



Design and Construction of an Automated QR Code-Based Mini Conveyor for Parts Sorting

Rancang Bangun Mini Conveyor Penyortiran Suku Cadang Otomatis Berbasis QR Code

Sanjaya Andrian Syahputra^{1*}, Herlambang Saputra², Yunita Fauzia Achmad³

Program Studi D-III Teknik Komputer, Jurusan Teknik Komputer, Politeknik Negeri Sriwijaya, Indonesia

E-Mail: sanjayaas54321@gmail.com¹, herlambang@polsri.ac.id², yunita.fauzia.achmad@polsri.ac.id³

Makalah: Diterima ; 20 Mei 2026 Diperbaiki 29 Juni 2026 ; Disetujui 21 Juli 2026

Corresponding Author: Sanjaya Andrian Syahputra

Abstrak

Proses penyortiran suku cadang secara manual memerlukan waktu dan berpotensi menimbulkan kesalahan pengelompokan. Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji prototype mini conveyor untuk penyortiran suku cadang sepeda motor berdasarkan informasi QR Code. Sistem mengintegrasikan ESP32 DevKit V1, ESP32-CAM dengan kamera OV2640, sensor infrared, motor DC gearbox 12 V, dua motor servo MG996R, modul MOSFET, LM2596, dan LCD 16×2 I2C. Pengujian awal menggunakan enam jenis suku cadang dan pengujian pembacaan QR Code pada jarak 0–30 cm. QR Code terbaca pada jarak 5–25 cm, sedangkan pada 0 cm kamera tidak fokus dan pada 30 cm pembacaan gagal. Enam sampel suku cadang berhasil diarahkan ke wadah sesuai kategori QR Code. Dengan demikian, tingkat keberhasilan 100% yang dilaporkan hanya merepresentasikan sampel yang diuji pada kondisi eksperimen tersebut, bukan tingkat keberhasilan universal. Pengujian tambahan terhadap sudut, pencahayaan, ukuran QR Code, dan posisi objek direkomendasikan untuk memvalidasi ketahanan sistem pada kondisi yang lebih beragam.

Kata kunci: ESP32, ESP32-CAM, mini conveyor, QR Code, penyortiran suku cadang

Abstract

Manual spare-parts sorting requires processing time and may cause classification errors. This study aims to design and evaluate a mini-conveyor prototype for sorting motorcycle spare parts according to QR Code information. The system integrates an ESP32 DevKit V1, ESP32-CAM with an OV2640 camera, infrared sensor, 12 V DC gearbox motor, two MG996R servo motors, MOSFET module, LM2596 step-down module, and 16×2 I2C LCD. Initial tests used six types of motorcycle spare parts and evaluated QR Code reading at camera distances of 0–30 cm. The QR Code was readable at 5–25 cm, while reading failed at 0 cm because the camera could not focus and at 30 cm because the code was too far from the camera. All six tested samples were sorted into the intended containers. Therefore, the reported 100% success rate represents only the tested samples under the stated experimental conditions and should not be interpreted as universal system accuracy. Additional tests involving viewing angle, illumination, QR Code size, and object position are needed to assess robustness under varied operating conditions.

1.26 minutes per cycle. These results indicate that the prototype can identify and sort items automatically according to QR Code categories.

Keywords: ESP32, ESP32-CAM, mini conveyor, QR Code, spare parts sorting

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi pada era Revolusi Industri 4.0 telah mendorong berbagai sektor industri, khususnya manufaktur, logistik, dan pergudangan, untuk menerapkan sistem otomasi guna meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan kualitas proses produksi. Salah satu teknologi otomasi yang banyak diterapkan adalah conveyor, yaitu sistem mekanik yang berfungsi memindahkan barang dari satu titik ke titik lain secara kontinu dan teratur sehingga mampu meningkatkan kapasitas kerja, menghemat waktu, serta mengurangi penggunaan tenaga kerja manual.

