

Penerapan *Finite State Machine* pada Navigasi Kendaraan Otonom untuk Menghasilkan Pola Gerak Sirkular

Ali Rizal Chaidir[#], Khairul Anam, Dodi Setiabudi, Wahyu Muldayani

Teknik Elektro, Universitas Jember

Jl. Kalimantan Tegalboto No. 37, Sumbersari, Jember, Indonesia

[#]ali.rizal@unej.ac.id

Abstrak

Kendaraan otonom adalah kendaraan yang dapat bernavigasi tanpa ada intervensi manusia. Istilah otonom tidak hanya diterapkan untuk mobil tanpa awak tetapi juga untuk alat pengolah tanah yaitu traktor. Tidak semua orang bisa mengoperasikan traktor, dibutuhkan keahlian khusus untuk mengoperasikan alat tersebut, terutama bagi penyandang disabilitas, alat tersebut akan sulit dioperasikan bahkan tidak mungkin dapat dioperasikan tanpa bantuan teknologi tertentu. Terdapat dua teknik untuk melakukan pengolahan tanah, setiap teknik tersebut menghasilkan pola pengolahan tanah tertentu, yaitu pola pengolahan tanah bolak-balik dan pola pengolahan berkeliling, pola pengolahan tanah berkeliling memiliki pola yang sama dengan pola gerak sirkular. Artikel ini menguraikan tentang algoritma navigasi otonom dengan menerapkan *Finite State Machine* untuk menghasilkan pola pengolahan tanah berkeliling atau pola gerak sirkular. Pola pergerakan yang dihasilkan menunjukkan hasil yang lebih baik jika antenna modul GPS diletakkan di atas kendaraan dibandingkan diletakkan di depan kendaraan. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali pada setiap peletakkan GPS. Hasil pengujian pada saat GPS diletakkan di atas kendaraan adalah 4 diantaranya menghasilkan jejak pola gerak sirkular. Algoritma yang digunakan mampu menghasilkan pola gerak sirkular dengan jarak antar sirkular kurang lebih 3 sampai 5 meter.

Kata kunci: *Finate State Machine*, kendaraan otonom, pengolahan tanah berkeliling

Abstract

Autonomous vehicles are vehicles that can navigate without human intervention. The term autonomous is not only applied to unmanned cars but also to tiller, namely tractors. Not everyone can operate a tractor, special skills are needed to operate the tool, especially for people with disabilities, the tool will be difficult to operate and even impossible to operate without the help of certain technologies. There are two techniques for cultivating land, each of which produces a particular tillage pattern, namely the alternating tillage pattern and the circular tillage pattern, the circular tillage pattern has the same pattern as the circular motion pattern. This article describes an autonomous navigation algorithm by applying a Finite State Machine to generate circular tillage patterns or circular motion patterns. The resulting movement pattern shows better results if the GPS module antenna is placed above the vehicle than in front of the vehicle. The test was carried out 5 times for each GPS position. The test results when the GPS is placed on the vehicle are 4 of them producing traces of circular motion patterns. The algorithm used is capable of producing circular motion patterns with a distance between circulars of approximately 3 to 5 meters.

Keywords: *Finate State Machine*, autonomous vehicle, rotating land cultivation

I. PENDAHULUAN

Kendaraan otonom adalah kendaraan yang bergerak tanpa intervensi manusia. Pada umumnya istilah otonom diterapkan untuk mobil tanpa awak dan kendaraan traktor yang bergerak tanpa

intervensi manusia [1]. Traktor merupakan alat pertanian yang memiliki fungsi tertentu, diantaranya adalah penyiapan lahan, yaitu menggemburkan tanah atau yang biasa disebut pengolahan tanah. Tidak semua orang dapat mengoperasikan traktor, dibutuhkan keterampilan

khusus untuk mengoperasikan alat tersebut, bagi mereka yang memiliki kekurangan seperti penyandang disabilitas tuna daksa ringan akan kesulitan untuk mengoperasikannya. Diperlukan sistem otonom pada pergerakan traktor untuk memudahkan operator melakukan proses pengolahan lahan. Pergerakan traktor dapat dipolakan, pola tersebut terdiri dari gerakan maju, belok kanan, dan belok kiri. Pola pengolahan tanah terdiri dari dua pola [2], yaitu pola pengolahan bolak balik rapat dan pola pengolahan berkeliling. Kelebihan dari pola pengolahan berkeliling adalah memiliki konsumsi bahan bakar yang lebih sedikit dibandingkan dengan pola pengolahan bolak balik rapat [2].

