

Sistem Monitoring Posisi dan Baterai Pada Robot AGV Menggunakan RFID Dan Sensor Arus

Author1¹, Author2¹, and Author3^{1*}

¹Jurusan Teknik Elektro, Prodi Teknik Rekayasa Elektronika, Politeknik Negeri Batam, Batam, Indonesia

*Email: the corresponding author's e-mail address

Received on dd-mm-yyyy | Revised on dd-mm-yyyy | Accepted on dd-mm-yyyy

Abstract—Automated Guided Vehicle (AGV) semakin banyak digunakan dalam otomatisasi industri, yang membutuhkan pelacakan posisi yang andal dan pemantauan energi baterai untuk memastikan operasi tanpa gangguan. Studi ini menyajikan sistem pemantauan waktu nyata yang mengintegrasikan Identifikasi Frekuensi Radio (RFID) untuk pelacakan posisi AGV dan sensor PZEM-017 DC untuk mengukur parameter baterai termasuk tegangan, arus, daya, dan energi kumulatif. Mikrokontroler ESP32 menangani akuisisi dan transmisi data ke aplikasi untuk visualisasi. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa pemantauan posisi berbasis RFID mencapai deteksi penuh tag RFID di sepanjang rute uji pada kecepatan 150 mm/s dan 200 mm/s, menunjukkan keandalan posisi yang tinggi. Evaluasi kinerja baterai menunjukkan penurunan tegangan bertahap, arus rata-rata ~0,53 A, daya rata-rata ~128,7 W, dan konsumsi energi kumulatif ~233,8 Wh selama 30 menit. Sistem terintegrasi ini memberikan wawasan waktu nyata yang akurat tentang perilaku AGV dalam kondisi operasional.

Keywords: Automated Guided Vehicle, Sistem Monitoring, RFID, Sensor Arus, Baterai

I. INTRODUCTION

Automated Guided Vehicle (AGV) merupakan kendaraan yang dikendalikan secara otomatis menggunakan teknologi berbasis komputer untuk memindahkan material dari satu lokasi ke lokasi lain [1] [2], khususnya pada lingkungan industri. Penggunaan AGV bertujuan untuk meningkatkan efisiensi, akurasi, serta keselamatan kerja. Dalam proses distribusi material. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan otomasi industri, keandalan operasional AGV menjadi faktor penting agar proses produksi dapat berjalan secara berkelanjutan. Salah satu aspek penting dalam operasional AGV adalah kondisi baterai sebagai sumber energi utama. Penurunan kapasitas baterai yang tidak terpana, dengan baik dapat menyebabkan AGV berhenti beroperasi secara tiba-tiba dan mengganggu alur produksi. Selain itu, informasi posisi AGV

juga diperlukan untuk memastikan pergerakan robot [3], [4] sesuai dengan lintasan yang telah ditentukan serta memudahkan proses pemantauan dan evaluasi sistem. Team Robotic AGV Politeknik Negeri Batam mengembangkan sistem AGV untuk PT Sumitomo Wiring Systems Batam Indonesia sebagai solusi otomatisasi pengantaran barang di area produksi. Sistem AGV ini menggunakan kontroler TZCMSTFX200DA sebagai pengendali utama, motor TZCS-400-30-TS dengan type motor BLDC sebagai penggerak, serta Magnetic Sensor untuk mendeteksi jalur berdasarkan Magnetic Sensor yang terpasang pada lantai. Pemantauan posisi AGV dilakukan menggunakan modul RFID TZS-RFID-T0030-A dan TAG ID yang ditempatkan di sepanjang lintasan. Untuk mendukung keandalan sistem, pemantauan konsumsi energi baterai dilakukan menggunakan modul PZEM-017 yang berfungsi mengukur parameter listrik berupa tegangan, arus, daya, dan energi. Data hasil pengukuran menggunakan ESP32 dan diolah menggunakan XAMPP, ESP32 sebagai mikrokontroler pendukung untuk memantau kondisi baterai dan menentukan waktu pengisian yang optimal. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada perancangan dan implementasi sistem monitoring posisi dan baterai AGV yang diharapkan dapat meningkatkan efisiensi, keandalan, serta keberlangsungan operasional AGV di lingkungan industri.

II. METHOD

Penelitian ini menerapkan metode monitoring real-time berbasis embedded system untuk memantau posisi dan konsumsi energi baterai pada robot Automated Guided Vehicle (AGV) di lingkungan industri. Sistem monitoring dirancang untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan operasional AGV melalui pemantauan posisi berbasis Radio Frequency Identification (RFID) dan pemantauan kondisi baterai berbasis sensor PZEM-017 DC. Pemantauan posisi AGV dilakukan menggunakan teknologi RFID [5] [6], di mana tag RFID dipasang pada titik-titik tertentu di sepanjang lintasan AGV sebagai landmark atau checkpoint. Pembaca RFID yang terpasang pada AGV mendeteksi identitas (ID) tag saat robot melintas, sehingga posisi AGV dapat diketahui secara diskrit berdasarkan Automated Guided Vehicle (AGV) merupakan

