

Implementasi Metode Waypoint pada Sistem Navigasi Automated Guided Vehicle (AGV)

Mohammad Arsy Ananta¹, Amperawan², Masayu Anisah³

Politeknik Negeri Sriwijaya, Indonesia^{1,2,3}

Email: arsyananta@gmail.com¹, amperawan@polsri.ac.id², annisah1970@gmail.com³

Abstrak

Dalam industri manufaktur dan logistik, efisiensi operasional menjadi kunci utama untuk meningkatkan produktivitas dan mengurangi biaya operasional. Salah satu inovasi teknologi yang berperan penting adalah penggunaan *Automated Guided Vehicle (AGV)* yang dilengkapi dengan sistem navigasi berbasis GPS. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan sistem navigasi GPS pada AGV menggunakan metode *waypoint* dengan fokus pada peningkatan akurasi pergerakan dan optimasi rute kendaraan. Metode *waypoint* digunakan untuk menentukan titik-titik koordinat tujuan yang harus dicapai oleh AGV. Pengujian dilakukan pada beberapa skenario pergerakan, yang mencakup pengaturan *waypoint* pada lintasan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem navigasi yang dikembangkan mampu mengurangi deviasi jarak dan meningkatkan konsistensi pergerakan AGV menuju titik-titik *waypoint* yang telah ditentukan. Pada pengujian pertama, AGV berhasil menurunkan deviasi dari 9 meter menjadi 3 meter, menunjukkan kemampuan sistem dalam menyesuaikan posisi secara bertahap. Pengujian kedua dan ketiga juga menunjukkan penurunan deviasi yang signifikan, memperkuat keandalan metode ini dalam lingkungan yang bervariasi. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa integrasi teknologi GPS dengan metode *waypoint* efektif dalam meningkatkan kinerja AGV untuk aplikasi di industri manufaktur dan logistik.

Kata kunci: navigasi gps, *automated guided vehicle*, metode *waypoint*, efisiensi transportasi

Abstract

In the manufacturing and logistics industry, operational efficiency is key to increasing productivity and reducing operational costs. One technological innovation that plays an important role is the use of Automated Guided Vehicles (AGVs) equipped with GPS-based navigation systems. This research aims to implement a GPS navigation system on AGVs using the waypoint method with a focus on improving movement accuracy and vehicle route optimisation. The waypoint method is used to determine the coordinate points of the destination that must be reached by the AGV. Tests were conducted on several movement scenarios, which included setting waypoints on the trajectory. The test results show that the developed navigation system is able to reduce distance deviation and improve the consistency of AGV movement towards predetermined waypoints. In the first test, the AGV successfully reduced the deviation from 9 metres to 3 metres, demonstrating the system's ability to gradually adjust the position. The second and third tests also showed significant deviation reduction, reinforcing the reliability of this method in varied environments. The conclusion of this research is that the integration of GPS technology with the waypoint method is effective in improving AGV performance for applications in the manufacturing and logistics industries.

Keywords: *gps navigation, automatic guided vehicle, waypoint method, transport efficiency*

PENDAHULUAN

Dalam industri manufaktur dan logistik, efisiensi operasional menjadi salah satu faktor kunci yang menentukan keberhasilan perusahaan (Istiqomah et al., 2023). Peningkatan efisiensi ini tidak hanya memberikan keuntungan dari segi waktu dan biaya, tetapi juga meningkatkan kapasitas produksi dan kecepatan pengiriman yang pada akhirnya memuaskan kebutuhan pelanggan (Syamil et al., 2023). Salah satu upaya untuk meningkatkan efisiensi tersebut adalah dengan menerapkan sistem otomasi pada berbagai proses, termasuk dalam hal transportasi material dan barang di dalam fasilitas produksi atau gudang.

Otomasi dalam transportasi internal memungkinkan perusahaan untuk mengurangi waktu yang diperlukan dalam pemindahan material antar proses produksi atau dari gudang ke lini produksi (Aloui et al., 2021). Selain itu, menurut Lothar Schulze dan Lindu Zhao dalam jurnal *Worldwide Development and Application of Automated Guided Vehicle Systems*, otomasi juga mengurangi kesalahan manusia yang sering kali terjadi pada proses manual, seperti penempatan produk yang salah atau kerusakan barang karena penanganan yang tidak tepat. *Automated Guided Vehicle Systems* (AGVS) terbukti fleksibel dan efisien untuk berbagai tugas aliran material, di area pabrik. Keunggulan utamanya adalah kemampuan merencanakan dan mengoptimalkan unit kendaraan berdasarkan strategi yang telah ditentukan, serta memastikan pelacakan barang yang lebih baik. Penggunaan sistem otomasi dalam transportasi dapat meningkatkan akurasi dan konsistensi, yang krusial untuk menjaga kualitas dan efektivitas produksi.

Salah satu robot yang dapat digunakan adalah *Automated Guided Vehicle* (AGV). AGV adalah kendaraan yang dirancang untuk bergerak secara otonom di dalam lingkungan tertentu tanpa harus dikendalikan oleh manusia. Menurut M. De Ryck, M. Versteyhe, dan F. Debrouwere (2020) dalam jurnal *Automated Guided Vehicle systems, state-of-the-art control algorithms and techniques*, AGV merupakan robot bergerak yang banyak digunakan dalam industri untuk mengangkut barang dari satu titik ke titik lain. Pasar AGV saat ini tumbuh dengan cepat dan sangat dinamis, didorong oleh munculnya sistem manufaktur yang fleksibel, meningkatnya permintaan akan AGV yang disesuaikan, serta adopsi otomatisasi industri oleh usaha kecil dan menengah (UKM) (Astuti, 2015). AGV dapat beroperasi secara terus-menerus, mengurangi waktu tunggu, dan mempercepat proses pengerjaan. Selain menggantikan pekerja manusia, AGV juga dapat mengurangi biaya operasional jangka panjang.

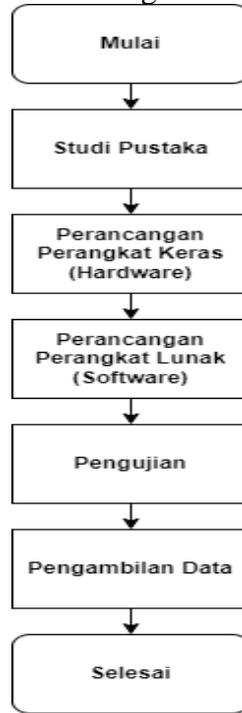
AGV dapat berpindah dari satu tempat ke tempat lainnya dengan menggunakan metode *waypoint* untuk menentukan tujuan yang ingin dituju (Prakoso et al., 2018). AGV pada awalnya akan melakukan pemetaan area yang akan dilalui melalui GPS (Fadhil, 2020). Sebelum AGV mulai bergerak, diperlukan titik koordinat penentu awal mulai dan titik akhir operasi. Setelah mengetahui posisi awal dan titik tujuan yang ditentukan, AGV dapat mencapai tujuan tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan mengembangkan penerapan *Automated Guided Vehicle* (AGV) sebagai solusi otomasi dalam industri manufaktur dan logistik guna meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi kesalahan manusia, dan mempercepat proses pemindahan material. Secara global, penelitian ini berfokus pada analisis efektivitas AGV dalam meningkatkan ketepatan navigasi menggunakan metode *waypoint* serta mendukung penerapan otomasi di berbagai sektor industri. Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini meliputi peningkatan produktivitas, penghematan biaya operasional, serta peningkatan keselamatan kerja dengan meminimalisir risiko dalam proses transportasi material. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam mendukung transformasi digital di era Industri 4.0, di mana AGV menjadi bagian penting dalam menciptakan proses manufaktur yang lebih modern, fleksibel, dan efisien. Dengan demikian, implementasi AGV tidak hanya meningkatkan daya saing industri tetapi juga mendorong terciptanya ekosistem kerja yang lebih aman, terstruktur, dan berorientasi pada teknologi.

METODE PENELITIAN

Kerangka Tugas Akhir

Prosedur pengerjaan tugas akhir ini dibuat berdasarkan sistematika tahapan pengerjaan yang berurutan. Tujuan digunakannya adalah agar prosedur pembuatan tugas akhir dapat berjalan dengan baik sesuai target dan mencapai hasil yang diharapkan. Tahapan proses pengerjaan tugas akhir diwujudkan kedalam diagram alir yang ditunjukkan.



Gambar 1. Flowchart Kerangka Tugas Akhir

Flowchart pada gambar di atas menggambarkan tahapan-tahapan sistematis yang ditempuh dalam penyelesaian tugas akhir ini, mulai dari inisiasi hingga penyelesaian. Proses dimulai dengan tahap Mulai, yang menandai awal dari keseluruhan proyek tugas akhir. Langkah pertama setelah inisiasi adalah Studi Pustaka, di mana dilakukan kajian literatur untuk memahami konsep-konsep dasar, teknologi, dan metode yang terkait dengan *Automated Guided Vehicle* (AGV) dan sistem navigasi berbasis *waypoint* yang menjadi fokus penelitian ini. Studi pustaka ini bertujuan untuk memperkuat landasan teoritis dan memastikan bahwa penelitian didasarkan pada informasi dan pengetahuan terkini.

Selanjutnya, masuk ke tahap Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*), yang melibatkan pemilihan dan perancangan komponen fisik yang akan digunakan dalam sistem AGV, seperti sensor, mikrokontroler, dan aktuator. Setelah perangkat keras dirancang, tahap Perancangan Perangkat Lunak (*Software*) dilakukan untuk mengembangkan program yang akan mengendalikan operasi AGV. Perangkat lunak ini mencakup Kontrol navigasi, pengolahan data dari sensor, dan sistem komunikasi antara AGV dan pengguna.

