

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Era digital telah mengubah sistem perdagangan di Indonesia dan menjadikan *e-commerce* sebagai faktor penggerak ekonomi digital nasional. Laporan industri menunjukkan bahwa ekonomi digital Indonesia diproyeksikan terus tumbuh secara signifikan, didorong oleh adopsi layanan logistik dan pembayaran digital yang masif [1]. Pertumbuhan volume transaksi yang masif ini memberikan tekanan pada perusahaan ekspedisi konvensional. Studi menunjukkan bahwa lonjakan permintaan pengiriman paket menuntut pusat distribusi untuk beradaptasi dengan sistem penanganan yang mampu beroperasi pada kecepatan tinggi dan skala besar [2].

Sebagai salah satu pusat distribusi logistik utama di tingkat provinsi, Kota Bandung menghadapi tantangan operasional dalam memproses volume paket harian yang tinggi. Upaya peningkatan efisiensi melalui adopsi sortir otomatis saat ini masih terpusat pada simpul distribusi tingkat pertama (*Main Hub*). Kondisi ini menimbulkan hambatan pada simpul distribusi tingkat kedua (*Staging Hub*), terutama pada JNT DC_Cibiru yang mana proses klasifikasi paket masih manual yang bergantung pada tenaga manusia. *Staging Hub* pada ekspedisi difungsikan sebagai proses distribusi tahap akhir (*last-mile*) dalam rantai pasokan logistik saat barang dikirim dari pusat distribusi langsung ke tangan konsumen.

JNT DC_Cibiru merupakan titik transit akhir untuk mendistribusikan barang ke wilayah Ujung Berung, Cilengkrang, dan area Cibiru sekitarnya. Ketergantungan pada tenaga manusia untuk mengklasifikasikan rute pengiriman pada volume paket yang tinggi menjadi titik hambat (*bottleneck*) dalam keseluruhan alur logistik. Keterbatasan pada tahapan ini juga berkorelasi langsung terhadap risiko kesalahan pemilahan dan keterlambatan distribusi, yang pada akhirnya memicu peningkatan biaya operasional logistik dan berpengaruh pada tingkat kepuasan konsumen (*customer satisfaction index*)[3].

Ketergantungan pada proses manual memiliki kelemahan teknis, terutama terkait faktor manusia. Penelitian menyatakan bahwa penyortiran manual rentan

terhadap tingkat kesalahan yang meningkat seiring dengan durasi kerja akibat kelelahan operator, yang berujung pada *mis-sort* [3]. Selain itu, kecepatan manusia yang terbatas menciptakan hambatan *throughput* sistem secara keseluruhan. Di sisi lain, penggunaan teknologi *QR Code Scanner* laser konvensional seringkali tidak efektif dikarenakan tidak didukung oleh sistem kendali yang mengklasifikasikan paket secara otomatis yang mengakibatkan kurangnya efisiensi pada penyortiran. [4]

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, transformasi dari sistem penyortiran yang bergantung pada tenaga manusia menjadi sistem otomatis adalah sebuah masalah yang harus diselesaikan. Solusi yang diusulkan adalah implementasi sistem sortir otomatis, yang memungkinkan pemindahan dan pengalihan barang secara otomatis. Agar sistem ini berjalan efektif, diperlukan metode identifikasi yang lebih baik daripada sekadar sensor laser. Integrasi teknologi *computer vision* dan sistem kendali menawarkan solusi untuk masalah ini. Berbeda dengan sensor laser satu dimensi, sistem berbasis kamera mampu menangkap informasi visual yang lebih banyak dan mendeteksi *QR Code* dengan kondisi pencahayaan berbeda beda [3].

Ditambahkan juga sistem *dashboard monitoring* untuk pencatatan volume barang dan juga bobot barang di setiap wilayah. Diharapkan dengan adanya sistem ini dapat mempermudah operator dalam *monitoring* secara transparan. Ketersediaan data digital mengenai volume dan bobot paket tidak hanya berfungsi sebagai alat validasi administratif untuk meminimalisir kesalahan pencatatan (*human error*), sekaligus meningkatkan kecepatan evaluasi kinerja penyortiran harian yang sebelumnya sulit dilakukan dengan metode manual [5].

Penelitian ini memberikan kontribusi dan manfaat, baik secara teoretis maupun praktis. Secara teoretis, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan ilmu citra digital dan sistem kendali, khususnya dalam integrasi mekatronika dengan pemrosesan citra untuk aplikasi logistik secara cepat dan efisien. Dan juga dapat menjadi referensi bagi studi pengembangan sistem penyortiran otomatis kedepannya. Secara praktis, sistem ini menawarkan solusi inovatif bagi perusahaan ekspedisi di Bandung, berpotensi meningkatkan efisiensi operasional melalui

peningkatan *throughput*, mengurangi risiko kesalahan penyortiran, dan menurunkan biaya operasional jangka panjang.

