

## SISTEM PEMANTAUAN KECEPATAN RODA PADA AUTOMATED GUIDED VEHICLE BERBASIS JARINGAN WLAN

### WHEEL SPEED MONITORING SYSTEM ON AUTOMATED GUIDED VEHICLE BASED ON WLAN NETWORK

Septa Muhammad Rivaldy<sup>1</sup>, Angga Rusdinar<sup>2</sup>, Ig. Prasetya Dwi Wibawa<sup>3</sup>.

<sup>1,3</sup>Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[septamuhammad@student.telkomuniversity.ac.id](mailto:septamuhammad@student.telkomuniversity.ac.id)

<sup>2</sup>[anggarusdinar@telkomuniversity.ac.id](mailto:anggarusdinar@telkomuniversity.ac.id) <sup>3</sup>[prasdwiwibawa@telkomuniversity.ac.id](mailto:prasdwiwibawa@telkomuniversity.ac.id)

#### Abstrak

Penggunaan *Automated Guided Vehicle* (AGV) pada proses pendistribusian barang memiliki peranan penting dalam kegiatan usaha sebuah perusahaan meningkatkan jumlah produksinya. Biasanya pada proses pendistribusian barang, pengoprasian AGV dipantau dengan memanfaatkan berbagai macam teknologi sistem komunikasi. Namun, permasalahan muncul ketika AGV tidak dapat dipantau karena keterbatasan jangkauan akses pada sistem komunikasinya yang digunakan.

Pada penelitian ini akan dibahas tentang sistem pemantauan kecepatan roda dan posisi AGV berbasis jaringan WLAN untuk menunjang perbaikan (pengembangan) sistem pemantauan AGV pada kegiatan pendistribusian barang. Sistem ini bekerja dengan mengukur perputaran kedua roda AGV menggunakan *Rotary Encoder*. Lalu dengan menggunakan *NodeMCU* data tersebut diolah sehingga dapat direpresentasikan sebagai posisi AGV *realtime*, kemudian hasil tersebut diunggah ke jaringan WLAN untuk diakses oleh pengguna melalui antarmuka *Web*.

Sebagai hasil dari penelitian tugas akhir ini pembacaan sensor memiliki rentang total *error* rata-rata sebesar 0,996 % atau 2,813 cm pada jalur lurus sepanjang 282,5 cm. nilai *error* yang ada diakibatkan oleh selip pada roda AGV dan juga permukaan lantai yang licin. Pada antarmuka *Web* sistem berjalan sebagai mestinya diharapkan mampu menampilkan data kecepatan roda, *moving tracking* dari AGV secara *realtime*.

Kata Kunci : *AGV, NodeMCU, Rotary Encoder, Web Server, WLAN*

#### Abstract

The use of *Automated Guided Vehicle* (AGV) in the process of distributing goods has an important role in the business activities of a company to increase the amount of production. Usually in the process of distributing goods, the operation of AGV is monitored by utilizing a variety of communication system technologies. However, problems arise when AGV cannot be monitored due to limited access to the communication system used.

This research will discuss the wheel speed monitoring system and the position of the WLAN-based AGV network to support the improvement (development) of the AGV monitoring system in the distribution of goods. This system works by measuring the rotation of the two AGV wheels using a *Rotary Encoder*. Then by using *NodeMCU* the data is processed so that it can be represented as a *realtime* AGV position, then the results are uploaded to the WLAN network to be accessed by users via the *Web* interface.

As a result of this final project research, sensor readings have an average total error range of 0.996% or 2.813 cm in a straight line of 282.5 cm. The error value is caused by slippage on the AGV wheels and also the slippery floor surface. On the *Web* interface the system runs as it is expected to be able to display wheel speed data, *moving tracking* from AGV in *realtime*.

Keywords: *AGV, NodeMCU, Rotary Encoder, Web Server, WLAN*

#### 1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi robot dalam dunia industri kini sudah memasuki babak baru. Penggunaan robot pada peningkatan jumlah produksi suatu perusahaan merupakan salah satu solusi bagi sebuah perusahaan untuk menghadapi pesatnya persaingan pasar di masa mendatang.

Robot hampir digunakan disemua lini kegiatan produksi suatu pabrik, mulai dari pengangkutan bahan baku hingga pendistribusian produk. Salah satu robot dari sekian banyak yang digunakan pada sebuah perusahaan yaitu AGV (*Automated Guided Vehicle*). AGV merupakan kendaraan nirawak yang dapat membawa muatan dari suatu tempat ketempat lainnya. Dalam beberapa penggunaan AGV diprogram dan dirancang menjadi kendaraan penarik atau kendaraan pengangkut barang dan bergerak secara otomatis.