Meskipun demikian, pada industri skala kecil dan menengah, proses identifikasi dan penyortiran barang masih banyak dilakukan secara manual oleh operator. Proses tersebut membutuhkan waktu yang relatif lama, memiliki tingkat akurasi yang menurun ketika jumlah barang meningkat, serta berisiko menimbulkan kesalahan pengelompokan yang berdampak pada keterlambatan distribusi, ketidaksesuaian produk dengan tujuan pengiriman, dan meningkatnya biaya operasional.

Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah Quick Response (QR) Code, yaitu kode dua dimensi yang mampu menyimpan informasi lebih banyak dibandingkan barcode konvensional sehingga banyak digunakan pada sistem identifikasi produk, pelacakan barang, dan manajemen inventori. Pembacaan QR Code pada penelitian ini dilakukan menggunakan ESP32-CAM, yaitu mikrokontroler ESP32 yang telah dilengkapi modul kamera sehingga mampu melakukan pengambilan dan pengolahan citra secara langsung dengan biaya implementasi yang lebih ekonomis dibandingkan penggunaan mikrokontroler dan kamera secara terpisah.

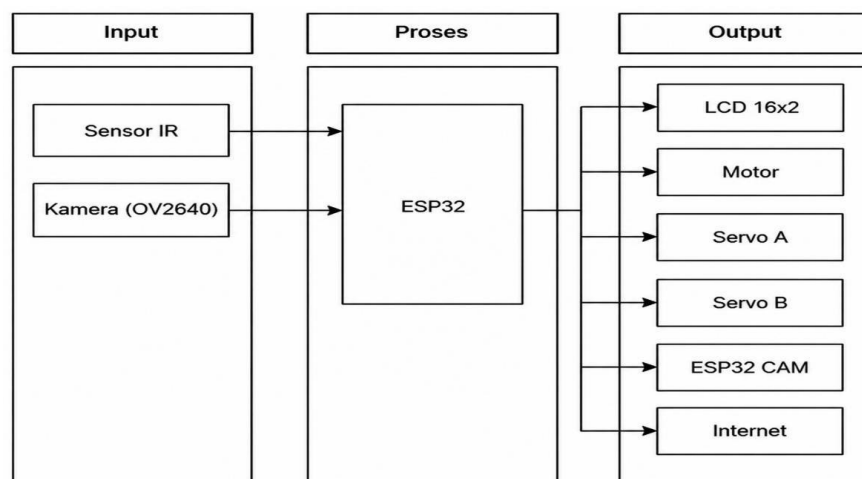
Penelitian mengenai sistem penyortiran barang otomatis telah banyak dilakukan sebelumnya. [1] merancang sistem conveyor otomatis menggunakan sensor infrared dan mikrokontroler Arduino yang mampu mendeteksi keberadaan barang, namun belum dapat mengidentifikasi jenisnya. [2] mengembangkan sistem penyortiran barang berdasarkan warna objek menggunakan sensor warna dengan tingkat keberhasilan lebih dari 90%, meskipun identifikasi yang dilakukan masih bergantung pada warna objek. [3] merancang prototype conveyor pintar berbasis ESP32 untuk keperluan monitoring dan pengendalian jarak jauh, tetapi belum dilengkapi fitur identifikasi dan penyortiran barang. Penelitian lain juga telah memanfaatkan kamera dan pengolahan citra digital untuk mengenali objek berdasarkan bentuk dan ukuran, meskipun cara ini memerlukan proses komputasi yang lebih kompleks dan biaya implementasi yang lebih besar. Berdasarkan kajian tersebut, sebagian besar penelitian terdahulu masih berfokus pada satu fungsi tertentu dan belum mengintegrasikan sistem conveyor, sensor pendeteksi barang, pembacaan QR Code, aktuator penyortir, serta mikrokontroler ESP32-CAM dalam satu sistem yang terintegrasi.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini merancang dan membangun sebuah prototype mini conveyor sebagai sistem penyortiran suku cadang sepeda motor otomatis menggunakan QR Code berbasis ESP32. Sistem dirancang untuk mendeteksi keberadaan barang menggunakan sensor infrared, membaca informasi QR Code melalui ESP32-CAM, mengolah data identifikasi barang, serta mengarahkan barang ke wadah tujuan menggunakan motor servo secara otomatis, sehingga dapat menjadi simulasi penerapan otomasi industri skala kecil sekaligus referensi bagi pengembangan sistem otomasi berbasis ESP32-CAM pada masa mendatang.