kendaraan yang dikendalikan secara otomatis menggunakan teknologi berbasis komputer untuk memindahkan material dari satu lokasi ke lokasi lain, khususnya pada lingkungan industri. Penggunaan AGV bertujuan untuk meningkatkan efisiensi, akurasi, serta keselamatan kerja dalam proses distribusi material. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan otomasi industri, keandalan operasional AGV menjadi faktor penting agar proses produksi dapat berjalan secara berkelanjutan [7]. Salah satu aspek penting dalam operasional AGV adalah kondisi baterai sebagai sumber energi utama. Penurunan kapasitas baterai yang tidak terpantau, dengan baik dapat menyebabkan AGV berhenti beroperasi secara tiba-tiba dan mengganggu alur produksi. Selain itu, informasi posisi AGV juga diperlukan untuk memastikan pergerakan robot sesuai dengan lintasan yang telah ditentukan serta memudahkan proses pemantauan dan evaluasi sistem [8]. Team Robotic AGV Politeknik Negeri Batam mengembangkan sistem AGV untuk PT Sumitomo Wiring Systems Batam Indonesia sebagai solusi otomasi pengantaran barang di area produksi. Sistem AGV ini menggunakan kontroler TZCMSTFX200DA sebagai pengendali utama, motor TZCS-400-30-TS dengan type motor BLDC sebagai penggerak, serta Magnetic Sensor untuk mendeteksi jalur berdasarkan Magnetic Sensor yang terpasang pada lantai. Pemantauan posisi AGV dilakukan menggunakan modul RFID TZS-RFID-T0030-A dan TAG ID yang ditempatkan di sepanjang lintasan. Untuk mendukung keandalan sistem, pemantauan konsumsi energi baterai dilakukan menggunakan modul PZEM-017 yang berfungsi mengukur parameter listrik berupa tegangan, arus, daya, dan energi. Data hasil pengukuran menggunakan ESP32 dan diolah menggunakan XAMPP, ESP32 sebagai mikrokontroler pendukung untuk memantau kondisi baterai dan menentukan waktu pengisian yang optimal. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada perancangan dan implementasi sistem monitoring posisi dan baterai AGV yang diharapkan dapat meningkatkan efisiensi, keandalan, serta keberlangsungan operasional AGV di lingkungan industri lokasi tag yang terdeteksi [9]. Pemantauan konsumsi energi baterai dilakukan menggunakan sensor PZEM-017 DC yang berfungsi untuk mengukur parameter listrik baterai secara waktu nyata, meliputi tegangan, arus, daya, dan energi listrik kumulatif. Sensor ini dipilih karena memiliki akurasi yang memadai untuk aplikasi pemantauan daya pada sistem AGV. Data hasil pengukuran dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses dan ditampilkan sebagai informasi monitoring baterai [10].

Uji eksperimental dilakukan untuk mengevaluasi konsumsi energi baterai AGV selama proses operasional robot.

A. ARSITEKTUR SISTEM MONITORING

Arsitektur system monitoring pada Figure 1. Terdiri dari dua subsistem utama, yaitu subsistem monitoring posisi AGV dan subsistem monitoring energi baterai. Kedua subsistem diintegrasikan menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemrosesan dan komunikasi data. Monitoring posisi menggunakan teknologi RFID untuk mendeteksi keberadaan AGV pada titik tertentu di sepanjang lintasan. Subsistem monitoring energi baterai menggunakan sensor PZEM-017 DC untuk mengukur parameter secara real-time. Data dari kedua

subsistem diproses oleh ESP32 dan dikirimkan ke server berbasis XAMPP untuk di tampilkan sebagai monitoring

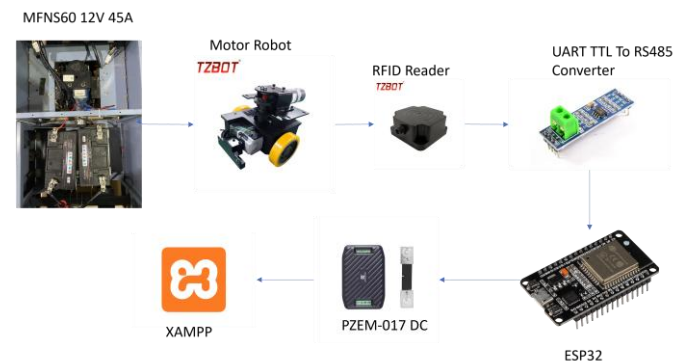


Figure 1. Konfigurasi Arsitektur Sistem Monitoring AGV Menggunakan RFID dan Sensor PZEM-017 DC

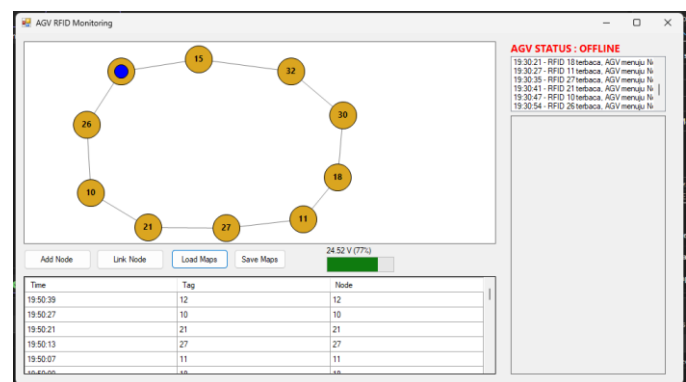


Figure 2. Tampilan Antarmuka Monitoring Posisi AGV Menggunakan RFID

Aplikasi monitoring posisi AGV yang menunjukkan lokasi AGV pada lintasan. System AGV monitoring mengintegrasikan RFID sebagai penentuan posisi AGV, ESP32 sebagai pengirim data serta aplikasi monitoring sebagai antarmuka. RFID reader membaca tag pada setiap node lintasan AGV kemudian ESP32 mengirimkan informasi node serta waktu pembacaan ke aplikasi monitoring. Data divisualisasikan dalam bentuk peta node, log aktivitas dan status baterai sehingga pergerakan dan kondisi AGV dapat dipantau [11], [12].