Terdapat beberapa penelitian yang telah membahas mengenai AGV seperti yang dilakukan. Tavares dkk.<sup>[1]</sup> Mengontrol pergerakan AGV menggunakan *Bluetooth*, dan saat bersamaan diintegrasikan dengan

aplikasi *user interface* berbasis *cellbot framework*. Yusi dkk.<sup>[2]</sup> Perancangan dan implementasi sistem pemantauan posisi AGV menggunakan *Xbee*. Pada kedua penelitian<sup>[1-2]</sup> tersebut menggunakan sistem komunikasi yang sama yakni *Bluetooth*. Dalam penggunaannya, *Bluetooth* memiliki keterbatasan pada luas area yang dapat dijangkau<sup>[3]</sup>.

Apabila AGV tidak berada dalam area jangkauan *Bluetooth* maka sistem kontrol maupun sistem pemantauan tersebut tidak akan berjalan semestinya. Hal ini juga dapat berdampak pada penurunan efektifitas kegiatan produksi pada perusahaan. Pada penelitian ini, kami merancang sistem monitoring kecepatan roda dan posisi AGV berbasis WLAN, menggunakan sistem komunikasi *Wi-Fi* untuk mentransmisikan data<sup>[4]</sup>. Sebagai salah satu solusi dari keterbatasan *Bluetooth* pada luasan area yang dapat diakses. Mengingat sistem komunikasi *Wi-Fi* lebih luas dan juga dapat diperluas<sup>[3-4]</sup>.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Cara Kerja Konsep Solusi

Pada tugas akhir ini dirancang sebuah sistem monitoring kecepatan roda *Automated Guided Vehicle* (AGV) berbasis jaringan WLAN. Pada sistem yang dirancang ber-input kecepatan roda AGV dan akan menghasilkan output berupa *data logger* pada SD Card, data kecepatan dan posisi AGV pada antarmuka Web. Pertama sistem mendeteksi putaran roda pada AGV dengan menggunakan sensor *Rotary Encoder*, untuk mengukur kecepatan sudut dari kedua roda belakang AGV. Keluaran sensor *Rotary Encoder* yang berupa data digital kemudian diolah menjadi kecepatan linier roda kanan dan kiri AGV (dalam m/s). Setelah itu data kecepatan AGV disimpan pada data logger. Media penyimpanan data logger yang akan digunakan adalah *SD Card*, dan data yang akan disimpan berupa kecepatan linier roda kanan dan kiri AGV (dalam m/s) dan juga posisi AGV per satu detik.

Kemudian untuk dapat menampilkan data kecepatan dan posisi AGV pada antarmuka *Web*, kami merancang sebuah *Web Server* yang diintegrasikan ke jaringan WLAN. *Web Server* yang kami rancang disini merupakan fitur dari salah satu jenis mikrokontroler. Data kecepatan linier roda AGV yang telah diolah akan disimpan pada *Web Server* tersebut. Lalu mikrokontroler tersebut akan di-setup pada *station mode* dan dihubungkan ke jaringan WLAN dengan bantuan *Wi-Fi*.

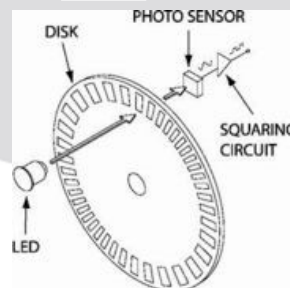
Dengan men-setup pada mode tersebut, *Web Server* akan terhubung dengan jaringan WLAN sehingga dapat diakses oleh pengguna. Pengguna yang mengakses *Web Server* melalui jaringan WLAN ini, akan disajikan data kecepatan linier kedua roda AGV (dalam m/s) dan posisi AGV secara realtime pada antarmuka *Web*.

### 2.2 Automated Guided Vehicle

*Automated Guided Vehicle* (AGV) merupakan sebuah kendaraan tanpa awak yang dapat bergerak secara otomatis. Dilengkapi dengan controller yang bertugas untuk menyimpan serangkaian instruksi mengenai sistem navigasi hingga sistem penggerak. Sebagian besar dari AGV di gunakan pada bidang industri sebagai alat pembantu dalam melakukan pendistribusian barang. AGV biasanya ditempatkan pada jalur tertentu dengan dibantu oleh beragam sensor.