Fungsi traktor yang penting pada pertanian mengakibatkan cukup banyak penelitian-penelitian yang membahas tentang traktor otonom, terutama traktor otonom dengan ukuran besar (roda empat) dan untuk lahan luas. Di antara penelitian-penelitian tersebut adalah traktor otonom empat roda pada pengujian lintasan lurus [3]-[5], pada penelitian tersebut menggunakan modul GPS untuk melakukan navigasi, beberapa permasalahannya adalah mempunyai kesalahan pembacaan jalur oleh traktor, salah satu penyebabnya adalah penggunaan modul GPS [3]. Selain traktor otomatis yang menggunakan modul GPS [6], terdapat traktor berupa purwarupa yang dikendalikan menggunakan sebuah gawai [7], sehingga masih membutuhkan operator untuk mengendalikan traktor.

Navigasi adalah teknik yang memiliki peran penting dalam pembuatan traktor otonom [8] [9]. Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya yang telah disebutkan, salah satu hal yang menjadi perhatian penelitian ini adalah bagaimana menghasilkan algoritma navigasi dengan menerapkan *Finite State Machine* untuk menghasilkan pola pengolahan tanah berkeliling secara otonom. Algoritma navigasi yang dihasilkan diuji menggunakan sebuah robot beroda yaitu sebagai prototipe kendaraan otonom.

II. METODE PENELITIAN

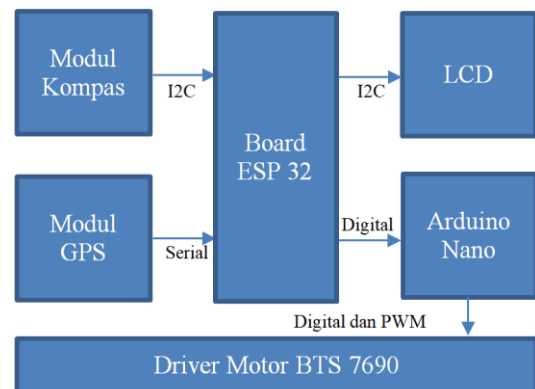
Metode yang digunakan dibagi menjadi tiga bagian, perancangan perangkat keras, rangkaian elektronika dan *wiring*, serta desain *Finite State Machine*.

A. Rancangan Perangkat Keras

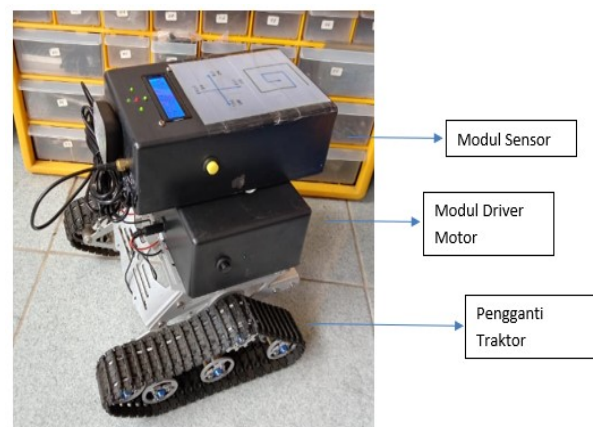
Salah satu hal penting dalam sistem navigasi adalah tanda yang dapat digunakan sebagai acuan gerakan, tanda tersebut dapat berupa garis [10], posisi berupa koordinat [11], dan arah [12], [13]. Tanda yang digunakan pada penelitian ini adalah

posisi berupa koordinat dan arah hadap, sehingga komponen utama yang digunakan adalah modul GPS dan Kompas. Diagram blok utama yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1. Komponen yang digunakan adalah board ESP32 sebagai pemroses data dan pengirim data, modul kompas dan GPS digunakan untuk mendapatkan data arah dan posisi, LCD digunakan untuk menampilkan informasi, dan driver motor BTS 7690 untuk mengendalikan aktuator. Setiap komponen atau modul tersebut diintegrasikan dan diterapkan pada sebuah penggerak prototipe kendaraan otonom untuk mendapatkan jejak pola gerakan.

