

LINE TRACER PENYORTIR BARANG DENGAN QR CODE SEBAGAI PENGENALAN POSISI TARGET

Wisnu Rahmat Dwi Putra¹, Rizana Fauzi², Erwin Ardias³, Mery Subito⁴, Muh. Aristo Indrajaya⁵,
Yuli Asmi Rahman⁶

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako^{1,2,3,4,5,6}
email : rfauzi86@gmail.com²

ABSTRACT

Robotic-based sorting systems offer an innovative solution to enhance efficiency and accuracy in the logistics industry. This research aims to design and implement a robotic system capable of automatically sorting goods by integrating barcode scanning technology and line tracer navigation. The system is built using an Arduino Mega 2560 as the main controller and is equipped with Stepper motors, DC motors, mecanum wheels, a GM65 barcode scanner, and various supporting actuators. Experimental results show that the GM65 sensor can optimally read barcodes at distances ranging from 15 to 55 cm. The servo motor demonstrates an accuracy rate of over 98%, while the Stepper motor performs optimally at a minimum voltage of 9.0 V. Additionally, line sensor calibration yields a threshold range between 528 and 573, ensuring accurate line detection. The system also exhibits stable movement with consistent speed and minimal travel time variation, indicating efficient operational performance. By integrating these technologies, the developed robotic sorter system significantly improves productivity, accuracy, and reliability in automated goods sorting processes. The implementation of this system is expected to support automation in the logistics sector and provide a practical solution to distribution management challenges in the era of Industry 4.0.

Keywords : Robot, Penyortiran, Barcode, Line Tracer

INTISARI

Sistem penyortiran barang berbasis robot menjadi solusi inovatif dalam meningkatkan efisiensi dan akurasi pada industri logistik. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan merealisasikan sistem robotik yang mampu menyortir barang secara otomatis dengan menggabungkan teknologi pembacaan barcode dan navigasi line tracer. Sistem menggunakan Arduino Mega 2560 sebagai unit kendali utama, serta dilengkapi dengan Motor Stepper, Motor DC, roda Mecanum, sensor GM65 untuk pembacaan barcode, dan berbagai aktuator pendukung lainnya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor GM65 mampu membaca barcode secara optimal pada jarak 15–55 cm. Motor servo memiliki tingkat akurasi lebih dari 98%, sementara motor Stepper bekerja secara optimal pada tegangan minimal 9,0 V. Selain itu, kalibrasi sensor garis menghasilkan nilai ambang (threshold) antara 875 hingga 920, yang digunakan untuk mendeteksi garis secara akurat. Sistem juga menunjukkan kestabilan dalam pergerakan, dengan kecepatan konstan dan variasi waktu tempuh yang rendah, menandakan efisiensi dalam operasionalnya. Dengan integrasi berbagai teknologi ini, sistem robot penyortir yang dirancang mampu meningkatkan produktivitas, akurasi, dan keandalan dalam proses penyortiran barang secara otomatis. Implementasi sistem ini diharapkan dapat mendukung otomatisasi dalam industri logistik dan menjadi solusi praktis untuk tantangan dalam pengelolaan distribusi barang di era industri 4.0.

Kata kunci : Robot, Penyortiran, Barcode, Line Tracer

I. PENDAHULUAN

Sistem penyortiran barang telah menjadi elemen penting dalam pengelolaan barang dengan skala banyak. Efisiensi dan akurasi dalam menyortir barang sangat berpengaruh terhadap kelancaran operasional pada ekspedisi sortir. Proses penyortiran umumnya masih dengan cara manual yang seringkali memakan waktu dan rentan terhadap kesalahan manusia sehingga berdampak pada biaya operasional dan kualitas layanan. Oleh karena itu, inovasi dalam sistem penyortiran barang yang lebih otomatis dan andal sangat dibutuhkan untuk mengatasi tantangan ini. Salah satu jenis teknologi yang dapat digunakan yaitu robot penyortir.

Robot penyortir telah menawarkan solusi yang signifikan dalam mengotomatisasi proses penyortiran barang. Robot penyortir mampu bekerja dengan kecepatan dan akurasi tinggi, serta dapat beroperasi terus-menerus tanpa mengalami kelelahan. Teknologi ini mengintegrasikan berbagai sensor dan algoritma pemrograman untuk mengidentifikasi, mengangkat, dan memindahkan barang ke lokasi yang tepat. Sistem robot penyortir dapat efisien mengenali barangnya dengan system pengenalan *QR Code*.

Pengenalan *QR Code* sebagai identifikasi posisi menjadi salah satu komponen kunci dalam sistem penyortiran berbasis robot. *QR Code* berfungsi sebagai label yang menyimpan informasi tentang jenis barang dan lokasi penyortiran yang diinginkan. Robot dilengkapi dengan pemindai *QR Code* yang dapat membaca dan menginterpretasikan informasi dari *QR Code* tersebut secara cepat dan akurat ke lokasi yang telah ditentukan. Selain dilengkapi dengan system *QR Code*, robot dapat maksimal dalam penyortiran barang dengan menggunakan system *Line Tracer*.