Setelah perangkat keras dan perangkat lunak selesai dirancang dan diintegrasikan, tahap Pengujian dilakukan. Tahap ini bertujuan untuk memverifikasi bahwa setiap komponen berfungsi sesuai spesifikasi dan sistem AGV bekerja secara keseluruhan sesuai dengan yang diharapkan dalam skenario operasional yang telah ditentukan. Tahap berikutnya adalah Pengambilan Data, di mana data kinerja sistem dikumpulkan selama pengujian. Data ini penting untuk analisis lebih lanjut guna menilai efektivitas dan efisiensi sistem navigasi yang dikembangkan. Tahapan terakhir adalah Selesai, di mana seluruh proses penelitian dan pengembangan tugas akhir ini diakhiri dengan pendokumentasian hasil dalam laporan tugas akhir.

Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Perangkat keras terbentuk dari dua aspek, yaitu perancangan mekanik dan perancangan elektronik (Mahesa et al., 2019). Menurut Febiola, (2022) perancangan perangkat keras (*hardware*) bertujuan untuk memetakan perangkat apa saja yang dibutuhkan dalam proses pengerjaan.

Perancangan Perangkat Lunak

Setelah perancangan perangkat keras selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah tahap perancangan perangkat lunak. Perancangan perangkat lunak dalam implementasi metode *waypoint* dalam sistem navigasi *Automated Guided Vehicle* (AGV) menjadi krusial dalam memastikan AGV dapat bergerak secara akurat dan efisien sesuai dengan rute yang ditentukan. Perancangan perangkat lunak memiliki peranan penting dalam pembuatan sistem AGV dengan menggunakan metode *waypoint*. Beberapa *software* yang digunakan dalam pembuatan sistem AGV antara lain, Raspberry Pi Imager, Arduino IDE, Pycharm, RealVNC, WinSCP, Visual Studio Code dan Firebase.

Perancangan perangkat lunak akan mencakup pengembangan navigasi yang menggunakan data GPS dan metode *waypoint* untuk menentukan rute optimal AGV. Ini akan mempertimbangkan faktor-faktor seperti jarak, arah, dan kendala lingkungan untuk menghasilkan rute yang efisien dan aman. Selain itu, kontrol PID (*Proportional-Integral-Derivative*) juga akan diimplementasikan untuk mengontrol gerakan AGV secara stabil dan akurat. Dan untuk memvisualisasikan data yang di dapat dari AGV, digunakan sebuah web yang dibuat menggunakan beberapa software Firebase, visual studio code dan XAMPP untuk mempermudah membaca data jarak.

Metode *Waypoint*

Metode *waypoint* adalah teknik navigasi di mana AGV mengikuti serangkaian titik koordinat (*waypoint*) yang telah ditentukan sebelumnya (Rifaldi et al., 2020). Setiap *waypoint* merupakan titik referensi yang harus dicapai oleh AGV dalam perjalanan menuju tujuan akhirnya (Abdullah‘Azzam, 2020). Penggunaan metode *waypoint* memiliki beberapa keuntungan, antara lain:

1. Keakuratan Navigasi: Dengan menentukan titik koordinat yang spesifik, AGV dapat bergerak dengan presisi tinggi, mengurangi kemungkinan penyimpangan dari jalur yang diinginkan.
2. Kemudahan Penyesuaian Jalur: Jalur navigasi dapat dengan mudah dimodifikasi dengan menambahkan atau mengubah posisi *waypoints* tanpa perlu merombak keseluruhan sistem.
3. Fleksibilitas: Metode ini memungkinkan AGV untuk menghindari hambatan dan rintangan di sepanjang jalur dengan memperbarui *waypoints* secara dinamis.

Dalam implementasinya, data koordinat GPS digunakan untuk menentukan posisi AGV dan membandingkannya dengan posisi *waypoint* berikutnya. Kontrol navigasi kemudian mengarahkan AGV menuju *waypoint* tersebut dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti jarak dan arah.

Kontrol PID

Kontrol PID (*Proportional-Integral-Derivative*) merupakan salah satu metode pengendalian yang paling umum digunakan dalam sistem kontrol industri (Nizar et al., 2021). Pada proyek ini, Kontrol PID digunakan untuk mengendalikan pergerakan AGV (*Automated Guided Vehicle*) agar dapat mengikuti jalur yang ditentukan dengan akurasi tinggi. Implementasi Kontrol PID pada AGV bertujuan untuk mengoreksi arah gerakan kendaraan secara *real-time* berdasarkan perbedaan antara arah yang diinginkan dan arah aktual yang terdeteksi oleh sensor kompas.

Implementasi PID pada AGV

Dalam implementasinya, Kontrol PID pada AGV digunakan untuk mengatur kecepatan motor kanan dan kiri berdasarkan nilai PID yang dihitung (Justiadi et al., 2018). Langkah-

langkah utama dalam implementasi PID yaitu: menghitung *error*, menghitung komponen PID, mengatur kecepatan motor, pembatasan kecepatan (*constrain*), dan pengendalian motor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

Desain perangkat keras robot AGV melibatkan berbagai komponen penting untuk memastikan robot dapat beroperasi dengan efisien dan efektif (Artanto et al., 2023). Bodi utama robot terbuat dari material akrilik dengan ketebalan yang berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan struktur dan fungsi. Selain itu terdapat sasi yang terbuat dari besi yang dibentuk persegi panjang untuk menopang bodi AGV. Dasar bawah robot dibuat dengan ketebalan 5 mm untuk memberikan kekuatan dan stabilitas yang diperlukan. Bagian tengah atau bodi robot dan bagian atas robot dibuat dengan akrilik setebal 3 mm, memberikan perlindungan bagi komponen elektronik sambil mempertahankan bobot beberapa komponen robot.

Untuk navigasi, AGV ini dilengkapi dengan sensor jarak ultrasonik yang ditempatkan di depan dan belakang AGV. Sensor-sensor ini berfungsi untuk mendeteksi dan menghindari rintangan di sekitar, memungkinkan AGV untuk bergerak dengan aman dan efisien di berbagai lingkungan. Sensor ultrasonik ini sangat penting untuk memastikan AGV tidak menabrak benda-benda di sekitarnya dan dapat menghindari kerusakan AGV dengan efektif.



Gambar 2. Tampak Depan AGV



Gambar 3. Tampak Samping AGV



Gambar 4. Tampak Belakang AGV

Sistem penggerak robot terdiri dari empat motor DC yang terhubung dengan driver motor. Motor-motor ini menggerakkan roda kiri dan kanan, memberikan kemampuan robot untuk bergerak maju, mundur, dan berbelok dengan mudah. Desain ini memungkinkan robot untuk melakukan manuver kompleks, membawa beban yang berat dan dapat melalui kondisi jalan yang tidak rata.

Robot ini menggunakan mikrokontroler Arduino dan mini PC Raspberry Pi sebagai otak pengendalian utama. Arduino ini mengelola berbagai fungsi penggerak, sensor, dan sistem navigasi robot yang lalu akan di proses oleh Raspberry Pi yang terhubung ke Wi-Fi dan akan mengirim data komponen yang digunakan ke firebase, lalu akan ditampilkan melalui *website*.

Untuk sumber daya, robot ini menggunakan dua buah baterai LiPo (Lithium Polymer) dengan kapasitas 2200 mAh dan 5000 mAh. Baterai ini menyediakan daya yang cukup untuk mengoperasikan semua komponen robot, termasuk motor penggerak, dan sensor. Kapasitas baterai yang besar memastikan robot dapat beroperasi untuk waktu yang cukup lama sebelum perlu diisi ulang.

Overview Pengujian

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengevaluasi kinerja sistem navigasi *Automated Guided Vehicle* (AGV) menggunakan metode *waypoint* di lingkungan operasional Bims Auto Service. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa AGV mampu mengikuti rute yang telah ditentukan, meminimalkan deviasi dari jalur yang diharapkan, serta mencapai setiap *waypoint* yang telah ditetapkan.

Selain itu, pengujian ini juga berfungsi untuk menilai efektivitas kontrol yang diterapkan dalam menjaga stabilitas dan presisi navigasi AGV, terutama ketika menghadapi gangguan sinyal atau perubahan kondisi lingkungan. Hasil dari pengujian ini akan memberikan wawasan penting tentang seberapa baik sistem navigasi AGV dapat diandalkan dalam aplikasi nyata, serta mengidentifikasi area yang memerlukan optimasi lebih lanjut.

Pengujian Sistem Navigasi Menggunakan Metode *Waypoint*

Pengujian *waypoint* bertujuan untuk mengevaluasi kinerja dalam mengendalikan AGV pada setiap titik *waypoint* yang telah ditentukan (Sivarathri et al., 2024). Tahap pengujian ini melibatkan serangkaian langkah yang dirancang untuk memastikan bahwa AGV dapat mengikuti jalur yang diinginkan dengan deviasi posisi yang minimal. Setiap *waypoint* akan menjadi titik evaluasi untuk mengukur seberapa mampu mengoreksi kesalahan posisi dan menjaga AGV tetap berada di jalur yang diharapkan (Zhang et al., 2023).

Analisis Data dan Perhitungan

Bagian ini menyajikan hasil pengumpulan data yang diperoleh selama proses pengujian sistem AGV. Data yang dikumpulkan meliputi berbagai aspek kinerja AGV, seperti koordinat GPS, *heading Compass*, *Bearing*, kesalahan posisi, waktu tempuh. Data ini diolah dan dianalisis untuk memberikan gambaran yang komprehensif tentang kinerja sistem. Setiap data

yang diperoleh selama pengujian akan ditampilkan dalam bentuk tabel dan pemetaan *waypoint* untuk memudahkan analisis lebih lanjut.