2. METODE DAN BAHAN

2.1 Tujuan dan Rancangan Sistem

Perancangan sistem bertujuan menghasilkan prototype mini conveyor yang mampu mengidentifikasi dan menyortir suku cadang sepeda motor secara otomatis berdasarkan informasi yang tersimpan pada QR Code. Sistem mengintegrasikan ESP32 DevKit V1 sebagai pusat pengendali, ESP32-CAM sebagai pembaca QR Code, sensor infrared sebagai pendeteksi keberadaan barang, motor DC gearbox sebagai penggerak conveyor, serta dua motor servo sebagai mekanisme penyortiran. Gambaran umum alur kerja sistem ditunjukkan pada blok diagram Gambar 1.



Gambar 1 Blok diagram sistem

Bagian input terdiri dari sensor infrared dan kamera OV2640 pada ESP32-CAM. Sensor infrared mendeteksi keberadaan barang yang melintas pada conveyor dan mengirimkan sinyal ke ESP32 agar proses identifikasi dapat dimulai, sedangkan kamera OV2640 menangkap citra QR Code pada barang untuk dibaca dan diproses lebih lanjut. Pada bagian proses, ESP32 DevKit V1 menerima hasil pembacaan dari ESP32-CAM, kemudian menentukan kategori barang dan memberikan perintah kepada perangkat keluaran. Bagian output terdiri dari

LCD 16×2 I2C yang menampilkan status proses, motor DC gearbox yang menggerakkan belt conveyor, serta dua motor servo yang mengarahkan barang menuju wadah yang sesuai.

2.2 Spesifikasi Perangkat

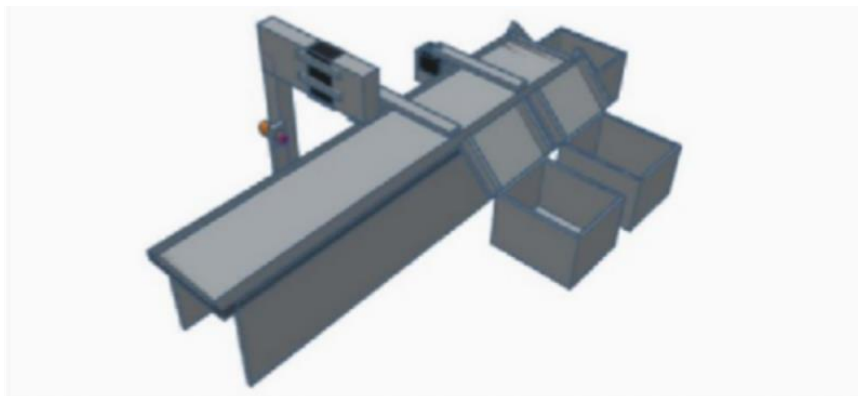
Perancangan menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. Perangkat lunak yang digunakan untuk pemrograman ESP32 dan ESP32-CAM adalah Arduino IDE.

Tabel 1 Spesifikasi Komponen yang Digunakan

No	Komponen	Fungsi
1	ESP32 DevKit V1	Mikrokontroler utama pengendali sistem
2	ESP32-CAM	Membaca dan mengidentifikasi QR Code
3	Sensor Infrared (IR)	Mendeteksi keberadaan barang pada conveyor
4	Motor DC Gearbox 12V	Menggerakkan belt conveyor
5	Modul MOSFET Driver Switch	Mengendalikan kerja motor DC gearbox
6	Modul LM2596	Menurunkan tegangan 12V menjadi 5V
7	Motor Servo MG996R (2 unit)	Mengarahkan barang ke wadah sortir
8	LCD 16×2 I2C	Menampilkan status dan hasil pembacaan
9	Adaptor Switching 12V	Sumber daya utama sistem
10	Belt Conveyor Mini	Media perpindahan barang