### 2.3 Rotary Encoder

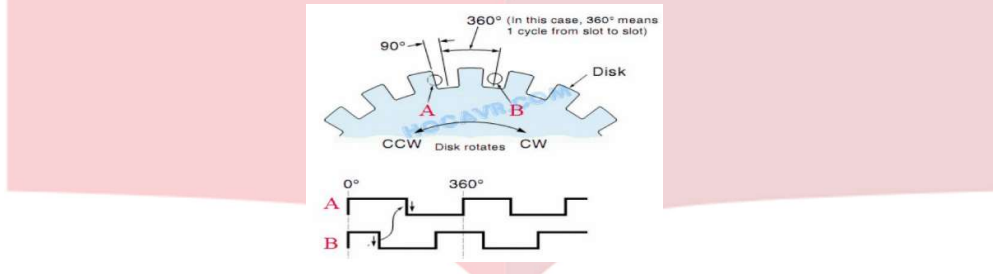
*Encoder* merupakan sebuah perangkat yang berfungsi untuk merubah suatu data masukan menjadi kode bilangan biner. *Rotary Encoder* merupakan sebuah rangkaian elektronika yang dapat membaca gerakan maupun posisi dari objek tertentu. *Rotary Encoder* disusun dari suatu piringan tipis yang memiliki lubang-lubang pada sekeliling lingkarannya. Menggunakan *Photo-transistor* yang diletakan bersebrangan dengan LED untuk mendeteksi lubang-lubang pada piringan tersebut. Posisi piringan yang berputar dapat menyebabkan cahaya dari LED tidak dapat mencapai *Photo-transistor* sehingga menyebabkan saturasi pada *Photo-transistor* dan akan menghasilkan suatu pulsa gelombang persegi. Gambar II-2 menunjukkan bagan skematik sederhana dari *Rotary Encoder*. Semakin banyak deretan pulsa yang dihasilkan pada satu putaran menentukan akurasi rotary encoder tersebut, akibatnya semakin banyak jumlah lubang yang dapat dibuat pada piringan menentukan akurasi *Rotary Encoder* tersebut.



Gambar 2.1 Bagan Skematik Rotary Encoder

**2.4 Perumusan Kecepatan Roda AGV[9]**

Perumusan kecepatan roda AGV didasari oleh hasil yang diperoleh dari perhitungan *Rotary Encoder*. Pada teknik *Incremental Encoder* yang sudah diuraikan diatas terdapat nilai sudut antara pulsa encoder ( $\alpha$ ) yang didapat dari perbedaan jarak penempatan antara 2 encoder, dimana pada penelitian ini hanya digunakan 1 buah sensor encoder sehingga menghasilkan 1 jenis keluaran pulsa encoder dan persamaan (1) tidak dapat digunakan. Berikut ilustrasi dari nilai sudut pulsa encoder:



Gambar 2.2 Ilustrasi nilai sudut antara pulsa encoder ( $\alpha$ )

Pada ilustrasi yang terdapat pada Gambar II-5 menunjukkan jarak antara kedua encoder memengaruhi bentuk keluaran pulsa encoder yang dihasilkan oleh kedua encoder. Jika digunakan hanya 1 encoder maka perumusan nilai sudut pulsa encoder menjadi

$$\alpha = \frac{360^\circ}{i} \tag{1}$$

Dimana ( $\alpha$ ) sama dengan sudut lingkaran pada satu putaran ( $360^\circ$ ) dibagi dengan jumlah celah yang terdapat pada disk encoder ( $i$ ) dan didapatkan:

$$\alpha_f = n \cdot \alpha \cdot \frac{\pi}{180^\circ} \tag{2}$$

Dimana ( $\alpha_f$ ) sama dengan nilai encoder ( $n$ ) dikalikan ( $\alpha$ ) dalam satuan rad. Sehingga kecepatan sudut di roda belakang kanan atau kiri dapat ditentukan oleh

$$\omega_{(L,R)} = \frac{rad}{sec} \tag{3}$$

$$\omega_{(L,R)} = \frac{n_{(L,R)} \cdot \frac{360^\circ}{i} \cdot \frac{\pi}{180^\circ}}{sec} \tag{4}$$

Dari Persamaan. 1 sampai 4, kita dapat menemukan kecepatan sudut yang dapat dikonversi secara langsung dalam standar rad/s, sedangkan  $n_{(L,R)}$  merupakan nilai digital dari encoder kanan atau kiri. Parameter yang akan menjadi acuan untuk pergerakan AGV adalah kecepatan roda kiri dan kanan AGV. Kecepatan AGV didapatkan dari kecepatan sudut roda belakang yang dapat ditentukan oleh