Prototipe kendaraan otonom yang digunakan untuk menguji algoritma dapat dilihat pada Gambar 2. Prototipe tersebut terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian pertama adalah robot beroda, kedua adalah modul driver motor, dan ketiga adalah modul sensor sebagai alat untuk navigasi. Bagian kedua dan ketiga dihubungkan oleh kabel penghubung seperti diperlihatkan pada Gambar 3, hal ini dilakukan untuk mempermudah proses pembuatan dan kemudahan untuk memeriksa jika terjadi kesalahan dalam pembuat perangkan keras maupun perangkat lunak.



Gambar 1. Diagram blok perangkat keras secara umum

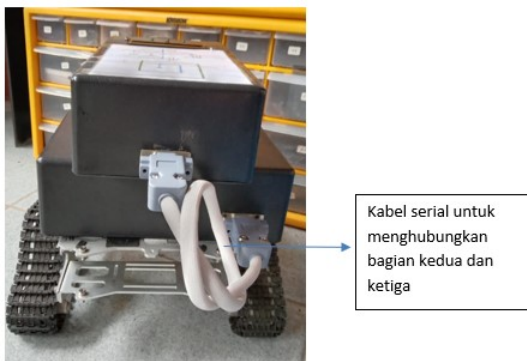


Gambar 2. Kendaraan otonom yang digunakan

Pada bagian ketiga terdapat LCD dan lima LED yang digunakan untuk memberikan informasi kepada pengguna tentang posisi robot saat ini seperti diperlihatkan pada Gambar 4, arah hadap saat ini, posisi target selanjutnya, dan tahapan apa saja yang telah dilakukan. Tahapan yang dimaksud adalah tahapan robot beroda bergerak. Tahap pertama robot beroda harus bergerak kearah selatan sejauh 2 Digit perubahan nilai latitude, tahap kedua traktor berbelok ke arah kanan sejauh 90 drajat dan bergerak lurus ke arah barat sejauh 2 Digit perubahan nilai longitude, tahap ketiga traktor berbelok kearah kanan sejauh 90 drajat dan bergerak lurus kearah utara sejauh 4 Digit perubahan nilai latitude, begitu juga pada tahap keempat robot bergerak sejauh 4 Digit perubahan nilai longitude dengan arah ke timur. LED yang terdapat pada bagian ketiga digunakan sebagai indikator tentang kearah mana traktor harus bergerak, maju, kanan, kiri, atau berhenti.

B. Rangkaian Elektronika dan Wiring

Rangkaian elektronik yang digunakan terdiri dari rangkaian pengendali dan rangkaian indikator. Rangkaian indikator untuk memantau posisi robot saat ini ditunjukkan pada Gambar 5. Rangkaian tersebut adalah mode aktif *low*, indikator akan menyala ketika mendapatkan logika *low*. Dibutukan sebuah resistor disetiap LED untuk menjaga agar LED tidak mendapat tegangan yang berlebihan. LED



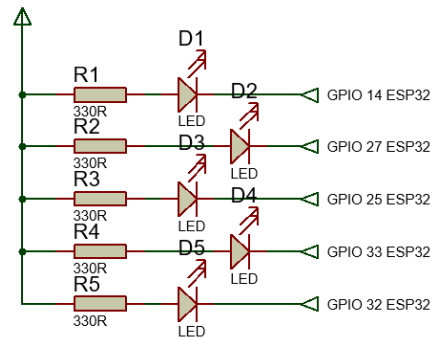
Gambar 3. Sambungan antara bagian 2 dan 3



