

ABSTRAK

Karena meningkatnya permintaan penerapan sistem *Smart City* maka diperlukan sebuah Sistem Pengenalan Tanda Nomor Kendaraan (SPTNK) dengan tingkat akurasi dan efisiensi yang tinggi. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah dengan metode ekstraksi fitur dengan *Principal Component Analysis* (PCA) dan pengenalan *Radial Basis Function Network* (RBF-N). Penelitian ini mengimplementasikan sebuah Sistem Pengenalan Tanda Nomor Kendaraan (SPTNK) secara otomatis. Tahapan segmentasi dan klasifikasi diterapkan pada citra tanda nomor kendaraan. Tahapan segmentasi yang dilakukan adalah Operasi Morfologi Matematis, Analisis Histogram, *Connected Component Analysis* (CCA), dan *Hough Transform*. Segmentasi dilakukan pada 100 citra dengan akurasi segmentasi 64%. Untuk pengenalan karakter, ekstraksi fitur *Principal Component Analysis* (PCA) dan Jaringan Saraf *Radial Basis Function* (RBF-N) diterapkan. Algoritma PCA secara efektif mengurangi dimensi data fitur, dan model RBF-N berhasil mengenali karakter pada gambar tanda nomor kendaraan *input*. Evaluasi menunjukkan peningkatan jumlah fitur PCA dan *center* RBF mengurangi akurasi pengenalan dan menambah kompleksitas model. Model terbaik dipilih berdasarkan hasil evaluasi. Model terbaik mencapai akurasi sebesar 97,89%, 85,32%, dan 42,19% untuk *dataset* prediksi, implementasi per karakter, dan implementasi per tanda nomor kendaraan, secara berturut-turut. Meskipun tidak sempurna, hasil implementasi model yang dilatih dengan *dataset* yang relatif kecil ini mencapai akurasi sebesar 85,32% dan 42,19%. Waktu pelatihan dan pengenalan yang relatif singkat sehingga algoritma ini dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk penelitian atau implementasi lebih lanjut.

Kata Kunci: akurasi, ekstraksi fitur, evaluasi, PCA, pengenalan karakter, segmentasi, *Smart City*, SPTNK, tanda nomor kendaraan, RBF-N.

ABSTRACT

Due to the increasing demand for the implementation of Smart City systems, a high-accuracy and high-efficiency Automatic License Plate Recognition System (ALPRS) is needed. One of the methods that can be utilized is feature extraction using Principal Component Analysis (PCA) and recognition using Radial Basis Function Network (RBF-N). This research implements an automated Automatic License Plate Recognition System. The segmentation and classification stages are applied to segmented license plate images using Mathematical Morphology Operations, Histogram Analysis, Connected Component Analysis (CCA), and Hough Transform, achieving an accuracy of 64% on 100 images. For character recognition, feature extraction using PCA and classification using RBF-N are employed. The PCA algorithm effectively reduces the dimensionality of the feature data, and the RBF-N model successfully recognizes characters in the *input* license plate images. Evaluation shows that increasing the number of PCA features and RBF centers reduces recognition accuracy and increases model complexity. The best model is selected based on the evaluation results, achieving accuracies of 97.89%, 85.32%, and 42.19% for prediction, character-level implementation, and license plate-level implementation *datasets*, respectively. Although not perfect, the proposed implementation method trained on a relatively small *dataset* achieves implementation accuracies of 85.32% and 42.19%. The relatively short training and recognition times make this algorithm a promising consideration for further research or implementation.

Keywords: accuracy, ALPR, character recognition, evaluation, feature extraction, license plate, PCA, RBF-N, segmentation, Smart City.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR.....	i
ABSTRAK	ii
DAFTAR ISI	iv
Daftar Gambar	vii
Daftar Tabel.....	ix
Daftar Lampiran	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.2.1 Permasalahan.....	3
1.2.2 Metode Usulan	4
1.2.3 Pertanyaan Penelitian	4
1.3 Tujuan dan Manfaat.....	4
1.3.1 Tujuan Penelitian.....	4
1.3.2 Manfaat Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Sistematika Penulisan	6
BAB I PENDAHULUAN	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
BAB III METODE PENELITIAN.....	6
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	6
BAB V PENUTUP.....	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA	7
2.1 Karakter	7
2.2 <i>Optical Character Recognition (OCR)</i>	7
2.3 Pengertian Citra	8
2.4 <i>Image Preprocessing</i>	12
2.4.1 <i>Filter Median</i>	12
2.4.2 Histogram Citra	13
2.4.3 Peningkatan Citra	14
2.4.4 <i>Hough Transform</i>	16
2.4.5 <i>Resize Citra</i>	18