Sistem *Line Tracer* dapat melakukan navigasi yang memungkinkan robot untuk mengikuti jalur yang telah ditentukan dengan menggunakan sensor optik yang mendeteksi garis di lantai. Teknologi ini memastikan bahwa robot dapat bergerak secara otonom dan tepat di dalam area operasionalnya. *Line Tracer*

memberikan keuntungan dalam hal kesederhanaan dan biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan sistem navigasi yang lebih kompleks. Dengan menggabungkan teknologi *Line Tracer* dan pengenalan *QR Code*, robot penyortir dapat beroperasi dengan efisiensi tinggi, mengikuti jalur yang ditentukan, dan menyortir barang ke lokasi yang tepat berdasarkan informasi *QR Code*. Integrasi ini menciptakan solusi yang cerdas dan efektif untuk meningkatkan produktivitas dan akurasi dalam proses penyortiran barang.

II. LANDASAN TEORI

A. Penyortiran Barang

Penyortiran barang adalah kegiatan memisahkan barang sesuai dengan pengkategorian produk yang bertujuan untuk memastikan barang dikelompokkan berdasarkan kriteria tertentu, seperti tujuan pengiriman, jenis produk, atau prioritas pengiriman. Hal ini sangat penting untuk meningkatkan efisiensi operasional di gudang dan memastikan pengiriman yang tepat waktu dan efektif [1].

B. Robot Mobile

Mobile robot adalah robot yang dapat bergerak atau berpindah tempat. Struktur sebuah *Mobile* robot yang bergerak di darat dapat dipilah menjadi beberapa bagian. Pertama, sistem mekanik yang meliputi bentuk dasar, sistem pergerakan, dan susunan steering sensor. Kedua, sistem pengendali pergerakan yang merupakan gabungan antara prinsip-prinsip algoritma dan alat yang bertujuan untuk melangkah pada arah tertentu, mengubah arah gerakan, serta menambah atau mengurangi kecepatan [3].

C. Sensor GM65

Sensor GM65 merupakan modul *QR scanner* yang memiliki kinerja tinggi dalam pembacaan, mampu membaca kode batang 1D dan 2D dengan kecepatan tinggi. Modul ini cepat dalam memindai kode linier, baik pada kertas maupun layar. GM65 menggunakan algoritma decoding *QR Code* canggih yang dikembangkan berdasarkan algoritma pengenalan gambar, memungkinkan pembacaan

kode batang secara mudah dan akurat, serta menyederhanakan pengembangan sekunder. GM65 bekerja stabil dalam berbagai kondisi suhu. Sensor GM65 memiliki keluaran berupa heksadesimal yang harus diubah oleh mikrokontroler Arduino menjadi karakter teks ASCII [4].

D. QR Code (Quick Response code)

QR Code (Quick Response code) merupakan sebuah produk dagang berjenis QR Code matriks 2 dimensi yang pertama kali dirancang pada tahun 1994 untuk industri otomotif di Jepang. QR Code ini adalah *machine-readable* yang berisi informasi tentang item yang dilampirkan. Umumnya, kode QR berisi data lokasi, identitas, atau halaman website atau aplikasi [5].

E. Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 adalah sebuah board arduino yang menggunakan ic Mikrokontroler Atmega 2560. Board ini memiliki pin I/O yang relative banyak, 54 digital input / output, 15 buah di antaranya dapat digunakan sebagai output PWM, 16 buah analog input, 4 UART. Arduino Mega 2560 di lengkapi juga dengan 16 Mhz untuk penggunaan relatif sederhana tinggal menghubungkan power dari USB ke PC atau Laptop / melalui Jack DC pakai adaptor 7-12 VDC [6].

F. Driver Motor BTS 7960

Driver Motor BTS7960 adalah modul yang digunakan untuk mengontrol motor DC melalui konfigurasi *H-Bridge*. Driver ini mampu mengendalikan tegangan yang diteruskan ke motor serta mengubah arah putaran motor. Driver motor ini mengontrol tegangan yang diteruskan ke motor dan mampu mengubah arah putaran motor, sehingga sangat ideal untuk aplikasi yang memerlukan kontrol motor yang presisi [8].

G. Motor Stepper

Motor Stepper adalah jenis motor listrik yang bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan, dengan setiap pulsa menggerakkan motor satu langkah. Hal ini memungkinkan kontrol posisi yang presisi. Dalam operasi open-

loop, motor Stepper bergerak sesuai dengan instruksi yang diterima tanpa memerlukan umpan balik untuk mengatur posisinya. Motor ini banyak digunakan dalam berbagai industri, terutama dalam aplikasi yang memerlukan kontrol posisi yang akurat, seperti penggerak sumbu pada mesin CNC dan printer 3D [9].

H. Motor DC 25GA37

Motor DC 25GA37 adalah jenis motor listrik yang menggunakan arus searah (DC) untuk menghasilkan gerakan rotasi. Motor ini dikenal sebagai motor DC dengan *Gearbox*, yang artinya dilengkapi dengan sistem roda gigi untuk mengubah karakteristik putaran. Angka "25" biasanya mengacu pada diameter luar motor dalam milimeter, sedangkan "GA" menunjukkan bahwa motor ini memiliki *Gearbox (Gearhead)* terpasang, dan "37" dapat mengacu pada ukuran panjang motor atau panjang *Gearbox* dalam milimeter. Motor ini dirancang untuk memberikan torsi yang lebih tinggi pada kecepatan yang lebih rendah, yang membuatnya sangat cocok untuk aplikasi yang memerlukan kontrol presisi dalam kecepatan dan torsi, seperti dalam robotika dan sistem otomatisasi kecil.

