

PENDETEKSIAN POSISI PLAT NOMOR KENDARAAN MENGGUNAKAN METODE MORFOLOGI MATEMATIKA

Nanang Trisnadik^{*)}, Achmad Hidayatno, and R. Rizal Isnanto

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: nanangtrisnadik@gmail.com

Abstrak

Pengolahan citra digital memungkinkan teknologi komputer untuk dapat menganalisis data digital dari suatu citra. Dengan teknik pengolahan citra digital, data yang didapat dianalisis dan diproses sehingga menghasilkan suatu informasi yang diinginkan. Terdapat beberapa macam teknik pengolahan citra digital, salah satunya adalah morfologi matematika. Morfologi matematika merupakan teknik pengolahan citra digital yang didasarkan pada bentuk segmen atau region di dalam citra. Karena proses morfologi difokuskan pada pengolahan bentuk objek, maka operasi morfologi biasanya diterapkan pada citra biner. Terdapat 2 macam operasi dasar morfologi, yaitu dilasi dan erosi. Dilasi dapat didefinisikan sebagai proses “penumbuhan” atau “penebalan” objek citra biner. Sementara erosi merupakan proses mengecilkan atau menipiskan objek citra biner. Berdasarkan hal tersebut dalam PENELITIAN ini dibuat suatu aplikasi menggunakan metode morfologi matematika untuk mencari letak/posisi plat nomor kendaraan. Citra kendaraan bermotor ditangkap menggunakan kamera digital. Citra digital kemudian diproses melalui 3 tahap, yaitu tahap prapengolahan, tahap pencarian objek plat dengan operasi morfologi, dan tahap verifikasi posisi plat. Hasil akhir yang akan diperoleh adalah letak/posisi plat nomor kendaraan yang ditandai dengan area persegi pada citra masukan. Berdasarkan hasil pengujian terhadap 45 citra uji diperoleh tingkat keberhasilan pendeteksian sebesar 91,11 %. Tidak dapat dipungkiri masih terdapat beberapa kesalahan dalam deteksi posisi plat nomor kendaraan. Faktor-faktor yang mempengaruhi hasil deteksi yaitu tingkat kecerahan, distribusi pencahayaan, dan kondisi plat nomor kendaraan.

Kata Kunci : pengolahan citra, posisi plat, morfologi matematika

Abstract

Digital image processing allows computer technology to analyze digital data from an image. With digital image processing techniques, the acquired data was analyzed and processed to produce a desired information. There are several kinds of digital image processing techniques, one of them is the mathematical morphology. Mathematical morphology is a digital image processing techniques based on the segments form or regions in the image. Because the morphology process is focused on object shape processing, the morphological operations usually applied to binary image. There are 2 kinds of morphological basic operations, dilation and erosion. Dilation can be defined as the process of “growing” or “thickening” binary image object. While erosion is a shrink process or decimate binary image objects. Based on that, in this research be made an application using mathematical morphology method to find location/position of vehicle plate number. Vehicle image captured using a digital camera. The digital image is then processed through 3 stages, preprocessing, object search stage with morphology operation, and plate position verification stage. The acquired final result is the location/position of the vehicle plate number that marked with a rectangular area in the input image. Based on the tests on 45 test images, obtained 91,11% success rate of the detection. Undeniably there are some errors in the position detection of the vehicle plate number. Factors affecting the detection results are brightness, lightning distribution, and the condition of vehicle plate number.

Keywords: image processing, plate position, mathematical morphology

1. Pendahuluan

Pengolahan citra digital memungkinkan teknologi komputer untuk dapat menganalisis data digital dari suatu citra. Dengan teknik pengolahan citra digital, data yang

didapat dianalisis dan diproses sehingga menghasilkan suatu informasi yang diinginkan. Terdapat beberapa macam teknik pengolahan citra digital, salah satunya adalah morfologi matematika. Morfologi matematika merupakan teknik pengolahan citra digital yang

didasarkan pada bentuk segmen atau region di dalam citra. Karena proses morfologi difokuskan pada pengolahan bentuk objek, maka operasi morfologi biasanya diterapkan pada citra biner. Terdapat 2 macam operasi dasar morfologi, yaitu dilasi dan erosi. Dilasi dapat didefinisikan sebagai proses “penumbuhan” atau “penebalan” objek citra biner. Sementara erosi merupakan proses mengecilkan atau menipiskan objek citra biner. Terdapat 2 macam kombinasi dari operasi dilasi dan erosi, yaitu *opening* dan *closing*. Operasi *opening* merupakan operasi erosi yang dilanjutkan dengan dilasi. Operasi ini bersifat memperhalus kenampakan citra dan menyambung fitur yang terputus. Operasi *closing* merupakan kombinasi antara operasi dilasi dan erosi yang dilakukan secara berurutan. Operasi ini bersifat menutup atau menghilangkan lubang-lubang kecil yang ada dalam segmen objek.