2.5	<i>Processing Citra</i>	18
2.5.1	<i>Global Thresholding</i>	18
2.5.2	Proyeksi Histogram	20
2.5.3	Operasi Morfologi Matematis Dilatasi Dan Erosi.....	21
2.5.4	<i>Connected Component Analysis (CCA)</i>	22
2.5.5	Segmentasi Citra	23
2.5.6	<i>Region Of Interest (ROI)</i>	25
2.6	Ekstraksi Fitur.....	26
2.6.1	Seleksi Fitur.....	26
2.6.2	Pengurangan Dimensi	27
2.7	Pembelajaran Mesin	27
2.7.1	<i>Supervised Learning</i>	28
2.7.2	<i>Unsupervised Learning</i>	28
2.7.3	<i>Training Dan Testing</i>	28
2.7.4	<i>K-Means Clustering</i>	29
2.8	Jaringan Saraf Tiruan.....	30
2.8.1	Arsitektur Dasar Jaringan Saraf Tiruan.....	30
2.8.2	<i>Multilayer Neural Network</i>	34
2.8.3	Kurva Pembelajaran <i>Neural Network</i>	34
2.9	Pengujian <i>K-Fold Cross Validation</i>	36
2.10	Penelitian Terkait	37
BAB III METODE PENELITIAN		45
3.1	Metode Usulan Dan Alur Penelitian.....	45
3.2	Akuisisi Data	46
3.3	<i>Preprocessing Citra</i>	46
3.4	Segmentasi Citra.....	48
3.5	Ekstraksi Fitur Dengan <i>Principal Component Analysis (PCA)</i>	51
3.5.1	<i>Principal Component Analysis (PCA)</i>	52
3.5.2	Perhitungan Manual PCA.....	53
3.6	Pengenalan dengan <i>Radial Basis Function Network (RBF-N)</i>	59
3.6.1	Jaringan Saraf Tiruan <i>Radial Basis Function (RBF-N)</i>	59
3.6.2	Tahapan <i>Training RBF-N</i>	62
3.6.3	Perhitungan Manual Tahapan <i>Training</i>	63
3.6.4	Tahapan <i>Testing RBF- N</i>	70
3.6.5	Perhitungan Manual Pada Tahap Pengujian.....	70

3.7	Skenario Pengujian	72
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		74
4.1	Data Uji Coba	74
4.1.1	<i>Splitting</i> Data <i>Training</i> untuk Proses <i>Training</i> Algoritma PCA dan RBF-N.....	74
4.2	<i>Preprocessing</i> Dan Segmentasi Data Implementasi.....	75
4.3	Ekstraksi Fitur PCA Pada <i>Dataset Training V1</i>	76
4.4	<i>Training</i> Dan Evaluasi Algoritma RBF-N Pada <i>Dataset Training V1</i>	78
4.4.1	<i>Training</i> Model RBF-N.....	78
4.4.2	Evaluasi Model dengan <i>K-Fold Cross Validation</i>	87
4.4.3	Pengenalan Menggunakan Jumlah Fitur PCA dan <i>Center</i> RBF Terbaik.....	90
4.4.4	Analisis Uji Coba	92
4.5	Hasil Skenario Pengujian Pada <i>Dataset Training V2</i>	93
4.5.1	Ekstraksi Fitur PCA	93
4.5.2	<i>Training</i> Model RBF-N Dan Evaluasi Performa Model dengan <i>K-Fold Cross Validation</i>	94
4.5.3	Pengenalan Menggunakan Jumlah Fitur PCA dan <i>Center</i> RBF Terbaik.....	96
4.5.4	Analisis Uji Coba Pada Model <i>Dataset Training V2</i>	97
BAB V PENUTUP		98
5.1	Kesimpulan	98
5.2	Saran	98
DAFTAR PUSTAKA		99
LAMPIRAN.....		102

