



---

**NAVIGASI DAN LOKALISASI AUTONOMOUS SWERVE-DRIVE ROBOT  
BERDASARKAN ODOMETRY, GYROSCOPE-ACCELEROMETER,  
LIDAR, DAN KAMERA**

***NAVIGATION AND LOCALIZATION OF AUTONOMOUS SWERVE-DRIVE ROBOT  
BASED ON ODOMETRY, GYROSCOPE-ACCELEROMETER,  
LIDAR, AND CAMERA***

Erlangga Satria As Syhastani Cahyana\*, Departemen Pendidikan Fisika, Universitas  
Negeri Yogyakarta, Indonesia

\*e-mail : [arlanggasatrya.2021@student.uny.ac.id](mailto:arlanggasatrya.2021@student.uny.ac.id)

**Abstrak.** Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem lokalisasi dan navigasi otonom pada robot swerve-drive yang digunakan dalam kompetisi ABU Robocon 2024. Tujuan utama adalah merancang sistem yang andal dan mampu menyesuaikan pergerakan robot secara dinamis berdasarkan perubahan lingkungan secara real-time. Penelitian ini berfokus pada integrasi berbagai sensor, odometri, gyroscope-accelerometer, LiDAR, dan kamera dengan algoritma kontrol adaptif untuk memastikan robot dapat menyelesaikan misi secara efisien. Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dan pengembangan, dengan pengujian algoritma dan sensor di lingkungan yang mensimulasikan lapangan kompetisi. Subjek penelitian adalah robot swerve-drive beserta komponen sensoriknya. Data dikumpulkan melalui sistem sensor robot, dan fusi multi-sensor diterapkan untuk mencapai lokalisasi yang akurat. Validitas dan reliabilitas instrumen diuji secara empiris melalui kalibrasi. Kontrol PID dan algoritma Pure Pursuit digunakan untuk mengatur kecepatan dan lintasan robot, sementara deteksi objek secara real-time menggunakan YOLOv8. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi sensor dan algoritma kontrol berhasil meningkatkan kemampuan robot beradaptasi dengan lingkungan dinamis. Sistem ini mampu mendeteksi dan melacak objek seperti bola dan silo dengan akurasi tinggi. Keberhasilan sistem yang dirancang pada robot ini dibuktikan dengan kemenangan di kompetisi ABU Robocon 2024 Indonesia.

**Kata Kunci:** *fusi multi-sensor, lokalisasi, navigasi, robot, swerve-drive.*

**Abstract.** This study aims to develop an autonomous localization and navigation system for a swerve-drive robot used in the ABU Robocon 2024 competition. The objective is to design a reliable system capable of dynamically adjusting the robot's movement based on real-time environmental changes. The research focuses on integrating multiple sensors, odometry, gyroscope-accelerometer, LiDAR, and camera with adaptive control algorithms, ensuring the robot can execute missions efficiently. The research was conducted using an experimental and developmental approach, where various algorithms and sensors were tested. The subjects of the research were the swerve-drive robot and the sensory components on it. Data were collected using the robot's sensory system, and multi-sensor fusion was employed to achieve robust localization. Validity and reliability of the instruments were ensured through empirical testing and calibration. PID controllers and Pure Pursuit algorithms were applied to manage speed and trajectory, while real-time object detection was handled by YOLOv8. The results show that the integration of sensors and control algorithms successfully improved

*the robot's adaptability to dynamic environments. The system efficiently detected and tracked objects, demonstrating precise navigation. The robot's performance, validated by its win at ABU Robocon 2024 Indonesia, proves that the designed system is both effective and reliable.*

***Kata Kunci: multi-sensor fusion, localization, navigation, robot, swerve-drive.***

## **PENDAHULUAN**

Dalam kompetisi robotika internasional ABU Robocon 2024, tantangan utama yang dihadapi peserta adalah bagaimana menciptakan robot yang mampu beroperasi secara mandiri di lingkungan yang dinamis dan tidak pasti. Robot tidak hanya harus bergerak dengan akurat, tetapi juga harus mampu menavigasi lintasan yang kompleks dan berinteraksi dengan objek di lapangan, seperti bola dan silo, tanpa intervensi manusia. Di sinilah pentingnya penelitian terkait navigasi dan lokalisasi robot swerve-drive berbasis otonom.

Salah satu permasalahan yang sering dihadapi adalah keterbatasan kemampuan navigasi robot yang hanya mengandalkan satu jenis sensor. Misalnya, penggunaan odometri secara eksklusif dapat menyebabkan kesalahan akumulatif (drift) dalam estimasi posisi robot, terutama jika ada gesekan roda yang tidak merata atau medan yang tidak rata. Selain itu, sensor-sensor lain seperti gyroscope dan accelerometer dapat memberikan informasi yang lebih akurat tentang orientasi dan percepatan robot, tetapi tidak cukup untuk memberikan gambaran yang komprehensif tentang posisi robot di ruang tiga dimensi.