Penelitian tentang aplikasi morfologi matematika sebelumnya pernah dilakukan oleh Eka Ardianto dkk^[1] yang menerapkan konsep morfologi matematika untuk mendeteksi lokasi/posisi angka meter listrik pada kWh meter. Penelitian lain dilakukan oleh Tri Putriyati Permata^[1] menerapkan konsep morfologi matematika untuk melakukan segmentasi iris mata.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, dalam penelitian ini dibuat sebuah perangkat lunak menggunakan metode morfologi matematika untuk mendeteksi posisi plat nomor kendaraan. Citra kendaraan ditangkap menggunakan kamera digital. Citra kemudian diproses menggunakan operasi morfologi yaitu dilasi dan *opening* untuk dapat mengetahui posisi dari plat nomor kendaraan.

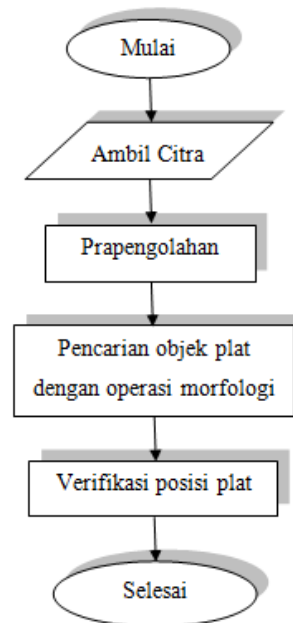
Tujuan dari penelitian ini adalah membuat program aplikasi yang memanfaatkan metode morfologi matematika untuk mendeteksi posisi plat nomor kendaraan bermotor.

2. Metode

2.1 Perancangan Sistem

Secara umum pembuatan program ini mengikuti alur sesuai yang ditunjukkan dalam Gambar 1. Terlihat bahwa terdapat tiga tahap utama dalam perancangan sistem ini. Tahap pertama yaitu tahap prapengolahan. Pada tahap prapengolahan ini terdapat empat proses yaitu proses perubahan ukuran citra (*resize*), konversi citra menjadi citra aras keabuan (*grayscale*), proses penapisan citra dan proses pengembangan. Tahap kedua adalah tahap pencarian objek plat dengan operasi morfologi. Operasi morfologi yang digunakan pada tahap ini adalah operasi dilasi dan operasi *opening*. Operasi dilasi digunakan untuk menggabungkan objek biner. Proses ini dilakukan supaya objek biner karakter plat dapat tergabung menjadi suatu objek seukuran plat nomor. Sementara operasi *opening* dilakukan untuk menyatakan tinggi plat minimal, tinggi plat maksimal, lebar plat minimal, dan lebar plat

maksimal. Tahap ketiga adalah tahap verifikasi posisi plat. Tahap ini terdiri dari dua proses yaitu proses verifikasi objek plat dan proses verifikasi titik koordinat pada objek plat yang telah ditemukan. Posisi plat akan ditandai dengan garis kotak berwarna merah pada citra masukan.



Gambar 1 Bagan umum sistem

a. Tahap Prapengolahan

Proses prapengolahan perlu dilakukan untuk menyesuaikan hal-hal yang dibutuhkan dalam proses-proses selanjutnya. Langkah pertama dalam tahap prapengolahan ini adalah mengubah ukuran citra. Perubahan bertujuan untuk mempercepat pemrosesan, oleh karena itu dipilih ukuran piksel yang tidak terlalu besar. Proses selanjutnya mengubah citra RGB menjadi citra aras keabuan (*grayscale*). Proses tersebut dilakukan pada setiap piksel citra, dengan cara ini setiap piksel memiliki satu jenis warna dengan intensitas yang berbeda-beda. Setelah proses ini dilakukan proses selanjutnya adalah proses penapisan terhadap citra hasil konversi aras keabuan. Proses penapisan berguna untuk meminimalisir derau yang terdapat dalam citra masukan serta mengurangi resiko terjadinya pengembangan yang tidak sempurna akibat adanya derau pada citra hasil proses konversi aras keabuan.

b. Tahap Pencarian Objek Plat dengan Operasi Morfologi

Pencarian objek plat ini dilakukan dengan memanfaatkan ciri plat nomor yaitu plat nomor terdiri dari deretan karakter alfanumerik, karakter terdiri dari objek tipis berupa garis dan karakter pada plat memiliki warna putih dengan latar belakangnya berwarna hitam. Tahap ini

merupakan tahap utama dalam proses pendeteksi posisi plat nomor. Pada tahap ini terdapat beberapa proses yang dilakukan yaitu :