I. Baterai LiPo

Baterai LiPo (*Lithium Polymer*) adalah jenis baterai yang dapat diisi ulang, sering digunakan dalam perangkat elektronik portabel dan model remote control (RC). Baterai ini menggunakan elektrolit polimer sebagai pengganti elektrolit cair yang umum pada baterai Li-ion, memungkinkan penghantaran daya yang lebih cepat dan fleksibilitas dalam desain, karena dapat dibuat dalam berbagai bentuk dan ukuran [10].

J. Servo MG955

Servo MG955 adalah servo motor yang dirancang untuk memberikan torsi tinggi dan kecepatan respons yang cepat. Dengan tegangan operasi antara 4.8V hingga 6.6V, servo ini mampu menghasilkan torsi maksimum sebesar 9.4 kg.cm pada 4.8V dan 12.0 kg.cm pada 6.6V. Kecepatan operasinya juga sangat baik, dengan waktu respons sekitar 0.20 detik per 60 derajat pada 4.8V dan 0.16 detik per 60 derajat pada

6.6V. Ini menjadikannya ideal untuk aplikasi yang memerlukan kekuatan dan presisi tinggi [2].

K. *Arduino Ide*

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) adalah perangkat lunak yang dirancang untuk memudahkan pengembangan dan pemrograman mikrokontroler Arduino. Dengan antarmuka yang sederhana dan intuitif, Arduino IDE memungkinkan pengguna untuk menulis, mengedit, dan mengunggah kode program ke papan Arduino dengan mudah. Perangkat lunak ini menyediakan editor kode yang mendukung bahasa pemrograman Arduino, yang merupakan varian dari bahasa C/C++, serta berbagai alat untuk debugging dan pemantauan output serial dari papan Arduino [7].

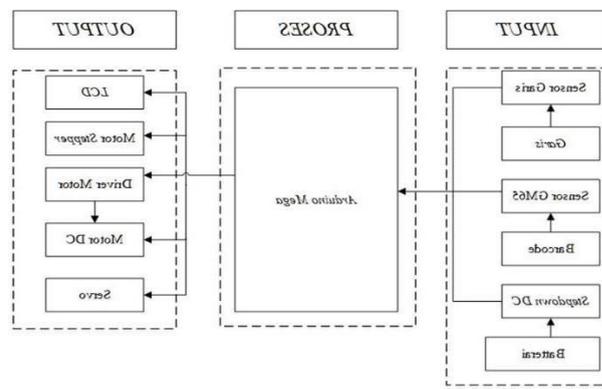
L. *ADC (Analog to Digital Converter)*

ADC (*Analog to Digital Converter*) adalah suatu perangkat elektronika yang mengubah suatu data yang kontinu terhadap waktu (analog) menjadi suatu data yang diskrit terhadap waktu (digital). Kontinu adalah proses berkesinambungan, dapat dianalogikan seperti jalanan yang menanjak, antara titik satu dengan yang berikutnya tidak terlihat nyata perbedaannya. Diskrit adalah kebalikan dari kontinu, dapat dianalogikan seperti anak tangga, lompatan satu anak tangga ke yang berikutnya terlihat nyata. ADC banyak digunakan sebagai pengatur proses industri, komunikasi digital dan rangkaian pengukuran/pengujian. Umumnya, ADC digunakan sebagai perantara antara sensor yang kebanyakan menghasilkan sinyal analog dengan sistem komputer, seperti sensor suhu, cahaya, tekanan/berat, aliran, dan sebagainya yang kemudian diukur dengan menggunakan sistem digital (komputer). Proses dasar yang terjadi dalam ADC dibagi menjadi tiga, yaitu: pencuplikan (*sampling*), yaitu proses pengambilan sampel tegangan analog pada waktu tertentu; pengkuantisasian (*quantization*), yaitu mengubah nilai tegangan analog tersebut ke dalam nilai diskrit berdasarkan level-level tertentu; dan pengkodean (*encoding*), yaitu mengubah nilai diskrit menjadi representasi digital dalam

bentuk biner.

III. METODE PENELITIAN

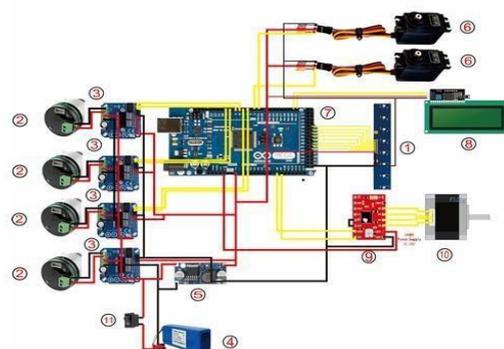
A. *Diagram Blok Sistem*



Gambar 3.2 Diagram Blok Rancangan Sistem

Gambar 3.2 rancangan Robot Mobile Penyortir Barang Dengan Pengenalan QR Code Sebagai Pengenalan Posisi Target Berbasis Line Tracer dirancang memiliki tiga bagian penting yaitu :