2.3 Perancangan Mekanik

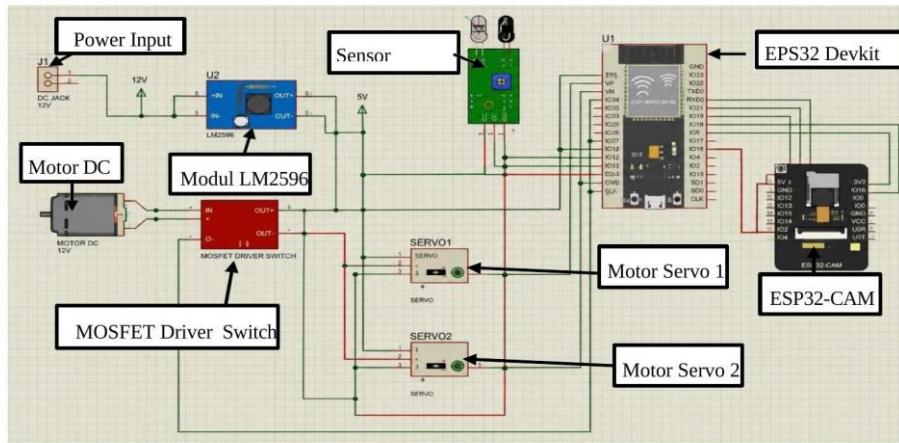
Perancangan mekanik prototype meliputi area input barang, belt conveyor,udukan sensor dan kamera, mekanisme pemilah menggunakan dua motor servo, serta tiga wadah penampung hasil sortir, yaitu Wadah A, Wadah B, dan Wadah C. Sketsa perancangan alat ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Sketsa perancangan alat

2.4 Perancangan Rangkaian Elektronik

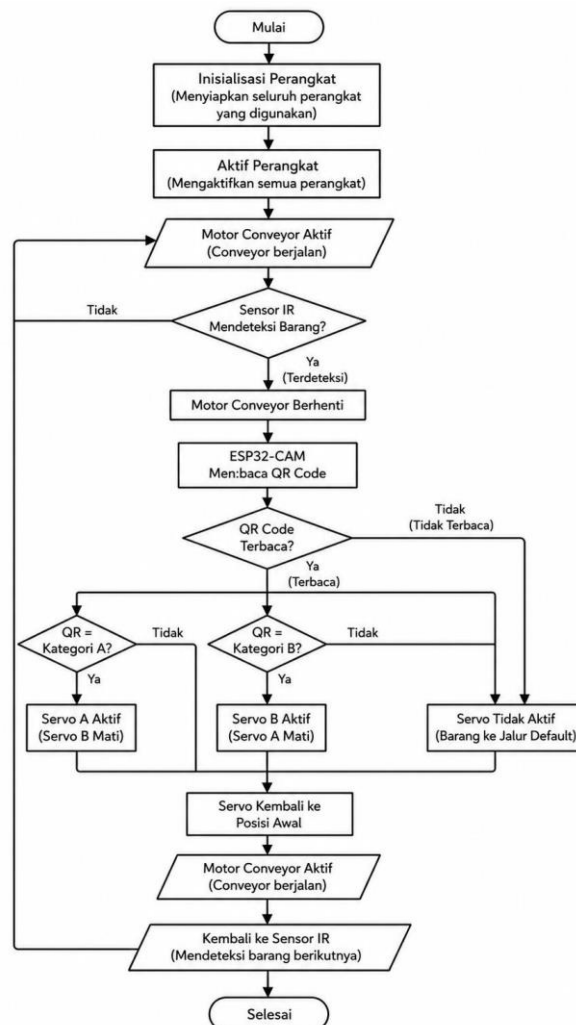
Sumber daya utama sistem berasal dari adaptor 12 Volt. Modul LM2596 menurunkan tegangan menjadi 5 Volt untuk kebutuhan ESP32, sensor, dan motor servo, sedangkan modul MOSFET Driver Switch menghubungkan ESP32 dengan motor DC gearbox untuk mengendalikan pergerakan conveyor. Skema rangkaian keseluruhan sistem ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Skema rangkaian sistem

2.5 Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak dirancang menggunakan flowchart sebagai acuan logika program. Proses diawali dengan inisialisasi seluruh perangkat, kemudian conveyor berjalan hingga sensor infrared mendeteksi barang. Ketika barang terdeteksi, conveyor berhenti sementara ESP32-CAM membaca QR Code.