Teknologi seperti LiDAR dan kamera telah terbukti mampu memberikan solusi yang lebih baik untuk deteksi lingkungan dan objek di sekitarnya, namun, kedua teknologi ini juga memiliki keterbatasan masing-masing. Misalnya, LiDAR memiliki jangkauan terbatas dan dapat dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan dan penghalang fisik, sedangkan kamera memerlukan pemrosesan gambar yang cepat dan akurat untuk memastikan pengenalan objek yang tepat. Oleh karena itu, kombinasi dari beberapa sensor seperti odometry, gyroscope-accelerometer, LiDAR, dan kamera menjadi sangat penting untuk mencapai navigasi dan lokalisasi yang presisi.

Realitas di lapangan menunjukkan bahwa tim-tim yang hanya mengandalkan satu teknologi sensor sering kali mengalami kegagalan dalam mencapai performa optimal, terutama dalam hal kecepatan, akurasi, dan stabilitas navigasi. Hal ini menimbulkan kesenjangan antara harapan untuk menghasilkan robot otonom yang efisien dan kenyataan bahwa banyak tim masih bergantung pada teknologi tunggal. Dengan demikian, penelitian ini penting untuk mengeksplorasi bagaimana kombinasi dari berbagai sensor dapat digunakan secara efektif dalam menciptakan robot swerve-drive otonom yang mampu menavigasi dan melokalisasi dirinya di lapangan kompetisi dengan lebih baik.

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat ditemukan metode yang lebih optimal untuk memanfaatkan sinergi antara odometry, gyroscope-accelerometer, LiDAR, dan kamera dalam navigasi dan lokalisasi robot. Hal ini akan membuka peluang untuk meningkatkan performa robot dalam kompetisi robotika, khususnya dalam aspek keakuratan navigasi, ketepatan deteksi objek, dan efisiensi waktu.

## METODE

Jenis penelitian ini adalah penelitian terapan. Penelitian terapan bertujuan untuk menyelesaikan masalah praktis. Dalam hal ini, mengembangkan sistem lokalisasi dan navigasi yang andal dan efisien untuk robot swerve-drive otonom dalam konteks kompetisi ABU Robocon 2024. Desain penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental. Penelitian ini melibatkan perancangan, implementasi, dan pengujian algoritma serta sistem untuk lokalisasi dan navigasi robot. Dilakukan eksperimen untuk memvalidasi efektivitas metode integrasi sensor yang berbeda (odometri, gyroscope-accelerometer, LiDAR, dan kamera), mengatur algoritma kontrol (seperti PID dan Pure Pursuit), serta menilai seberapa baik robot beradaptasi di lingkungan yang dinamis dalam kondisi terkontrol. Subjek penelitian adalah robot yang sedang dikembangkan dan diuji dalam berbagai skenario untuk mengukur kinerja sistem navigasi dan lokalisasi yang dibuat. Sumber data berasal dari berbagai pengujian terhadap robot menggunakan sistem dan sensor-sensor yang telah diintegrasikan (odometri, gyroscopeaccelerometer, LiDAR, kamera) di dalam lingkungan berupa lapangan kompetisi ABU Robocon.

Dalam penelitian ini, variabel yang digunakan berkaitan dengan pengukuran dan evaluasi sistem lokalisasi dan navigasi robot otonom berbasis swerve-drive menggunakan integrasi beberapa sensor. Berikut adalah definisi operasional dari masing-masing variabel yang digunakan dalam penelitian ini:

### 1. Lokalisasi Robot

Lokalisasi adalah proses untuk menentukan posisi dan orientasi robot di lingkungan lapangan secara akurat. Dalam penelitian ini, lokalisasi mengacu pada kemampuan sistem untuk memperkirakan posisi robot secara global berdasarkan data dari sensor odometri, gyroscopeaccelerometer, LiDAR, dan kamera. Indikator penelitian:

- a. Akurasi posisi robot.
- b. Kesalahan akumulatif (drift) pada odometri dan seberapa besar koreksi yang dilakukan menggunakan sensor lain (gyroscope-accelerometer, LiDAR).
- c. Tingkat penyimpangan posisi (error) dibandingkan dengan posisi sebenarnya di lapangan.

### 2. Navigasi Robot

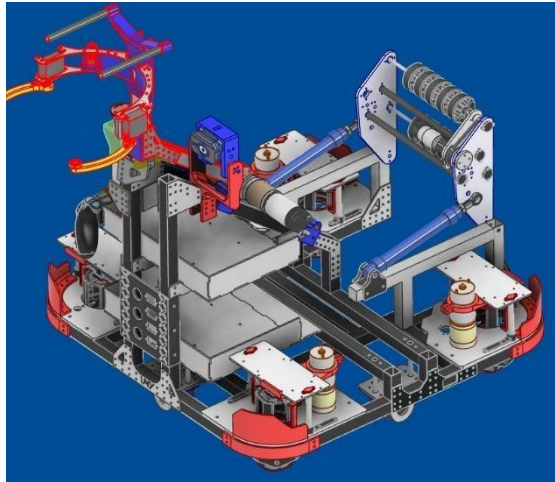
Navigasi adalah kemampuan robot untuk bergerak dari satu titik ke titik lainnya di lapangan kompetisi dengan rute yang optimal. Dalam penelitian ini, navigasi melibatkan pemrosesan data dari sensor untuk mengontrol kecepatan, arah, dan jalur robot menggunakan algoritma seperti PID dan Pure Pursuit. Indikator penelitian:

- a. Akurasi lintasan (seberapa dekat robot mengikuti jalur yang telah ditentukan).
- b. Akurasi robot dalam mencapai target (bola dan silo) yang dipilih.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil

#### 1. Desain Robot

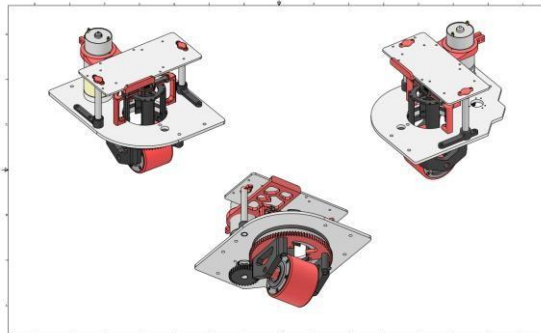


**Gambar 1. Desain Robot Keseluruhan**

Keterangan:

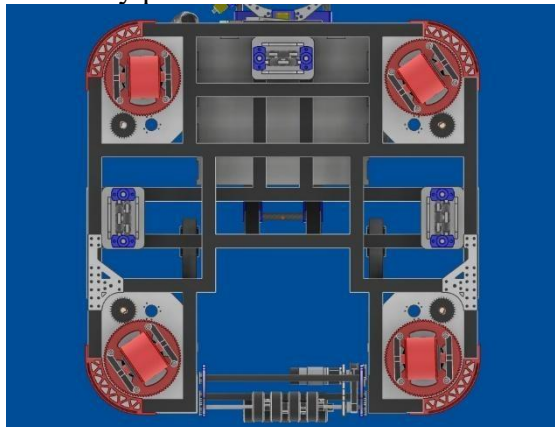
- a. Berat : 24.75 kg
- b. Panjang : 650 mm
- c. Lebar : 650 mm
- d. Tinggi : 455 mm
- e. Bahan : Aluminium, Stainless, PLA+

#### 2. Desain Swerve-Drive



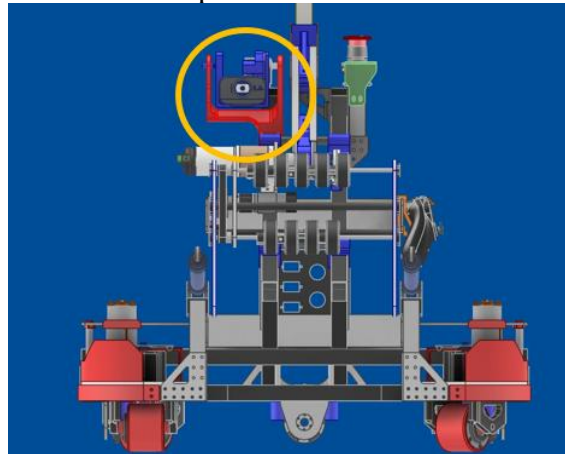
**Gambar 2. Desain Swerve-Drive**

#### 3. Desain Three-Wheel Odometry pada Base Robot



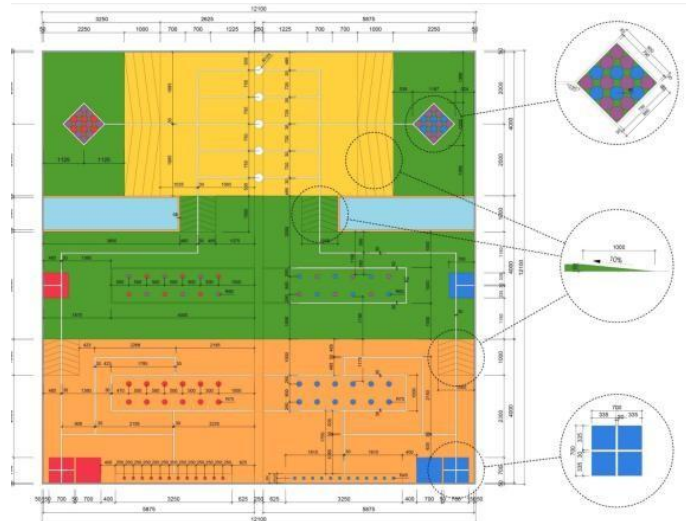
**Gambar 3. Desain Three-Wheel Odometry**

