

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Industri modern berkembang sangat pesat seiring meningkatnya kebutuhan pasar global dan tuntutan terhadap kualitas produk yang semakin tinggi. Berbagai sektor seperti otomotif, elektronik, pangan, hingga farmasi harus mampu menghasilkan produk dengan tingkat presisi tinggi, waktu produksi yang lebih singkat, serta biaya operasional yang efisien. Untuk mencapai hal tersebut, banyak pelaku industri mulai menerapkan teknologi digital, sensor pintar, dan sistem pemantauan otomatis untuk meningkatkan efisiensi sekaligus meminimalkan potensi kesalahan sebagai bagian dari fase transformasi industri menuju proses yang lebih terukur, andal, dan adaptif [1].

Transformasi ini bukan lagi sekadar pilihan, melainkan kebutuhan strategis. Kesalahan kecil dalam proses produksi dapat menimbulkan dampak yang signifikan terhadap kualitas produk maupun efisiensi operasional. Dalam lingkungan manufaktur, kesalahan pembacaan satu karakter kode produk atau kode seri produk dapat menyebabkan kesalahan identifikasi produk, mulai dari meningkatnya produk cacat, biaya pengerjaan ulang, keterlambatan distribusi, hingga menurunnya kepercayaan konsumen. Data penelitian pada industri otomotif mencatat bahwa estimasi kesalahan identifikasi baik berupa *false alarm* maupun *missed detection* masing-masing mencapai 1,9% yang menimbulkan kerugian berupa selisih antara biaya inspeksi murni sebesar 0,45€ dengan total biaya kualitas (*Cost of Quality*) yang membengkak menjadi 0,61€ per unitnya. Oleh karena itu, industri membutuhkan sistem inspeksi yang tidak hanya akurat, tetapi juga mampu bekerja secara konsisten dalam kondisi operasional yang dinamis guna menekan ketergantungan pada inspeksi manual yang rentan terhadap kelelahan fisik dan penurunan konsentrasi dan menjadi penyebab utama ketidaktepatan dalam proses pemilihan sehingga berkontribusi pada tingginya tingkat cacatan produk [2].

Salah satu sektor yang sangat bergantung pada proses inspeksi visual adalah industri manufaktur elektronik yang memproduksi komponen dalam jumlah besar. Pada berbagai komponen elektronik, informasi seperti kode produksi, nomor seri, atau identifikasi produk biasanya dicetak pada permukaan komponen sebagai

penanda tipe dan asal produksi. Sebagai gambaran umum, komponen seperti *Integrated Circuit* (IC) dengan kemasan *Dual In-line Package* (DIP) memiliki kode seri yang tercetak pada bagian atas komponen sebagai identitas produk. Dalam beberapa proses produksi, pemasangan komponen masih dapat melibatkan proses manual sehingga inspeksi terhadap kode seri produksi sering dilakukan oleh operator manusia. Kondisi ini berpotensi menimbulkan kesalahan pembacaan kode dikarenakan ukuran karakter relatif kecil, kontras tulisan rendah, atau pencahayaan tidak stabil [3].

Untuk meningkatkan akurasi proses inspeksi visual terhadap teks pada komponen atau produk, banyak sistem industri memanfaatkan teknologi berbasis *Computer Vision*. Salah satu teknologi yang banyak digunakan dalam sistem tersebut adalah *Optical Character Recognition* (OCR) yaitu teknologi yang memungkinkan sistem mengenali karakter teks dari citra digital secara otomatis sehingga dapat digunakan untuk membaca kode produksi, nomor seri, maupun informasi identifikasi lainnya pada permukaan produk [4].

Meskipun demikian, implementasi sistem OCR dalam lingkungan industri memiliki berbagai tantangan teknis. Faktor seperti pencahayaan yang tidak konsisten, permukaan objek yang reflektif, getaran mesin produksi, serta kualitas cetakan karakter yang tidak seragam sering kali mempengaruhi kualitas citra yang dihasilkan oleh kamera. Kondisi tersebut dapat menyebabkan citra memiliki tingkat noise yang tinggi, kontras rendah, atau karakter yang kurang tajam sehingga meningkatkan potensi kesalahan pengenalan karakter oleh sistem OCR [5].