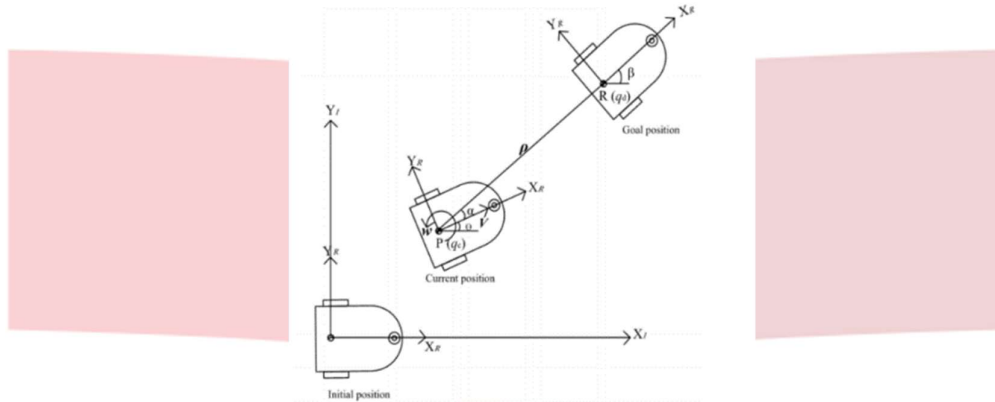
$$v = \omega \cdot r \tag{5}$$

$$v_{(L,R)} = \omega_{(L,R)} \cdot r \tag{6}$$

dimana  $v_{(L,R)}$  akan sama dengan ( $\omega_{(L,R)}$ ) variabel kecepatan linier roda AGV kiri dan kanan dikalikan ( $r$ ) jari-jari roda.

## 2.5 Pemetaan Posisi Robot<sup>[11][12]</sup>

Sistem koordinat robot yang telah dijabarkan pada Bab 2.4 direpresentasikan oleh dua buah kecepatan yaitu kecepatan linear ( $V$ ) dan kecepatan sudut ( $\vartheta$ ).



Gambar 2.3 Representasi Posisi Robot pada Sistem Koordinat

perpindahan dari posisi  $P(q_c)$  ( $x_c, y_c, \vartheta_c$ ) ke posisi  $R(q_d)$  ( $x_d, y_d, \vartheta_d$ ) dapat direpresentasikan pada Gambar 2.3. Kita asumsikan  $V \cos \vartheta$  dan  $V \sin \vartheta$  dari persamaan II-13 merupakan representasi posisi AGV axis Y dan X, dan juga  $\vartheta$  merupakan ukuran yang mengacu pada Inertial Frame.

Dalam tugas akhir ini, diperoleh data kecepatan roda dari *Rotary Encoder* yang dipasang pada robot. *Incremental encoders* mengukur perputaran roda dan juga menghitung posisi maupun orientasi robot menggunakan pendekatan integrasi model kinematik [ $t_k, t_{k+1}$ ]. Dengan mengasumsikan konfigurasi robot  $q_k$  ( $x_k, y_k, \vartheta_k$ ) dan masukan kecepatan konstan  $v_k$  dan  $\omega_k$  diketahui pada waktu diskrit  $t_k$  dengan menggunakan integrasi Euler :

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= x_k + v_k T_s \cos \vartheta_k \\ y_{k+1} &= y_k + v_k T_s \sin \vartheta_k \\ \vartheta_{k+1} &= \vartheta_k + \omega_k T_s \end{aligned} \quad (\text{II-14})$$

dimana

$$\begin{aligned} v_k T_s &= \Delta s \\ \omega_k T_s &= \Delta \vartheta \\ T_s &= t_{k+1} - t_k \end{aligned} \quad (\text{II-15})$$

Rekonstruksi konfigurasi robot secara *realtime* didasarkan pada data *Rotary Encoder*. Dimana  $\Delta \omega_R$  dan  $\Delta \omega_L$  menjadi jumlah perputaran roda yang diukur selama waktu sampling  $T_s$ . Sehingga perpindahan linear dan sudut dari robot sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \Delta s &= \frac{r}{2} (vR + vL) \\ \Delta \vartheta &= \frac{r}{l} (vR - vL) \end{aligned} \quad (\text{II-16})$$