B. SISTEM MONITORING AGV

Monitoring posisi AGV dilakukan menggunakan teknologi Radio Frequency Identification (RFID) [13]. Tag RFID dipasang pada titik-titik tertentu di sepanjang lintasan AGV dan berfungsi sebagai landmark atau. RFID Reader dipasang pada bagian bawah robot AGV sehingga dapat membaca identitas (ID) tag RFID saat robot melintas di atas lintasan. Setiap ID tag RFID yang terbaca dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 untuk di proses sebagai informasi posisi AGV. Dengan pendekatan ini, posisi AGV dapat diketahui berdasarkan lokasi tag RFID yang terdeteksi tanpa memerlukan perhitungan posisi [14].

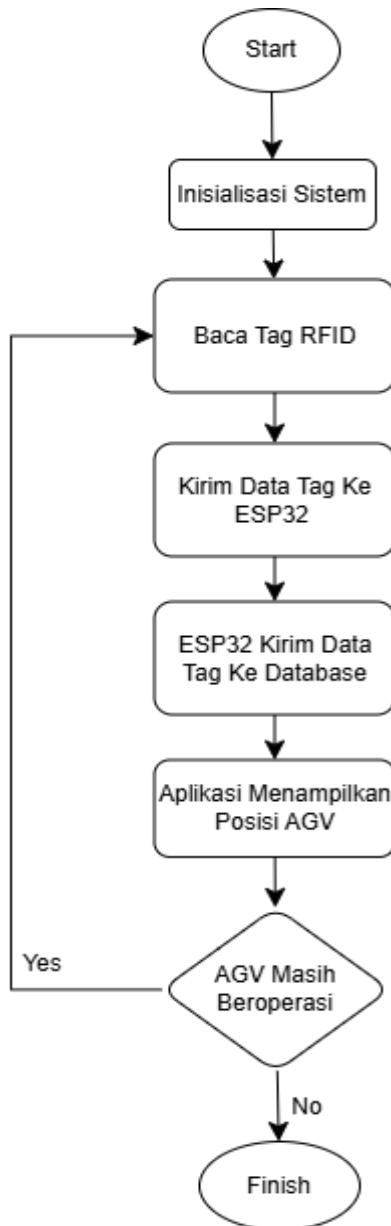


Figure 3. Flowchart Sistem Monitoring Posisi AGV Menggunakan RFID

Dari flowchart system monitoring menunjukkan integrasi berapa komponen yaitu ESP32, RFID, sensor PZEM-017DC, RS485 yang bekerja dan terkordinasi untuk melakukan monitoring posisi dan energi baterai AGV. Mikrokontroller ESP32 sebagai pusat proses dan komunikasi data RFID digunakan untuk monitoring posisi AGV dimana RFID reader yang terpasang pada AGV membaca ID tag yang di tempatkan di lantai sebagai checkpoint di sepanjang lintasan data posisi kemudian di proses ESP32 [15]. Untuk energi baterai, sensor PZEM-017 DC untuk membaca tegangan berupa tegangan, arus, daya, dan energi kumulatif hasil data pengukuran dikirim ke ESP32 melalui komunikasi RS485, seluruh data hasil monitoring posisi dan energi baterai di kirim ke ESP32 melalui koneksi WIFI, disimpan pada database dan ditampilkan pada aplikasi monitoring [16].

C. SISTEM MONITORING ENERGI BATERAI

Monitoring energi baterai dilakukan menggunakan sensor PZEM-017DC yang berfungsi. Untuk membaca tegangan, arus, daya, dan energi listrik kumulatif pada baterai AGV. Sensor ini menggunakan resistor shunt eksternal untuk pengukuran arus mendukung komunikasi data berbasis RS485. Sensor PZEM-017 DC dihubungkan ke mikrokontroller ESP32 melalui RS485 menggunakan protocol WIFI. Data hasil pengukuran dikirimkan secara periodic ke ESP32 untuk diproses dan disiapkan sebagai data monitoring energi baterai.

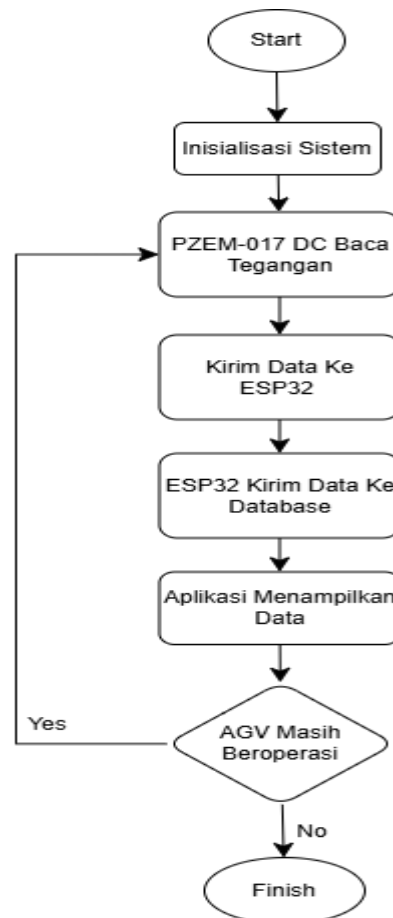


Figure 4. Flowchart Sistem Monitoring Energi Baterai AGV Menggunakan Sensor PZEM-017 DC

Flowchart system monitoring energi baterai AGV menggunakan sensor PZEM-017DC untuk pembacaan parameter tegangan, arus, daya, dan energi listrik dapat dilihat pada Gambar 4.