1.2. Kajian Terdahulu

Analisis kajian terdahulu dilakukan untuk menegaskan keaslian penelitian, mencegah duplikasi, serta memetakan perkembangan sortir otomatis dalam bidang Industri. Untuk membuktikan bahwa tidak ada plagiat dalam penelitian ini, dapat dilihat pada Tabel 1.1 mengenai referensi terkait kajian terdahulu.

Tabel 1.1 Kajian terdahulu terkait sistem sortir otomatis.

No	Judul Penelitian	Nama Peneliti	Tahun
1	Enhanced Technology for Logistics Courier Delivery Using RFID Label	Novitasari & Anwar	2022
2	Smart Barcode-Based Sorting Using YOLO and Automatic Conveyor Belts	Rafif et al	2025
3	Automated Barcode-Based Warehouse Sorting System	Nimbal S	2025
4	Designing of Goods Separation <i>Conveyor</i> using GM65 <i>QR Code</i> Scanner Sensor	Fitri Nadia	2024

Sistem sortir otomatis telah menjadi komponen penting dalam berbagai industri, terutama dalam pengangkutan material secara otomatis. Banyak penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem ini melalui penerapan teknologi *computer vision*. Pada penelitian [6], upaya untuk memangkas waktu pemrosesan dilakukan dengan menggantikan sistem *QR Code* manual menggunakan teknologi *Radio Frequency Identification* (RFID), yang terbukti mampu mereduksi waktu pemrosesan hingga 74% melalui kemampuan pembacaan data secara massal tanpa memerlukan kontak visual langsung. Temuan ini menegaskan bahwa kecepatan akuisisi data merupakan variabel kunci dalam meningkatkan efisiensi operasional di pusat distribusi [6].

Pada penelitian [7], sistem penyortiran otomatis berbasis barcode telah dikembangkan dengan mengintegrasikan kamera, Raspberry Pi, dan Arduino untuk

mengklasifikasikan objek di atas belt conveyor. Pendekatan berbasis algoritma deteksi objek YOLOv5 yang dipadukan dengan pembacaan barcode menggunakan pustaka Pyzbar ini menunjukkan kinerja dengan akurasi deteksi sebesar 96,7% dan akurasi pembacaan sebesar 93,3% pada pengujian 30 objek [7], serta throughput maksimum mencapai 92 item/menit, membuktikan kelayakan teknis penyortiran objek berbasis visi komputer pada sistem conveyor otomatis.

Selain pendekatan berbasis *YOLOv5*, sistem sortir otomatis berbasis identifikasi visual juga banyak dikembangkan menggunakan teknologi dan *QR Code*. Penelitian [3] mengembangkan sistem sortir gudang otomatis berbasis barcode dengan memanfaatkan kamera dan mikrokontroler untuk mengendalikan motor DC dan servo. Sistem tersebut mampu meningkatkan kecepatan dan akurasi proses penyortiran dibandingkan metode manual, serta menunjukkan bahwa identifikasi visual berbasis kode masih menjadi solusi yang efektif dan ekonomis untuk lingkungan gudang berskala menengah[3].

Selanjutnya pada penelitian [8] secara khusus mengkaji penggunaan *QR Code Scanner GM65* pada sistem conveyor pemisah barang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan pemisahan barang berdasarkan *QR Code* tujuan dengan tingkat keberhasilan yang baik pada skala prototipe. Studi ini menegaskan bahwa penggunaan sensor *QR Code dedicated* seperti GM65 dapat meningkatkan keandalan proses identifikasi tanpa memerlukan pengolahan citra yang kompleks, sehingga sesuai untuk sistem sortir otomatis berbasis *embedded system* [8]. Masih belum ada penelitian sistem sortir otomatis yang menggunakan pengenalan *QR Code* berbasis *computer vision* dan menambahkan sensor *Load cell* untuk memberikan rekomendasi jumlah kurir dalam *dashboard* berdasarkan jumlah dan berat paket.

1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasi sistem sortir otomatis dengan identifikasi resi. Adapun rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan dan implementasi prototipe sortir otomatis dapat mampu melakukan pengenalan kode barang secara otomatis menggunakan *QR Code*?
2. Bagaimana kinerja sistem ini dalam mengklasifikasikan barang secara langsung?

1.4. Tujuan dan Manfaat

1.4.1. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan mengimplementasi sistem sortir paket otomatis dengan identifikasi resi. Adapun tujuan spesifik dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan mengimplementasi sistem sortir otomatis yang dapat mendeteksi *QR Code* otomatis dan dapat terintegrasi IoT untuk *monitoring* paket secara aktual.
2. Mengukur dan menganalisis kinerja sistem dalam melakukan klasifikasi barang secara langsung, yang mencakup parameter akurasi pembacaan *QR Code* dan kemampuan sistem dalam menyortir paket secara aktual.