Bagian ini menyajikan hasil pengumpulan data yang diperoleh selama proses pengujian sistem AGV di lapangan terbuka. Untuk mengevaluasi kinerja AGV, dua rute yang berbeda telah disiapkan, masing-masing terdiri dari tiga *waypoint*. Pengujian dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis bagaimana AGV menavigasi setiap rute, akurasi dalam mencapai *waypoint*.

No	Distance 1	Distance 2	Distance 3	Distance 4	Jarak	Kompas	Bearing	longitude	latitude	leftspeed	rightspeed	Longitude_Tujuan	Latitude_Tujuan	created_at	updated_at
6541	1183	792	1179	591	16	41	38	104.79859109	-2.9732401	255	-255	104.7985264	-2.97320880	2024-08-26 17:57:16	2024-08-26 17:57:16
6542	408	752	1179	1177	16	42	38	104.79859109	-2.9732401	255	-255	104.7985264	-2.97320880	2024-08-26 17:57:17	2024-08-26 17:57:17
6543	1183	66	1179	1177	16	43	38	104.79859109	-2.9732401	255	-255	104.7985264	-2.97320880	2024-08-26 17:57:18	2024-08-26 17:57:18
6544	1182	68	57	65	16	42	38	104.79859109	-2.9732401	255	-255	104.7985264	-2.97320880	2024-08-26 17:57:19	2024-08-26 17:57:19
6545	1182	63	80	1178	12	43	38	104.79859398	-2.97320621	255	-255	104.7985264	-2.97320880	2024-08-26 17:57:20	2024-08-26 17:57:20
6546	56	61	65	0	12	44	38	104.79858398	-2.97320621	255	-255	104.7985264	-2.97320880	2024-08-26 17:57:21	2024-08-26 17:57:21
6547	72	65	62	1183	11	45	42	104.79859398	-2.97320472	255	-255	104.7985264	-2.97320880	2024-08-26 17:57:22	2024-08-26 17:57:22
6548	55	48	334	110	11	46	42	104.79859398	-2.97320472	255	-255	104.7985264	-2.97320880	2024-08-26 17:57:23	2024-08-26 17:57:23
6549	430	62	71	1183	11	44	42	104.79859398	-2.97320472	255	-255	104.7985264	-2.97320880	2024-08-26 17:57:25	2024-08-26 17:57:25
6550	65	55	68	1113	9	45	44	104.79859181	-2.97327156	255	-255	104.7985264	-2.97320880	2024-08-26 17:57:26	2024-08-26 17:57:26

Gambar 5. History Data Perjalanan AGV

Data yang dikumpulkan selama pengujian meliputi:

1. Koordinat GPS : Posisi AGV pada setiap *waypoint* dan sepanjang jalur yang ditempuh dan *waypoint* yang akan dituju AGV.
2. Kesalahan Posisi : Perhitungan deviasi antara posisi yang diinginkan dan posisi aktual pada setiap *waypoint*.
3. Data Sensor : Pembacaan dari sensor GPS dan kompas selama pengujian.

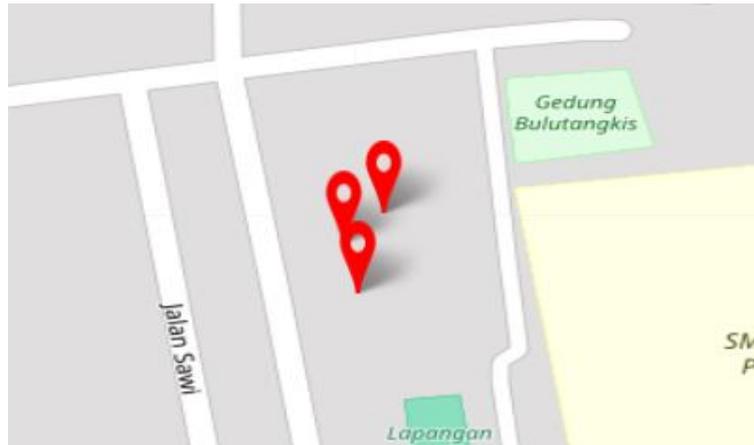
Rute Pengujian AGV

Pada tahap pengujian AGV (*Automated Guided Vehicle*), penentuan rute menjadi aspek yang sangat penting untuk memastikan bahwa kendaraan dapat bergerak dengan presisi menuju titik-titik yang telah ditentukan. Rute pengujian AGV ini dilakukan dengan menetapkan beberapa *waypoint* sebagai titik referensi yang harus dicapai oleh AGV selama perjalanan (Xing et al., 2014). *Waypoint* ini dipilih berdasarkan koordinat geografis (*latitude* dan *longitude*) yang telah ditentukan dan dicatat dalam Tabel 1. berikut:

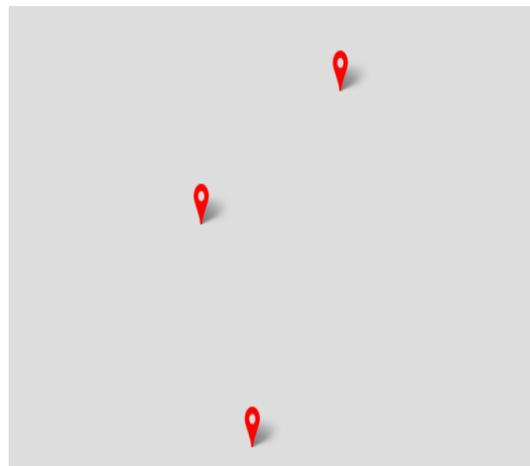
Tabel 1. Waypoints Tujuan AGV

Waypoints	Latitude	Longitude
Waypoints 1	-2.973449	104.798592
Waypoints 2	-2.973299	104.798558
Waypoints 3	-2.973209	104.798651

Pengujian dilakukan dengan rute yang dimulai dari *Waypoint 1*, yang berlokasi di koordinat *-2.973449 latitude* dan *104.798592 longitude*. Dari titik ini, AGV diarahkan menuju *Waypoint 2* di koordinat *-2.973299 latitude* dan *104.798558 longitude*. Setelah mencapai *Waypoint 2*, AGV melanjutkan pergerakannya ke *Waypoint 3* di koordinat *-2.973209 latitude* dan *104.798651 longitude*. Rute ini dipilih untuk mengevaluasi kemampuan AGV dalam mengikuti jalur yang telah ditentukan dengan berbagai kondisi lingkungan.



Gambar 6. Rute 3 waypoints AGV



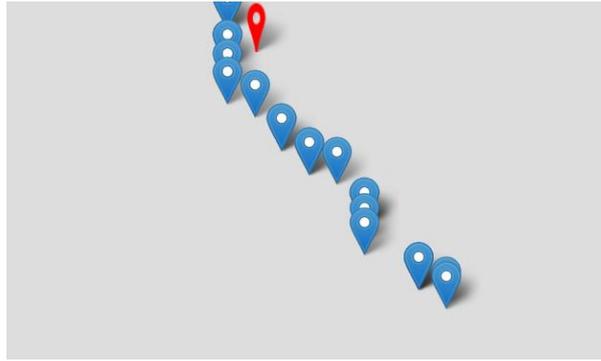
Gambar 7. Rute 3 waypoints AGV diperdekat

Setiap *waypoint* pada rute ini memiliki jarak yang cukup signifikan satu sama lain, sehingga memungkinkan untuk menguji akurasi Kontrol navigasi yang digunakan oleh AGV, terutama dalam hal koreksi arah yang dilakukan secara otomatis melalui Kontrol PID. Selama pengujian, sistem akan memantau sejauh mana AGV mampu mencapai setiap *waypoint* dengan akurasi tinggi, serta bagaimana sistem mengatasi potensi *error* yang muncul akibat gangguan eksternal seperti perubahan medan atau kondisi lingkungan sekitar.

Pengujian ini memberikan data penting untuk menganalisis performa AGV dalam mencapai tujuan dengan efisiensi dan presisi yang diinginkan. Data tersebut akan digunakan untuk mengevaluasi dan menyempurnakan Kontrol kontrol yang diterapkan pada sistem navigasi AGV.

Pengujian pada *waypoint* 1 dengan Metode *Waypoint*

Pada sub bab ini, akan dijelaskan mengenai pengujian *Waypoint* 1 dengan menggunakan teknologi GPS dengan metode *waypoint* pada *Automated Guided Vehicle* (AGV). Metode *waypoint* digunakan untuk menentukan titik koordinat yang harus dilalui AGV dari titik awal hingga mencapai tujuan yang diinginkan. Setiap *waypoint* merupakan referensi posisi geografis (*latitude* dan *longitude*) yang diperoleh melalui sistem GPS. Hasil perjalanan AGV dari titik start ke *waypoint* 1 terdapat pada gambar 8.



Gambar 8. Hasil Perjalanan AGV ke Waypoint 1

Pada Gambar 8. mengilustrasikan hasil perjalanan AGV menuju *Waypoint 1*, dengan visualisasi mengenai lintasan yang diambil oleh AGV dalam upaya mencapai titik tujuan yang ditandai dengan simbol merah. Simbol biru pada gambar mewakili lokasi AGV pada berbagai titik waktu selama perjalanan, menunjukkan bagaimana AGV menavigasi rute dari titik start hingga titik tujuan.

Lintasan yang ditunjukkan dalam gambar memberikan gambaran visual tentang akurasi dan efektivitas sistem navigasi yang digunakan AGV. Setiap simbol biru yang lebih dekat satu sama lain menandakan pergerakan AGV yang terkendali dan terukur, sedangkan jarak yang lebih jauh antara simbol dapat mengindikasikan adanya perubahan arah atau koreksi jalur oleh sistem navigasi. Ini memberikan pemahaman mendalam tentang bagaimana AGV menanggapi perubahan kondisi di lapangan dan bagaimana Kontrol navigasinya mengatur pergerakannya terhadap tujuan yang telah ditetapkan.

