

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan pesat dalam teknologi *intelligent transportation systems* (ITS) telah mendorong transformasi fundamental dalam manajemen lalu lintas modern, pengawasan keamanan kendaraan, dan otomatisasi sistem parkir di era kota cerdas. Sebagai komponen inti dari ekosistem ini, teknologi *automatic license plate recognition* (ALPR) menuntut tingkat presisi dan kecepatan eksekusi yang tinggi untuk menangani volume data visual yang masif dari infrastruktur kamera pengawas. Studi terdahulu menegaskan bahwa transisi dari metode pengolahan citra konvensional menuju pendekatan berbasis *deep learning* telah meningkatkan robustitas sistem secara signifikan, terutama dalam kondisi lingkungan yang tidak terkendali (*unconstrained scenarios*) seperti variasi pencahayaan, cuaca buruk, dan oklusi parsial [1], [2]. Lebih lanjut, integrasi teknik *computer vision* mutakhir memungkinkan sistem untuk tidak hanya mendeteksi keberadaan kendaraan, tetapi juga mengekstraksi informasi tekstual identitas kendaraan secara *end-to-end* dengan latensi minimal [3].

Kebutuhan akan sistem otomasi ini menjadi sangat mendesak ketika diimplementasikan pada pusat aktivitas padat seperti Kawasan Industri Bintan Inti Industrial Estate (BIIE). Volume kendaraan operasional pekerja yang sangat tinggi pada jam pergantian *shift* sering kali memicu antrean panjang akibat proses inspeksi keamanan yang masih bergantung pada pencatatan manual. Lebih jauh, lingkungan kawasan industri secara natural mengekspos kendaraan pada polutan debu yang menyebabkan fisik pelat nomor menjadi kotor, kusam, dan sulit terbaca. Kombinasi antara degradasi visual akibat kotoran dan distorsi perspektif dari sudut tangkapan kamera pengawas menjadikan metode lokalisasi konvensional tidak lagi relevan, menuntut implementasi algoritma lokalisasi berorientasi (OBB) dan transkripsi sekuensial yang sangat adaptif terhadap anomali lapangan. Tantangan teknis dalam mempertahankan akurasi tinggi pada skenario dunia nyata yang dinamis tetap menjadi hambatan utama, memicu kebutuhan mendesak untuk mengeksplorasi arsitektur jaringan saraf tiruan yang lebih adaptif dibandingkan metode deteksi objek standar yang ada saat ini.

Dalam domain deteksi objek untuk ALPR, evolusi algoritma *You Only Look Once* (YOLO) telah menjadi standar industri karena keseimbangan superior antara kecepatan inferensi dan akurasi deteksi. Penelitian komparatif menunjukkan bahwa varian terbaru, khususnya YOLOv8, menawarkan peningkatan signifikan dalam ekstraksi fitur dan generalisasi model dibandingkan pendahulunya seperti YOLOv5 atau YOLO-NAS [4], [5]. Kendati demikian, mayoritas implementasi detektor ini masih bergantung pada mekanisme *horizontal bounding box* (HBB) yang mengasumsikan objek selalu sejajar dengan sumbu citra. Pendekatan HBB terbukti problematis ketika diterapkan pada pelat nomor kendaraan yang miring. Kotak pembatas horizontal akan mencakup area latar belakang yang tidak relevan (seperti bumper) serta elemen teks sekunder (seperti tanggal registrasi) dalam satu kotak yang sama. Hal ini menciptakan *noise* visual yang fatal bagi tahap pengenalan karakter selanjutnya. Model pengenal akan kesulitan membedakan antara karakter utama nomor polisi dan karakter gangguan di sekitarnya [6]. Pergeseran paradigma menuju metode lokalisasi yang mampu mengisolasi area minat secara presisi sangat diperlukan.