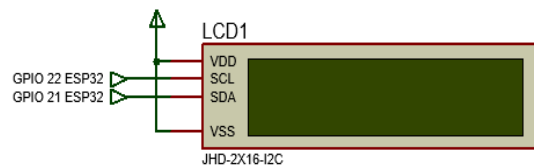
Gambar 4. Tampilan antarmuka alat

membutuhkan sekitar 2 Volt DC dan arus 10 mA, sehingga dengan menerapkan hukum ohm dan kirchoff arus akan diperoleh nilai resistor 300 ohm, atau 330 ohm. Selain indikator LED, terdapat LCD 2x16 yang telah terintegrasi dengan modul I2C, penggunaan modul tersebut dapat mengurangi penggunaan pin pada ESP32. Pin yang digunakan hanya dua pin, yaitu SCL dan SDA serta VCC dan Ground, seperti yang ditunjukkan apda Gambar 6. Selain digunakan untuk LCD 2x16, fasilitas I2C pada ESP32 dihubungkan ke modul HMC5883L. Koneksi setiap pin dapat dilihat pada Tabel 1.

Berbeda dengan modul HMC5883L, modul ultimate GPS Breakout V3 menggunakan komunikasi serial sebagai antarmuka dengan ESP32, ESP32 memiliki fasilitas serial lebih dari satu buah, sehingga terdapat pilihan untuk dihubungkan dengan modul elektronika dengan antarmuka serial. Koneksi setiap pin dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 5. Rangkaian indikator



Gambar 6. LCD 2x16 dengan antarmuka I2C

Tabel 1. *Wiring* antara ESP32 dan HMC588L

ESP32	HMC5883L
VCC	VCC
GND	GND
SDA (GPIO 21)	SDA
SCL (GPIO 22)	SCL

Tabel 2. *Wiring* antara ESP32 dan Ulitmate GPS Breakout V3

ESP32	Ultimate GPS Breakout V3
VCC	VCC
GND	GND
Rx (GPIO 16)	Rx
Tx (GPIO 17)	Tx

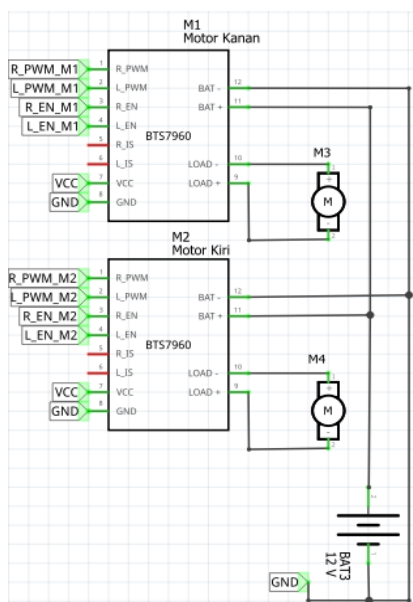
Sebelum ESP32 dihubungkan ke modul driver motor BTS7960, tiga pin ESP32 dihubungkan dengan Arduino nano dan selanjutnya Arduino nano digunakan untuk mengendalikan motor DC melalui modul BTS7960. Koneksi setiap pinnya dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4. Pada Tabel 3 terlihat terdapat 3 pin ESP32 yang digunakan untuk memberikan informasi kepada arduino nano. Informasi tersebut adalah gerakan maju, belok kanan, serong kiri, serta serong kanan yang dikodefikasi dalam bentuk tiga bit. Data tiga bit tersebut digunakan oleh arduino nano untuk memberikan perintah kepada modul BTS7960 agar dapat menggerakkan motor DC. Rangkaian elektronika penggunaan BTS7960 dapat dilihat pada Gambar 7, terlihat bahwa 1 modul BT7960 dapat mengendalikan 1 buah motor DC, terdapat 2 sumber tegangan yang dibutuhkan BT7960, yaitu 5 VDC untuk mengoperasikan modul dan 12 VDC sebagai sumber tegangan untuk motor DC.