Gambar 4 Flowchart sistem penyortiran barang

2.6 Metode Pengujian

Pengujian dilakukan pada prototype di atas meja dalam ruangan indoor. Lima kotak berukuran 6×6 cm digunakan untuk pengujian pembacaan QR Code, sedangkan pengujian integrasi penyortiran menggunakan enam jenis suku cadang, yaitu piston, noken as, sensor TPS, disk cakram, kampas rem, dan sensor ISC. QR Code ditempelkan pada permukaan atas kotak dan berisi informasi kategori A, B, atau C. Pengujian jarak kamera dilakukan pada 0, 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 cm. Sistem menghentikan conveyor ketika sensor infrared mendeteksi objek, kemudian ESP32-CAM membaca QR Code dan ESP32 menentukan kategori untuk menggerakkan aktuator penyortir menggunakan berbagai jenis suku cadang sepeda motor, yaitu piston, noken as, disk cakram, kampas rem, sensor TPS, dan sensor ISC; serta (7) waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu siklus penyortiran.

Untuk memperkuat reproduktibilitas, parameter yang sudah terdokumentasi dipisahkan dari parameter yang belum diukur. Nilai yang belum tersedia tidak diisi dengan perkiraan agar tidak menghasilkan klaim eksperimental yang tidak dapat diverifikasi.

Tabel 9 Parameter Eksperimen yang Terdokumentasi

Parameter	Nilai/Kondisi Terdokumentasi
Jumlah kotak uji QR Code	5 kotak
Ukuran objek	6×6 cm
Kamera	OV2640 pada ESP32-CAM
Jarak kamera	0, 5, 10, 15, 20, 25, 30 cm
Lingkungan	Indoor, di atas meja
Servo	MG996R, 2 unit
Sudut servo	0° standby; 90° pengalihan
Sumber daya	12 V; LM2596 menghasilkan 5 V
Sampel pengujian sistem	6 jenis suku cadang

Parameter yang belum tercatat secara kuantitatif adalah ukuran fisik QR Code, kecepatan linear conveyor, sudut kamera terhadap bidang QR Code, tingkat pencahayaan, dan posisi objek terhadap pusat bidang pandang kamera. Parameter tersebut perlu diukur pada pengujian lanjutan.

Tabel 10 Rancangan Pengujian Tambahan

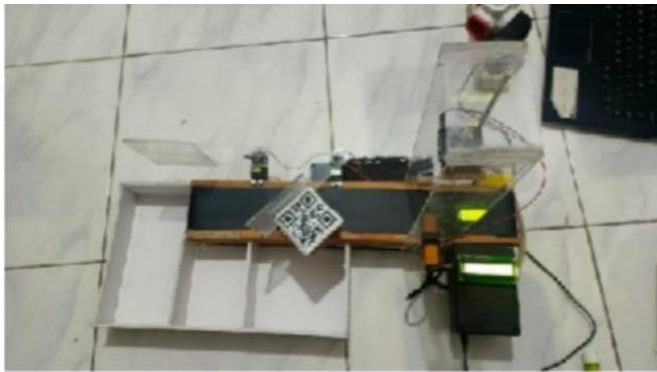
Variabel Tambahan	Level/Rancangan	Data Dicatat
Sudut kamera/QR Code	0° , 15° , 30° , 45°	Terbaca/tidak; waktu baca
Pencahayaan	Rendah, sedang, tinggi; ukur lux bila tersedia	Terbaca/tidak; waktu baca
Ukuran QR Code	Kecil, sedang, besar; ukur sisi QR (cm)	Terbaca/tidak; waktu baca
Posisi objek	Tengah, kiri, kanan; catat offset (cm)	Terbaca/tidak; waktu baca
Kecepatan conveyor	Ukur kecepatan aktual (cm/s)	Kecepatan; keberhasilan sortir