4. Desain Peletakan Kamera Webcam pada Robot



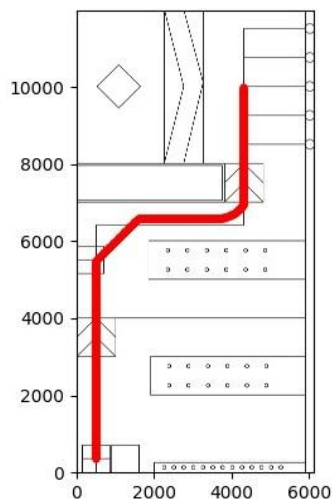
**Gambar 4. Desain Peletakan Webcam**

5. Abu Robocon 2024 Game Field



**Gambar 5. Lapangan Permainan Abu Robocon 2024**

6. Path Planning Menggunakan Algoritma A\*

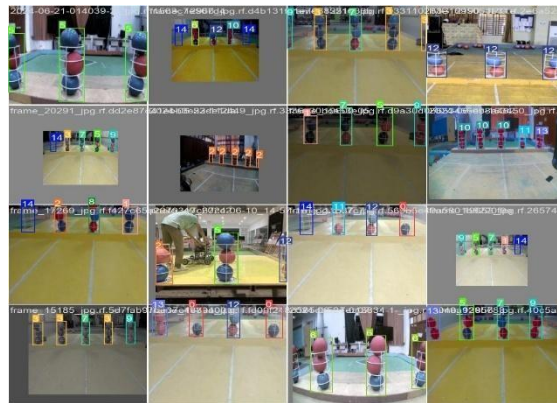


**Gambar 6. Hasil Pencarian Jalur yang Akan Dilalui Robot**

## 7. Deteksi Objek Menggunakan Webcam dan Model YOLOv8



(a)



(b)

**Gambar 7. Deteksi Bola dan Silo Menggunakan Model YOLOv8**

## 8. Integrasi Sudut Yaw dari IMU (Gyroscope-Accelerometer) dan Odometry

Integrasi odometri dan IMU memungkinkan sistem lokalisasi robot untuk menghitung posisi dan orientasi dengan lebih akurat. Odometri digunakan untuk menghitung perubahan posisi robot berdasarkan pergerakan roda, sementara IMU memberikan orientasi sudut (yaw) yang lebih akurat untuk memperbaiki error akibat drift. Kombinasi ini memungkinkan robot untuk bergerak dan bernavigasi secara presisi di lingkungan dinamis. Seperti yang telah diketahui yaw dari robot diperoleh dari quaternion kombinasi gyroscope dan accelerometer:

Yaw ( $\psi$ ):

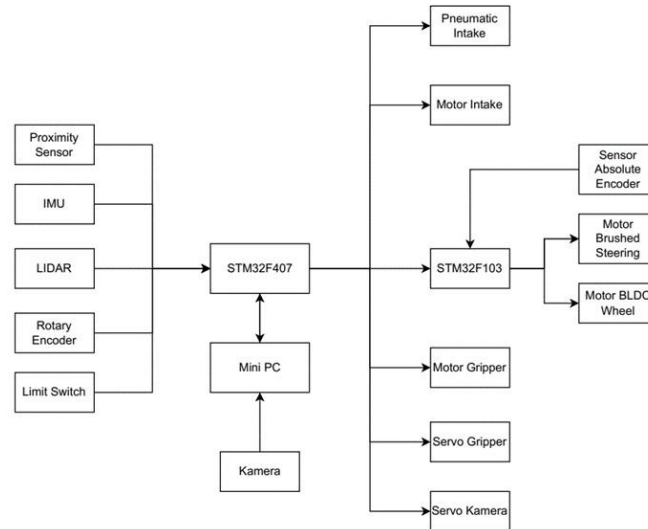
$$\psi = \theta_{IMU} = \text{atan2}((2(q_1q_2 + q_0q_3), 1 - 2(q_2^2 + q_3^2)))$$

Sudut yang diperoleh tersebut dikonversi ke radian sebelum diintegrasikan ke sistem odometri. Sudut ini digunakan dalam persamaan trigonometri untuk menghitung posisi global robot dalam koordinat  $x$  dan  $y$ :

$$\begin{aligned} x_{global} &= x_{global} + \Delta x \cdot \cos \theta_{IMU} - \Delta y \cdot \sin \theta_{IMU} \\ y_{global} &= y_{global} + \Delta x \cdot \sin \theta_{IMU} + \Delta y \cdot \cos \theta_{IMU} \end{aligned}$$

Dengan cara ini, perubahan posisi robot dihitung tidak hanya berdasarkan data encoder, tetapi juga berdasarkan orientasi yang diberikan oleh IMU. Jika terjadi drift pada odometri, data dari IMU akan membantu menjaga orientasi robot tetap akurat.

## 9. Sistem Sensor dan Aktuator pada Robot



**Gambar 8. Diagram Sistem Sensor dan Aktuator**

## Hasil Pertandingan Final Abu Robocon 2024 Indonesia

Pada awal program, robot diinisialisasi dengan parameter dan sensor utama seperti LIDAR, IMU, kamera, dan odometri. Parameter dan sensor ini memberikan robot posisi awal dan orientasinya. Perilaku robot terstruktur di sekitar serangkaian misi, yang dipicu berdasarkan masukan eksternal (misalnya, deteksi silo atau bola) dan status internal (misalnya, posisi robot). Setiap misi sesuai dengan tugas dalam kompetisi.