Penghapusan Objek yang Lebih Besar dari Objek Karakter Plat

Proses ini bertujuan untuk menghapus objek yang memiliki luas lebih besar dari objek karakter plat maksimal. Proses ini diawali dengan pelabelan pada masing-masing objek hasil proses pengambangan. Setelah dilabeli, masing-masing label dihitung luasnya. Kemudian dicari objek yang memiliki luas lebih besar dari nilai ambang ukuran karakter plat maksimal. Nilai ambang ini akan diperoleh melalui penelitian pada sejumlah citra. Langkah selanjutnya adalah menghilangkan atau menghapus objek biner yang tidak sesuai dengan ketentuan dari nilai ambang yang digunakan.

Proses Dilasi

Dilasi merupakan operasi morfologi yang berfungsi untuk “penumbuhan” atau “penebalan” citra biner. Pengertian penebalan ini dikontrol oleh bentuk *structuring element* (*strel*) yang digunakan. Pada proses dilasi ini digunakan 2 bentuk *strel* yaitu :

- *Strel* garis horisontal, berfungsi untuk menebalkan objek biner ke arah kanan dan kiri (sejajar sumbu y). Proses ini dilakukan supaya karakter nomor plat dapat tergabung satu sama lain. Gambar 2 merupakan contoh matriks *strel* garis horisontal dengan panjang = 7.

1	1	1	(1)	1	1	1
---	---	---	-----	---	---	---

Gambar 2 Contoh matriks *strel* garis horisontal

- *Strel* garis vertikal, berfungsi untuk menebalkan objek biner ke arah atas dan bawah (sejajar sumbu x). Proses ini dilakukan supaya karakter nomor plat dapat tergabung dengan karakter masa berlaku plat. Gambar 3 merupakan contoh matriks *strel* garis vertikal dengan panjang = 7.

1
1
1
(1)
1
1
1

Gambar 3 Contoh matriks *strel* garis vertikal

Pada tahap ini proses dilasi dilakukan supaya beberapa objek karakter plat dapat tersambung atau tergabung menjadi satu bagian, sehingga dapat membentuk objek kotak seukuran plat yang akan dijadikan sebagai acuan dalam proses pencarian objek plat dengan operasi morfologi selanjutnya. Panjang *strel* yang akan digunakan ditentukan melalui penelitian terhadap sejumlah citra.

Opening Tinggi Plat

Proses *opening* ini berfungsi untuk menghapus objek yang lebih tinggi dan lebih rendah dari objek plat. Proses *opening* tinggi plat dilakukan dengan menggunakan *strel* garis vertikal. Pada citra biner hasil proses dilasi dilakukan *opening* 1 (tinggi minimal plat) dengan menggunakan *strel* garis vertikal. Proses *opening* 1 ini akan menghapus objek yang memiliki tinggi kurang dari objek plat. Setelah itu, dilakukan proses *opening* 2 terhadap citra hasil proses *opening* 1 dengan menggunakan *strel* garis vertikal. Proses *opening* 2 ini akan menghapus objek dengan tinggi seukuran tinggi objek plat maksimal. Setelah itu dilakukan pengurangan citra hasil *opening* 1 dengan *opening* 2. Dengan pengurangan citra ini, maka objek yang lebih tinggi dari objek plat akan terhapus. Pada tahap ini panjang *strel* yang digunakan ditentukan melalui penelitian terhadap sejumlah citra.

Opening Lebar Plat

Proses *opening* ini bertujuan untuk menghapus objek yang memiliki lebar lebih besar dan lebih kecil dari objek plat. Pada proses *opening* lebar plat digunakan *strel* garis horisontal. Langkah pertama yang dilakukan adalah proses *opening* 1 (lebar minimal plat) dengan menggunakan *strel* garis horisontal. Proses *opening* 1 ini akan menghapus objek dengan lebar kurang dari objek plat. Setelah itu, dilakukan proses *opening* 2 terhadap citra hasil proses *opening* 1 dengan menggunakan *strel* garis horisontal. *Opening* 2 ini akan menghapus objek dengan lebar seukuran dengan lebar objek plat maksimal. Setelah itu dilakukan pengurangan citra hasil *opening* 1 dengan *opening* 2. Dengan pengurangan citra ini, maka objek yang lebih lebar dari objek plat akan terhapus. Pada tahap ini panjang *strel* yang digunakan ditentukan melalui penelitian terhadap sejumlah citra. Tahap ini akan menghasilkan beberapa objek. Objek plat merupakan objek yang memiliki luas paling besar.