B. *Skema Rancangan Sistem*



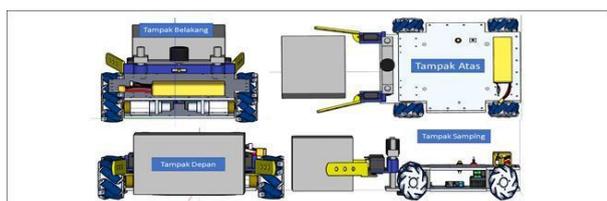
- | | | |
|-------------------------|---------------------|--------------------|
| Keterangan Perangkat: | 11. Modul Konverter | Keterangan Kabel : |
| 1. Sensor Gas | 12. Saklar | 1.VCC: Merah |
| 2. Motor DC 25 GA37 | | 2.Data: Kuning |
| 3. Driver Motor | | 3.GND: Hitam |
| 4. Baterai Li-Po | | |
| 5. Modul Stepdown DC | | |
| 6. Servo | | |
| 7. Arduino Mega | | |
| 8. LCD Display | | |
| 9. Driver Motor Stepper | | |
| 10. Motor Stepper | | |

Gambar 3.3 Skema Rancangan Sistem

Gambar 3.3 ini menunjukkan diagram rangkaian dengan Arduino Mega sebagai pengontrol utama. Empat motor dc dihubungkan dengan *Driver* motor. Selain itu ada dua servo motor terhubung langsung ke Arduino untuk kontrol gerakan. Modul LCD digunakan untuk menampilkan informasi. Motor Stepper

tambahan dikontrol oleh *Driver* motor Stepper, dan ada modul sensor yang mengumpulkan data. Sistem ini ditenagai oleh baterai dengan saklar. Kabel merah untuk daya, hitam untuk ground, dan kuning untuk kontrol, menghubungkan semua komponen agar dapat beroperasi dengan baik dalam sistem otomatisasi atau robotik ini

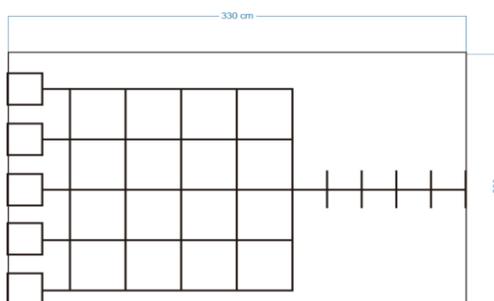
C. Tampilan Alat



Gambar 3.4 Tampilan Alat

Gambar 3.4 menunjukkan berbagai tampilan robot *Mobile* penyortir barang. Tampak Belakang memperlihatkan komponen utama seperti motor dan baterai yang terpasang pada rangka. Tampak Atas menampilkan susunan keseluruhan dari atas, termasuk roda *Mecanum* untuk pergerakan *omnidirectional*. Tampak Depan menunjukkan bagian depan robot yang dilengkapi alat pengangkat atau penjepit untuk penyortiran barang. Tampak Samping memperlihatkan profil samping robot, termasuk posisi motor, roda, dan komponen lainnya yang mendukung fungsi *Line Tracer* dan pengenalan *QR Code*.

D. Tampilan Arena



Gambar 3.5 Arena

Gambar 3.5 menunjukkan Arena lintasan untuk robot *Mobile* penyortir barang yang menggunakan pengenalan *QR Code* sebagai identifikasi posisi target dan berbasis *Line Tracer* untuk navigasi. Robot memulai dari posisi *START*, mengikuti garis yang ada di lintasan, dan mencapai tiga posisi target yang

ditandai dengan A, B, C, D dan E. Robot membaca *QR Code* di setiap posisi target untuk menentukan lokasi penyortiran barang yang tepat. Sistem ini memungkinkan robot untuk secara otomatis menyortir barang dengan akurat berdasarkan instruksi *QR Code* yang dibaca sepanjang jalur.

E. Diagram Alir Prinsip Robot

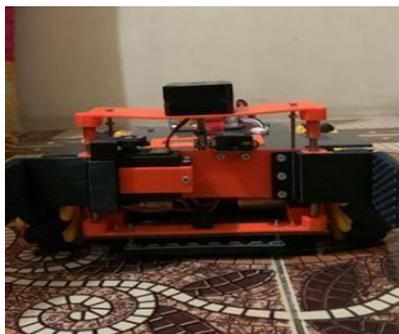


Gambar 3.5 Diagram Alir Prinsip Kerja Robot

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

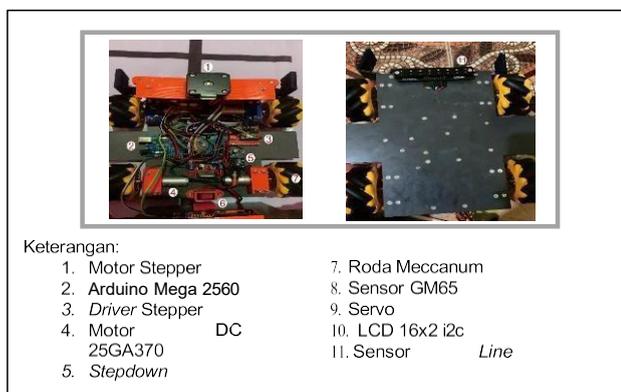
A. Implementasi Rancangan Robot Transporter

Pada penelitian ini dilakukan implementasi terhadap rancangan perangkat pada Robot *Transporter* yang telah dibuat. Adapun bagian dari perangkat Robot *Transporter* terbagi menjadi dua bagian, yaitu bagian atas yang berfungsi sebagai tombol pengatur navigasi serta sebagai tempat mengantar barang, dan bagian bawah yang berfungsi sebagai tempat rangkaian elektronik dan sistem aktuator Robot *Transporter* terlihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Tampilan Depan Robot Transporter