Tabel 2. Hasil Pengujian Waypoint 1

Tanggal dan waktu	Koordinat GPS (Latitude)	Koordinat GPS (longitude)	Koordinat GPS (Latitude Tujuan)	Koordinat GPS (Longitude Tujuan)	Deviasi (meter)
2024-08-26 17:56:02	-2,9735212	104,798645	- 2,97344894	104,798591 6	9 m
2024-08-26 17:56:03	-2,9735198	104,798645	- 2,97344894	104,798591 6	9 m
2024-08-26 17:56:04	-2,9735157	104,798637 4	- 2,97344894	104,798591 6	9 m
2024-08-26 17:56:05	-2,9735157	104,798637 4	- 2,97344894	104,798591 6	9 m
2024-08-26 17:56:06	-2,9735157	104,798637 4	- 2,97344894	104,798591 6	9 m
2024-08-26 17:56:07	- 2,97350616	104,798622 1	- 2,97344894	104,798591 6	7 m

2024-08-26 17:56:08	- 2,97350196	104,798622 1	- 2,97344894	104,798591 6	6 m
2024-08-26 17:56:09	- 2,97349758	104,798622 1	- 2,97344894	104,798591 6	6 m
2024-08-26 17:56:10	- 2,97349758	104,798622 1	- 2,97344894	104,798591 6	6 m
2024-08-26 17:56:11	- 2,97349758	104,798622 1	- 2,97344894	104,798591 6	6 m
2024-08-26 17:56:12	- 2,97348642	104,798614 5	- 2,97344894	104,798591 6	4 m
2024-08-26 17:56:14	- 2,97348356	104,798606 9	- 2,97344894	104,798591 6	4 m
2024-08-26 17:56:14	- 2,97348356	104,798606 9	- 2,97344894	104,798591 6	4 m
2024-08-26 17:56:15	- 2,97347688	104,798599 2	- 2,97344894	104,798591 6	3 m
2024-08-26 17:56:16	- 2,97347688	104,798599 2	- 2,97344894	104,798591 6	3 m

Dari Tabel 2, yang mencatat hasil pengujian AGV pada *Waypoint* 1, menunjukkan detail pergerakan AGV berdasarkan koordinat GPS dan koordinat tujuan setiap detik, memberikan informasi tentang performa dan efektivitas sistem navigasi AGV. Setiap entri dalam tabel mencerminkan posisi GPS aktual AGV pada interval waktu tertentu dan dibandingkan dengan koordinat tujuan yang telah ditetapkan, serta diukur deviasinya.

Pada awal pengujian, pukul 17:56:02, AGV menunjukkan deviasi sekitar 9 meter dari tujuan, yang menandakan bahwa saat memulai pergerakan, AGV memerlukan waktu untuk menyesuaikan jalurnya sesuai dengan rute yang telah ditentukan. Pada interval waktu berikutnya, 17:56:03 hingga 17:56:07, masih tercatat deviasi yang sama yaitu 9 meter, menunjukkan bahwa pada fase awal ini, AGV mengalami kesulitan dalam menyesuaikan posisinya dengan cepat.

Seiring berjalannya waktu, mulai dari 17:56:08, deviasi mulai berkurang menjadi 7 meter dan kemudian 6 meter pada 17:56:09. Ini menunjukkan bahwa sistem navigasi AGV mulai beradaptasi lebih baik dan melakukan koreksi jalur secara lebih efektif. Penurunan deviasi ini mengindikasikan peningkatan akurasi sistem navigasi dan kemampuan AGV untuk mengikuti koordinat tujuan dengan lebih presisi.

Perbaikan yang signifikan terjadi pada pukul 17:56:12 dan 17:56:14, di mana deviasi berkurang menjadi 4 meter, dan pada detik terakhir perekaman, 17:56:15, deviasi mencapai titik terendah yaitu 3 meter. Ini menunjukkan bahwa seiring berjalannya waktu, sistem navigasi AGV mampu mengoptimalkan jalur perjalanan dengan sangat efektif, meminimalkan kesalahan penentuan posisi, dan mendekati koordinat tujuan dengan ketepatan yang tinggi.

Hasil ini menunjukkan bahwa sistem navigasi AGV cukup efektif dalam mengikuti jalur yang telah ditentukan, namun terdapat momen-momen kritis, seperti saat perubahan tujuan ke *waypoint* berikutnya. Faktor-faktor seperti respons kontrol yang memerlukan penyesuaian terhadap tujuan baru, serta ketidakakuratan sinyal GPS, bisa berkontribusi pada peningkatan deviasi tersebut (Shen et al., 2020).

Deviasi ini dihitung menggunakan Rumus Haversine, yang memperhitungkan kelengkungan bumi untuk memberikan hasil yang lebih akurat (Daidzic, 2017). Untuk menghitung deviasi (m), kita dapat menggunakan rumus jarak antara dua titik koordinat GPS. Dalam pengujian ini, deviasi jarak antara dua titik GPS dihitung menggunakan Rumus Haversine. Hasil perhitungan ini didapat langsung dari kode Arduino yang menjalankan perhitungan secara real-time menggunakan data GPS yang diterima.

Rumus Haversine yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta Lat}{2}\right) + \cos(lat1) \times \cos(lat2) \times \sin^2\left(\frac{\Delta Lon}{2}\right) \quad (4.1)$$

$$c = 2 \times \text{atan2}(\sqrt{a}, \sqrt{1-a}) \quad (4.2)$$

$$Jarak = R \times c \quad (4.3)$$

$$a = \sin^2\left(\frac{-2.97368698 - (-2.97367591)}{2}\right) \quad (4.4)$$

$$+ \cos(lat1) \times \cos(lat2)$$

$$\times \sin^2\left(\frac{104.79665374 - 104.79668426}{2}\right)$$

$$a = 2.64 \times 10^{-10}$$

$$c = 2 \times \text{atan2}\left(\sqrt{2.64 \times 10^{-10}}, \sqrt{1 - 2.64 \times 10^{-10}}\right) \quad (4.5)$$

$$c = 2 \times \text{atan2} 1.62201 \times 10^{-5}, 0.9999999998682481$$

$$c = 2 \times 1.62328 \times 10^{-5} = 5.65 \times 10^{-7}$$

$$Jarak = R \times c \quad (4.6)$$

$$Jarak = 6371000 \times 5.65 \times 10^{-7}$$

$$Jarak = 9 \text{ meter}$$

Dalam rangka mengevaluasi performa navigasi AGV, penting untuk memahami bagaimana AGV merespons perubahan arah yang diindikasikan oleh sistem navigasinya. Selain penggunaan sensor GPS, digunakan juga sensor *Compass* yang menggambarkan data *heading* dan *Bearing* yang diperoleh selama perjalanan AGV menuju *Waypoint* 1. *Heading* mengacu pada arah yang saat itu dihadapi oleh AGV, sedangkan *Bearing* adalah arah dari posisi AGV saat ini ke *waypoint* tujuan (Kanagasingham et al., 2020). Perbedaan antara kedua nilai ini, yang disebut sebagai deviasi derajat arah, memberikan wawasan tentang presisi AGV dalam mempertahankan rute yang optimal.

Tabel 3. Data heading dan Bearing Rute 1

Tanggal dan Waktu	Heading (°)	Bearing (°)	Deviasi derajat arah (°)
2024-08-26 17:56:02	289°	323°	34°
2024-08-26 17:56:03	298°	322°	24°
2024-08-26 17:56:04	311°	325°	14°

2024-08-26 17:56:05	318°	325°	7°
2024-08-26 17:56:06	318°	325°	7°
2024-08-26 17:56:07	322°	331°	9°
2024-08-26 17:56:08	322°	329°	7°
2024-08-26 17:56:09	322°	327°	5°
2024-08-26 17:56:10	321°	327°	6°
2024-08-26 17:56:11	319°	327°	9°
2024-08-26 17:56:12	321°	328°	7°
2024-08-26 17:56:14	329°	335°	6°
2024-08-26 17:56:14	327°	335°	8°
2024-08-26 17:56:15	334°	344°	10°
2024-08-26 17:56:16	340°	344°	4°

Pada tabel 1, terlihat pergerakan AGV yang diukur dari parameter *heading* dan *Bearing* selama perjalanan di *waypoint* 1. Berdasarkan data yang tercantum, pada waktu 17:56:02, pergerakan AGV dimulai dengan *heading* sebesar 289° dan *Bearing* sebesar 323°. Hal ini menunjukkan bahwa AGV memiliki deviasi arah sebesar 34°. Seiring berjalannya waktu, AGV menyesuaikan arah gerakannya dengan target *Bearing*, di mana pada 17:56:05 *heading* AGV sudah mendekati *Bearing* dengan nilai masing-masing sebesar 318° dan 325°, dengan deviasi yang semakin menurun menjadi 7°.

Proses penyesuaian arah ini terus berlanjut, dan pada titik waktu 17:56:10, *heading* AGV adalah 321°, dengan *Bearing* sebesar 327°, yang menghasilkan deviasi sebesar 6°. Hingga titik waktu 17:56:16, AGV berhasil menyesuaikan *heading*-nya ke nilai yang sangat dekat dengan *Bearing*, yaitu *heading* 340° dan *Bearing* 344°, dengan deviasi hanya sebesar 4°. Proses ini menggambarkan kemampuan AGV untuk secara efektif menyesuaikan arah gerakannya menuju target yang ditentukan, mengurangi deviasi secara bertahap dari waktu ke waktu.