Daftar Gambar

Gambar 2.1 Hasil deteksi karakter menggunakan OCR (a) Citra karakter optik (b) karakter setelah OCR.....	8
Gambar 2.2: Spektrum gelombang optik	9
Gambar 2.3: Sistem koordinat yang digunakan untuk merepresentasikan citra	9
Gambar 2.4: Citra berwarna	10
Gambar 2.5: Citra biner.....	11
Gambar 2.6: Citra <i>Grayscale</i>	11
Gambar 2.7: Contoh kerja <i>Filter Median</i> (a) contoh kerja; (b) citra asli terkontaminasi dengan <i>noise 'salt and pepper'</i> ; (c) hasil <i>Median filtering</i> (b).....	13
Gambar 2.8: Contoh histogram	14
Gambar 2.9: (a) Histogram sebelum diregangkan kontrasnya, (b) Histogram setelah diregangkan kontrasnya.	15
Gambar 2.10: Hasil peregangan kontras citra	15
Gambar 2.11: Histogram citra setelah dibalik.....	16
Gambar 2.12 (a) Rotasi maju searah jarum jam (b) Rotasi <i>inverse</i> berlawanan arah jarum jam..	17
Gambar 2.13: Hasil <i>Global Thresholding</i>	19
Gambar 2.14: Contoh proyeksi horizontal pada citra	20
Gambar 2.15: Contoh proyeksi vertikal pada citra (a) citra <i>input</i> biner (b) histogram proyeksi vertikal.....	20
Gambar 2.16: Elemen penstrukturan (a) dan hasil operasi Erosi dan Dilatasi pada citra <i>input</i> (b), (c) Hasil Erosi (d) Hasil Dilatasi	22
Gambar 2.17: Cara kerja CCA (a) Ilustrasi pendeteksian CCA (b) Pelabelan CCA	23
Gambar 2.18: Contoh proyeksi histogram (a) Citra biner (b) Proyeksi histogram horizontal citra (a)	23
Gambar 2.19: Contoh segmentasi tingkat kata (a) Citra biner setelah didilatasi (b) ROI citra (a)	24
Gambar 2.20 Segmentasi karakter pada kata. (a) Kata pada citra (b) Proyeksi horizontal kata (c) <i>Bounding box</i> setiap karakter (d) Hasil ekstraksi ROI karakter.....	25
Gambar 2.21: Hasil segmentasi tingkat baris. (a) <i>Bounding line</i> baris (b) <i>Region Of Interest</i> citra.	26
Gambar 2.22: Ilustrasi pengurangan dimensi.....	27
Gambar 2.23 <i>Layer</i> pada jaringan saraf tiruan	31
Gambar 2.24: Arsitektur <i>perceptron</i>	32
Gambar 2.25: Ilustrasi operasi perhitungan pada <i>perceptron</i>	33
Gambar 2.26 Arsitektur <i>Multilayer Neural Network</i>	34
Gambar 2.27 Kurva Pembelajaran (a) <i>Overfitting</i> (b) <i>Underfitting</i> (c) <i>Goodfitting</i>	36
Gambar 2.28: Skema <i>K-Fold Cross Validation</i> untuk $K=5$	37
Gambar 3.1: Alur penelitian.....	45
Gambar 3.2: Alur <i>Pre-processing</i> citra.	46
Gambar 3.3: Mengubah citra RGB ke <i>Grayscale</i> . (a) Citra RGB (b) Citra <i>Grayscale</i>	47