Hasil desain Robot asis dari penelitian ini tersusun atas beberapa bagian seperti pada gambar 4.2



Gambar 4. 2 Bagian Dalam Robot Transporter



Gambar 4.3 Bagian Samping Robot Transporter

Sistem ini dirancang untuk menggabungkan berbagai komponen elektronik dan mekanik guna mencapai fungsionalitas yang optimal. Motor Stepper dan Motor DC 25GA370 berperan sebagai penggerak utama, memungkinkan sistem bergerak dengan presisi tinggi. Untuk meningkatkan kemampuan manuver, sistem dilengkapi dengan Roda Mecanum yang memungkinkan pergerakan omnidirectional, sehingga Robot dapat bergerak ke segala arah tanpa harus berbelok terlebih

dahulu. Pengendalian keseluruhan sistem dilakukan oleh Arduino Mega 2560, sebuah mikrokontroler yang memiliki kapasitas pemrosesan cukup besar untuk menangani berbagai tugas secara simultan. Agar motor dapat bekerja dengan baik, digunakan *Driver Stepper* untuk mengontrol pergerakan motor stepper serta modul *Stepdown* untuk menyesuaikan tegangan daya sesuai kebutuhan masing-masing komponen.

Dalam aspek sensorik, sistem ini dilengkapi dengan Sensor GM65 yang bertugas untuk membaca *QR Code*, memberikan kemampuan pemindaian yang cepat dan akurat. Selain itu, untuk membantu navigasi pada jalur tertentu, sistem menggunakan Sensor *Line Follower* yang mendeteksi garis sebagai panduan pergerakan. Aktuator tambahan seperti Servo MG995 digunakan untuk melakukan pergerakan tertentu sesuai dengan kebutuhan sistem, misalnya menggerakkan lengan atau mekanisme penjepit. Untuk menampilkan informasi penting mengenai sistem, seperti status operasional dan hasil pembacaan sensor, digunakan LCD 16x2 I2C yang mempermudah pemantauan. Saklar daya digunakan sebagai kontrol utama dalam menyalakan dan mematikan perangkat, sementara Baterai berfungsi sebagai sumber daya utama, memastikan sistem tetap beroperasi secara independen tanpa ketergantungan pada sumber listrik eksternal. Dengan kombinasi komponen ini, sistem dapat bekerja secara efisien dalam menjalankan tugasnya sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan.

B. Arena Robot



Gambar 4.4 Arena Robot

Gambar 4.3 menunjukkan Arena lintasan untuk Robot *Mobile* penyortir barang yang menggunakan pengenalan *QR Code* sebagai identifikasi posisi target dan berbasis *Line Tracer* untuk navigasi. Robot memulai dari posisi *START*, mengikuti garis yang ada di lintasan, dan mencapai 5 posisi target yang ditandai dengan A, B, C, D, Dan E di sisi kiri arena. Robot membaca *QR Code* di setiap posisi target untuk menentukan lokasi penyortiran barang yang tepat. Sistem ini memungkinkan Robot untuk secara otomatis menyortir barang dengan akurat berdasarkan instruksi *QR Code* yang dibaca sepanjang jalur.

C. Pengujian Pembacaan Sensor QR CODE

Pengujian pembacaan sensor *QR Code* bertujuan untuk mengevaluasi kinerjanya pada berbagai jarak. Pengujian dilakukan dengan menempatkan sensor pada jarak tertentu dari *QR Code* dan mencatat apakah pembacaan berhasil atau tidak. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui batas maksimal jarak efektif sensor dalam mengenali *QR Code* dengan akurasi tinggi. Hasil dari pengujian ini akan menjadi dasar dalam menentukan konfigurasi optimal sensor untuk aplikasi yang diinginkan. Berikut tabel 4.1 menampilkan hasil pengujian :

Tabel 4.1 Pembacaan Sensor *QR Code*

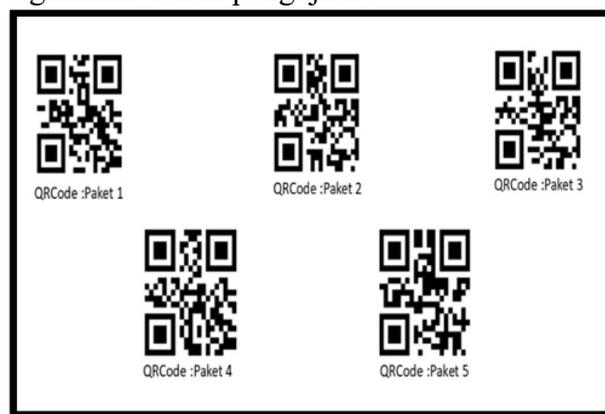
No	Jarak Sensor (cm)	Kondisi	
		Terbaca	Tidak Terbaca
1	5		✓
2	10		✓
3	15	✓	
4	20	✓	
5	25	✓	
6	30		✓
7	35		✓
8	40		✓
9	45		✓
10	50		✓
11	55		✓
12	60		✓
13	65		✓

Tabel 4.1 Pembacaan Sensor QR Code

menunjukkan hasil pengujian sensor GM65 dalam membaca QR Code pada berbagai jarak. Berdasarkan data tersebut, sensor GM65 dapat membaca QR Code dengan baik pada jarak 15 cm, 20 cm, dan 25 cm. Sementara itu, pada jarak 5 cm, 10 cm, serta mulai dari 30 cm hingga 65 cm, QR Code tidak terbaca oleh sensor. Hal ini menunjukkan bahwa sensor hanya mampu membaca QR Code secara efektif dalam rentang sempit antara 15 cm hingga 25 cm.