Dalam konteks implementasi di lapangan, khususnya pada kawasan industri di Bintan Industrial Estate (BIE), proses inspeksi terhadap kode produk masih banyak dilakukan secara manual oleh operator. Berdasarkan hasil observasi awal, proses pembacaan kode produksi atau nomor seri pada komponen sering menghadapi berbagai kendala, seperti ukuran karakter yang kecil, kondisi pencahayaan yang tidak stabil, serta permukaan objek yang reflektif. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa diperlukan suatu pendekatan yang mampu meningkatkan kualitas citra secara optimal agar proses pengenalan karakter dapat dilakukan dengan lebih akurat dan konsisten.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, tahap *preprocessing* citra menjadi bagian penting sebelum proses OCR dilakukan. Dalam penelitian ini, metode *preprocessing* yang dianalisis meliputi *blur*, *thresholding*, dan *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE) yang masing-masing memiliki karakteristik berbeda dalam meningkatkan kualitas citra dan memperjelas karakter teks. Penelitian sebelumnya menerapkan metode Gaussian *Blur* sebagai bagian tahap *preprocessing* pada citra digital pada format citra bitmap dan JPEG, dimana dari hasil analisisnya terbukti bahwa metode ini bisa mengurangi noise yang ada pada gambar dan menghasilkan gambar yang lebih halus dan kabur [6]. Sementara itu, penelitian lainnya membandingkan beberapa metode *thresholding* pada 15 citra uji dan melaporkan tingkat kecocokan karakter sebesar 77,27% pada citra asli, sedangkan metode Otsu *Thresholding* menghasilkan kecocokan sebesar 70,27%, metode Sauvola sebesar 69,67%, dan Niblack sebesar 35,72% [7]. Di sisi lain, penelitian yang menerapkan metode *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE) pada citra plat nomor kendaraan dan memperoleh nilai *Character Accuracy Rate* sebesar 96,91% serta *Word Accuracy Rate* sebesar 90,00%, yang menunjukkan peningkatan keterbacaan karakter pada kondisi pencahayaan dan *noise* yang tidak ideal [8].

Penelitian lain yang berkaitan dengan pengaruh teknik *preprocessing* citra terhadap performa OCR dilakukan dengan membandingkan kinerja dua mesin OCR, yaitu Tesseract dan EasyOCR, dalam mengenali teks pada citra dokumen nota dengan menggunakan beberapa teknik *preprocessing* seperti *original*, *grayscale*, *thresholding*, dan *blur*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa performa kedua *engine* OCR dipengaruhi oleh kualitas citra dan metode *prapemrosesan* yang digunakan. Nilai *Character Error Rate* (CER) yang diperoleh berada pada rentang 0,18 hingga 0,25, dengan performa terbaik dicapai oleh Tesseract pada mode *original* dengan CER sebesar 0,1895 dan EasyOCR pada mode *grayscale* dengan CER sebesar 0,1936, yang menunjukkan tingkat akurasi pengenalan teks berada pada kisaran 75% hingga 82% [9].

Meskipun berbagai penelitian menunjukkan bahwa teknik *preprocessing* dapat meningkatkan kualitas citra sebelum proses OCR dilakukan, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada citra dokumen dengan ukuran karakter

yang relatif besar dan kondisi pencahayaan yang lebih stabil. Di sisi lain, penerapan sistem inspeksi visual pada komponen industri memiliki karakteristik yang berbeda, seperti ukuran karakter yang lebih kecil, kontras yang tidak selalu stabil, serta kondisi pencahayaan yang bervariasi pada lingkungan produksi. Kondisi tersebut menyebabkan metode *preprocessing* yang efektif pada citra dokumen belum tentu memberikan hasil yang sama ketika diterapkan pada objek industri dengan karakteristik citra yang lebih kompleks. Selain itu, penelitian yang secara khusus menganalisis pengaruh metode *preprocessing* terhadap akurasi OCR pada sistem inspeksi berbasis platform *embedded* dengan sumber daya komputasi terbatas, seperti Raspberry Pi, masih relatif terbatas [10].