Gambar 3.4: Penerapan <i>Median filtering</i> pada citra <i>grayscale</i> . (a) Citra <i>Grayscale</i> (b) Citra <i>Filter Median</i>	47
Gambar 3.5: Proses perbaikan orientasi menerapkan metode <i>Hough Transform</i> . (a) Pendeteksian Garis (b) Citra setelah diperbaiki orientasinya.....	48
Gambar 3.6 Alur pemrosesan citra.....	48
Gambar 3.7: Penerapan (b) <i>Thresholding</i> pada citra (a) <i>grayscale</i>	49
Gambar 3.8: Proyeksi histogram secara vertikal. (a) Citra <i>threshold</i> (b) Proyeksi histogram Vertikal (c) <i>Bounding Box</i> ROI Baris (d) ROI baris setelah dilatasi.	49
Gambar 3.9: Pemfilteran kontur <i>noise</i> dengan CCA. (a) Citra biner dengan kontur <i>noise</i> (b) Citra biner tanpa kontur <i>noise</i>	50
Gambar 3.10: Segmentasi tingkat kata. (a) Citra biner (b) Citra biner setelah Dilatasi (c) Hasil ekstraksi tiap kata	50
Gambar 3.11: Segmentasi karakter pada kata. (a) Kata pada citra (b) Proyeksi horizontal kata (c) <i>Bounding box</i> setiap karakter (d) Hasil ekstraksi ROI karakter	51
Gambar 3.12: <i>Flowchart</i> ekstraksi fitur dengan PCA.....	51
Gambar 3.13: <i>Flowchart</i> Tahapan di dalam PCA.....	52
Gambar 3.14: Validasi nilai <i>eigenvector</i> untuk $\lambda \approx 2.102$	57
Gambar 3.15: <i>Flowchart</i> pengenalan dengan jaringan RBF-N.....	59
Gambar 3.16: Ilustrasi arsitektur jaringan RBF-N	60
Gambar 3.17: Ilustrasi pengaruh nilai <i>spread</i>	61
Gambar 4.1 Hasil <i>preprocessing</i> pada data citra tanda nomor kendaraan.	75
Gambar 4.2 Hasil visualisasi <i>eigenvectors</i> karakter (<i>eigen characters</i>)	76
Gambar 4.3 Pengaruh jumlah komponen PCA terhadap <i>Mean Squared Error</i> (MSE) rekonstruksi data.	78
Gambar 4.4 Evaluasi setiap model RBF-N pada <i>dataset training</i> v1 15 fitur dengan <i>center</i>	79
Gambar 4.5 Evaluasi setiap model RBF-N pada <i>dataset training</i> v1 30 fitur dengan <i>center</i> (a) 700 (b) 800 (c) 900 (d) 1000 (e) 1100.....	81
Gambar 4.6 Evaluasi setiap model RBF-N pada <i>dataset training</i> v1 55 fitur dengan <i>center</i> (a) 700 (b) 800 (c) 900 (d) 1000 (e) 1100.....	82
Gambar 4.7 Evaluasi setiap model RBF-N pada <i>dataset training</i> v1 70 fitur dengan <i>center</i> (a) 700 (b) 800 (c) 900 (d) 1000 (e) 1100.....	84
Gambar 4.8 Evaluasi setiap model RBF-N pada <i>dataset training</i> v1 95 fitur dengan <i>center</i> (a) 700 (b) 800 (c) 900 (d) 1000 (e) 1100.....	86
Gambar 4.9 <i>Chart</i> visualisasi performa (a) Akurasi (b) <i>Loss</i> (c) Waktu setiap model.....	87
Gambar 4.10 Hasil Prediksi (Pr) pada <i>dataset</i> prediksi karakter dari internet.....	92
Gambar 4.11 Hasil visualisasi <i>eigenvectors</i> karakter (<i>eigen characters</i>)	93
Gambar 4.12 Evaluasi model RBF-N pada data <i>training</i> baru dengan 30 fitur PCA dan <i>center</i> = 700	95