c. Tahap Verifikasi Posisi Plat

Tahap ini akan memverifikasi objek plat dan mencari titik koordinat dari objek plat tersebut. Verifikasi objek plat dilakukan dengan menghapus objek yang lebih kecil dari objek plat. Setelah memperoleh objek akhir deteksi plat, maka posisi objek plat dapat diperoleh dengan melacak batas vertikal dan horisontal dari citra biner tersebut. Setelah diperoleh titik koordinatnya, kemudian membuat

garis kotak berwarna merah untuk menandai posisi plat pada citra masukan.

3. Hasil dan Analisis

3.1 Tahap Prapengolahan

Dalam pengujian tahap prapengolahan ini ada beberapa tahap yang harus dilewati. Sehingga, pada citra hasil prapengolahan nanti akan terdapat banyak perbedaan dari citra masukannya. Citra masukan dapat dilihat pada Gambar 4 dan hasil tahap prapengolahan dapat dilihat pada Gambar 5.



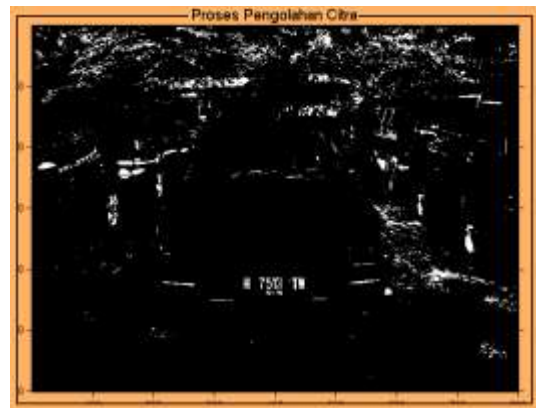
Gambar 4 Citra masukan



Gambar 5 Hasil proses prapengolahan

3.2 Pengujian Tahap Penghapusan Objek yang Lebih Besar dari Objek Karakter Plat

Penghilangan atau penghapusan objek ini dilakukan dengan menggunakan nilai ambang yang diperoleh melalui penelitian pada 20 citra mobil. Pada penelitian ini, nilai ambang ditentukan melalui 4 buah percobaan, yaitu nilai ambang 100, 200, 300 dan 400. Dari hasil percobaan, nilai ambang 400 memiliki tingkat akurasi yang paling baik. Gambar 6 menunjukkan hasil akhir dari proses pengujian tahap ini.



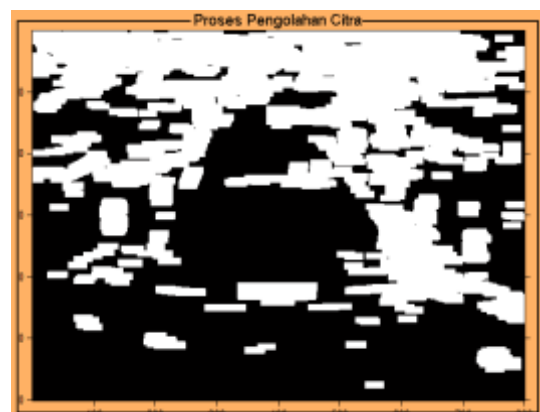
Gambar 6 Tampilan hasil proses penghapusan objek yang lebih besar dari objek karakter plat

3.3 Pengujian Tahap Proses Dilasi

Proses dilasi ini dilakukan untuk menggabungkan beberapa objek karakter plat menjadi satu bagian, sehingga dapat membentuk objek kotak seukuran plat yang akan dijadikan sebagai acuan dalam proses pencarian objek plat selanjutnya. Pada proses dilasi ini terdapat 2 langkah yang dilakukan, yaitu :

1. Menebalkan objek karakter plat ke arah kanan dan kiri (sejajar sumbu y). Hal ini dilakukan supaya karakter nomor plat dapat tergabung menjadi satu bagian. *Strel* yang digunakan berupa *strel* garis horisontal. Panjang *strel* diperoleh melalui penelitian terhadap 20 citra mobil. Pada penelitian ini, panjang *strel* ditentukan melalui 3 buah percobaan, yaitu panjang *strel* 21, 25, dan 31. Dari hasil percobaan panjang *strel* = 31 memiliki tingkat akurasi yang paling baik.
2. Menebalkan objek karakter plat ke arah atas dan bawah (sejajar sumbu x). Hal ini dilakukan supaya karakter nomor plat dapat tergabung dengan karakter masa belaku plat. *Strel* yang digunakan berupa *strel* garis vertikal dengan panjang *strel* = 11.