D. DESAIN PERANGKAT KERAS

Perangkat keras system monitoring terdiri dari baterai sumber daya utama, sensor PZEM-017 DC, modul RS485, dan mikrokontroller ESP32. Tegangan baterai diturunkan menggunakan modul regulator untuk mencatu ESP32, modul RS485, dan sensor PZEM-017 DC sesuai dengan kebutuhan masing-masing komponen [17]. Seluruh komponen dirangkai dalam satu unit system monitoring konsumsi energi baterai. Rangkaian system dirancang untuk mendukung pengukuran

parameter listrik baterai selama robot AGV beroperasi serta memastikan komunikasi data yang stabil antara sensor dan mikrokontroler [18].

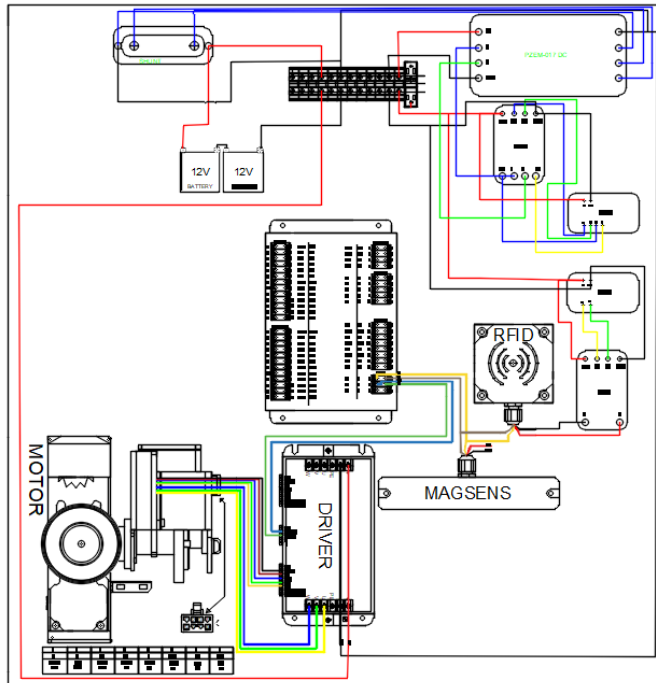


Figure 5. Diagram Koneksi Sensor PZEM-017 DC dan ESP32 pada Sistem Monitoring Baterai AGV

Figure 5. menunjukkan integrasi sistem diagram monitoring AGV yang menghubungkan sensor PZEM-017 DC, converter RS485, dan mikrokontroler ESP32 [19]. PZEM-017 DC dipasang secara seri pada suplay baterai AGV sehingga PZEM-017 DC dapat mengukur tegangan, arus, daya, dan energi kumulatif selama AGV masih beroperasi. Pengukuran tersebut dilakukan menggunakan shunt resistor yang terhubung dengan ke terminal PZEM-017 DC. Hasil pengukuran dari PZEM-017 DC tidak dikirim secara analog melainkan komunikasi RS485. Oleh karena itu RS485-TTL dapat mengonversi sinyal diferensial A dan B dari PZEM-017 DC menjadi sinyal logika UART, TX-RX yang di proses oleh ESP32. ESP32 berperan sebagai modbus master yang secara periodic melakukan pembacaan register PZEM-017 DC melalui jalur UART. Pin TX DAN RX ESP32 dihubungkan ke modul RS485 sedangkan pin DE, RE dikendalikan oleh ESP32 untuk mengatur transmit data pada komunikasi RS485 dengan ESP32 dapat membaca data tegangan, daya, arus, dan energi.

E. PROSES PENGUJIAN SISTEM

Pengujian system dilakukan untuk mengevaluasi kinerja monitoring posisi dan monitoring energi baterai pada robot AGV [19]. Pengujian posisi dilakukan dengan mengoperasikan AGV pada lintasan uji yang telah dilengkapi dengan tag RFID untuk memastikan pembacaan ID tag dapat dilakukan dengan baik pada berbagai kondisi kecepatan. Pengujian monitoring energi baterai dilakukan dengan mengoperasikan AGV selama periode waktu 30 menit, selama pengujian, sensor PZEM-017

DC digunakan untuk membaca parameter listrik baterai secara kontinu, dan data hasil pengukuran di kirimkan ke system monitoring untuk di analisis pada tahap selanjutnya.



Figure 6. Lintasan Uji AGV Berbasis Jalur Magnetik dengan Penempatan Tag RFID

Lintasan uji AGV berbasis jalur magnetik dengan penempatan tag RFID sebagai titik checkpoint untuk monitoring posisi dapat dilihat dengan gambar diatas

III. RESULT AND DISCUSSION

A. Hasil Monitoring Posisi AGV Menggunakan RFID

Pengujian monitoring posisi AGV dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam membaca tag RFID pada setiap checkpoint lintasan. Pengujian dilakukan pada dua variasi kecepatan, yaitu 150 mm/s dan 200 mm/s, untuk melihat konsistensi pembacaan tag RFID pada kondisi operasional yang berbeda.

1. Akurasi Posisi AGV pada Kecepatan 150mm/s

Hasil pengujian monitoring posisi AGV pada kecepatan 150 mm/s ditunjukkan pada Tabel 1. Berdasarkan data tersebut, seluruh tag RFID yang dilewati AGV berhasil terbaca sesuai dengan tag yang seharusnya.