Salah satu platform *embedded* yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem pengolahan citra berbiaya rendah adalah Raspberry Pi, yaitu komputer papan tunggal berukuran kecil dengan konsumsi daya rendah dan kemampuan pemrosesan yang cukup untuk menjalankan algoritma pengolahan citra dan OCR secara *real-time*. Dengan biaya yang relatif terjangkau serta kemudahan integrasi dengan berbagai perangkat kamera dan sensor, Raspberry Pi menjadi salah satu platform yang potensial untuk digunakan dalam pengembangan sistem inspeksi visual pada lingkungan industri [11].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis dan membandingkan performa beberapa metode *preprocessing* citra yaitu *blur*, *thresholding*, dan CLAHE dalam meningkatkan akurasi pengenalan teks menggunakan Optical Character Recognition pada sistem inspeksi berbasis Raspberry Pi. Melalui analisis komparatif tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi metode *preprocessing* yang paling optimal dalam meningkatkan kualitas citra dan akurasi pembacaan karakter pada kondisi lingkungan industri.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah penelitian ini berfokus pada metode *preprocessing* manakah di antara *blur*, *thresholding*, dan CLAHE yang paling optimal dalam meningkatkan akurasi OCR pada sistem inspeksi berbasis Raspberry Pi di lingkungan industri kawasan BIE?

C. Batasan Penelitian

Batasan penelitian ini dibuat supaya pembahasan secara spesifik dan tidak meluas, berikut beberapa batasan masalah pada penelitian ini:

1. Penelitian ini hanya melakukan analisis terhadap tiga metode preprocessing yaitu *blur*, *thresholding* dan CLAHE sebagai teknik peningkatan kualitas citra untuk mendukung proses pembacaan teks oleh OCR.
2. Penelitian ini disesuaikan dengan karakteristik kebutuhan inspeksi visual pada industri manufaktur di kawasan BIE.
3. Platform komputasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah Raspberry Pi 4 Model B, tanpa melakukan perbandingan dengan perangkat *embedded* lain maupun *personal computer* (PC).
4. Penelitian ini berfokus pada analisis perbandingan performa metode *preprocessing* dalam meningkatkan akurasi pembacaan teks, tanpa membahas secara detail karakteristik atau spesifikasi fisik objek industri yang digunakan sebagai sampel pengujian.
5. Penelitian ini hanya menggunakan *library* Pytesseract dengan Tesseract OCR *engine* untuk proses *Optical Character Recognition* (OCR) dalam mengenali teks pada citra.
6. Penelitian ini menggunakan 100 data citra *product code label* yang digunakan sebagai data pengujian metode *preprocessing* terhadap akurasi OCR.

D. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan pengaruh penerapan metode *preprocessing* citra, yaitu *blur*, *thresholding*, dan *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE), serta menentukan metode yang paling optimal dalam meningkatkan akurasi OCR pada sistem inspeksi berbasis Raspberry Pi di lingkungan industri kawasan BIE.

E. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat Akademis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya pada bidang pengolahan citra digital dan sistem inspeksi otomatis berbasis *Optical Character Recognition* (OCR) pada perangkat *embedded*. Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi ilmiah mengenai efektivitas berbagai metode *image preprocessing* dalam meningkatkan performa OCR pada perangkat komputasi berdaya rendah seperti Raspberry Pi.

2. Manfaat bagi Penulis

Penelitian ini menjadi sarana bagi penulis untuk mengembangkan pemahaman dan keterampilan dalam bidang pengolahan citra digital, analisis performa algoritma, serta implementasi sistem *embedded* berbasis Raspberry Pi dalam konteks sistem inspeksi otomatis.

3. Manfaat bagi Industri

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu opsi teknologi sistem inspeksi yang dapat dikembangkan lebih lanjut dalam pengembangan sistem inspeksi visual otomatis yang lebih efisien dan berbiaya rendah pada lingkungan industri manufaktur.