Pengujian tambahan sebaiknya dilakukan dengan satu variabel diubah pada satu waktu dan variabel lain dikendalikan. Setiap kondisi dianjurkan diulang sekurang-kurangnya tiga kali. Hasil tambahan ini merupakan rancangan pengujian, bukan hasil eksperimen yang sudah dilakukan, sehingga angka hasilnya harus diisi setelah pengukuran fisik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Perancangan Alat

Prototype mini conveyor berhasil dibangun menggunakan ESP32 DevKit V1, ESP32-CAM, sensor infrared, motor DC gearbox, dua motor servo, modul MOSFET, modul LM2596, LCD 16×2 I2C, dan adaptor 12 Volt. Sistem bekerja dengan mendeteksi barang menggunakan sensor infrared, membaca QR Code menggunakan ESP32-CAM, kemudian ESP32 mengarahkan barang secara otomatis menuju Wadah A, Wadah B, atau Wadah C sesuai kategori yang terbaca, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7.



Gambar 5 Penyortiran ke Wadah A



Gambar 6 Penyortiran ke Wadah B



Gambar 7 Penyortiran ke Wadah C

3.2 Hasil Pengujian QR Code Berdasarkan Jarak Kamera

Tabel 2 Hasil Pengujian QR Code Berdasarkan Jarak Kamera

No	Jarak (cm)	QR Code Terbaca	Keterangan
1	0	Tidak	Kamera tidak dapat fokus
2	5	Ya	Sangat cepat
3	10	Ya	Pembacaan stabil
4	15	Ya	Akurat
5	20	Ya	Masih terbaca dengan baik
6	25	Ya	Masih dapat terbaca
7	30	Tidak	QR Code tidak terbaca

Hasil pengujian menunjukkan ESP32-CAM mampu membaca QR Code secara optimal pada jarak 5 hingga 25 cm. Pada jarak 0 cm kamera tidak dapat melakukan fokus, sedangkan pada jarak 30 cm QR Code sulit dikenali karena posisinya terlalu jauh dari kamera.

3.3 Hasil Pengujian Sensor Infrared

Tabel 3 Hasil Pengujian Sensor Infrared

No	Kondisi Barang	Hasil Deteksi Sensor
1	Ada barang	Berhasil mendeteksi
2	Tidak ada barang	Tidak mendeteksi

Sensor infrared berhasil mendeteksi keberadaan barang dengan baik sehingga conveyor dapat berhenti sementara pada saat pembacaan QR Code berlangsung dan berjalan kembali setelah proses selesai.

3.4 Hasil Pengujian Motor Servo

Tabel 4 Hasil Pengujian Motor Servo

No	Posisi	Sudut	Hasil
1	Standby	0°	Berhasil
2	Kategori A	90°	Berhasil
3	Kategori B	90°	Berhasil

Kedua motor servo bekerja sesuai kategori barang yang terbaca. Servo 1 mengarahkan barang ke Wadah A dan Servo 2 mengarahkan barang ke Wadah B, sedangkan barang Kategori C diteruskan tanpa pengalihan jalur menuju Wadah C.

3.5 Hasil Pengujian Motor Conveyor

Tabel 5 Hasil Pengujian Motor Conveyor

No	Kondisi	Hasil
1	Start	Conveyor berjalan
2	Sensor belum mendeteksi barang	Conveyor tetap berjalan
3	Barang terdeteksi	Conveyor berhenti
4	Proses sortir selesai	Conveyor berjalan kembali

Motor DC gearbox mampu bergerak, berhenti secara otomatis ketika sensor infrared mendeteksi barang, dan berjalan kembali setelah proses pembacaan QR Code selesai, tanpa mengalami gangguan selama pengujian berlangsung.

3.6 Hasil Pengujian Tegangan Komponen

Tabel 6 Hasil Pengujian Tegangan Komponen

No	Komponen	Tegangan Kerja	Tegangan Terukur	Keterangan
1	ESP32 DevKit V1	5 V	4,98 V	Sesuai
2	ESP32-CAM	5 V	4,97 V	Sesuai
3	Sensor Infrared	5 V	4,99 V	Sesuai
4	Motor Servo 1	5 V	4,96 V	Sesuai
5	Motor Servo 2	5 V	4,95 V	Sesuai
6	Modul MOSFET Driver	12 V	11,98 V	Sesuai
7	Motor DC Gearbox	12 V	11,94 V	Sesuai
8	Output LM2596	5 V	5,01 V	Sesuai

Seluruh komponen memperoleh tegangan kerja sesuai spesifikasi dengan selisih yang masih berada dalam batas toleransi, menunjukkan bahwa modul LM2596 mampu menstabilkan tegangan 5 Volt sedangkan adaptor 12 Volt menyuplai daya secara optimal untuk motor DC dan modul MOSFET.