TABEL I
HASIL PENGUJIAN AKURASI MONITORING POSISI
AGV PADA KECEPATAN 150MM/S

No	Kecepatan	ID Tag	Tag Seharusnya	Tag Terbaca
1	150mm/s	12	12	Terbaca
2	150mm/s	15	15	Terbaca
3	150mm/s	32	32	Terbaca
4	150mm/s	30	30	Terbaca
5	150mm/s	18	18	Terbaca
6	150mm/s	11	11	Terbaca
7	150mm/s	27	27	Terbaca
8	150mm/s	21	21	Terbaca
9	150mm/s	10	10	Terbaca
10	150mm/s	26	26	Terbaca

Tingkat akurasi monitoring posisi AGV dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Akurasi} = \frac{\text{Tag Terbaca}}{\text{Tag Seharusnya}} \times 100\% \quad (1)$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, akurasi monitoring posisi AGV pada kecepatan 150 mm/s mencapai 100%. Hal ini menunjukkan bahwa sistem monitoring posisi berbasis RFID mampu membaca seluruh tag secara konsisten pada kondisi pengujian ini [20].

Table 1. menunjukkan hasil pembacaan tag RFID pada pengujian monitoring posisi AGV dengan kecepatan 150mm/s yang dimana seluruh tag berhasil terbaca sesuai dengan identitas yang diharapkan.

2. Akurasi Posisi AGV pada Kecepatan 200mm/s

Hasil pengujian monitoring posisi AGV pada kecepatan 200 mm/s ditunjukkan pada Tabel 2. Berdasarkan data tersebut, seluruh tag RFID yang dilewati AGV berhasil terbaca sesuai dengan tag yang seharusnya.

TABEL II
HASIL PENGUJIAN AKURASI MONITORING POSISI
AGV PADA KECEPATAN 200MM/S

No	Kecepatan	ID Tag	Tag Seharusnya	Tag terbaca
1	200mm/s	12	12	Terbaca
2	200mm/s	15	15	Terbaca
3	200mm/s	32	32	Terbaca
4	200mm/s	30	30	Terbaca
5	200mm/s	18	18	Terbaca
6	200mm/s	11	11	Terbaca
7	200mm/s	27	27	Terbaca
8	200mm/s	21	21	Terbaca
9	200mm/s	10	10	Terbaca
10	200mm/s	26	26	Terbaca

Berdasarkan perhitungan akurasi menggunakan persamaan yang sama, tingkat akurasi monitoring posisi AGV pada kecepatan 200 mm/s juga mencapai **100%**. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan kecepatan AGV tidak mempengaruhi kemampuan sistem RFID dalam membaca tag pada lintasan uji yang digunakan.

Table 2. menunjukkan hasil pembacaan tag RFID pada pengujian monitoring posisi AGV dengan kecepatan 200mm/s dimana seluruh tag berhasil terbaca sesuai identitas yang diharapkan

B. Hasil Monitoring Energi Baterai AGV

Pengujian monitoring energi baterai dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik konsumsi energi listrik pada robot Automated Guided Vehicle (AGV) selama 30 menit proses operasional. Parameter listrik yang diamati meliputi tegangan, arus, daya, dan energi listrik kumulatif, yang diukur secara real-time menggunakan sensor PZEM-017 DC dan ditampilkan melalui sistem monitoring berbasis aplikasi C#.

1. Tegangan Baterai AGV

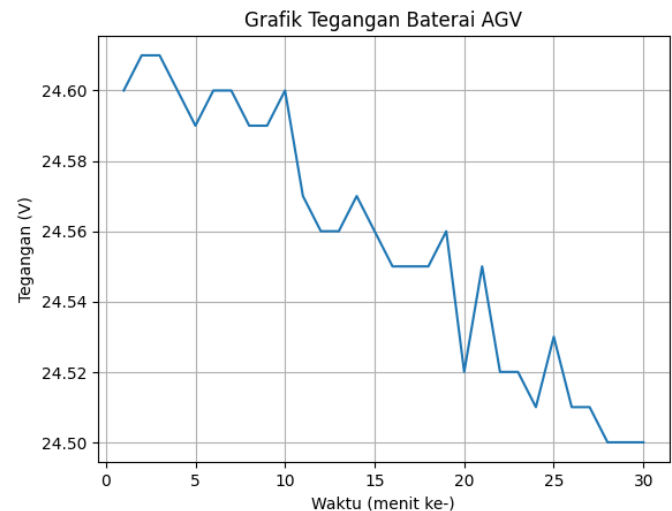


Figure 7. Grafik Tegangan Baterai AGV terhadap Waktu Operasional

Perubahan tegangan baterai AGV selama proses operasional ditunjukkan pada Gambar 7. Berdasarkan grafik tersebut, nilai tegangan baterai berada pada rentang 24,50 V hingga 24,62 V selama pengujian [21]. Tegangan awal berada pada kisaran 24,60 V, kemudian mengalami penurunan secara bertahap hingga mencapai sekitar 24,50 V pada akhir periode pengujian. Nilai tegangan rata-rata yang terukur selama 30 menit dengan kecepatan yang berbeda operasional adalah sebesar 24,56 V. Penurunan tegangan yang terjadi bersifat gradual dan stabil, yang menunjukkan bahwa baterai AGV digunakan secara normal tanpa adanya penurunan tegangan yang drastis selama pengujian berlangsung.