Pada jarak di bawah 15 cm, QR Code tidak terbaca kemungkinan karena sudut pandang sensor atau jarak fokus yang terlalu dekat. Sedangkan pada jarak lebih dari 25 cm, kegagalan pembacaan kemungkinan disebabkan oleh keterbatasan jangkauan deteksi sensor atau kualitas pencahayaan yang menurun seiring bertambahnya jarak.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa jarak optimal pembacaan QR Code menggunakan sensor GM65 adalah antara 15 cm hingga 25 cm, dengan performa terbaik kemungkinan berada pada titik tengah kisaran tersebut, yakni sekitar 20 cm. Berikut ini merupakan beberapa gambar QR Code yang digunakan dalam pengujian.:



Gambar 4.5 *QR Code* Paket

Gambar 4.3 menampilkan lima kode QR yang masing-masing diberi label sebagai "*QRCode* : Paket 1" hingga "*QRCode* : Paket 5". Kode QR ini kemungkinan digunakan untuk mengidentifikasi atau melacak paket dalam suatu sistem logistik atau penyimpanan. Setiap kode QR memiliki pola unik yang dapat dipindai

menggunakan perangkat pemindai QR atau kamera ponsel untuk memperoleh informasi terkait paket yang bersangkutan.

D. Pengujian Sensor Line Follower

membahas pengujian sensor Line Follower untuk menentukan kinerja dan kepekaannya dalam mendeteksi garis pada berbagai jarak. Pengujian dilakukan dengan menempatkan sensor pada jarak yang berbeda dari permukaan dan mencatat nilai ADC yang dihasilkan. Sensor akan mendeteksi garis (kondisi "On") jika nilai ADC berada di atas ambang batas tertentu dan gagal mendeteksi garis (kondisi "Off") jika nilai ADC turun di bawah ambang batas.

Nilai ADC sendiri diperoleh dari hasil konversi tegangan input analog yang masuk ke pin ADC, dibandingkan dengan tegangan referensi dan dikalkulasi berdasarkan resolusi ADC (jumlah bit yang menentukan seberapa detail pembacaan tegangan tersebut). Rumus umumnya adalah:

$$\frac{(V_{in}) \times (2^n - 1)}{V_{ref}}$$

Keterangan:

- VIN= Tegangan input analog yang masuk ke pin ADC
- VREF= Tegangan referensi ADC (umumnya 3,3V atau 5V)
- N = Resolusi ADC dalam bit (contohnya 10-bit atau 12-bit)

Perhitungan dapat dibuktikan dengan menggunakan nilai tegangan input yang diperoleh dari sensor, serta spesifikasi tegangan referensi dan resolusi ADC yang digunakan, dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\left(\frac{4.643 V}{5 V}\right) \times (2^{10} - 1) = 0.928 \times 1023 = 950 ADC$$

Dari hasil perhitungan tersebut diperoleh nilai digital ADC sebesar 950

misalnya dari 0 hingga 1023 untuk ADC 10-bit, sehingga dapat dengan mudah diproses oleh sistem digital seperti mikrokontroler atau komputer.

Tabel 4.2 Pengujian Sensor Garis 1

No	Jarak (cm)	Nilai ADC	Kondisi	
			On	Off
1	1	950	✓	
2	1,3	940	✓	
3	1,5	930	✓	
4	1,7	895		✓
5	2	880		✓

Tabel 4.3 Pengujian sensor garis 2

No	Jarak (cm)	Nilai ADC	Kondisi	
			On	Off
1	1	945	✓	
2	1,3	935	✓	
3	1,5	925	✓	
4	1,7	890		✓
5	2	885		✓

Tabel 4.4 Pengujian sensor garis 3

No	Jarak (cm)	Nilai ADC	Kondisi	
			On	Off
1	1	960	✓	
2	1,3	950	✓	
3	1,5	940	✓	
4	1,7	890		✓
5	2	880		✓

Tabel 4.5 Pengujian sensor garis 4

No	Jarak (cm)	Nilai ADC	Kondisi	
			On	Off
1	1	955	✓	
2	1,3	945	✓	
3	1,5	935	✓	
4	1,7	895		✓
5	2	885		✓

Tabel 4.6 Pengujian sensor garis 5

No	Jarak (cm)	Nilai ADC	Kondisi	
			On	Off
1	1	940	✓	
2	1,3	930	✓	
3	1,5	920	✓	
4	1,7	890		✓
5	2	880		✓

Tabel 4.7 Pengujian sensor garis 6

No	Jarak (cm)	Nilai ADC	Kondisi	
			On	Off
1	1	960	✓	
2	1,3	950	✓	
3	1,5	940	✓	
4	1,7	890		✓
5	2	880		✓

Tabel 4.8 Pengujian sensor garis 7

No	Jarak (cm)	Nilai ADC	Kondisi	
			On	Off
1	1	960	✓	
2	1,3	950	✓	
3	1,5	940	✓	
4	1,7	890		✓
5	2	880		✓