3.7 Hasil Pengujian Sistem Penyortiran Barang

Tabel 7 Hasil Pengujian Sistem Penyortiran Barang

No	Nama Barang	Kategori QR Code	Hasil Sortir	Keterangan
1	Piston	Kotak B	Kotak B	Berhasil
2	Noken as	Kotak B	Kotak B	Berhasil
3	Sensor TPS	Kotak C	Kotak C	Berhasil
4	Disk cakram	Kotak A	Kotak A	Berhasil
5	Kampas Rem	Kotak A	Kotak A	Berhasil
6	Sensor ISC	Kotak C	Kotak C	Berhasil

Pengujian menggunakan enam jenis suku cadang menunjukkan seluruh sampel berhasil disortir ke wadah yang sesuai dengan kategori pada QR Code. Dengan demikian, tingkat keberhasilan sebesar 100% diperoleh dari 6 sampel yang diuji pada kondisi eksperimen yang tersedia. Nilai tersebut hanya berlaku untuk sampel dan kondisi pengujian tersebut dan tidak dapat diinterpretasikan sebagai akurasi universal.

3.8 Hasil Pengujian Waktu Sistem

Tabel 8 Hasil Pengujian Waktu Sistem

No	Pengujian Ke-	Hasil	Waktu (menit)
1	1	Berhasil	1,18
2	2	Berhasil	1,25
3	3	Berhasil	1,24
4	4	Berhasil	1,38
5	5	Berhasil	1,21

Pengujian sebanyak lima kali menunjukkan sistem mampu menyelesaikan satu siklus penyortiran secara konsisten dengan waktu rata-rata 1,26 menit.

3.9 Pembahasan

Secara keseluruhan, seluruh komponen bekerja secara terintegrasi sehingga proses penyortiran berlangsung otomatis. ESP32-CAM dapat membaca QR Code dengan baik pada rentang jarak 5–25 cm, sensor infrared bekerja responsif sebagai pemicu awal proses identifikasi, dan mekanisme dua motor servo mampu mengarahkan barang secara akurat berdasarkan kategori yang terbaca. Pengendalian motor conveyor melalui modul MOSFET Driver Switch berjalan stabil, sedangkan modul LM2596 dan adaptor 12 Volt mampu menjaga kestabilan tegangan seluruh komponen selama pengujian berlangsung. Hasil ini menunjukkan bahwa integrasi ESP32, ESP32-CAM, sensor infrared, dan motor servo pada sistem conveyor berpotensi dikembangkan lebih lanjut sebagai dasar sistem otomasi penyortiran pada skala industri, misalnya dengan menambahkan fitur monitoring berbasis Internet of Things (IoT) dan basis data untuk pencatatan hasil sortir.