Daftar Tabel

Tabel 2.1 Tabel penelitian terkait.....	37
Tabel 3.1: <i>Dataset Input</i>	53
Tabel 3.2: Hasil normalisasi <i>dataset input</i>	54
Tabel 3.3: Perhitungan nilai z dari data normalisasi	54
Tabel 3.4: Hasil perhitungan matriks <i>covariance</i>	55
Tabel 3.5: Notasi <i>eigenvalues</i> pada tabel matriks <i>covariance</i>	55
Tabel 3.6 Perhitungan <i>eigenvectors</i>	58
Tabel 3.7 Perhitungan <i>eigenvectors</i> ternormalisasi.....	58
Tabel 3.8 hasil perhitungan <i>component score</i>	58
Tabel 3.9 Data <i>input</i> perhitungan manual	63
Tabel 3.10 Inisialisasi nilai pusat (<i>center</i>)	63
Tabel 3.11 Hasil perhitungan jarak data <i>training</i>	65
Tabel 3.12 Hasil perhitungan nilai aktivasi Gaussian	67
Tabel 3.13 Nilai Bobot (W) dan bias (b)	69
Tabel 3.14 Contoh data uji	70
Tabel 3.15 Jarak Euclidean data uji	70
Tabel 3.16 Fungsi aktivasi Gaussian data <i>test</i>	71
Tabel 3.17 Tabel skenario pengujian	73
Tabel 4.1 Spesifikasi setiap jenis <i>dataset</i> yang digunakan	74
Tabel 4.2 Spesifikasi <i>dataset training</i>	75
Tabel 4.3 Spesifikasi <i>dataset testing</i>	75
Tabel 4.4 Hasil proyeksi data <i>train</i> terhadap setiap <i>eigen characters</i>	77
Tabel 4.5 Hasil proyeksi data <i>training</i> dengan setiap jumlah komponen PCA.	77
Tabel 4.6 Spesifikasi setiap model RBF-N pada skenario 1	79
Tabel 4.7 Hasil evaluasi performa <i>training</i> dan <i>validation</i>	80
Tabel 4.8 Spesifikasi setiap model RBF-N pada skenario 2	80
Tabel 4.9 Hasil evaluasi performa <i>training</i> dan validasi setiap model pada skenario 2	81
Tabel 4.10 Spesifikasi setiap model RBF-N pada skenario 3	82
Tabel 4.11 Hasil evaluasi performa <i>training</i> dan <i>validation</i> setiap model pada skenario 3	83
Tabel 4.12 Spesifikasi setiap model RBF-N pada skenario 4	83
Tabel 4.13 Hasil evaluasi performa <i>training</i> dan <i>validation</i> setiap model pada skenario 4	84
Tabel 4.14 Spesifikasi setiap model RBF-N pada skenario 5	85
Tabel 4.15 Hasil evaluasi performa <i>training</i> dan <i>validation</i> setiap model pada skenario 5	86
Tabel 4.16 Hasil evaluasi <i>K-Fold Cross Validation</i> skenario uji coba 1, dengan $K=5$	88
Tabel 4.17 Hasil evaluasi <i>K-Fold Cross Validation</i> skenario uji coba 2, dengan $K=5$	88
Tabel 4.18 Hasil evaluasi <i>K-Fold Cross Validation</i> skenario uji coba 3, dengan $K=5$	89
Tabel 4.19 Hasil evaluasi <i>K-Fold Cross Validation</i> skenario uji coba 4, dengan $K=5$	89
Tabel 4.20 Hasil evaluasi <i>K-Fold Cross Validation</i> skenario uji coba 5, dengan $K=5$	90
Tabel 4.21 Model terbaik dari setiap evaluasi skenario pengujian menggunakan <i>K-Fold</i>	90
Tabel 4.22 Hasil akurasi model <i>training dataset v1</i>	91
Tabel 4.23 Hasil pengenalan model pada <i>dataset implementasi</i>	91

Tabel 4.24 Spesifikasi setiap jenis <i>dataset training</i> v2.	93
Tabel 4.25 Hasil proyeksi data train terhadap setiap <i>eigen characters</i>	94
Tabel 4.26 Spesifikasi model RBF-N pada skenario 2 dengan <i>center</i> = 700.....	94
Tabel 4.27 Hasil evaluasi performa <i>training</i> dan validasi	95
Tabel 4.28 Hasil model terbaik dari setiap skenario pengujian menggunakan <i>K-Fold</i>	96
Tabel 4.29 Hasil akurasi model <i>training dataset</i> v2.....	96
Tabel 4.30 Hasil implementasi pada 5 sampel <i>dataset</i> implementasi.....	97

Daftar Lampiran

Lampiran 1 Hasil <i>pre-processing</i> dan segmentasi	102
Lampiran 2 Spesifikasi jumlah parameter model RBF-N pada <i>dataset training v2</i>	103
Lampiran 3 Hasil evaluasi <i>training</i> model RBF-N pada <i>dataset training v2</i>	104
Lampiran 4 Hasil kurva pembelajaran pada setiap model yang dilatih dengan <i>dataset training v2</i>	105
Lampiran 5 Hasil evaluasi <i>K-Fold Cross Validation</i> model yang dilatih dengan <i>dataset training v2</i>	106