Untuk robot *differential steering*, posisi dapat diperkirakan mulai dari posisi yang diketahui dengan mengintegrasikan gerakan (menjumlahkan kenaikan jarak tempuh). Perkiraan konfigurasi robot pada saat  $t_k$  dihitung sebagai:

$$\begin{bmatrix} x_k \\ y_k \\ \vartheta_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{k-1} \\ y_{k-1} \\ \vartheta_{k-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 \\ \sin \varphi & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta s \\ \Delta \vartheta \end{bmatrix} \quad (\text{II-17})$$

## 2.6 Wireless Local Area Network (WLAN) 802.11<sup>[21]</sup>

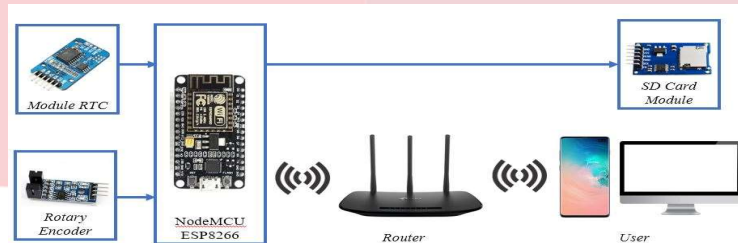
WLAN merupakan kependekan *Wireless Local Area Network* atau yang biasa kita kenal dengan *Wi-Fi*. WLAN yang didasari pada spesifikasi *The Institute of Electrical and Electronics Engineer* (IEEE) 802.11. Fungsinya menghubungkan jaringan dalam satu area lokal secara nirkabel. Awalnya *Wi-Fi* digunakan untuk penggunaan perangkat nirkabel dan jaringan area lokal (LAN), namun saat ini lebih banyak digunakan untuk mengakses internet.

WLAN adalah jaringan yang menggunakan titik akses (*access point*) yang memiliki fungsi seperti *ethernet hub* pada LAN, WLAN menggunakan frekuensi radio yang sama untuk mengirimkan dan menerima sinyal. Arsitektur 802.11 LAN mirip arsitektur seluler di mana sistem ini dibagi-bagi menjadi beberapa sel. Tiap sel (yang disebut dengan *Basic Service Set* atau BSS) dikontrol oleh *Base Station* (yang disebut dengan *Access Point* atau biasa disingkat AP).

### 3. Perancangan Sistem

#### 3.1 Desain Umum Sistem

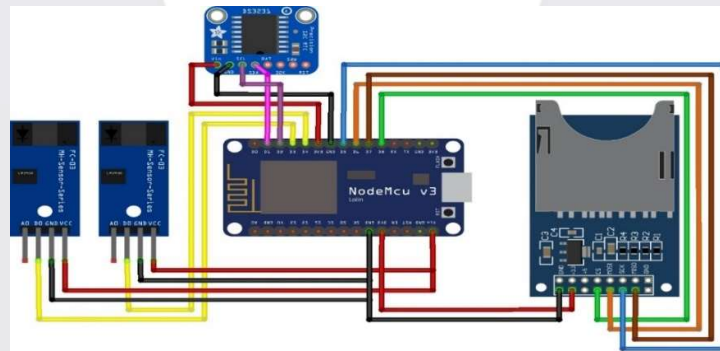
Pada perancangan desain sistem, sensor *Rotary Encoder* dihubungkan dengan mikrokontroler NodeMCU ESP 8266 untuk menerima data kecepatan roda dan posisi AGV. NodeMCU ESP 8266 sudah yang terintegrasi dengan modul *Wi-Fi* kemudian akan digunakan sebagai *Web Server* dan juga menyimpan data tersebut ke *SD Card Module*, lalu disambungkan dengan jaringan WLAN melalui *router*. kemudian data kecepatan roda dan posisi tersebut dapat diakses oleh pengguna yang terhubung dengan jaringan WLAN. Berikut adalah diagram blok sistem yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini:



Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem

#### 3.2 Perancangan Perangkat Keras

Desain perangkat keras yang akan dirancang berdasarkan gambar III-1 yaitu dengan menghubungkan 2 buah sensor FC-03, Module RTC DS3231 dan NodeMCU ESP8266 agar dapat memproses perhitungan kecepatan roda AGV dan menentukan waktu. Kemudian setelah memproses perhitungan kecepatan roda, NodeMCU ESP8266 yang di-*setup* sebagai *Web Server* akan menyimpan data perhitungan kecepatan roda dan posisi ke SD Card. Dengan menghubungkan NodeMCU dengan *router* maka sistem ini akan terhubung dengan jaringan WLAN. Berikut merupakan skematik dari rancangan perangkat keras:



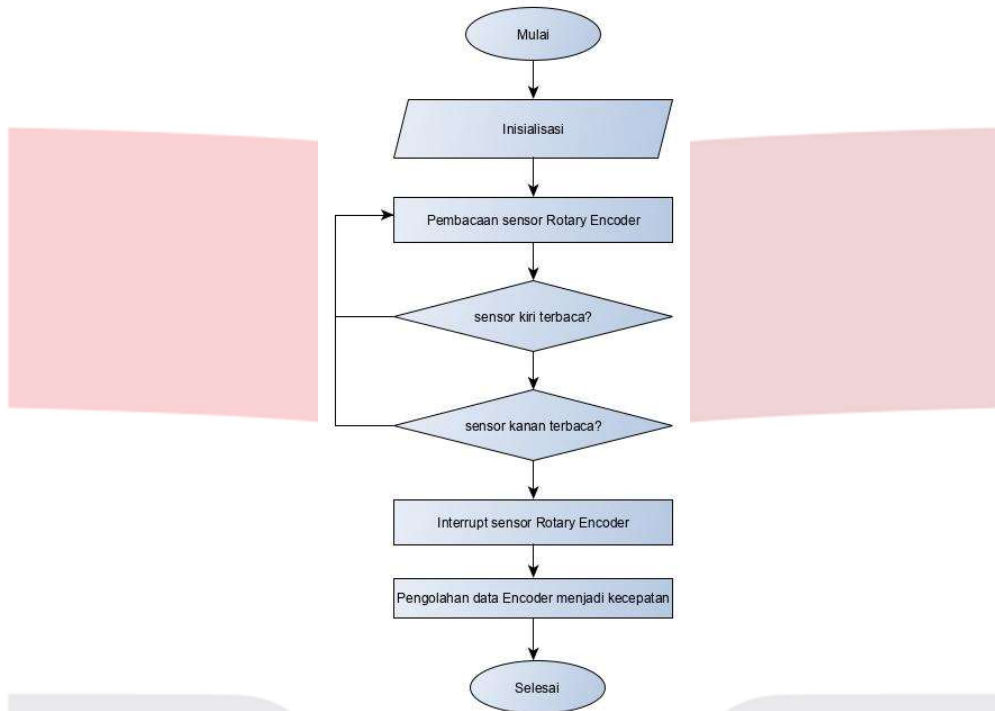
Gambar 3.2 Skematik Desain Perangkat Keras

#### 3.3 Perancangan Perangkat Lunak

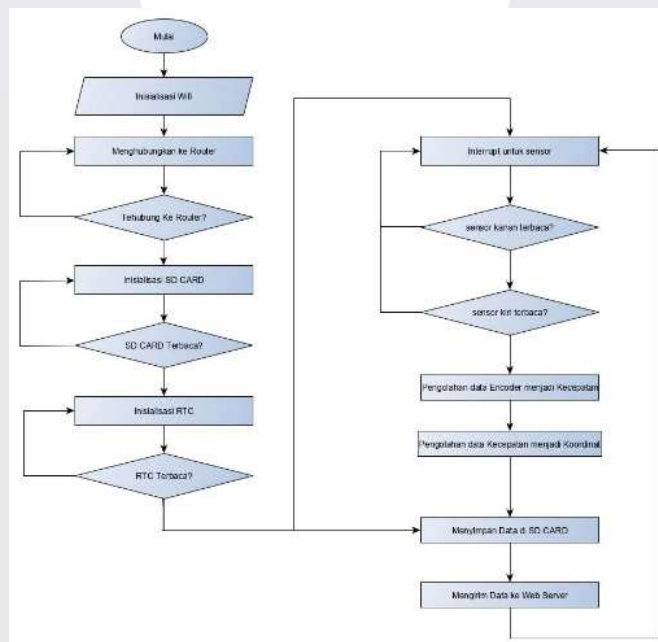
Perancangan perangkat lunak merupakan sebuah hal yang penting bagi kami dalam tugas akhir ini agar sistem yang dirancang berjalan dengan baik. Dalam perancangan perangkat lunak akan membahas mengenai diagram alir sistem secara keseluruhan, juga diagram alir program yang dibangun untuk sistem pada AGV dan diagram alir program pada controller.

Secara garis besar sistem yang kami rancang adalah sistem monitoring dan posisi AGV yang akan ditampilkan pada antarmuka Web. Dengan informasi kecepatan roda yang dideteksi oleh sensor *Rotary Encoder* kami dapat menghitung dan menentukan posisi dari AGV serta melakukan *data logging* secara realtime. Dimana pada antarmuka Web tersebut terdapat informasi mengenai waktu terkini, kecepatan realtime roda AGV kiri-kanan serta grafik *moving point* yang merepresentasikan pergerakan AGV.