Perbandingan dengan penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kontribusi penelitian ini terutama berada pada integrasi beberapa fungsi dalam satu prototype. Nugroho dkk. menggunakan sensor infrared dan Arduino untuk mendeteksi barang dan menggerakkan conveyor, sedangkan penelitian berbasis sensor warna menentukan sortir dari warna objek. Penelitian berbasis ESP32 untuk monitoring berfokus pada pemantauan dan pengendalian conveyor, sementara pendekatan kamera untuk bentuk dan ukuran menggunakan pengolahan citra yang berbeda. Penelitian ini mengintegrasikan ESP32 DevKit V1, ESP32-CAM/OV2640, sensor infrared, mini conveyor, dan dua servo untuk penyortiran suku cadang berdasarkan QR Code. Karena terdapat penelitian terdahulu yang juga menggunakan ESP32-CAM atau QR Code, kebaruan tidak dinyatakan pada komponen tunggal, tetapi pada implementasi integrasi sistem. Klaim perbedaan terhadap penelitian yang secara khusus menggabungkan ESP32-CAM, QR Code, conveyor, dan servo perlu didukung oleh sumber primer yang dapat diverifikasi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Prototype mini conveyor berhasil dirancang dan dibangun untuk menyortir suku cadang sepeda motor secara otomatis menggunakan QR Code berbasis ESP32, dengan seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak terintegrasi sebagai satu kesatuan sistem.
2. ESP32-CAM berhasil membaca QR Code secara optimal pada jarak 5–25 cm, sedangkan pada jarak yang terlalu dekat (0 cm) maupun terlalu jauh (30 cm) kemampuan pembacaan mengalami penurunan.
3. Mekanisme dua motor servo berhasil mengarahkan barang menuju Wadah A, Wadah B, dan Wadah C sesuai kategori pada QR Code, dengan tingkat keberhasilan penyortiran mencapai 100% pada pengujian yang dilakukan.
4. Seluruh komponen memperoleh tegangan kerja sesuai spesifikasi sehingga sistem dapat beroperasi secara stabil, dengan waktu rata-rata satu siklus penyortiran sebesar 1,26 menit.

REFERENSI

- [1] A. Nugroho, B. Suryanto, and R. Pratama, "Rancang Bangun Sistem Conveyor Otomatis Menggunakan Sensor Infrared," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 12, no. 1, pp. 45–52, 2020.
- [2] T. Sutabri, *Sistem Informasi dan Otomasi Industri*. Yogyakarta: Andi, 2020.
- [3] Denso Wave Incorporated, *QR Code Essentials*. Tokyo: Denso Wave, 2020.
- [4] A. Hidayat, *Sistem Otomasi Industri Berbasis Mikrokontroler*. Jakarta: Elex Media Komputindo, 2021.
- [5] Espressif Systems, *ESP32 Series Datasheet Version 5.2*. Shanghai: Espressif Systems, 2025.
- [6] A. Fauzi, M. Rahman, and D. Prasetyo, "Rancang Bangun Sistem Penyortiran Barang Otomatis Menggunakan ESP32-CAM," *Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer*, vol. 9, no. 2, pp. 101–109, 2021.
- [7] D. Putra and A. Wijaya, "Smart Conveyor Berbasis ESP32 untuk Monitoring Proses Penyortiran Barang," *Jurnal Sistem Komputer*, vol. 11, no. 3, pp. 112–120, 2022.
- [8] M. Zainal and A. Kurniawan, "Perancangan Prototype Conveyor Pintar Berbasis ESP32 untuk Penyortiran Barang," *Jurnal Teknologi Elektro dan Komputer*, vol. 12, no. 1, pp. 34–42, 2023.
- [9] R. Prasetyo, D. Wijaya, and N. Putri, "Sistem Sortir Barang Otomatis Menggunakan ESP32-CAM dan QR Code," *Jurnal Rekayasa Sistem dan Industri*, vol. 10, no. 1, pp. 18–27, 2025.
- [10] R. Setiawan, F. Hidayat, and D. Saputra, "Implementasi Motor Servo pada Sistem Penyortiran Barang Otomatis," *Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 5, no. 2, pp. 89–95, 2021.
- [11] M. H. Rashid, *Power Electronics: Circuits, Devices, and Applications*, 4th ed. Pearson Education, 2020.
- [12] M. Syahwil, *Panduan Praktis ESP32 dan Internet of Things (IoT)*. Jakarta: Kencana, 2021.
- [13] R. S. Pressman and B. R. Maxim, *Software Engineering: A Practitioner's Approach*, 9th ed. New York: McGraw-Hill, 2020.
- [14] A. P. Malvino and D. J. Bates, *Electronic Principles*, 8th ed. New York: McGraw-Hill Education, 2018.
- [15] A. Kadir, *Pemrograman Arduino dan Mikrokontroler*. Yogyakarta: Andi, 2018.
- [16] A. Yuhefizar, *Cara Mudah Membangun Sistem Berbasis QR Code*. Jakarta: Elex Media Komputindo, 2019.