Untuk menghitung deviasi derajat arah antara *heading* dan *Bearing*, Sebagai contoh perhitungan digunakan hasil data *heading* dan *Bearing* pada titik waktu 17:56:16:

$$\text{Deviasi Arah} = \text{Bearing} - \text{Heading} \quad (4.7)$$

$$\text{Deviasi Arah} = 340^\circ - 344^\circ = 4^\circ$$

$$\text{Deviasi Arah} < -180 \text{ derajat} = 360^\circ + \text{Deviasi} \quad (4.8)$$

Setelah menghitung deviasi arah menggunakan rumus di atas, dapat terlihat bahwa nilai deviasi sebesar -4° menunjukkan perbedaan antara arah yang diukur dari *Bearing* dan *heading* pada waktu tersebut. Karena deviasi yang dihitung adalah negatif dan lebih besar dari -180°, maka menggunakan rumus koreksi, 360° ditambahkan ke hasil deviasi untuk memberikan nilai deviasi yang lebih sesuai dalam konteks pergerakan arah AGV.

Dengan nilai deviasi sebesar 4° , ini menandakan bahwa AGV sudah sangat dekat dengan arah target yang diinginkan. Semakin kecil nilai deviasi, semakin tepat arah AGV sesuai dengan target *Bearing*-nya. Dalam hal ini, deviasi arah yang terus menurun mengindikasikan bahwa kontrol navigasi AGV melalui PID sudah bekerja secara efektif untuk menyesuaikan pergerakan kendaraan menuju titik tujuan yang telah ditentukan. Perubahan *heading* secara bertahap menuju *Bearing* menunjukkan stabilitas dalam proses penyesuaian arah (Gao et al., 2019). Proses ini penting karena deviasi arah yang besar dapat menyebabkan AGV menyimpang dari jalurnya, sementara deviasi yang kecil atau mendekati 0° menunjukkan bahwa AGV berjalan selaras dengan rencana yang telah ditetapkan.

Pengujian pada Waypoint 2 dengan Metode Waypoint

Pada sub bab ini, akan dijelaskan mengenai pengujian *Waypoint 2* dengan menggunakan teknologi GPS dengan metode *waypoint* pada *Automated Guided Vehicle* (AGV). Metode *waypoint* digunakan untuk menentukan titik koordinat yang harus dilalui AGV dari titik awal hingga mencapai tujuan yang diinginkan. Setiap *waypoint* merupakan referensi posisi geografis (*latitude* dan *longitude*) yang diperoleh melalui sistem GPS. Hasil perjalanan AGV dari titik start ke *waypoint 1* terdapat pada gambar 9.



Gambar 9. Hasil Perjalanan AGV ke Waypoint 2

Pada Gambar 9. mengilustrasikan hasil perjalanan AGV menuju *Waypoint 2*, dengan visualisasi mengenai lintasan yang diambil oleh AGV dalam upaya mencapai titik tujuan yang ditandai dengan simbol merah. Simbol biru pada gambar mewakili lokasi AGV pada berbagai titik waktu selama perjalanan, menunjukkan bagaimana AGV menavigasi rute dari titik start hingga titik tujuan.

Lintasan yang ditunjukkan dalam gambar memberikan gambaran visual tentang akurasi dan efektivitas sistem navigasi yang digunakan AGV. Setiap simbol biru yang lebih dekat satu sama lain menandakan pergerakan AGV yang terkendali dan terukur, sedangkan jarak yang lebih jauh antara simbol dapat mengindikasikan adanya perubahan arah atau koreksi jalur oleh sistem navigasi. Ini memberikan pemahaman mendalam tentang bagaimana AGV menanggapi perubahan kondisi di lapangan dan bagaimana Kontrol navigasinya mengatur pergerakannya terhadap tujuan yang telah ditetapkan.

Tabel 4. Hasil Pengujian Waypoint 2

Tanggal dan waktu (s)	Koordinat GPS (<i>Latitude</i>)	Koordinat GPS (<i>longitude</i>)	Koordinat GPS (<i>Latitude Tujuan</i>)	Koordinat GPS (<i>Longitude Tujuan</i>)	Deviasi (meter)
-----------------------	-----------------------------------	------------------------------------	--	---	-----------------

2024-08-26	-	104,798591	-	104,798561	
17:56:32	2,97346763	6	2,97329902	1	19 m
2024-08-26	-		-	104,798561	
17:56:33	2,97346382	104,798584	2,97329902	1	18 m
2024-08-26	-		-	104,798561	
17:56:34	2,97345876	104,798584	2,97329902	1	17 m
2024-08-26	-		-	104,798561	
17:56:35	2,97345333	104,798584	2,97329902	1	17 m
2024-08-26	-		-	104,798561	
17:56:36	2,97345333	104,798584	2,97329902	1	17 m
2024-08-26	-		-	104,798561	
17:56:37	2,97344303	104,798584	2,97329902	1	16 m
2024-08-26	-		-	104,798561	
17:56:38	2,97344303	104,798584	2,97329902	1	16 m
2024-08-26	-		-	104,798561	
17:56:39	2,97343158	104,798584	2,97329902	1	14 m
2024-08-26	-	104,798576	-	104,798561	
17:56:41	2,97342443	4	2,97329902	1	14 m
2024-08-26	-	104,798576	-	104,798561	
17:56:42	2,97341842	4	2,97329902	1	13 m
2024-08-26	-	104,798576	-	104,798561	
17:56:43	2,97341842	4	2,97329902	1	13 m
2024-08-26	-	104,798568	-	104,798561	
17:56:44	2,97340087	7	2,97329902	1	11 m
2024-08-26	-	104,798568	-	104,798561	
17:56:45	2,97339611	7	2,97329902	1	10 m
2024-08-26	-	104,798568	-	104,798561	
17:56:46	2,97339611	7	2,97329902	1	10 m
2024-08-26	-	104,798568	-	104,798561	
17:56:47	2,97339611	7	2,97329902	1	10 m
2024-08-26	-	104,798568	-	104,798561	
17:56:48	2,97337894	7	2,97329902	1	8 m

2024-08-26		104,798568	-	104,798561	
17:56:49	-2,9733736	7	2,97329902	1	8 m
2024-08-26		104,798568	-	104,798561	
17:56:50	-2,9733736	7	2,97329902	1	8 m
2024-08-26		104,798568	-	104,798561	
17:56:51	-2,9733736	7	2,97329902	1	8 m
2024-08-26		104,798568	-	104,798561	
17:56:52	-2,9733736	7	2,97329902	1	8 m
2024-08-26		104,798568	-	104,798561	
17:56:53	-2,9733736	7	2,97329902	1	8 m
2024-08-26		104,798561	-	104,798561	
17:56:55	-2,973351	1	2,97329902	1	5 m
2024-08-26		104,798561	-	104,798561	
17:56:56	-2,973351	1	2,97329902	1	5 m
2024-08-26		104,798561	-	104,798561	
17:56:57	-2,973351	1	2,97329902	1	5 m
2024-08-26		104,798561	-	104,798561	
17:56:58	-2,973351	1	2,97329902	1	5 m

Pada tabel 4. mengenai hasil pengujian *waypoint* 2, terlihat bahwa *Automated Guided Vehicle* (AGV) bergerak mendekati target *waypoint* dari waktu ke waktu dengan tingkat deviasi yang berkurang secara bertahap. Pada awal pengujian, AGV memiliki deviasi yang cukup besar, yaitu 19 meter pada pukul 17:56:32. Namun, seiring dengan berjalannya waktu, AGV secara konsisten mengurangi deviasi terhadap titik tujuan *waypoint*.

Deviasi berkurang secara bertahap dari 19 meter hingga mencapai deviasi sekecil 5 meter dalam waktu beberapa detik. Ini menunjukkan bahwa sistem navigasi AGV, khususnya dengan metode *waypoint*, mampu menyesuaikan dan mengarahkan kendaraan mendekati posisi yang diinginkan dengan baik. Pada rentang waktu 17:56:50 hingga 17:56:58, deviasi berkurang secara signifikan dari 8 meter hingga 5 meter, yang menandakan bahwa AGV mendekati titik tujuan dengan akurasi yang lebih tinggi.

Penurunan deviasi secara bertahap dan konsisten ini mencerminkan keefektifan kontrol dan pergerakan AGV, yang diarahkan menuju tujuan berdasarkan koordinat GPS. Dengan demikian, AGV terbukti mampu menavigasi secara akurat meskipun terdapat deviasi awal yang besar, dan berhasil mencapai akurasi yang lebih baik mendekati *waypoint* kedua.

Rumus Haversine yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$a = \sin^2\left(\frac{2,995 \times 10^{-7}}{2}\right) + \cos(lat1) \times \cos(lat2) \times \sin^2\left(\frac{3,994 \times 10^{-7}}{2}\right) \quad (4.9)$$

$$a = 6.231 \times 10^{-14}$$

$$c = 2 \times \operatorname{atan2} \left(\sqrt{6.231 \times 10^{-14}}, \sqrt{1 - 6.231 \times 10^{-14}} \right) \quad (4.10)$$

$$c = 2 \times 7.892 \times 10^{-7} = 1.5784 \times 10^{-6}$$

$$\begin{aligned} \text{Jarak} &= R \times c \\ \text{Jarak} &= 6371000 \times 1.5784 \times 10^{-6} \\ \text{Jarak} &= 5 \text{ meter} \end{aligned} \quad (4.11)$$

Secara keseluruhan, analisis Tabel 4. menunjukkan bahwa sistem navigasi AGV mampu menjaga akurasi yang baik sepanjang rute dengan deviasi yang relatif kecil, meskipun ada beberapa nilai deviasi pada titik sampai di *waypoint* 1. Hal ini menunjukkan efektivitas penggunaan teknologi GPS dalam sistem navigasi AGV, dengan catatan bahwa peningkatan akurasi dan stabilitas navigasi dapat dicapai melalui kalibrasi yang lebih baik dan pengurangan gangguan eksternal.