Perubahan tegangan baterai AGV selama proses operasional ditunjukkan pada gambar 7. Grafik tersebut memperlihatkan bahwa tegangan baterai beradapada rentang 24,50 V hingga 24,62 V selama pengujian dan mengalami penurunan secara bertahap seiring bertambahnya waktu operasional [22].

2. Arus Baterai AGV

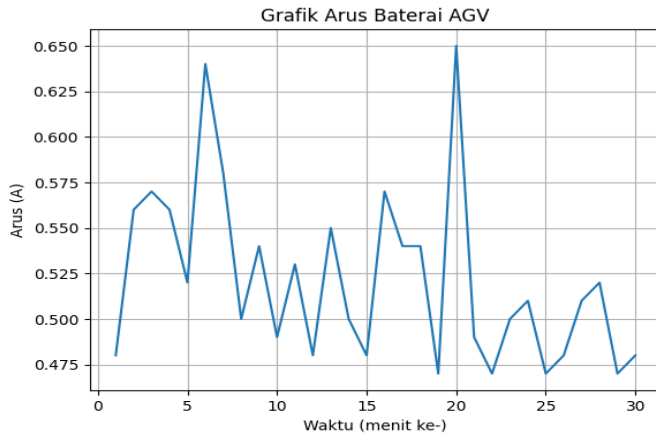


Figure 8. Grafik Arus Baterai AGV terhadap Waktu Operasional

Grafik arus baterai AGV selama pengujian ditunjukkan pada figure 9. Berdasarkan grafik tersebut, nilai arus yang terukur berada pada rentang 0,47 A hingga 0,65 A. Arus listrik menunjukkan fluktuasi selama proses operasional AGV. Nilai arus rata-rata selama pengujian adalah sebesar 0,53 A. Fluktuasi arus ini dipengaruhi oleh perubahan kondisi beban motor, seperti saat AGV mulai bergerak, berhenti, dan melakukan manuver di lintasan uji. Peningkatan arus terjadi ketika AGV mengalami beban kerja yang lebih besar, sedangkan penurunan arus terjadi saat beban motor berkurang.

Grafik arus baterai AGV selama proses operasional dapat dilihat pada Gambar.8 grafik tersebut memperlihatkan fluktuasi arus listrik akibat perubahan kondisi motor selama AGV beroperasi

3. Daya Baterai AGV

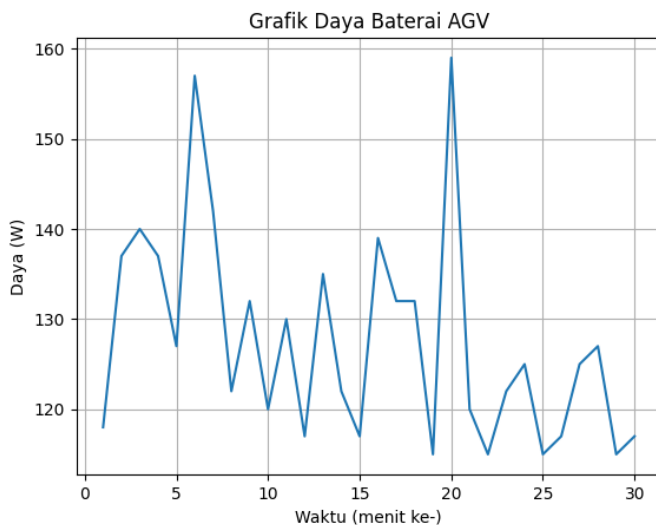


Figure 9. Grafik Daya Baterai AGV terhadap Waktu Operasional

Perubahan daya listrik baterai AGV selama pengujian ditunjukkan pada Gambar 5. Nilai daya yang terukur berada pada rentang 115 W hingga 158 W, dengan beberapa puncak daya yang muncul selama proses operasional. Berdasarkan data pengukuran, daya listrik rata-rata yang digunakan AGV selama pengujian adalah sebesar 128,7 W. Pola perubahan daya mengikuti fluktuasi arus dan tegangan baterai, di mana nilai daya meningkat saat AGV bekerja dengan beban lebih tinggi dan menurun ketika beban motor berkurang [22]. Perubahan daya baterai AGV selama proses operasional dapat dilihat pada figure 9. Grafik tersebut menunjukkan variasi daya listrik yang digunakan AGV selama pengujian [23].