Tabel 3. Wiring antara ESP32 dan Arduino Nano

ESP32	Arduino Nano
GPIO 5	D3
GPIO 18	D12
GPIO 19	D2

Tabel 4. Wiring antara Arduino Nano dan BTS7960

Arduino Nano	BTS 7960
D5	L_PWM M1
D6	R_PWM M1
D7	R_EN M1 & L_EN M1
D8	R_EN M2 & L_EN M2
D9	L_PWM M2
D10	R_PWM M2



Gambar 7. Pengendali motor DC penggerak robot beroda

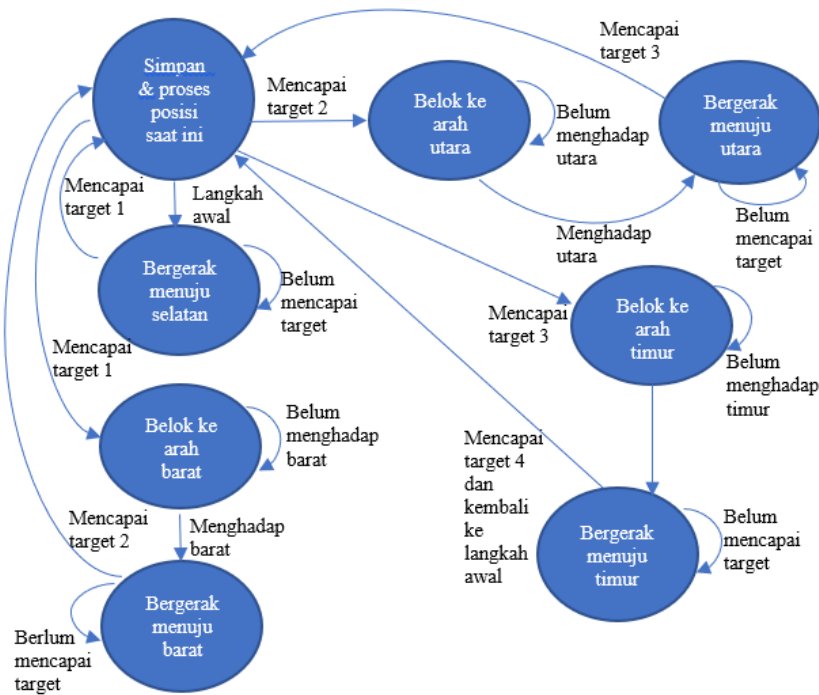
C. Desain Finite State Machine

FSM adalah metode yang terdiri dari sebuah keadaan, masukan, keluaran, dan transisi. Metode tersebut dapat digunakan untuk menggambarkan perilaku dinamis dari sebuah sistem. FSM dapat digunakan untuk navigasi kendaraan otonom, seperti robot [14], [15].

Desain FSM yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 8. Desain tersebut berdasarkan target gerakan untuk menghasilkan pola gerak sirkular seperti diperlihatkan pada Gambar 9. Parameter yang digunakan untuk melakukan setiap keadaan adalah posisi dan arah. Dua parameter tersebut akan selalu disimpan setiap ada perubahan keadaan. Keadaan sekarang yang berupa arah dan posisi tersebut digunakan untuk menentukan keadaan atau proses yang perlu dilakukan selanjutnya.

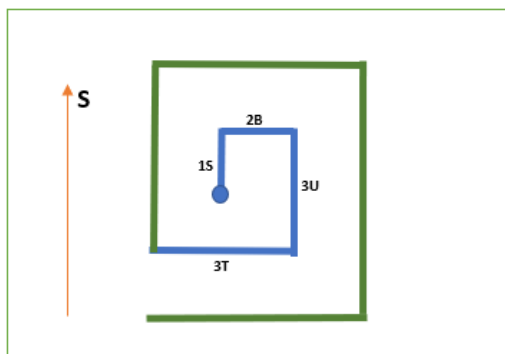
Desain FSM yang ditunjukkan pada Gambar 8 membutuhkan langkah-langkah tertentu serta data sensor GPS dan kompas, langkah-langkah tersebut dikonversi dalam bentuk bahasa pemrograman lalu ditanam pada ESP32 dan Arduino. Langkah-langkah untuk merealisasikan desain FSM pada Gambar 8 dapat dilihat seperti berikut ini:

1. Langkah untuk mengakses data modul GPS (mendapatkan data posisi)
 - a. Menyiapkan *library* untuk membaca data dari modul GPS Ultimate
 - b. Menggunakan fungsi `GPS.latitude` dan `GPS.longitude` untuk mendapatkan data posisi modul
 - c. Konversi data 6 Digit pertama latitude dan 8 Digit pertama data longitude menjadi tipe data integer
 - d. Simpan data yang dihasilkan dari langkah 3 ke sebuah variabel
2. Langkah untuk mengakses data modul kompas (mendapatkan data arah hadap)
 - a. Siapkan *library* untuk modul HMC5882 (GY-273)
 - b. Dapatkan data arah melalui fungsi yang sudah disediakan
 - c. Ubah data yang diperoleh menjadi tipe integer
 - d. Simpan data pada variabel tertentu
3. Langkah untuk mendapatkan pola gerakan seperti Gambar 9
 - a. Dapatkan data posisi saat ini
 - b. Jumlahkan data latitude saat ini dengan angka 2
 - c. Gunakan hasil penjumlahan tersebut sebagai target dari tahap pertama (1S)
 - d. Gerakkan prototipe kendaraan otonom menuju target tersebut dengan panduan modul kompas



Gambar 8. Desain *Finite State Machine*

- e. Belokkan prototipe kendaraan otonom ke arah barat untuk melakukan tahap kedua (2B)
- f. Kurangkan data longitude saat ini dengan angka 2
- g. Lakukan langkah pada huruf “d”
- h. Lakukan langkah pada huruf “e” tapi ke arah utara untuk melakukan tahap ketiga (3U)
- i. Kurangkan data latitude saat ini dengan angka 4
- j. Lakukan langkah pada huruf “d”
- k. Lakukan langkah pada huruf “e” tapi ke arah timur untuk melakukan tahap keempat (3T)
- l. Jumlahkan data longitude saat ini dengan angka 4
- m. Lakukan langkah pada huruf “d”
- n. Hentikan gerakan prototipe kendaraan otonom jika sudah sampai pada nilai sesuai dengan langkah pada huruf “l”



Gambar 9. Target pola gerakan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian terdiri dari tiga langkah, langkah pertama menguji kinerja dari modul GPS, kedua melakukan pengujian kinerja modul kompas, dan terakhir adalah melakukan pengujian terhadap sistem keseluruhan.

A. Pengujian Modul GPS

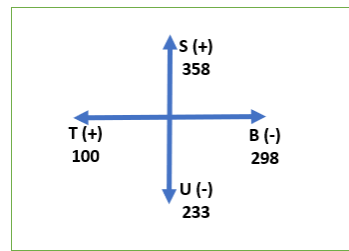
Pengujian pada bagian ini telah dilakukan, data yang diperoleh terdiri dari dua data, yaitu data tentang informasi jarak terhadap perubahan satu digit angka pada nilai hasil pembacaan modul GPS dan data tentang hasil pengujian kesalahan pembacaan GPS terhadap posisi setpoint. Dari hasil pengujian pertama pada bagian ini diperoleh bahwa setiap perubahan yang terjadi pada 2 Digit angka terakhir latitude atau longitude menunjukkan perubahan jarak tempuh kurang lebih sejauh 3 - 5 meter, sedangkan untuk hasil pengujian kedua pada bagian ini dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Pengujian gerakan sistem

Selisih terhadap setpoint (lat)	Selisih terhadap setpoint (long)
± 3meter	± 2meter
± 2meter	Sesuai
Sesuai	Sesuai
Sesuai	± 2meter
± 1meter	Sesuai

B. Pengujian Modul Kompas

Dari hasil pengujian ini diperoleh data tentang nilai yang muncul dari pembacaan sensor kompas terhadap perubahan arah modul. Data tersebut dapat dilihat pada Gambar 10, nilai tersebut yang akan digunakan robot beroda untuk bernavigasi berdasarkan arah hasil pembacaan kompas.



Gambar 10. Target pola gerakan

C. Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui hasil pola penjejakan prototipe kendaraan otonom terhadap sistem yang telah dibuat, sistem yang dimaksud adalah sistem rangkaian elektronika dan algoritma program yang telah dibuat sebelumnya. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 11. Gambar 11 merupakan hasil penjejakan prototipe kendaraan otonom yang di gambar ulang berdasarkan hasil pengamatan, sedangkan untuk hasil pengujian yang lain dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7.