Tabel 4. Data heading dan Bearing Waypoint 2

Tanggal dan Waktu	Heading (°)	Bearing (°)	Deviasi derajat arah (°)
2024-08-26 17:56:32	340	349	9 °
2024-08-26 17:56:33	342	352	10 °
2024-08-26 17:56:34	343	351	8 °
2024-08-26 17:56:35	342	351	9 °
2024-08-26 17:56:36	344	351	7 °
2024-08-26 17:56:37	343	350	7 °
2024-08-26 17:56:38	343	350	7 °
2024-08-26 17:56:39	341	350	9 °
2024-08-26 17:56:41	348	353	5 °
2024-08-26 17:56:42	347	352	5 °
2024-08-26 17:56:43	346	352	6 °
2024-08-26 17:56:44	344	355	9 °
2024-08-26 17:56:45	355	355	0 °
2024-08-26 17:56:46	354	355	1 °
2024-08-26 17:56:47	354	355	1 °

2024-08-26 17:56:48	354	354	0 °
2024-08-26 17:56:49	352	354	2 °
2024-08-26 17:56:50	350	354	4 °
2024-08-26 17:56:51	349	354	5 °
2024-08-26 17:56:52	348	354	6 °
2024-08-26 17:56:53	347	354	7 °
2024-08-26 17:56:55	357	0	3 °
2024-08-26 17:56:56	356	0	4 °
2024-08-26 17:56:57	355	0	5 °
2024-08-26 17:56:58	353	0	7 °

Pada *waypoint 2*, data *heading* dan *Bearing* menunjukkan pergerakan *Automated Guided Vehicle* (AGV) yang semakin mendekati jalur yang tepat. Pada awal pengujian pada pukul 17:56:32, *heading* AGV adalah 340°, sedangkan *Bearing* yang harus dicapai adalah 349°, sehingga terdapat deviasi arah sebesar 9°. Seiring waktu, AGV menyesuaikan arah dan *heading*-nya secara bertahap mendekati *Bearing* yang diinginkan. Pada pukul 17:56:45, *heading* dan *Bearing* berada pada nilai yang sama, yaitu 355°, yang menunjukkan tidak adanya deviasi arah (0°). Hal ini menandakan bahwa pada saat itu, AGV telah mengikuti jalur yang benar dengan presisi. Setelah itu, deviasi arah tetap berada dalam kisaran kecil hingga 7°, yang menunjukkan bahwa meskipun ada sedikit perbedaan antara *heading* dan *Bearing*, AGV secara keseluruhan masih dapat menyesuaikan arah dengan baik.

Secara keseluruhan, tabel ini menunjukkan bahwa AGV berhasil menyesuaikan *heading* dengan *Bearing* yang dituju dengan baik. Pergerakan AGV menjadi lebih akurat seiring waktu, dan pada beberapa titik waktu, deviasi arah menjadi 0°, menandakan bahwa AGV berada tepat pada jalurnya. Untuk menghitung deviasi derajat arah antara *heading* dan *Bearing*, Sebagai contoh perhitungan digunakan hasil data *heading* dan *Bearing* pada titik waktu 17:56:58:

$$\begin{aligned} \text{Deviasi Arah} &= \text{Bearing} - \text{Heading} & (4.12) \\ \text{Deviasi Arah} &= 0^\circ - 353^\circ = 7^\circ \end{aligned}$$

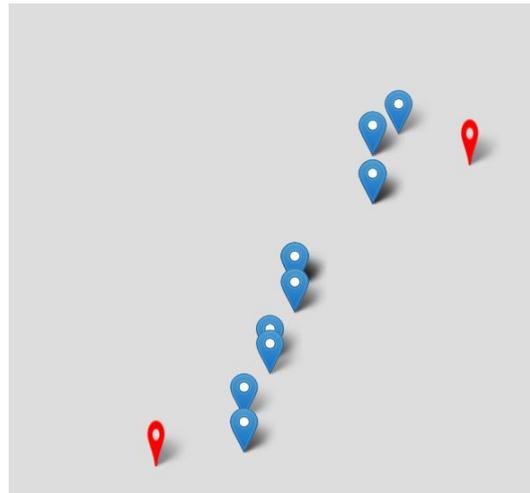
Setelah menghitung deviasi arah dengan menggunakan rumus di atas, diperoleh hasil deviasi sebesar 7°. Hasil ini menunjukkan bahwa terdapat sedikit perbedaan antara *heading* dan *Bearing* pada waktu tersebut. Meskipun terdapat deviasi, nilai ini masih dalam batas yang wajar dan menunjukkan bahwa AGV tetap berada pada jalur yang diinginkan dengan cukup baik. Deviasi sebesar 7° menunjukkan bahwa AGV hampir mendekati keselarasan antara *heading* dan *Bearing*, namun masih memerlukan sedikit penyesuaian. Secara umum, semakin kecil deviasi yang diperoleh, semakin akurat AGV dalam mengikuti arah yang dituju.

Dalam hal ini, meskipun deviasi tidak mencapai 0°, AGV tetap berhasil mengurangi perbedaan arah seiring dengan berjalannya waktu. Proses penyesuaian arah ini penting untuk memastikan bahwa AGV tetap berada pada jalur yang benar menuju *waypoint*. Penyesuaian

kecil seperti ini menandakan bahwa sistem kontrol AGV melalui PID bekerja secara efektif dalam menjaga kestabilan dan presisi arah selama pergerakannya.

Pengujian pada Waypoint 3 dengan Metode Waypoint

Pada sub bab ini, akan dijelaskan mengenai pengujian *Waypoint 3* dengan menggunakan teknologi GPS dengan metode *waypoint* pada *Automated Guided Vehicle (AGV)*. Metode *waypoint* digunakan untuk menentukan titik koordinat yang harus dilalui AGV dari titik awal hingga mencapai tujuan yang diinginkan. Setiap *waypoint* merupakan referensi posisi geografis (*latitude* dan *longitude*) yang diperoleh melalui sistem GPS. Hasil perjalanan AGV dari titik start ke *waypoint 1* terdapat pada gambar 10.



Gambar 10. Hasil Perjalanan AGV ke Waypoint 3

Pada Gambar 10. mengilustrasikan hasil perjalanan AGV menuju *Waypoint 3*, dengan visualisasi mengenai lintasan yang diambil oleh AGV dalam upaya mencapai titik tujuan yang ditandai dengan simbol merah. Simbol biru pada gambar mewakili lokasi AGV pada berbagai titik waktu selama perjalanan, menunjukkan bagaimana AGV menavigasi rute dari titik start hingga titik tujuan.

Lintasan yang ditunjukkan dalam gambar memberikan gambaran visual tentang akurasi dan efektivitas sistem navigasi yang digunakan AGV. Setiap simbol biru yang lebih dekat satu sama lain menandakan pergerakan AGV yang terkendali dan terukur, sedangkan jarak yang lebih jauh antara simbol dapat mengindikasikan adanya perubahan arah atau koreksi jalur oleh sistem navigasi. Ini memberikan pemahaman mendalam tentang bagaimana AGV menanggapi perubahan kondisi di lapangan dan bagaimana Kontrol navigasinya mengatur pergerakannya terhadap tujuan yang telah ditetapkan.

Tabel 5. Hasil Pengujian Waypoint 3

Tanggal dan waktu (s)	Koordinat GPS (<i>Latitude</i>)	Koordinat GPS (<i>longitude</i>)	Koordinat GPS (<i>Latitude Tujuan</i>)	Koordinat GPS (<i>Longitude Tujuan</i>)	Deviasi (meter)
2024-08-26 17:57:14	- 2,97332401	104,798561 1	-2,9732089	104,798652 6	16 m
2024-08-26 17:57:15	- 2,97332401	104,798561 1	-2,9732089	104,798652 6	16 m

2024-08-26	-	104,798561		104,798652		
17:57:16	2,97332401	1	-2,9732089	6		16 m
2024-08-26	-	104,798561		104,798652		
17:57:17	2,97332401	1	-2,9732089	6		16 m
2024-08-26	-	104,798561		104,798652		
17:57:18	2,97332401	1	-2,9732089	6		16 m
2024-08-26	-	104,798561		104,798652		
17:57:19	2,97332401	1	-2,9732089	6		16 m
2024-08-26	-			104,798652		
17:57:20	2,97329521	104,798584	-2,9732089	6		12 m
2024-08-26	-			104,798652		
17:57:21	2,97329521	104,798584	-2,9732089	6		12 m
2024-08-26	-			104,798652		
17:57:22	2,97328472	104,798584	-2,9732089	6		11 m
2024-08-26	-			104,798652		
17:57:23	2,97328472	104,798584	-2,9732089	6		11 m
2024-08-26	-			104,798652		
17:57:25	2,97328472	104,798584	-2,9732089	6		11 m
2024-08-26	-	104,798591		104,798652		
17:57:26	2,97327156	6	-2,9732089	6		9 m
2024-08-26	-	104,798591		104,798652		
17:57:27	2,97326736	6	-2,9732089	6		9 m
2024-08-26	-	104,798591		104,798652		
17:57:28	2,97326736	6	-2,9732089	6		9 m
2024-08-26	-	104,798599		104,798652		
17:57:29	2,97325325	2	-2,9732089	6		7 m
2024-08-26	-	104,798599		104,798652		
17:57:30	2,97325325	2	-2,9732089	6		7 m
2024-08-26	-	104,798599		104,798652		
17:57:31	2,97324562	2	-2,9732089	6		7 m
2024-08-26	-	104,798599		104,798652		
17:57:32	2,97324562	2	-2,9732089	6		7 m