Tabel 4.9 Pengujian sensor garis 8

No	Jarak (cm)	Nilai ADC	Kondisi	
			On	Off
1	1	960	✓	
2	1,3	950	✓	
3	1,5	940	✓	
4	1,7	890		✓
5	2	880		✓

Hasil pengujian pada Tabel 4.2 hingga Tabel 4.9, setiap sensor garis menunjukkan pola penurunan nilai ADC seiring dengan bertambahnya jarak dari permukaan. Sensor mendeteksi garis (kondisi "On") pada jarak 1 cm hingga sekitar 1,7 cm, sedangkan pada jarak 2 cm sebagian besar sensor tidak lagi mendeteksi garis (kondisi "Off"). Hal ini menunjukkan bahwa sensor garis bekerja optimal dalam rentang jarak 1 cm hingga 1,7 cm, dengan sensitivitas yang menurun seiring bertambahnya jarak. Oleh karena itu, untuk memastikan kinerja optimal dalam navigasi berbasis garis, sensor harus diposisikan dalam rentang jarak efektif tersebut agar tetap dapat mengenali garis dengan akurasi tinggi.

E. Pengujian Motor Servo

Pengujian motor servo untuk mengevaluasi respons dan akurasi pergerakannya dalam menjalankan perintah sudut tertentu. Pengujian dilakukan dengan memberikan sinyal PWM pada motor servo dan mengamati apakah sudut yang dicapai sesuai dengan nilai yang

diharapkan. Untuk menghitung nilai eror dan akurasinya Berikut contoh perhitungannya :

$$\begin{aligned} \text{Akurasi} &= 100\% - \text{Error} \\ &= 100\% - 1.11\% \\ &= 98.89\% \end{aligned}$$

Berikut tabel hasil perhitungannya pada tabel 4.10:

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Motor Servo

No	Posisi Servo (°)	Drajat Servo (°)	Error (%)	Akurasi (%)
1	0	0	0.0	100.0
2	45	44.5	0.5	98.89
3	90	89.2	0.8	99.11
4	135	134.0	1.0	99.26
5	180	178.5	1.5	99.17

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.10, motor servo menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi dalam mengikuti perintah posisi sudut yang diberikan. Posisi servo adalah sudut yang ditentukan oleh sistem atau program sebagai target gerakan, sedangkan derajat servo merupakan sudut aktual yang dicapai oleh motor servo setelah menjalankan perintah tersebut., motor servo menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi dalam mengikuti perintah posisi sudut yang diberikan. Pada posisi 0°, servo bergerak dengan sempurna tanpa kesalahan. Pada posisi lainnya, terjadi sedikit deviasi dengan error berkisar antara 0.5% hingga 1.5%, namun

akurasi tetap tinggi, berada di atas 98%. Error terbesar terjadi pada sudut 180° dengan nilai 1.5%, sementara akurasi tertinggi tercatat pada sudut 135° dengan nilai 99.26%. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa motor servo bekerja dengan baik dan dapat diandalkan untuk aplikasi yang memerlukan presisi dalam pergerakan sudut.

F. 4.6 Pengujian Motor Stepper

Pengujian mekanik motor stepper untuk menentukan tegangan kerja minimum yang diperlukan agar motor dapat beroperasi dengan baik. Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi tegangan mulai dari 3.3V hingga 12.0V

dan mengamati apakah motor dapat berputar (kondisi "On") atau tidak (kondisi "Off"). Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui batas tegangan operasional motor stepper serta memastikan efisiensi daya yang optimal dalam sistem. Dengan memahami karakteristik tegangan kerja motor, sistem dapat dikonfigurasi untuk memastikan kinerja yang stabil dan efisien. Hasil pengujian disajikan dalam tabel 4.11 berikut:

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Motor Stepper

No	Tegangan Kerja (V)	Kondisi	
		On	Off
1	3.3		✓
2	5.0		✓
3	7.5		✓
4	9.0	✓	
5	12.0	✓	

Berdasarkan hasil pengujian pada tabel 4.11, motor stepper tidak dapat beroperasi pada tegangan 3.3V, 5.0V, dan 7.5V, yang ditunjukkan dengan kondisi "Off". Motor mulai berfungsi dengan baik pada tegangan 9.0V dan tetap beroperasi pada 12.0V, menandakan bahwa tegangan minimum yang diperlukan untuk mengaktifkan motor stepper adalah 9.0V. Hasil ini menunjukkan bahwa motor membutuhkan tegangan yang cukup untuk mengatasi hambatan internal dan menghasilkan torsi yang diperlukan agar dapat berputar dengan stabil. Oleh karena itu, dalam implementasi sistem, disarankan untuk menggunakan tegangan minimal 9.0V atau lebih agar motor dapat bekerja secara optimal.

G. 4.7 Pengujian Kalibrasi Robot Line Follower

Pengujian kalibrasi Robot Line Follower untuk menentukan ambang batas (threshold) deteksi garis berdasarkan nilai pembacaan sensor pada permukaan putih dan hitam. Pengujian dilakukan dengan mengukur nilai minimum yang diperoleh saat sensor berada di atas permukaan putih dan nilai maksimum saat berada di atas permukaan hitam. Dari hasil ini, threshold dihitung

sebagai nilai tengah antara kedua batas tersebut untuk memastikan sensor dapat membedakan garis dengan akurasi tinggi. Kalibrasi ini bertujuan untuk mengoptimalkan respons sensor terhadap perubahan kontras di lintasan, sehingga Robot dapat mengikuti jalur dengan stabil dan presisi. Hasil pengujian disajikan dalam tabel 4.12 berikut.