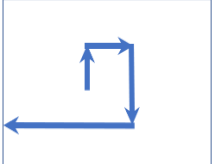
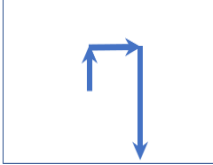
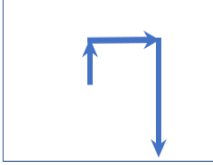
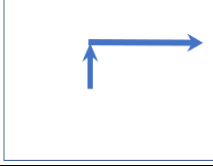
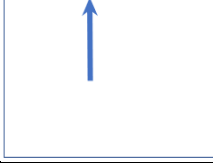


Gambar 11. Gambaran hasil pengujian sistem keseluruhan

Tabel 6. Pengujian dengan meletakkan antena GPS menghadap ke atas

Pengujian	Hasil	Keterangan
1		Prototipe kendaraan otonom bergerak ke arah selatan sejauh ± 3 meter, lalu ke arah barat sejauh ± 3 meter, ke arah utara sejauh ± 6 meter, dan ke arah timur sejauh ± 6 meter, lalu prototipe kendaraan otonom berhenti
2		Kurang lebih sama dengan hasil pengujian 1, perbedaannya terletak pada gerakan di tahap 3, prototipe kendaraan otonom bergerak sejauh kurang dari ± 3 meter
3		Kurang lebih sama dengan hasil pengujian 1, perbedaannya terletak pada gerakan di tahap 2, prototipe kendaraan otonom bergerak sejauh kurang dari ± 3 meter
4		Kurang lebih sama dengan pengujian 1, perbedaannya terletak pada gerakan di tahap 4, prototipe kendaraan otonom belum mencapai jarak ± 6 meter lalu berhenti
5		Gerakan prototipe kendaraan otonom pada tahap 3 mencapai batas dari area pengujian atau melebihi jarak ± 6 meter

Tabel 7. Pengujian dengan meletakkan antenna GPS menghadap ke depan

Pengujian	Hasil	Keterangan
1		Prototipe kendaraan otonom bergerak ke arah selatan sejauh ± 3 meter, lalu ke arah barat sejauh ± 3 meter, ke arah utara sejauh ± 6 meter, dan ke arah timur sampai batas area pengujian
2		Kurang lebih sama dengan pengujian 1, perbedaannya terletak di tahap 3, prototipe kendaraan otonom bergerak sampai batas area pengujian
3		Kurang lebih sama dengan pengujian 2, perbedaannya terletak pada gerakan di tahap 2, gerakan prototipe kendaraan otonom lebih jauh, yaitu lebih dari ± 3 meter
4		Prototipe kendaraan otonom bergerak ke arah selatan sejauh ± 3 meter, lalu ke arah barat sejauh lebih dari ± 3 meter sampai mencapai batas area pengujian
5		Robot hanya bergerak lurus ke arah selatan sampai mencapai batas area pengujian.

Penggunaan modul GPS, modul kompas, dan algoritma pada kajian ini menghasilkan jejak pola gerak sirkular yang memiliki tingkat keberhasilan lebih baik jika modul GPS diletakkan menghadap ke atas. Teknik pada kajian ini dapat digunakan untuk kasus prototipe kendaraan otonom tanpa operator. Jarak tempuh pergerakan prototipe kendaraan otonom dapat diatur sesuai dengan luas lahan dan ukuran prototipe kendaraan otonom dengan cara merubah angka pada langkah huruf “b”, “f”, “i”, dan “l” huruf C di sub bab desain *Finite State Machine*. Langkah-langkah pada rancangan algoritma dapat ditambah dengan pola langkah yang sama dengan sebelumnya jika ingin menghasilkan putaran jejak pengolahan tanah berkeliling yang lebih banyak. Selain jarak tempuh yang dapat diatur, arah gerakan robot pengganti prototipe kendaraan otonom juga dapat diatur berdasarkan bentuk dari lahan yang akan diolah. Pengaturan arah gerakan dapat dilakukan dengan merubah nilai setpoint empat arah gerakan yang akan digunakan.