4. Energi Listrik Kumulatif

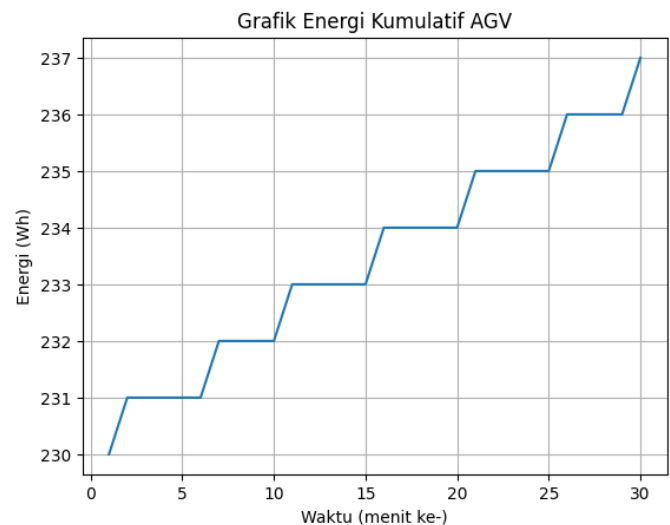


Figure 10. Grafik Akumulasi Konsumsi Energi Baterai AGV terhadap Waktu

Energi listrik kumulatif selama proses pengujian ditunjukkan pada Gambar 10. Grafik tersebut menunjukkan bahwa energi listrik kumulatif meningkat secara bertahap seiring dengan bertambahnya waktu operasional AGV [24]. Nilai energi listrik kumulatif yang tercatat selama pengujian berada pada rentang 230 Wh hingga 237 Wh, dengan energi kumulatif rata-rata sebesar 233,8 Wh. Peningkatan energi kumulatif yang bersifat kontinu menunjukkan bahwa sistem monitoring mampu mencatat konsumsi energi baterai secara akurat dan konsisten selama AGV beroperasi.

Akumulasi konsumsi energi baterai AGV selama proses operasional dapat dilihat pada Gambar 10. Grafik tersebut memperlihatkan peningkatan energi listrik kumulatif secara bertahap seiring bertambahnya waktu operasional AGV [25].

C. Discussion

Hasil pengujian monitoring posisi AGV menunjukkan bahwa sistem berbasis Radio Frequency Identification (RFID) mampu mendeteksi keberadaan AGV secara konsisten pada setiap checkpoint lintasan. Tingkat akurasi sebesar 100% yang diperoleh pada variasi kecepatan 150 mm/s dan 200 mm/s menunjukkan bahwa performa pembacaan tag RFID tidak terpengaruh oleh perubahan kecepatan AGV dalam rentang pengujian. Hal ini mengindikasikan bahwa metode monitoring posisi berbasis landmark RFID memiliki keandalan yang tinggi untuk aplikasi AGV dengan lintasan tetap di lingkungan industri. Keandalan sistem monitoring posisi tersebut disebabkan oleh penempatan tag RFID yang terstruktur di sepanjang lintasan serta penggunaan pembaca RFID yang terpasang langsung pada AGV. Dengan pendekatan ini, posisi AGV dapat ditentukan secara diskrit berdasarkan lokasi tag yang terdeteksi tanpa memerlukan perhitungan estimasi posisi yang kompleks. Dibandingkan dengan metode navigasi berbasis sensor kontinu atau visi komputer, pendekatan RFID lebih sederhana dalam implementasi dan memiliki tingkat kestabilan yang baik pada lingkungan industri yang terkontrol. Pada sisi monitoring energi baterai, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu merekam parameter listrik baterai berupa tegangan, arus, daya, dan energi listrik kumulatif secara real-time selama 30 menit proses operasional AGV. Tegangan baterai yang mengalami penurunan secara bertahap dari sekitar 24,60 V hingga 24,50 V menunjukkan karakteristik penggunaan energi baterai yang normal dan stabil. Tidak ditemukannya penurunan tegangan secara drastis mengindikasikan bahwa kondisi baterai selama pengujian berada dalam batas operasi yang aman. Fluktuasi arus listrik pada rentang 0,47 A hingga 0,65 A serta variasi daya pada kisaran 115 W hingga 158 W mencerminkan perubahan beban kerja motor AGV selama proses operasional. Peningkatan arus dan daya terjadi ketika AGV menghadapi beban yang lebih besar, seperti saat percepatan awal atau manuver di lintasan, sedangkan nilai arus dan daya menurun ketika beban motor berkurang. Pola ini menunjukkan bahwa sistem monitoring energi mampu merepresentasikan kondisi kerja AGV secara akurat. Energi listrik kumulatif yang meningkat secara kontinu hingga mencapai nilai rata-rata 233,8 Wh memberikan gambaran menyeluruh mengenai konsumsi energi baterai selama AGV beroperasi. Informasi energi kumulatif ini penting untuk mendukung pengelolaan energi baterai, khususnya dalam menentukan waktu pengisian ulang baterai agar AGV tidak mengalami kehabisan energi secara tiba-tiba saat beroperasi di area produksi. Secara keseluruhan, integrasi sistem monitoring posisi berbasis RFID dan monitoring energi baterai berbasis sensor PZEM-017 DC dengan mikrokontroler ESP32 terbukti mampu memberikan informasi operasional AGV secara real-time dan andal. Sistem ini memiliki keunggulan dalam kesederhanaan metode, kemudahan implementasi, serta kemampuan monitoring yang stabil. Dengan demikian, sistem monitoring yang dikembangkan berpotensi meningkatkan keandalan dan kontinuitas operasional AGV di lingkungan

industri, serta dapat dijadikan sebagai dasar pengembangan sistem monitoring AGV yang lebih lanjut di masa mendatang.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, sistem monitoring posisi dan baterai pada robot Automated Guided Vehicle (AGV) berbasis RFID dan sensor PZEM 017 DC dengan ESP32 berhasil dan berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian sistem monitoring posisi berbasis RFID mampu mendeteksi seluruh ID tag yang di pasang di sepanjang lintasan dengan tingkat keberhasilan 1000% pada kecepatan AGV 150mm/s dan 200mm/s, sehingga sistem dapat menentukan posisi AGV. Hasil pengujian monitoring energi baterai menunjukkan sistem mampu merekam parameter baterai secara real-time meliputi tegangan, arus, daya, dan energi kumulatif selama pengujian 30 menit AGV beroperasi. Tegangan baterai mengalami penurunan secara bertahap dari 24,60 V menjadi 24,50V, sementara arus dan daya menunjukkan fluktuasi oleh perubahan beban motor selama AGV beroperasi. Energi listrik kumulatif tercatat meningkat dengan nilai rata-rata sebesar 233,8 Wh. Dengan demikian sistem monitoring posisi berbasis RFID dan monitoring energi baterai berbasis sensor PZEM-017 DC mampu memberikan informasi kondisi operasional AGV secara stabil. Sistem ini dikembangkan dapat digunakan sebagai solusi pemantauan untuk mendukung kontinuitas operasional AGV di lingkungan industry.