### 1. Misi Reset Awal Robot.

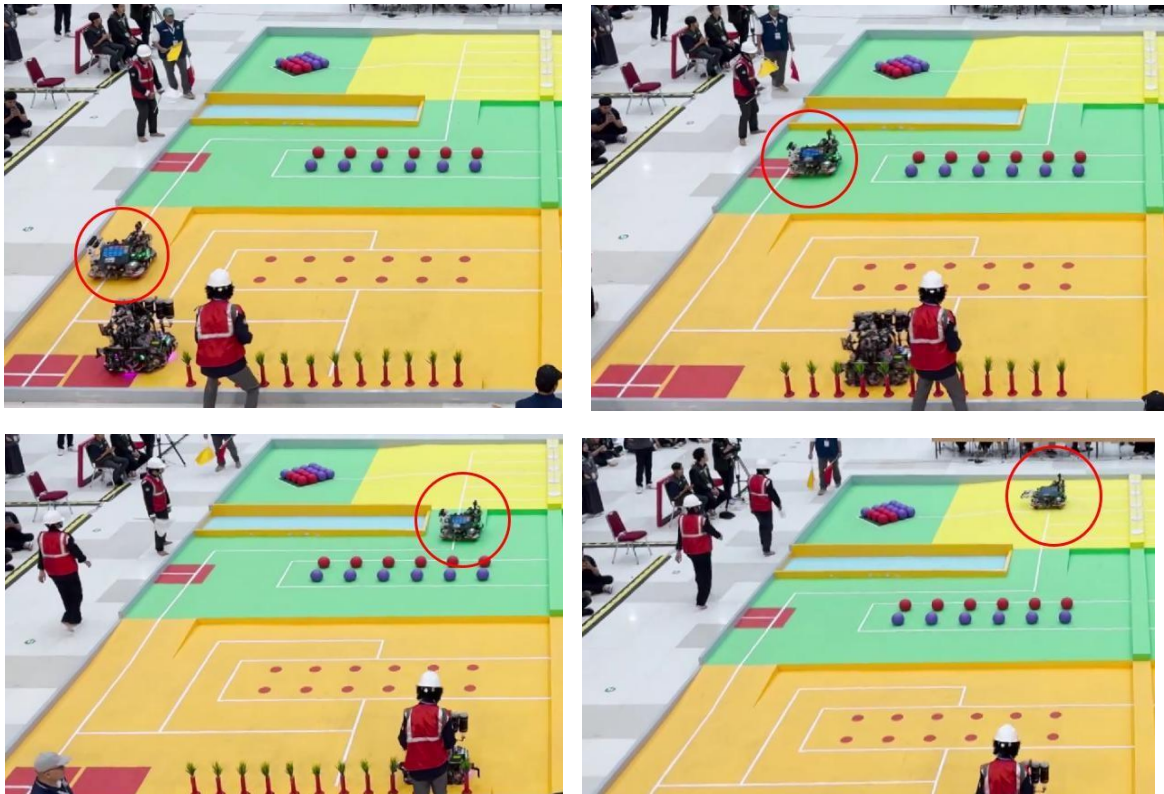
Dilakukan reset berbagai parameter robot seperti odometri, posisi robot, pengontrol kecepatan PID dan Pure Pursuit, kamera, dan silo. Sudut servo kamera diarahkan ke nilai untuk mencari bola dan beberapa variabel status di-reset. Setelah reset selesai, robot melanjutkan ke misi berikutnya.



**Gambar 9. Posisi Start Robot Pada Final Abu Robocon 2024 Indonesia**

## 2. Misi Menuju Lantai 3 Lapangan

Robot menggunakan algoritma Pure Pursuit untuk menentukan koordinat tujuan berdasarkan posisi dan kecepatan saat ini. Koordinat jalur robot yang ditempuh diperoleh dari pencarian menggunakan algoritma A\*. Jarak ke target akhir dihitung menggunakan jarak Euclidean antara posisi saat ini dan target. Target akhir lantai 3 yang dituju robot yaitu pada koordinat (4300, 10000) dalam mm. Robot dikendalikan menggunakan mekanisme swerve untuk menavigasi menuju target berdasarkan orientasi robot, posisi saat ini, dan kecepatan yang dikendalikan oleh pengontrol kecepatan PID. Jika jarak ke target akhir kurang dari 200 mm dan posisi LiDAR Y melebihi 8450 mm, robot akan melompat ke misi berikutnya. Ini berarti robot sudah tiba di area 3. Posisi robot diupdate menggunakan data dari sensor LiDAR terkini (*coordinate\_x\_lidar* dan *coordinate\_y\_lidar*).

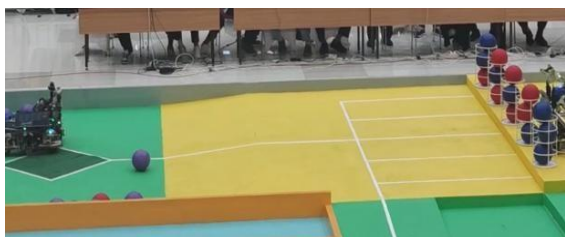
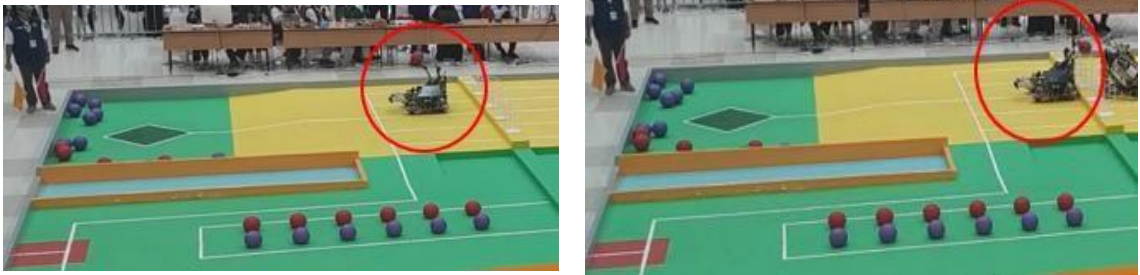