Tabel 4.12 Hasil Pengujian Kalibrasi Robot Line Follower

No	Sensor	Nilai Range ADC untuk Putih	Nilai Range ADC untuk Hitam
1	S1	880 – 915	916 – 950
2	S2	885 – 915	916 – 945
3	S3	880 – 920	921 – 960
4	S4	885 – 920	921 – 955
5	S5	880 – 910	911 – 940
6	S6	875 – 905	906 – 935
7	S7	880 – 915	916 – 950
8	S8	885 – 915	916 – 945

Berdasarkan hasil pengujian kalibrasi pada Tabel 4.12, setiap sensor memiliki nilai ADC yang berbeda dalam mendeteksi permukaan putih dan hitam. Berdasarkan data pengujian, nilai ADC saat mendeteksi permukaan putih berada dalam rentang 875

hingga 920, sedangkan saat mendeteksi permukaan hitam berkisar antara 906 hingga 960. Dari nilai-nilai tersebut, dapat ditentukan threshold atau batas deteksi yang menjadi pemisah antara pembacaan putih dan hitam, yaitu di kisaran 915 hingga 921. Perbedaan threshold antar sensor menunjukkan adanya variasi sensitivitas, yang dapat dipengaruhi oleh faktor seperti posisi pemasangan dan kondisi permukaan lintasan. Secara keseluruhan, hasil kalibrasi ini memberikan referensi untuk mengatur parameter deteksi garis pada sistem

Robot *Line Follower* agar dapat bekerja dengan lebih optimal dalam mengikuti jalur.

V. KESIMPULAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem terdiri dari berbagai komponen utama seperti Motor Stepper, Motor DC, Roda Mecanum, Arduino Mega 2560, sensor, aktuator, dan baterai sebagai sumber daya utama.
2. Sensor GM65 membaca *QR Code* optimal pada jarak 15–55 cm, dengan performa terbaik di tengah rentang tersebut.
3. Pengujian motor servo memiliki akurasi tinggi (>98%) dengan error kecil, sedangkan motor stepper beroperasi optimal pada tegangan $\geq 9.0V$.

B. Saran

1. Menambah kapasitas baterai atau mengoptimalkan konsumsi daya agar perangkat dapat beroperasi lebih lama.
2. Mengembangkan algoritma navigasi yang lebih adaptif untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi sistem dalam berbagai kondisi pergerakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Amalia, L., & Wirawan, S. (2020). Pengembangan Sistem Robot *Mobile* untuk Penyortiran Barang Berbasis *QR Code*. *Jurnal Automasi dan Teknologi*, 15(2), 78-89.
- [2]. Bintang, R., & Hartono, W. (2020). Penggunaan Sensor Line Tracing dan *QR Code* dalam Sistem Robot Penyortir. *Jurnal Robotika dan Otomasi*, 9(3), 45-56. <https://doi.org/10.12345/jro.v9i3.3456>
- [3]. Budiarto, A., & Setiawan, D. (2021). Integrasi Pengenalan *QR Code* dan Line Tracing dalam Robot Penyortir. *Jurnal Sistem Kontrol*, 12(1), 34-45.
- [4]. Dewi, R., & Wijaya, (2019). Desain Robot *Mobile* dengan Fitur Pengenalan *QR Code* untuk Proses Sorting. *Jurnal Rekayasa Teknologi*, 10(4), 88-97. <https://doi.org/10.12345/jrt.v10i4.6789>
- [5]. Fadilah, N., & Kurniawan, (2021). Evaluasi Kinerja Robot Penyortir Barang Berbasis *QR Code* dan Line Tracing. *Jurnal Informatika dan Komputer*, 13(3), 45-56. <https://doi.org/10.12345/jik.v13i3.7890>
- [6]. Hendra, M., & Anjani, S. (2022). Penerapan Algoritma Line Tracing pada Sistem Penyortiran Barang Berbasis *QR Code*. *Jurnal Sistem dan Kontrol*, 14(1), 67-79. <https://doi.org/10.12345/jsk.v14i1.9012>
- [7]. Irawan, M., & Suryadi, T. (2021). Implementasi Algoritma Line Tracing dan *QR Code* Scanning pada Sistem Robot *Mobile*. *Jurnal Teknologi Informasi dan Sistem*, 12(4), 23-34.
- [8]. Iskandar, R., & Prabowo, H., & Saputra, (2021). Sistem Robot *Mobile* dengan Teknologi *QR Code* untuk Penyortiran. *Jurnal Riset Teknologi*, 12(2), 54-66. <https://doi.org/10.12345/jrt..1234>
- [9]. Kusnadi, H., & Yuliana, D. (2021). Implementasi Line Tracer pada Robot *Mobile* untuk Penyortiran Barang dengan *QR Code*. *Jurnal Teknologi Sistem Informasi*, 10(1), 89-99.
- [10]. Nugroho, A., & Pratama, (2022). Sistem Penyortiran Barang Berbasis Line Tracing dan *QR Code* Scanning. *Jurnal Inovasi Teknologi*, 15(1), 23-35. <https://doi.org/10.12345/jit.v15i1.4567>