IV. KESIMPULAN

Modul kompas HMC5883L dan GPS Ultimate mampu memberikan data yang dapat digunakan sebagai acuan gerakan robot beroda pengganti traktor, sehingga dapat digunakan untuk melakukan navigasi traktor dengan pola gerak sirkular. Pola gerakan yang dihasilkan menunjukkan hasil yang lebih baik jika antenna modul GPS diletakkan di atas robot dibandingkan dengan diletakkan di depan robot, dari 5 kali pengujian 4 pengujian diantaranya menghasilkan jejak pola gerak sirkular. Algoritma yang digunakan mampu menghasilkan pola yang sama dengan target dengan jarak antar jalur tahapan sebesar kurang lebih 3 dan 5 meter.

REFERENSI

- [1] J.-h. Han, C.-h. Park, Y. Y. Jang, J. D. Gu and C. Y. Kim, “Performance Evaluation of an Autonomously Driven Agricultural Vehicle in an Orchard Environment,” *Sensors*, pp. 1-16, 2022.
- [2] Z. Mardinata and Z. , “Analisis Kapasitas Kerja Dan Kebutuhan Bahan Bakar Traktor Tangan Berdasarkan Variasi Pola Pengolahan Tanah, Kedalaman Pembajakan Dan Kecepatan Kerja,”

- AGRITECH*, pp. 354-358, 2014.
- [3] S. P. Sutisna, I. D. M. Subrata and R. P. A. Setiawan, "Sistem Pengendali Kemudi Traktor Otomatis Empat Roda Pada Pengujian Lintasan Lurus," *AGRITECH*, pp. 106-113, 2015.
- [4] P. Kumar, P. S, A. Sinha, R. K. Patil and S. C. H, "Smart Farming Using Driverless Tractor (Swarm Based)," *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, pp. 8550-8556, 2016.
- [5] C. Amiama and dkk, "Manual GPS guidance system for agricultural vehicles," *Spanish Journal of Agricultural Research*, pp. 702-712, 2011.
- [6] R. Mihajlow and V. Demirev, "Application Of Gps Navigation In Agricultural Aggregates," *Annual Journal Of Technical University Of Varna Bulgaria*, pp. 14-19, 2018.
- [7] D. A. Prasetya and K. A. Satriyatama, "Rancang Bangun Prototype Traktor Dengan Kendali Jarak Jauh Menggunakan Smart Phone," in *Symposium Nasional RAPI XVIII – 2019 FT UMS*, 2019.
- [8] A. Ravankar, A. A. Ravankar, A. Rawankar and Y. Hoshino, "Autonomous and Safe Navigation of Mobile Robots in Vineyard with Smooth Collision Avoidance," *agriculture*, vol. 954, no. 11, pp. 1-17, 2021.
- [9] J.VijiPriya, S.Suppiah and R. Mohammad, "Wireless Ultrasonic Auto Navigation Robot for Agriculture," *International Journal of Computer Engineering in Research Trends*, vol. 6, no. 3, pp. 288-292, 2019.
- [10] A. R. Chaidir, G. A. Rahardi and K. Anam, "Navigasi robot bergerak berdasarkan landmark garis menggunakan kontroler Braitenberg dan pengolahan citra," *JTSiskom*, pp. 185-191, 2020.
- [11] A.-F. Mohammed Z and G. E. Mahamed, "GPS-based Navigated Autonomous Robot," *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, pp. 1-7, 2015.
- [12] W. Chen and T. Zhang, "An indoor mobile robot navigation technique using odometry and electronic compass," *International Journal of Advanced Robotic Systems*, pp. 1-15, 2017.
- [13] M. A. Yousef and A. A. Haithem, "Wheeled Mobile Robot Obstacle Avoidance Using Compass and Ultrasonic," *Universal Journal of Control and Automation*, pp. 13-18, 2018.
- [14] M. B. SATRIYO, K. ANAM and M. A. P. NEGARA, "Sistem Kontrol Robot Sepak Bola Beroda menggunakan Finite State Machine (FSM)," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 9, no. 2, pp. 344 - 358, 2021.
- [15] W. A. Winata, K. Anam and A. R. Chaidir, "Mobile Robot Pendeteksi Gas Karbon Monoksida dan Metana Berbasis IoT Menggunakan Metode Finite State Machine (FSM) dan Fuzzy Logic," *Jurnal Rekayasa ElektriKa*, vol. 18, no. 1, pp. 20-27, 2022.