### 3.4 Diagram Alir AGV dan Kontroller



Gambar 3.2 Diagram Alir AGV



Gambar 3.3 Diagram Alir Kontroller

**4. Hasil Pengujian dan Analisis**

**4.1 Nilai Error pada Pembacaan Encoder Berdasarkan Jarak Tempuh**

Hasil dari 10 pengujian yang telah dilakukan dengan menjalankan AGV pada jalur lurus, dapat diketahui nilai persentase error dari encoder dengan membandingkan jarak tempuh yang diukur melalui pembacaan sensor dengan jarak tempuh yang diukur sistem dengan pengukur jarak sebenarnya dengan menggunakan formula dibawah ini:

$$Error = \left| \frac{Stotal - StotalE}{Stotal} \right| \times 100\%$$

Tabel 4.1 Perbandingan Jarak Sebenarnya Encoder

Pengujian	Stotal (cm)	StotalE (cm)	Error (%)
1	282.500	280.48	0.7150%
2	282.500	278.975	1.2478%
3	282.500	279.98	0.8920%
4	282.500	280.485	0.7133%
5	282.500	280.495	0.7097%
6	282.500	278.475	1.4248%
7	282.500	277.99	1.5965%
8	282.500	278.48	1.4230%
9	282.500	281.01	0.5274%
10	282.500	280.495	0.7097%
		<b>Total</b>	<b>9.9593%</b>
		<b>Rata-rata</b>	<b>0.99593%</b>

Berdasarkan Tabel 4.1, diketahui nilai *error* yang terjadi dari pembacaan encoder mencapai 9,9593% dengan minimum error 0,5274%. Nilai rata-rata error dari encoder = 0,99593%. Jarak tempuh rata-rata dari pembacaan sensor encoder = 279,6865 cm.

**4.2 Pemetaan pada Antarmuka Web**

Berikut merupakan tampilan dari *Moving Point* g AGV pada Antarmuka *Web*



Gambar 4.1 Tampilan *Moving Point* pada Antarmuka *Web*

**5 Kesimpulan dan Saran**

**5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa sistem pemantauan terhadap kecepatan roda AGV, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Sistem dapat mengukur kecepatan roda dan juga dapat memproses data kecepatan roda menjadi posisi AGV.
2. *Web Server* bekerja dengan baik dapat menerima data kecepatan dan posisi AGV secara *realtime* dibuktikan dengan kesamaan hasil pengujian dan keluaran pada antarmuka *Web*.
3. Sistem *data logger* pada penelitian ini berjalan dengan baik dapat menyimpan data kecepatan dan posisi AGV setiap detiknya.
4. Hasil dari pengujian sensor encoder pada jalur lurus mendapatkan hasil berupa *error* sebesar 0,996% hal tersebut dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti roda yang slip dan lantainya licin, dapat memengaruhi hasil pengujian.

5. Pada penelitian ini pemantauan kecepatan roda dapat dilihat pada antarmuka Web, pengguna dapat melihat tampilan berupa kecepatan roda AGV dan juga grafik *moving point* yang merepresentasikan posisi AGV secara *realtime*.

## 5.2 Saran

Saran untuk pengembangan sistem pengontrol kadar nutrisi tanaman Aeroponoik berbasis IoT adalah sebagai berikut:

1. Penggunaan sensor jenis lain diharapkan meningkatkan akurasi dari pengukuran pada roda sehingga mendapatkan hasil pengukuran yang lebih presisi.
2. Mendesain antarmuka Web lebih baik sehingga dapat menampilkan lebih banyak informasi.