1.4.2. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini, baik secara praktis maupun teoritis, adalah sebagai berikut:

1. Manfaat Praktis:

Penelitian ini dapat menjadi solusi bagi perusahaan ekspedisi, khususnya di staging hub, dalam mengoptimalkan proses pemisahan barang berdasarkan wilayah tujuan secara otomatis. Implementasi model ini juga dapat digunakan sebagai dasar pertimbangan operasional yang meminimalisir kesalahan penyortiran akibat human error, serta mendukung terciptanya sistem pergudangan yang lebih efisien.

2. Manfaat Akademis:

Penelitian ini dapat menambah referensi ilmiah di lingkungan jurusan Teknik Elektro, khususnya dalam bidang peminatan sistem kendali, *computer vision* dan IoT. Kontribusi akademis yang dihasilkan meliputi integrasi sistem otomasi dan IoT serta penerapan untuk *computer vision*.

1.5. Batasan Masalah

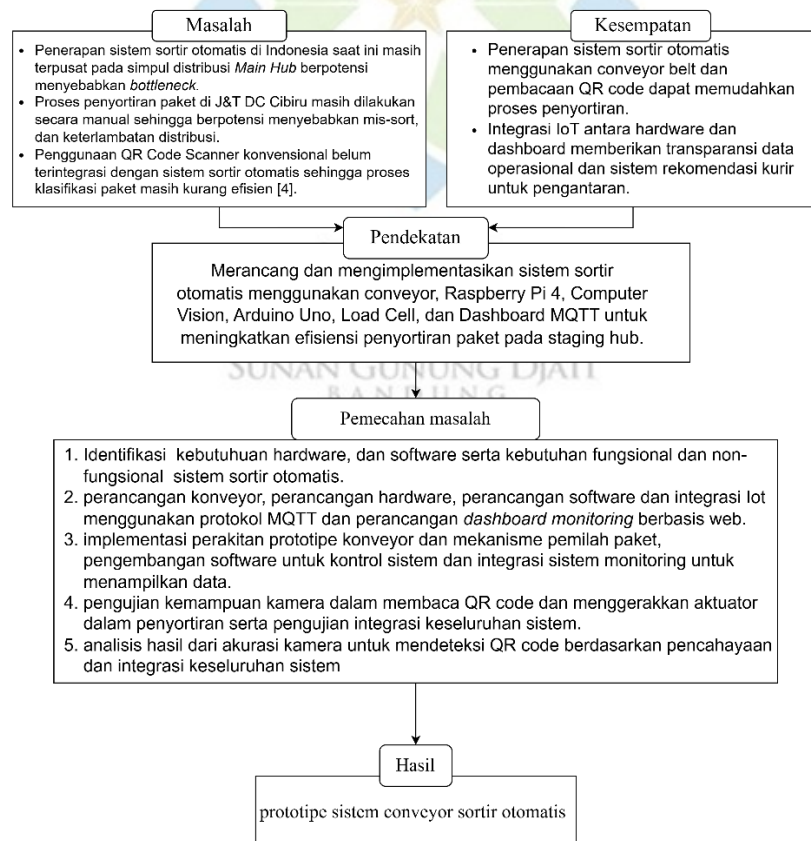
Dalam penelitian ini, diperlukan pembatasan ruang lingkup agar pembahasan tetap terfokus dan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Pembatasan masalah bertujuan untuk menjaga agar analisis yang dilakukan tetap relevan dengan fokus penelitian dan mencegah meluasnya pembahasan ke area yang tidak terkait, yang dapat mengurangi ketepatan hasil. Oleh karena itu, ruang lingkup penelitian mengenai sistem sortir otomatis paket pada ekspedisi dengan identifikasi resi dibatasi pada beberapa aspek berikut:

1. Objek penelitian ini dibatasi pada rancang bangun prototipe sistem Sortir otomatis dengan panjang konveyor 1 meter, tinggi 13 cm, dan lebar 20 cm.
2. Ukuran paket dibatasi dengan dimensi maksimal 15 x 15 cm dan massa paket disesuaikan dengan kekuatan pada aktuator servo sistem ini.
3. *QR Code* yang digunakan merupakan data simulasi yang dibuat secara mandiri dan tidak memanfaatkan data resi maupun data operasional milik perusahaan ekspedisi J&T.
4. Sistem yang dikembangkan hanya akan diuji pada identifikasi resi berupa *QR Code* dari sisi yang dapat dilihat oleh kamera. Penelitian ini tidak mencakup mekanisme pembalik otomatis untuk mencari label yang tertutup atau berada di sisi bawah dan samping paket.
5. Penelitian ini tidak mencakup analisis mekanik secara rinci, seperti perhitungan koefisien gaya gesek, dinamika kontak, maupun pemodelan gaya yang bekerja antara paket, belt konveyor, dan aktuator servo. Evaluasi kemampuan penyortiran dilakukan berdasarkan hasil pengujian fungsional sistem.
6. Model pembacaan *QR Code* menggunakan *library open-source* WeChat *QR Code*.
7. Parameter pengujian meliputi akurasi keberhasilan identifikasi *QR Code*, akurasi pengukuran berat paket, keberhasilan mekanisme sortir, serta tingkat *usability dashboard* berdasarkan metode *System Usability Scale* (SUS).
8. Antarmuka *dashboard monitoring* yang dibangun menggunakan protokol MQTT dan *framework* streamlit yang berjalan pada *local host*.

