *Tracking Path*” maka dapat disimpulkan bahwa dalam mencapai titik tujuan, robot mengalami kesalahan. Pada pengujian *path*, kesalahan terbesar pada saat mencapai koordinat titik tujuan (*path*) sebesar 5 cm pada pengujian *path* ke 2. Pada saat memotong rumput, *Prototype* robot pemotong rumput jumlah *obstacle* berpengaruh pada hasil pemotongan rumput dimana pada pengujian 1 dengan satu halangan menyisakan rumput $\pm 10\%$ sedangkan pengujian 2 dengan dua halangan menyisakan rumput sekitar $\pm 20\%$. Hal tersebut dikarenakan setelah menghindari halangan robot akan mencari jalur tercepat menuju koordinat *input* sehingga sebagian lapangan disekitar *obstacle* tidak dilalui robot.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa kekurangan yang perlu dibenahi kembali pada penelitian selanjutnya yaitu roda penggerak yang masih mudah mengalami selip karena berbahan plastik sehingga terjadi error pada saat berbelok yang cukup besar. Penggantian roda

rantai dengan bahan yang tidak mudah selip dimungkinkan dapat mengurangi selip yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Alan S. Moris. 2001. *Measurement & Instrumentation Principal*. Oxford : Butterworth-Heinemann.
- [2]. Habibi, M. Wildan, 2016. Sistem Navigasi Prototype Robot Pemotong Rumput Menghindari *Obstacle* Statis. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Jember*.
- [3]. Marta, Bayu Sandi. 2009. *Path Tracking Pada Mobile Robot Dengan Umpan Balik Odometry*. *Jurnal Teknik Komputer Politeknik Negeri Surabaya*.
- [4]. Basori, Slamet. 2014. Implementasi Odometry Pada Robot Otomatis Kontes Robot Abu Indonesia. *Jurnal Teknik Elektronika Universitas Brawijaya Malang*.
- [5]. Shofiyullah, M., & Sulistiyanto, S. (2020). Perancangan Sistem Kontrol Rotasi Antena Tv Dengan Arduino. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer TRIAC*, 7(1), 28-36.