**Gambar 10. Robot Melaksanakan Misi Menuju Lantai 3**

## 3. Misi Mencari Bola dan Mencari Silo

Robot menentukan titik target di lapangan (1000, 9980) untuk menabrak susunan bola dan menghitung jarak ke target menggunakan rumus jarak Euclidean. Kecepatan diatur dengan *ConstantSpeedController.SetSpeed* dan pengendali kecepatan PID di-reset. Robot mendeteksi bola menggunakan koordinat kamera dalam x dan y dan robot menghitung jarak dan error berdasarkan posisi bola dan gripper robot. Ada beberapa skenario tergantung pada warna bola (merah atau ungu) dan kondisi tertentu. Jika bola tidak terdeteksi atau bola ungu yang ter-grip oleh robot, maka robot menangani pembuangan bola ungu. Jika robot mendeteksi bola merah, robot mencoba menggenggam bola menggunakan gripper dan menyesuaikan gerakannya. PID dan Pure Pursuit controller digunakan untuk mengontrol gerakan robot berdasarkan posisi bola.

Setelah mendapatkan bola, robot menuju koordinat (4200, 9980) untuk mencari silo dengan prioritas tertinggi dengan mengatur sudut kamera menuju target. Jika sudah ditemukan, robot akan menggunakan data dari sensor LiDAR dan kamera untuk menghitung jarak dan kesalahan posisi relatif terhadap silo target. Jika posisi telah diketahui, maka robot akan bergerak menuju silo target menggunakan PID dan Pure Pursuit controller. Jika jarak sudah dekat, robot memperlambat kecepatan untuk memasukkan bola ke dalam silo. Setelah berhasil memasukkan bola ke dalam silo, maka semua variabel terkait dengan misi silo diatur ulang. Robot siap untuk melanjutkan ke langkah berikutnya, yaitu kembali ke zona penyimpanan dan sudut kamera diatur untuk mencari bola kembali. Misi mencari bola dan silo dilakukan berulang-ulang hingga game dinyatakan selesai.





**Gambar 11. Aksi-Aksi Robot Dalam Pencarian Bola dan Pemilihan Silo Secara Otomatis**

### **Pembahasan**

Setiap selesai melakukan setiap misi, dilakukan pengaturan ulang atau *reset* beberapa variabel dan parameter fungsi, seperti pengendali kecepatan PID dan Pure Pursuit, odometri atau posisi robot, dan variabel-variabel terkait pencarian bola dan silo. Hal ini penting dilakukan untuk menjaga akurasi, efisiensi, dan kemampuan robot selama menjalankan berbagai misi. Berikut adalah alasan mengapa proses reset ini diperlukan:

#### **1. Menghindari Akumulasi Kesalahan (Odometri & Sensor)**

Odometri bergantung pada sensor seperti encoder, giroskop, akselerometer, dan LIDAR untuk memperkirakan posisi robot. Seiring waktu, kesalahan kecil atau "*drift*" dalam pembacaan sensor dapat terakumulasi dan menyebabkan kesalahan yang lebih besar dalam estimasi posisi. Dengan mereset odometri, robot dapat memulai misi berikutnya dengan data posisi yang akurat.

Sensor seperti LIDAR dan kamera mungkin mengalami noise atau pembacaan yang kurang akurat karena perubahan lingkungan (misalnya, pencahayaan atau adanya rintangan). Mereset membantu mengkalibrasi ulang sensor-sensor tersebut agar data yang diperoleh akurat saat memulai misi baru.

#### **2. Konsistensi Pengendalian PID dan Pengontrol Kecepatan untuk Navigasi Robot**

PID controller mengatur gerakan robot berdasarkan perbedaan antara kondisi yang diinginkan dan kondisi yang aktual (misalnya, kecepatan atau posisi). Seiring waktu, jika ada perubahan beban, gesekan, atau daya baterai, nilai penguat (P, I, D) mungkin perlu di-reset atau disetel ulang agar robot tetap berjalan dengan lancar. Mereset PID controller menghindari adanya "memori" dari misi sebelumnya (seperti integral windup), sehingga kontroler berfungsi optimal pada misi berikutnya.

Kecepatan yang diperlukan dan perilaku pengendalian untuk setiap misi bisa berbeda (misalnya, mendekati silo vs. bergerak menuju zona penyimpanan). Mereset pengendali kecepatan memastikan bahwa parameter yang sesuai (seperti kecepatan maksimum, akselerasi, dan faktor penyetelan) digunakan untuk setiap misi, sehingga menghindari masalah performa seperti overshoot atau respons yang lambat.