9. *Dashboard* hanya menampilkan jumlah paket per wilayah, berat paket, dan sistem rekomendasi jumlah kurir.
10. Pengukuran berat dilakukan pada area timbang dengan kondisi barang stabil dan diam. Sistem tidak membahas penimbangan saat barang bergerak cepat.
11. Sistem rekomendasi jumlah kurir untuk proses pick up paket dihitung berdasarkan akumulasi berat paket per wilayah tujuan.

1.6. Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir berfungsi untuk menjelaskan arah dan alur logis penelitian dari identifikasi permasalahan hingga diperolehnya hasil akhir yang diharapkan. Penyusunan kerangka berpikir pada penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai tahapan analisis yang dilakukan dalam mengkaji untuk sistem sortir otomatis dengan identifikasi resi menggunakan *QR Code*. Hubungan antar bagian tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Kerangka berpikir sistem sortir otomatis.

1.7. Sistematika Penulisan

Tugas Akhir ini disusun dalam 6 bab yang saling berhubungan dan membentuk satu kesatuan pembahasan yang utuh. Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini dijelaskan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi uraian mengenai latar belakang Tugas Akhir yang menjelaskan alasan dan dasar dilaksanakannya penelitian. Selain itu, bab ini juga memuat *state of the art* atau kajian penelitian terdahulu yang relevan, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, batasan masalah, serta kerangka berpikir yang menggambarkan alur logis penelitian. Di akhir bab, dijelaskan pula sistematika penulisan laporan tugas akhir secara keseluruhan.

BAB II TEORI DASAR

Bab ini berisi teori-teori dan konsep yang mendasari penelitian, meliputi dasar-dasar sistem *conveyor*, prinsip kerja kamera, mini komputer dan sensor dalam *system*, konsep dasar *Computer Vision*, serta teori mengenai pembacaan *QR Code*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metodologi yang digunakan untuk mencapai tujuan penelitian. Pembahasan meliputi jenis penelitian, variabel penelitian, alat dan bahan yang digunakan, metode pengumpulan data, serta tahapan perancangan dan pengujian sistem. Bab ini juga menjelaskan diagram alur penelitian dan pendekatan yang digunakan dalam pengembangan sistem sortir otomatis menggunakan *conveyor*.

BAB IV PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Bab ini menguraikan tahapan perancangan arsitektur sistem secara menyeluruh dan realisasi fisik dari rancangan tersebut. Pembahasan mencakup perancangan mekanik sistem *conveyor*, topologi integrasi elektronik konfigurasi *master-slave*, serta alur logika *software* yang meliputi algoritma visi komputer, protokol komunikasi data, dan pembuatan antarmuka pengguna. Bagian implementasi menjelaskan proses perakitan dan integrasi seluruh modul *hardware* dan skrip pemrograman menjadi sebuah sistem fungsional yang siap beroperasi.

BAB V PENGUJIAN DAN ANALISIS

Bab ini memaparkan prosedur pengujian alat dan hasil evaluasi kinerja sistem sortir otomatis. Fokus pengujian meliputi akurasi pengukuran massa oleh instrumen *Load cell*, kecepatan dan tingkat keberhasilan dekoding kode QR oleh kamera, respons mekanis motor servo sebagai pemilah (*diverter*), serta stabilitas transmisi data telemetri menuju antarmuka *dashboard*. Seluruh data kuantitatif dan kualitatif yang diperoleh dari pengujian tersebut dianalisis secara objektif untuk memastikan kesesuaian operasional sistem dengan spesifikasi rancangan.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merupakan bagian akhir dari dokumen laporan yang memuat Kesimpulan dan saran. Kesimpulan dirumuskan berdasarkan penjabaran hasil analisis pengujian sistem dan berfungsi untuk menjawab rumusan masalah serta tujuan penelitian secara langsung. Bab ini juga memaparkan saran akademis dan teknis yang ditujukan sebagai rujukan untuk perbaikan, penambahan fitur, serta optimalisasi fungsionalitas sistem sortir otomatis pada pengembangan penelitian selanjutnya.