Penerapan *oriented bounding box* (OBB) diimplementasikan sebagai solusi vital dalam studi kasus ini sebagai upaya mengatasi limitasi geometri tersebut. Arsitektur ini tidak sekadar menghasilkan kotak pembatas, melainkan secara operasional mampu memprediksi parameter orientasi sudut (θ) yang secara presisi mengikuti kontur fisik pelat nomor yang sering kali terekam miring oleh kamera pengawas. Keunggulan teknis YOLOv8 OBB kemudian dimanfaatkan secara sekuensial untuk mengeksekusi prapemrosesan pelurusan citra (*image rectification*) pada area nomor polisi. Secara matematis, proses ini memanfaatkan *perspective transformation* atau transformasi afin untuk memetakan empat titik sudut poligon hasil deteksi (x_i, y_i) ke dalam bidang referensi ortogonal yang terstandarisasi [7]. Perhitungan matriks transformasi yang memutar citra sebesar $-\theta$ (berlawanan arah jarum jam) memungkinkan area nomor polisi dipotong (*cropped*) dan direkonstruksi menjadi citra tegak lurus yang bebas dari distorsi perspektif. Langkah rektifikasi ini sangat krusial untuk memisahkan baris teks utama (nomor polisi) dari gangguan baris kedua (tanggal registrasi) atau distorsi latar belakang, menstandarisasi input sebelum diproses lebih lanjut [8], [9].

Kebutuhan akan isolasi area teks yang presisi ini menjadi semakin mendesak pada kasus pelat nomor kendaraan di Indonesia yang menganut format tata letak fisik multibaris (*multi-line layout*), yang di dalamnya memuat informasi masa berlaku dan nomor polisi disusun secara vertikal namun berdekatan. Sebagian besar penelitian global cenderung berfokus pada pelat nomor baris tunggal standar Eropa, sehingga metode deteksi HBB biasa sering kali menggabungkan kedua baris tersebut menjadi satu blok informasi yang membingungkan mesin pengenalan [10], [11]. Pemanfaatan YOLOv8 OBB dalam penelitian ini bertujuan untuk secara spesifik menargetkan dan melakukan *crop* hanya area nomor polisi sebagai *region of interest* (ROI) tunggal, mengabaikan baris masa berlaku. Strategi reduksi ini meniadakan kebutuhan akan algoritma pemisahan baris (*line segmentation*) yang kompleks pascadeteksi, memastikan bahwa input yang dikirim ke tahap pengenalan adalah citra baris tunggal yang bersih dan terfokus hanya pada identitas utama kendaraan.

Pascaisolasi dan pelurusan citra area nomor polisi menjadi input baris tunggal (*single-line*), tantangan berikutnya beralih pada mekanisme pembacaan karakter. Metode tradisional berbasis segmentasi karakter (*character segmentation*) yang memotong setiap huruf secara individual mulai ditinggalkan akibat kerentanannya terhadap variasi spasi dan kerusakan fisik pada pelat [12], [13]. Arsitektur *sequence-based* seperti *convolutional recurrent neural network* (CRNN) diadopsi sebagai solusi yang lebih *robust* untuk membaca keseluruhan teks nomor polisi sebagai satu aliran sekuensial. CRNN menggabungkan kemampuan ekstraksi fitur visual dari *convolutional neural network* (CNN) dengan kemampuan pemrosesan sekuensial dari *recurrent neural network* (RNN) tipe Bi-LSTM atau GRU, yang diperkuat oleh *connectionist temporal classification* (CTC) loss [14], [15]. Mengingat input matriks yang diterima oleh CRNN telah terstandarisasi sebagai citra baris tunggal hasil *crop* presisi dari YOLOv8 OBB, model ini dapat bekerja secara optimal. Lapisan *recurrent* pada CRNN tidak lagi terganggu oleh derau teks tanggal registrasi, yang pada akhirnya menghasilkan ekstraksi sekuensial dengan tingkat akurasi jauh melampaui metode OCR konvensional [16], [17].

Tinjauan komprehensif terhadap literatur yang ada mengidentifikasi sebuah kesenjangan penelitian (*research gap*) yang signifikan: meskipun YOLOv8 dan

CRNN masing-masing telah diakui keunggulannya, belum ada kerangka kerja terpadu yang secara spesifik memanfaatkan presisi lokalisasi YOLOv8 OBB untuk mengisolasi dan meluruskan area nomor polisi dari gangguan tata letak multibaris sebelum diproses oleh CRNN. Penelitian terdahulu cenderung membiarkan detektor menangkap seluruh pelat (termasuk tanggal) atau menggunakan metode segmentasi yang rapuh [5], [18]. Penelitian ini urgen dilakukan untuk mengisi celah tersebut dengan merancang sebuah *pipeline* sistem yang mengintegrasikan lokalisasi YOLOv8 OBB, algoritma pelurusan citra (*image rectification*), dan CRNN sebagai model pengenalan karakter presisi tinggi. Pendekatan ini diharapkan memberikan kontribusi teknis berupa arsitektur ALPR yang komprehensif, sekaligus menjadi landasan untuk mengevaluasi sejauh mana tingkat akurasi dan efisiensi sistem tersebut dalam mengekstrak teks nomor polisi multibaris pada kondisi lingkungan nyata.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sejauh mana tingkat akurasi dan stabilitas komputasi dari arsitektur terintegrasi YOLOv8 OBB dan CRNN dalam mengidentifikasi pelat nomor multibaris pada kondisi nyata di Kawasan Industri BIIE?