REFERENSI

1. Kotkar, G. R. (2025). "Automated Guided Vehicle." *Journal: International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET)*, Vol. 13, Issue 1.
2. Rakić, S., Marjanović, U., & Medić, N. (2025) "Advancements in Smart Manufacturing and Industry 4.0."
3. Ngandu, E., Luwes, N., & Kusakana, K. (2020) "Navigation System for an Automatic Guided Vehicle." *Journal: Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1577.
4. Hu, X., Luo, Z., & Jiang, W. (2020) "AGV Localization System Based on Ultra-Wideband and Vision Guidance." *Journal: Electronics*.
5. Sivaprakash, K. (2025) "Adaptive AGV Navigation Using Edge-Driven in Small-Scale Industries." *Journal: International Journal of Scientific Research in Engineering and Management*.
6. Ellithy, K., Salah, M., Fahim, I., & Shalaby, R. (2024) "AGV and Industry 4.0 in Warehouses: A Comprehensive Analysis of Existing Literature." *Journal: International Journal of Advanced Manufacturing Technology*.
7. Tubis, A., & Poturaj, H. (2022) "Risk Related to AGV Systems—Open-Access Literature Review." *Journal: Energies*.
8. Jung, H.-S., Eschmann, F., & Schindler, C. (2023) "Experimental Investigation on RFID-Odometer-Based Localization of an Automated Shunting Vehicle." *Journal: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F*.
9. Shamsfakhr, F., Motroni, A., Palopoli, L., Buffi, A., Nepa, P., & Fontanelli, D. (2021) "Robot Localisation Using UHF-RFID Tags: A Kalman Smoother Approach." *Journal: Sensors*.

10. Krot, K., Iskierka, G., Poskart, B., & Gola, A. (2022) "Predictive Monitoring System for Autonomous Mobile Robots Battery Management Using the Industrial Internet of Things Technology." *Journal: Materials*, 15(19).
11. Lopes, D., Pereira, T., Gonçalves, A., et al. (2025) "Integrated Fleet Management of Mobile Robots for Enhancing Industrial Efficiency." *Journal: Applied Sciences*.
12. Kirci, S., Birgul, U., & Atali, G. (2024) "A Multi-Functional Web Control Interface for Industrial Autonomous Mobile Robot Fleets." *Journal: European Journal of Research and Development*.
13. Hakeem, A. A. A., Solyali, D., Asmael, M. B. A., & Zeeshan, Q. (2020) "Smart Manufacturing for Industry 4.0 using Radio Frequency Identification (RFID) Technology." *Journal: Jurnal Kejuruteraan*.
14. Dhani, H. (2023) "Accuracy and Precision of an Indoor Autonomous Mobile Robot Localization Utilizing an RFID Reader MFRC522." *Journal: METAL*.
15. Avinash, G., Ram, G. S., & Yogitha, R. (2025) "Internet of Things (IoT) Enabled RFID-Based Digital Attendance System with ESP32." *Journal: International Journal of Scientific Research in Engineering and Management*.
16. Rendeiro, P., Leite, J. L., Silva, L., et al. (2023). "Connectivity Evaluation of ESP32 in Outdoor Scenarios." *Anais do Computer on the Beach*.
17. Gondane, A. D., & Thakare, M. B. (2024). "Design and Analysis of Battery Management System for Electric Vehicles." *Journal: International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*.
18. Zhou, Z., Zhang, W., Yuan, H., et al. (2021). "A RS485 Transceiver with On-Chip TVS Design to Meet System-Level ESD Protection." *Journal of Engineering Research*.
19. Zain, A., Suranto, D. D., Budiprasojo, A., Karimah, C. N., Azhar, F. A., & Haryanto, M. D. (2025). "Applications of 18650 Lithium-Ion Batteries Pack in 3 kW Electric Vehicles." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
20. Hu, X., Luo, Z., & Jiang, W. (2020). "AGV Localization System Based on Ultra-Wideband and Vision Guidance." *Electronics*, 9(3), 448.
21. Krot, K., Iskierka, G., Poskart, B., & Gola, A. (2022). "Predictive Monitoring System for Autonomous Mobile Robots Battery Management Using the Industrial Internet of Things Technology." *Materials*, 15(19).
22. Lee, M.-F. R., & Nugroho, A. (2022). "Intelligent Energy Management System for Mobile Robot." *Sustainability*, 14(16), 10056.
23. Lopes, D., Pereira, T., Gonçalves, A., et al. (2025). "Integrated Fleet Management of Mobile Robots for Enhancing Industrial Efficiency." *Applied Sciences*.
24. Mohammadpour, M., Zeghmi, L., Kelouwani, S., et al. (2021). "An Investigation into the Energy-Efficient Motion of Autonomous Wheeled Mobile Robots." *Energies*.
25. Hou, L., Zhou, F., Kim, K., & Zhang, L. (2021). "Practical Model for Energy Consumption Analysis of Omnidirectional Mobile Robot." *Sensors*, 21(5), 1800.