2024-08-26	-	104,798599		104,798652		
17:57:33	2,97324562	2	-2,9732089	6		7 m
2024-08-26	-	104,798599		104,798652		
17:57:34	2,97324562	2	-2,9732089	6		7 m
2024-08-26	-	104,798599		104,798652		
17:57:36	2,97324562	2	-2,9732089	6		7 m
2024-08-26	-	104,798622		104,798652		
17:57:37	2,97322082	1	-2,9732089	6		3 m
2024-08-26	-	104,798622		104,798652		
17:57:38	2,97322082	1	-2,9732089	6		3 m
2024-08-26	-	104,798622		104,798652		
17:57:39	2,97322082	1	-2,9732089	6		3 m
2024-08-26	-	104,798622		104,798652		
17:57:40	2,97320632	1	-2,9732089	6		3 m
2024-08-26	-	104,798622		104,798652		
17:57:41	2,97320632	1	-2,9732089	6		3 m
2024-08-26	-	104,798629		104,798652		
17:57:52	2,97319984	8	-2,9732089	6		2 m

Berdasarkan data yang tercantum dalam Tabel 6, hasil pengujian *Waypoint 3* menunjukkan pola penurunan deviasi jarak antara AGV (*Automated Guided Vehicle*) dengan koordinat tujuan *waypoint* seiring dengan waktu. Pada awal pengujian, deviasi dimulai dengan jarak sebesar 16 meter dari titik tujuan. Selanjutnya, AGV secara bertahap mengurangi jarak deviasi, turun ke 12 meter setelah beberapa detik.

Saat pengujian terus berlangsung, deviasi semakin berkurang menjadi 11 meter, kemudian menurun lebih jauh hingga mencapai 9 meter dan 7 meter. Di tahap akhir pengujian, pada waktu sekitar pukul 17:57:37 hingga 17:57:41, deviasi stabil di angka 3 meter, menandakan bahwa AGV sudah mendekati titik tujuan secara signifikan. Pada waktu 17:57:52, deviasi terakhir tercatat sebesar 2 meter, menunjukkan AGV hampir sepenuhnya mencapai *waypoint* yang diinginkan dengan sangat akurat.

Dari data ini, dapat disimpulkan bahwa sistem navigasi AGV yang menggunakan PID dan metode *waypoint* bekerja dengan baik, karena terlihat bahwa deviasi berkurang secara konsisten saat AGV mendekati tujuan. Hal ini mencerminkan kemampuan AGV untuk mengoreksi jalur dan arah secara efektif sesuai dengan koordinat tujuan yang telah ditentukan.

Tabel 6. Data heading dan Bearing Waypoint 3

Tanggal dan Waktu	Heading (°)	Bearing (°)	Deviasi derajat arah (°)
2024-08-26			46 °
17:57:14	352	38	

2024-08-26 17:57:15	36	38	2 °
2024-08-26 17:57:16	41	38	-3 °
2024-08-26 17:57:17	42	38	-4 °
2024-08-26 17:57:18	43	38	-5 °
2024-08-26 17:57:19	42	38	-4 °
2024-08-26 17:57:20	43	38	-5 °
2024-08-26 17:57:21	44	38	-6 °
2024-08-26 17:57:22	45	42	-3 °
2024-08-26 17:57:23	46	42	-4 °
2024-08-26 17:57:25	44	42	-2 °
2024-08-26 17:57:26	45	44	-1 °
2024-08-26 17:57:27	45	46	-1 °
2024-08-26 17:57:28	46	46	0 °
2024-08-26 17:57:29	46	50	4 °
2024-08-26 17:57:30	44	50	6 °
2024-08-26 17:57:31	57	55	-2 °
2024-08-26 17:57:32	58	55	-3 °
2024-08-26 17:57:33	57	55	-2 °
2024-08-26 17:57:34	57	55	-2 °
2024-08-26 17:57:36	56	55	-1 °
2024-08-26 17:57:37	57	68	11 °
2024-08-26 17:57:38	73	68	-5 °
2024-08-26 17:57:39	73	68	-5 °
2024-08-26 17:57:40	91	94	3 °

Pada pengujian *Waypoint* 3, pergerakan AGV dimulai pada waktu 17:57:14 dengan *heading* 352° dan *Bearing* 38°, menghasilkan deviasi arah sebesar 46°. Deviasi yang besar ini menunjukkan bahwa arah awal AGV memiliki perbedaan yang signifikan dengan arah yang diharapkan. Namun, seiring dengan berjalannya waktu, *heading* AGV mulai menyesuaikan diri dengan *Bearing*. Pada waktu 17:57:15, *heading* berkurang menjadi 36°, mendekati *Bearing* 38°, sehingga menghasilkan deviasi yang lebih kecil, yaitu 2°.

AGV terus menyesuaikan arah dengan *heading* yang semakin mendekati *Bearing*. Pada waktu 17:57:21, *heading* mencapai 44° dengan *Bearing* 38°, menghasilkan deviasi sebesar -6°. Di titik ini, AGV terus memperbaiki pergerakannya untuk lebih selaras dengan arah yang diharapkan. Pada waktu 17:57:28, *heading* dan *Bearing* sudah sangat dekat, dengan *heading* 46° dan *Bearing* 46°, yang berarti tidak ada deviasi atau deviasi sebesar 0°, menunjukkan bahwa AGV telah mencapai kestabilan arah.

Namun, setelah waktu tersebut, terdapat sedikit variasi, seperti pada waktu 17:57:30 dengan deviasi sebesar 6°, dan pada waktu 17:57:37 hingga 17:57:38 terjadi perubahan *heading* menjadi 57° dan 73°, yang membuat deviasi menjadi negatif, yaitu -2° hingga -5°. Hal ini menunjukkan bahwa AGV perlu melakukan penyesuaian lebih lanjut untuk mempertahankan stabilitas arah di *waypoint* ini.

Secara keseluruhan, AGV menunjukkan kemampuan menyesuaikan *heading* untuk mendekati *Bearing* seiring berjalannya waktu, meskipun terdapat kesalahan kecil yang masih perlu diperbaiki. Kesalahan ini dapat terjadi karena gangguan lingkungan atau ketidaksempurnaan sensor. AGV akhirnya mencapai kestabilan dengan deviasi yang semakin kecil mendekati 0° di beberapa waktu terakhir pengujian.

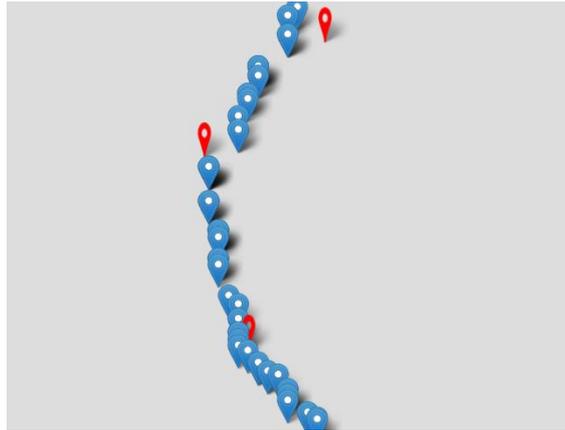
Sebagai contoh perhitungan digunakan hasil data *heading* dan *Bearing* pada titik waktu 17:57:41:

$$\begin{aligned} \text{Deviasi Arah} &= \text{Bearing} - \text{Heading} & (4.12) \\ \text{Deviasi Arah} &= 93^\circ - 94^\circ = 1^\circ \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan pada titik waktu 17:57:41, didapatkan bahwa deviasi arah sebesar 1°. Deviasi yang kecil ini menunjukkan bahwa AGV berhasil melakukan penyesuaian arah dengan baik. Pada titik ini, *heading* AGV sudah sangat mendekati *Bearing*, yang merupakan indikasi bahwa sistem kontrol PID bekerja dengan optimal untuk menjaga AGV tetap berada pada jalur yang diinginkan. Penyesuaian *heading* terhadap *Bearing* yang terus-menerus dilakukan selama perjalanan menunjukkan respons cepat dari AGV terhadap perubahan lingkungan, dengan tetap meminimalkan kesalahan arah. Hal ini penting untuk menjaga agar AGV dapat bergerak stabil menuju target yang telah ditentukan.

Hasil Keseluruhan Pengujian AGV pada *Waypoint* 1, 2, dan 3

Pada pengujian keseluruhan AGV, rute yang dilalui meliputi tiga titik *waypoint* yang berbeda, yaitu *waypoint* 1, *waypoint* 2, dan *waypoint* 3. Berdasarkan data yang telah diperoleh dari ketiga pengujian ini, AGV menunjukkan performa yang konsisten dalam menyesuaikan arah menuju setiap *waypoint*, meskipun terdapat beberapa variasi pada deviasi arah dan jarak GPS.



Gambar 11. Waypoints Perjalanan AGV

Pada pengujian keseluruhan AGV yang dilakukan pada tiga *waypoint*, hasil menunjukkan bahwa AGV mampu melakukan penyesuaian arah dan jarak secara konsisten saat bergerak menuju tujuan yang ditentukan. Setiap *waypoint* memberikan gambaran tentang bagaimana AGV secara bertahap mengurangi deviasi jarak dan arah berdasarkan data yang diperoleh dari sensor GPS dan *Compass*.