#### **3. Penyesuaian Pure Pursuit untuk Pengikutan Jalur**

Algoritma pengikut jalur ini menghitung titik target berdasarkan posisi robot saat ini. Setelah setiap misi, jalur mungkin berubah, dan robot harus menyesuaikan diri dengan koordinat atau target baru. Mereset memastikan algoritma memulai dengan data yang baru dan tidak menggunakan data lama dari misi sebelumnya, sehingga akurasi navigasi tetap terjaga. Jika robot mengikuti jalur atau lintasan yang berbeda untuk setiap misi, data lintasan sebelumnya harus dihapus. Jika tidak, robot bisa mengikuti jalur yang salah atau membuat asumsi yang keliru tentang pergerakannya.

#### **4. Mencegah Pengambilan Keputusan yang Salah**

Variabel yang terkait pencarian bola dan silo melacak status spesifik misi (misalnya, apakah bola sudah ter-grip oleh gripper, apakah bola sudah masuk ke dalam silo, apakah semua silo terdeteksi, dll.). Mereset variabel-variabel ini memastikan robot tidak membawa informasi dari satu misi ke misi lainnya, yang bisa menyebabkan pengambilan keputusan yang salah (misalnya, menganggap bola sudah dimasukkan padahal belum).

Berdasarkan analisis latihan dan simulasi pertandingan selama pengembangan sistem lokalisasi dan navigasi robot secara otonom, diperoleh hasil pengujian sistem yang dirancang:

1. Akurasi Lokalisasi dengan Fusi Multi Sensor

Pengujian sistem lokalisasi menunjukkan bahwa integrasi multi-sensor memberikan hasil yang akurat dalam menentukan posisi dan orientasi robot di lapangan. Data dari odometri, gyroscopeaccelerometer, dan LiDAR disinkronkan dengan baik untuk meminimalkan kesalahan posisi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kesalahan akumulatif pada odometri berhasil dikoreksi dengan data dari sensor gyroscope-accelerometer dan LiDAR, sehingga drift pada odometri dapat diminimalkan hingga tingkat yang tidak signifikan. Rata-rata error posisi selama pengujian berada dalam rentang  $\pm 5$  mm, yang lebih dari cukup untuk memastikan robot dapat mencapai target dengan akurasi tinggi.

2. Kinerja Navigasi dengan Algoritma PID dan Pure Pursuit

Algoritma Pure Pursuit yang digunakan untuk menentukan jalur robot berdasarkan posisi dan kecepatan saat ini terbukti sangat efektif. Robot dapat mengikuti lintasan yang telah ditentukan dengan baik dan mampu melakukan koreksi jalur secara dinamis saat terjadi perubahan lingkungan, seperti pergerakan objek bola yang dituju atau adanya rintangan di lapangan. Overshoot dan error pada jalur diminimalkan oleh penggunaan PID controller, yang memastikan robot bergerak dengan kecepatan yang optimal dan stabil. Waktu respon sistem untuk menyesuaikan lintasan robot sangat cepat saat robot perlu mengubah jalurnya.

3. Efisiensi Pemrosesan Data Real-Time

Sistem pemrosesan data dari berbagai sensor, termasuk IMU, LiDAR dan kamera, berhasil dioptimalkan sehingga memungkinkan robot untuk mengambil keputusan secara real-time tanpa mengalami keterlambatan. Data dari sensor diproses dalam waktu yang cukup singkat, memungkinkan robot untuk menavigasi lapangan dengan cepat dan tepat.

Robot mampu menunjukkan ketangguhan yang tinggi selama kompetisi. Meskipun terdapat tantangan dalam lingkungan yang dinamis, seperti pergerakan robot lain, kondisi bola dan silo yang sedikit berbeda, dan kondisi pencahayaan yang bervariasi, robot tetap dapat melokalisasi dirinya dengan baik dan menyelesaikan semua misi yang diberikan. Sistem navigasi berhasil menjaga akurasi lintasan dan deteksi objek meskipun kondisi lingkungan yang berubah-ubah.

Algoritma pengendalian robot otomatis dirancang untuk menjalankan berbagai misi secara otomatis berdasarkan masukan berbagai sensor. Algoritma ini menyediakan pemrograman logika untuk memastikan robot dapat beradaptasi secara dinamis selama kompetisi. Misi-misi yang ditugaskan pada robot diantaranya, pergerakan ke *storage zone* (area atau lantai 3), pendeteksian dan pengejaran bola dan silo, pengimplementasian odometry untuk lokalisasi robot secara global, penggunaan PID dan Pure Pursuit controller untuk kontrol kecepatan robot, pengendalian mekanisme seperti servo, gripper, intake dan komponen lainnya untuk proses lokalisasi dan navigasi robot.

Pada kompetisi ABU ROBOCON 2024 Indonesia, tim MAESTRO EVO Universitas Negeri Yogyakarta berhasil menjadi juara 1 dari 32 tim yang mengikuti dari berbagai perguruan tinggi di Indonesia. Tim kami berhak mewakili Indonesia ke Vietnam, setelah

mengalahkan tim RIVONE dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember di final dengan kemenangan “*mua vàng*” (kemenangan mutlak).