## Daftar Pustaka

- [1] D. Tavares and S. Jacyszyn Bachege, "Proposal for an AGV communication system using a cellbot framework," *2012 10th IEEE/IAS Int. Conf. Ind. Appl. INDUSCON, Fortaleza*, pp. 1–6, Nov. 2012, doi: 10.1109/INDUSCON.2012.6451395.
- [2] Y. D. Satriyo, A. Rusdinar, D. Ph. I. Prasetya, and D. Wibawa, "The Position Monitoring System of Automated Guided Vehicle (AGV) In The Industrial Production Process," *8th Int. Work. Comput. Sci. Eng.*, pp. 1–7, 2018.
- [3] N. Chhabra, "Comparative Analysis of Different Wireless Technologies," *Int. J. Sci. Res. Netw. Secur. Commun.*, no. 5, 2013.
- [4] D. McIntire, K. Ho, B. Yip, A. Singh, W. Wu, and W. J. Kaiser, "The low power energy aware processing (LEAP) embedded networked sensor system," *Proc. 5th Int. Conf. Inf. Process. Sens. networks*, pp. 449–457, 2006, doi: 10.1145/1127777.1127846.
- [5] R. Riesta, L. Vidya, and I. Dyah, "Implementation and Analysis WDS Bridge Mode for Supporting Data Service of Mobile Node," *Bandung Fak. Tek. Elektro Univ. Telkom Tugas Akhir*, pp. 1–8, 2018.
- [6] R. Petrella, "Speed Measurement Algorithms for Low-Resolution Incremental Encoder Equipped Drives : a Comparative Analysis."
- [7] M. Faccio, P. Grande, F. Parasiliti, R. Petrella, and M. Tursini, "An Embedded System for Position and Speed Measurement Adopting Incremental Encoders," *Dep. Electr. Eng. Univ. L'Aquila*, pp. 1–8, 2001.
- [8] L. Hakim, R. Dikairono, M. Sc, T. Mujiono, and M. Ikom, "Implementasi perhitungan posisi robot dengan FPGA menggunakan rotary encoder," *Jur. Tek. Elektro, Fak. Teknol. Ind. Inst. Teknol. Sepuluh Nop.*, pp. 2–4.
- [9] E. Engineering, "A novel motor speed calculation method using square wave speed sensor signals via fast Fourier transform," vol. 20, no. Method 1, pp. 1090–1099, 2012, doi: 10.3906/elk-1102-1038.
- [10] S. F. Dwiprasetiabudhi, A. Rusdinar, R. Nugraha, F. T. Elektro, U. Telkom, and J. Telekomunikasi, "PERANCANGAN DAN REALISASI SISTEM AUTOMATIC GUIDED VEHICLE ( AGV ) MENGGUNAKAN ALGORITMA DIJKSTRA DAN FUZZY LOGIC DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AUTOMATIC GUIDED VEHICLE ( AGV ) SYSTEM USING DIJKSTRA ALGORITHM FOR POSITION INFORMATION AND NAVIGATION," pp. 1–8.
- [11] S. K. Malu and J. Majumdar, "Kinematics, Localization and Control of Differential Drive Mobile Robot," *Glob. J. Res. Eng.*, vol. 14, no. 1, pp. 1–8, 2014.
- [12] A. Rusdinar and S.-S. Kim, "Modeling of vision based robot formation control using fuzzy logic controller and extended Kalman filter," *Int. J. Fuzzy Log. Intell. Syst.*, vol. 12, no. 3, pp. 238–244, 2012, doi: 10.5391/IJFIS.2012.12.3.238.
- [13] T. Suhesti, "Web server dan jenisnya," 2014.
- [14] A. Pratama, *HTML Uncover-Panduan Belajar HTML untuk Pemula*. Duniaikom, 2016.
- [15] A. Sunyoto, *AJAX Membangun Web dengan Teknologi Asynchroneuse Javascript dan XML*. Yogyakarta: ANDI, 2007.
- [16] I. S. Wahyudi, *MIKROKONTROLER PLATFORM ARDUINO*. Malang: Indra Slamet Wahyudi, 2017.
- [17] Mikegrusin, "Serial Peripheral Interface ( SPI )," *learn.sparkfun.com*, pp. 1–7, 2019.
- [18] A. Vasudev and J. Addepalli, "Engineer-to-Engineer Note Interfacing SD Cards with Blackfin® Processors," vol. EE-335, p. 78, 2010.
- [19] R. Susana, M. Ichwan, and S. A. L. Phard, "Penerapan Metoda Serial Peripheral Interface ( SPI ) pada Rancang Bangun Data Logger berbasis SD card," *Jurnal ELKOMIKA ISSN (p): 2338-8323 ISSN (e): 2459-9638*, vol. 4, no. 2, pp. 208–227, 2016.
- [20] T. Committee and SD Card Association, "SD Specifications Part 1 Physical Layer Simplified Specification," vol. 2.00, p. 129, 2006.
- [21] A. Y. Prasetya, A. Fahmi, and U. K. Usman, "ANALISIS PERFORMANSI TRAFFIC OFFLOAD DATA VIDEO STREAMING LTE KE WLAN 802.11n," Telkom University, 2016.
- [22] E. Systems, "ESP8266EX," 2018.