Pada *Waypoint 1*, seperti yang tertera dalam Tabel 4.2, pengujian dimulai dengan deviasi jarak sebesar 9 meter dari tujuan. Seiring berjalannya waktu, AGV terus menyesuaikan posisinya, dan deviasi berkurang hingga mencapai 3 meter pada akhir pengujian, tepatnya pada pukul 17:56:16. Hal ini menunjukkan bahwa AGV dapat mengarahkan dirinya menuju *waypoint* dengan akurasi yang semakin baik. Selain itu, data *Compass* menunjukkan bahwa *heading* AGV semakin mendekati *Bearing* yang ditargetkan. Pada awalnya, *heading* tercatat pada 289° , sementara *Bearing* adalah 323° , yang menghasilkan deviasi arah sebesar 34° . Namun, pada akhir pengujian, *heading* AGV mencapai 340° , mendekati *Bearing* 344° , dengan deviasi arah yang berkurang menjadi 4° .

Selanjutnya, pada *Waypoint 2*, AGV menunjukkan kemampuan adaptasi yang lebih cepat, dengan deviasi awal jarak sebesar 19 meter, yang kemudian menurun menjadi hanya 5 meter pada akhir pengujian seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 4.4. Proses penurunan deviasi ini mencerminkan kemampuan AGV untuk menyesuaikan posisinya secara efektif. Data *Compass* juga memperlihatkan bahwa AGV mampu menurunkan deviasi arah dengan cepat. Pada waktu 17:56:32, *heading* berada pada 340° , sementara *Bearing* di 349° , dengan deviasi arah sebesar 9° . Pada akhir pengujian, deviasi arah berhasil dikurangi hingga mendekati 0° , menandakan bahwa AGV mampu mencapai kestabilan arah dengan presisi yang tinggi.

Pada *Waypoint 3*, AGV memulai dengan deviasi jarak sebesar 16 meter, dan secara bertahap berkurang hingga mencapai 3 meter pada akhir pengujian. Data yang tercatat dalam Tabel 4.6 menunjukkan bahwa AGV mampu menyesuaikan arah dan posisinya dengan baik. Pada waktu 17:57:14, *heading* AGV tercatat sebesar 352° , sementara *Bearing* berada pada 38° , yang menghasilkan deviasi arah yang cukup besar sebesar 46° . Namun, seiring waktu, *heading* AGV terus menyesuaikan diri hingga deviasi arah berkurang menjadi 0° pada pukul 17:57:28. Selain itu, AGV juga berhasil mengurangi deviasi jarak dari 16 meter menjadi hanya 3 meter dalam periode waktu yang relatif singkat.

Secara keseluruhan, hasil pengujian pada tiga *waypoint* ini menunjukkan bahwa AGV memiliki kemampuan yang baik dalam menavigasi rute yang ditentukan. Baik dari segi penyesuaian arah maupun jarak, AGV mampu mencapai kestabilan dan presisi dalam mencapai tujuan *waypoint* yang ditetapkan. Meskipun terdapat fluktuasi kecil pada beberapa titik, AGV secara keseluruhan berhasil mengurangi deviasi arah dan jarak secara signifikan, menunjukkan kemampuan sistem untuk beradaptasi dengan baik terhadap perubahan kondisi di lapangan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian pada tiga waypoint, AGV menunjukkan kemampuan yang signifikan dalam mengurangi deviasi jarak longitude dan latitude seiring waktu, mencerminkan peningkatan akurasi dalam mencapai tujuan. Pada Waypoint 1, deviasi awal sebesar 9 meter berhasil dikurangi menjadi 3 meter, menunjukkan kemampuan AGV dalam menyesuaikan posisi secara bertahap. Hal serupa terjadi di Waypoint 2, di mana deviasi awal sebesar 19 meter berhasil berkurang hingga 5 meter, meskipun melebihi batas akurasi maksimal sensor GPS sebesar 3 meter. Waypoint 3 memperlihatkan hasil yang konsisten dengan deviasi awal 16 meter yang berhasil dikurangi menjadi 3 meter, menandakan adaptasi AGV yang semakin baik. Selain itu, penggunaan sensor Compass untuk menentukan arah sudut terbukti akurat, terutama jika dilakukan kalibrasi secara berkala atau saat memulai pengujian. Keseluruhan hasil ini menunjukkan bahwa AGV memiliki kemampuan yang adaptif dan akurat dalam menavigasi dan mencapai waypoint dengan deviasi yang terus menurun, sehingga mendukung operasional yang lebih efektif dan presisi dalam berbagai kondisi pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah‘Azzam, S. T. (2020). *Analisa Efektifitas Material Handling Mesin Automated Guided Vehicle (AGV) Menggunakan Perhitungan Overall Equipment Effectiveness (OEE) dan Simulasi Monte Carlo (Studi Kasus PT Toyota Motor Manufacturing Indonesia)*.
- Aloui, K., Guizani, A., Hammadi, M., Soriano, T., & Haddar, M. (2021). Integrated design methodology of automated guided vehicles based on swarm robotics. *Applied Sciences*, *11*(13), 6187.
- Artanto, D., Arbiyanti, P., Cahyono, E. A. B., Siswoyo, A., & Pranowo, I. D. (2023). *Workshop Mekatronika: Sistem Otomasi Konveyor*. Sanata Dharma University Press.
- Astuti, R. F. (2015). *Rancangan Perbaikan Berdasarkan Evaluasi Kesuksesan Implementasi Aplikasi Loan Origination System (Studi Kasus: Bank Tabungan Negara)-Improvement Plan Based On Successful Implementation Evaluation Of Loan Origination System (Case Study: Bank Tabungan Negara)*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Daidzic, N. E. (2017). Long and short-range air navigation on spherical Earth. *International Journal of Aviation Aeronautics and Aerospace*, *4*(1).
- De Ryck, M., Versteijhe, M., & Debrouwere, F. (2020). Automated guided vehicle systems, state-of-the-art control algorithms and techniques. *Journal of Manufacturing Systems*, *54*, 152–173.
- Fadhil, I. M. (2020). *Implementasi Pemilihan Rute Pada Ad-Hoc On Demand Distance Vector (AODV) Berdasarkan Nilai Trustness Node Tetangga Pada Lingkungan Vanets*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Febiola, M. S. (2022). *Sistem Informasi Penjualan Grosir Busana Wanita Berbasis Web (Studi Kasus: Rumah Jahit Yarni)*. Universitas Bina Darma.
- Gao, Q., Chen, W., Lu, L., Huo, D., & Cheng, K. (2019). Aerostatic bearings design and analysis with the application to precision engineering: State-of-the-art and future perspectives. *Tribology International*, *135*, 1–17.
- Istiqomah, P. S., Nandita, W. V., & Sayekti, N. P. (2023). Pengaruh Implementasi Konsep Just-in-Time terhadap Efisiensi Operasional dan Pengendalian Biaya di Perusahaan Manufaktur (Studi Kasus PT Waskita Karya Tbk). *Madani: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, *1*(6).
- Justiadi, Hair, J., & Yusdianto. (2018). Automated guided vehicle (AGV) Pengikut garis menggunakan roda mecanum dengan kendali pid adaptif terinterpolasi. *Seminar Nasional Instrumentasi, Kontrol Dan Otomasi (SNIKO)*, 375–382.

- Kanagasingham, S., Ekpanyapong, M., & Chaihan, R. (2020). Integrating machine vision-based row guidance with GPS and compass-based routing to achieve autonomous navigation for a rice field weeding robot. *Precision Agriculture*, 21(4), 831–855.
- Mahesa, A. T., Rahmawan, H., Rinharsah, A., & Arifin, S. (2019). Sistem Keamanan Brankas Berbasis Kartu Rfid E-Ktp. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Informatika*, 5(1).
- Nizar, T. N., Jatmiko, D. A., Hartono, R., & Pratama, A. I. G. (2021). Implementasi dan Uji Kinerja Kontrol PID untuk kestabilan Pesawat Tanpa Awak Tailsitter pada Keadaan Mengambang. *Komputika: Jurnal Sistem Komputer*, 10(1), 53–59.
- Prakoso, R., Pangaribuan, P., & Wibowo, A. S. (2018). Perancangan Sistem Kendali Mobile Robot Dengan Gps Menggunakan Metode Pid. *EProceedings of Engineering*, 5(3).
- Rifaldi, H., Rusdinar, A., & Cahyadi, W. A. (2020). Penerapan Sensor Vision Pada Sistem Navigasi Berbasis Fuzzy Logic Untuk Automated Guided Vehicle (agv). *EProceedings of Engineering*, 7(3).
- Shen, J., Won, J. Y., Chen, Z., & Chen, Q. A. (2020). Drift with devil: Security of {Multi-Sensor} fusion based localization in {High-Level} autonomous driving under {GPS} spoofing. *29th USENIX Security Symposium (USENIX Security 20)*, 931–948.
- Sivarathri, A. K., Shukla, A., & Gupta, A. (2024). Waypoint Navigation in the Image Plane for Autonomous Navigation of UAV in Vision-Based UAV-AGV System. *2024 20th IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA)*, 1–6.
- Syamil, A., Subawa, S., Budaya, I., Munizu, M., Darmayanti, N. L., Fahmi, M. A., Wanda, S. S., Murwani, I. A., Utami, F. N., & Dulame, I. M. (2023). *Manajemen Rantai Pasok*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Xing, W., Peihuang, L., Jun, Y., Xiaoming, Q., & Dunbing, T. (2014). Intersection recognition and guide-path selection for a vision-based AGV in a bidirectional flow network. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 11(3), 39.
- Zhang, J., Yang, X., Wang, W., Guan, J., Ding, L., & Lee, V. C. S. (2023). Automated guided vehicles and autonomous mobile robots for recognition and tracking in civil engineering. *Automation in Construction*, 146, 104699.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.