C. Batasan Penelitian

Agar penelitian ini lebih terarah dan hasil eksperimen tetap relevan dengan tujuan utama, ruang lingkup pembahasan dibatasi pada:

1. **Akuisisi Citra Pelatihan:** Data primer diekstraksi melalui pemotretan statis kendaraan sepeda motor pribadi di area parkir Kawasan Industri BIIE menggunakan kamera *smartphone* pada jarak efektif 1–2 meter. Kondisi lingkungan dibatasi pada intensitas cahaya memadai (siang, sore, malam), dengan rentang pengambilan sudut pandang (*viewpoint*) hingga $\pm 45^\circ$ secara horizontal maupun vertikal terhadap sumbu normal pelat, serta mengabaikan degradasi ekstrem seperti hujan lebat, kabut tebal, atau gelap total.
2. **Eksklusi Data Pelatihan:** Himpunan data latih (*training dataset*) murni memuat pelat nomor standar sepeda motor Indonesia (latar hitam tulisan

putih dan latar putih tulisan hitam). Pelat nomor khusus (dinas pemerintah, militer/TNI/Polri, diplomatik, kendaraan listrik, pelat sementara) serta pelat dengan modifikasi bentuk huruf, dimensi, atau warna ekstrem di luar regulasi resmi tidak disertakan dalam fase pelatihan model.

3. **Pengujian Batas Toleransi (*Stress Testing*):** Pengujian ketangguhan operasional sistem dilakukan secara dinamis di area parkir luar kawasan BIIE menggunakan variasi pelat dinas, pelat modifikasi, serta pengujian distorsi sudut tajam pada rentang hingga $\pm 45^\circ$. Skenario ini diimplementasikan secara eksklusif sebagai fungsi kontrol untuk memetakan batas kemampuan dan kasus kegagalan sistem (*failure cases*).
4. **Cakupan Metodologi:** Model YOLOv8 *oriented bounding box* (OBB) dibatasi fungsinya sebagai detektor lokasi dan estimator sudut untuk rektifikasi citra. Model *convolutional recurrent neural network* (CRNN) dikhususkan untuk mengenali sekuens karakter pada baris pertama (nomor polisi) yang telah diluruskan, tanpa memproses teks masa berlaku pada baris kedua.
5. **Metrik Evaluasi:** Kinerja lokalisasi YOLOv8 OBB divalidasi menggunakan *precision*, *recall*, dan *mean average precision* (mAP). Kinerja pengenalan CRNN dievaluasi menggunakan metrik *character error rate* (CER).

D. Tujuan Penelitian

Sejalan dengan rumusan masalah yang telah ditetapkan, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat akurasi dan stabilitas komputasi dari implementasi *pipeline* terintegrasi YOLOv8 *oriented bounding box* (OBB) dan *convolutional recurrent neural network* (CRNN) dalam mengekstrak teks pelat nomor multibaris secara presisi pada kondisi nyata di Kawasan Industri BIIE.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat Teoretis

Penelitian ini membuktikan keunggulan YOLOv8 *oriented bounding box* (OBB) dan transformasi perspektif dalam mengatasi distorsi sudut kemiringan

objek. Selain itu, penelitian ini memperkaya literatur terkait keandalan *convolutional recurrent neural network* (CRNN) dalam pengenalan teks multibaris tanpa memerlukan segmentasi karakter eksplisit.

2. Manfaat Praktis

Penelitian ini menghasilkan sistem *automatic license plate recognition* (ALPR) yang tangguh dalam membaca pelat nomor multibaris pada kondisi pengambilan gambar dengan sudut ekstrem. Sistem ini dapat diimplementasikan langsung untuk mengoptimalkan *intelligent transportation systems* (ITS), seperti manajemen parkir otomatis dan tilang elektronik.