## **SIMPULAN**

Kemenangan pada kompetisi ABU ROBOCON 2024 Indonesia membuktikan sistem lokalisasi dan navigasi robot otomatis berbasis swerve-drive yang kami rancang dapat diunggulkan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan untuk menjawab permasalahan yang telah dirumuskan. Odometri bergantung pada sensor seperti encoder, giroskop, akselerometer, dan LIDAR untuk memperkirakan posisi robot. Dengan mereset odometri global robot setiap selesai melakukan misi, robot dapat memulai misi berikutnya dengan data posisi yang akurat dan menghindari akumulasi kesalahan atau drift pada sistem odometri.

Kalibrasi giroskop dan akselerometer melibatkan perhitungan offset untuk menghilangkan kesalahan pembacaan data. Kalibrasi gyroscope dilakukan dengan mendiamkan ponsel di permukaan datar guna menghilangkan bias atau drift data saat sensor diam. Akselerometer dikalibrasi dengan memutar ponsel secara di sekitar ketiga sumbunya ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ). Ini memastikan akselerometer dapat mengukur gaya yang bekerja pada perangkat, terutama gaya gravitasi, di seluruh sumbu secara akurat.

Untuk merancang sistem lokalisasi dan navigasi robot yang mampu menyesuaikan pergerakan secara dinamis dengan perubahan lingkungan di lapangan, diperlukan kombinasi algoritma pengendalian yang adaptif serta sensor yang dapat memberikan data secara real-time. Dalam penelitian ini, penggunaan algoritma Pure Pursuit dan PID controller pada robot swerve-drive terbukti mampu memberikan kendali yang akurat dan fleksibel, memungkinkan robot untuk menavigasi lingkungan yang dinamis. Robot juga menggunakan data dari sensor seperti LiDAR dan kamera untuk memperbarui posisinya secara kontinu, sehingga dapat menyesuaikan lintasan saat mendekati target.

Penggunaan beberapa sensor seperti odometri, giroskop-akselerometer, LiDAR, dan kamera memainkan peran penting dalam meningkatkan akurasi dan efisiensi sistem navigasi robot otonom. Integrasi data dari berbagai sensor dilakukan dengan cara yang efisien melalui pemrosesan multisensor fusion, di mana data dari masing-masing sensor digabungkan untuk memberikan estimasi posisi robot yang lebih tepat. Integrasi filter Mahony untuk giroskop-akselerometer guna mengatasi masalah noise pada sinyal sensor.

Berdasarkan temuan penelitian, terdapat beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut. Pertama, perlu dikembangkan algoritma kontrol yang lebih canggih, seperti model prediktif (MPC) atau teknologi berbasis kecerdasan buatan (AI), agar robot dapat lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan yang semakin kompleks. Kedua, disarankan untuk mengembangkan metode kalibrasi sensor otomatis guna menjaga akurasi data tanpa memerlukan kalibrasi manual yang rutin.

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada teman-teman anggota tim robotik Maestro Evo UNY yang telah bekerja keras dalam pembuatan robot ini, hingga berhasil menjadi juara satu di Kontes Robot Indonesia 2024.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, H., & Namerikawa, T. (2010). H Infinity Filter-based Robotic Localization and Mapping with Intermittent Measurements. *The 8th France-Japan and 6th Europe-Asia Congress on Mechatronics*.
- Coulter, R. (1992). *Implementation of the Pure Pursuit Path Tracking Algorithm*. Pennsylvania: Camegie Mellon University.
- Natakusuma, B. P. (2018). *APLIKASI SENSOR INERTIA MEASUREMENT UNIT (IMU) UNTUK MEMPERBAIKI GERAK BERJALAN*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Palacin, J., Rubies, E., & Clotet, E. (2022). Systematic Odometry Error Evaluation and Correction in a Human-Sized Three-Wheeled Omnidirectional Mobile Robot Using Flower-Shaped Calibration Trajectories. *Applied Sciences*, 12(5), 2606.
- Reis, D., Kupec, J., Hong, J., & Ahmad, D. (2024). Real-Time Flying Object Detection with YOLOv8. *arXiv*.
- Susanto, A. P. (2018). *AUTONOMOUS DOCKING SYSTEM UNTUK MOBILE*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Susanto, J. (2016). *NAVIGASI MOBILE ROBOT MENGGUNAKAN DYNAMIC PATH PLANNING ALGORITHM BERBASIS GENETIC ALGORITHM*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Utomo, E. B. (2015). *AUTONOMOUS MOBILE ROBOT BERBASIS LANDMARK MENGGUNAKAN PARTICLE FILTER DAN OCCUPANCY GRID MAPS UNTUK NAVIGASI, PENENTUAN POSISI, DAN PEMETAAN*. Surabaya: INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER .
- Veness, T. (2020). *Controls Engineering in the FIRST Robotics Competition*. California: University of California.
- Ward, B. (2019). *Game Manual 0*. Retrieved from <https://gm0.org/en/latest/docs/software/concepts/odometry.html>
- Zhao, S. e. (2021). Super Odometry: IMU-centric LiDAR-Visual-Inertial Estimator for Challenging Environments. *EEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 8729-8736.