Tampilan hasil pengujian tahap proses dilasi dapat dilihat pada Gambar 7.

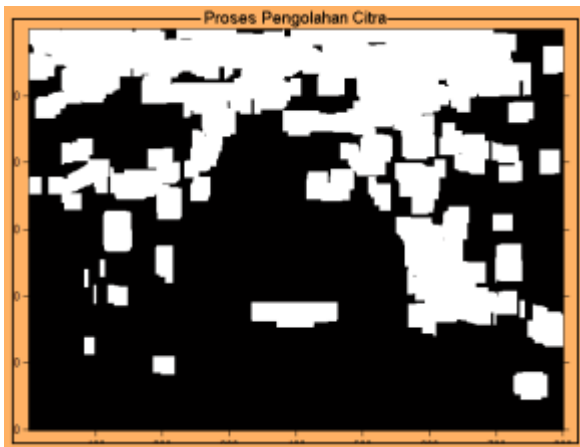


Gambar 7 Hasil pengujian tahap proses dilasi

3.4 Tahap Proses *Opening* Tinggi Minimal dan Tinggi Maksimal Plat

3.4.1 *Opening* Tinggi Minimal Plat

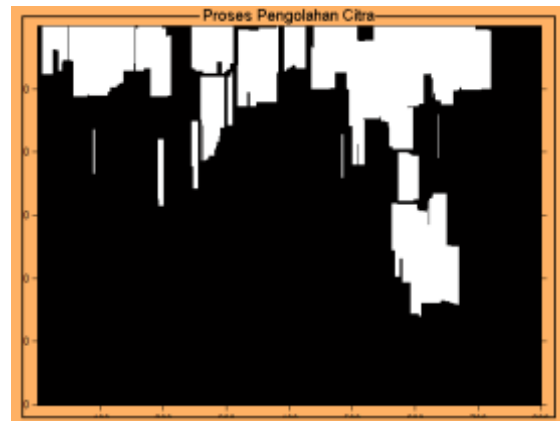
Proses ini dilakukan untuk menghapus objek yang lebih rendah dari objek plat. Digunakan *strel* berupa garis vertikal untuk melakukan proses *opening* ini. Panjang *strel* diperoleh melalui penelitian terhadap 20 citra mobil. Pada penelitian ini, panjang *strel* ditentukan melalui tiga buah percobaan, yaitu panjang *strel* 21, 25, dan 31. Dari hasil percobaan panjang *strel* 25 memiliki tingkat akurasi yang baik. Gambar 8 merupakan hasil tahap proses *opening* tinggi minimal plat.



Gambar 8 Hasil pengujian tahap proses *opening* tinggi minimal plat

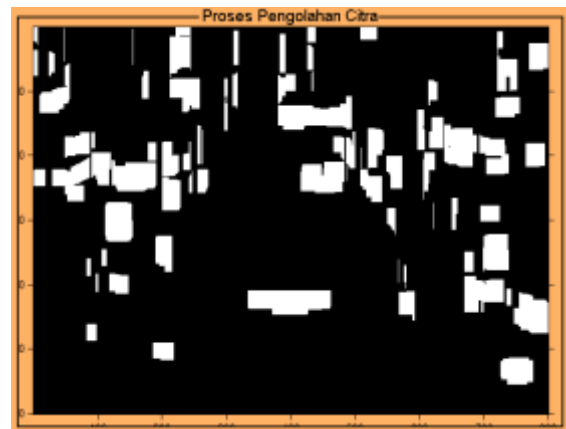
3.4.2 *Opening* Tinggi Maksimal Plat

Proses ini dilakukan untuk menghapus objek yang lebih tinggi dari objek plat maksimal. Terdapat 2 langkah yang dilakukan dalam proses ini. Langkah yang pertama yaitu menghapus objek yang memiliki tinggi seukuran dengan tinggi objek plat. Digunakan *strel* berupa garis vertikal untuk melakukan langkah ini. Panjang *strel* diperoleh melalui penelitian terhadap 20 citra mobil. Pada penelitian ini, panjang *strel* ditentukan melalui tiga buah percobaan, yaitu panjang *strel* 61, 65, dan 71. Dari hasil percobaan panjang *strel* = 65 memiliki tingkat akurasi yang paling baik. Gambar 9 merupakan hasil proses penghapusan objek yang seukuran dengan tinggi objek plat.



Gambar 9 Hasil pengujian tahap proses *opening* tinggi maksimal plat

Langkah kedua adalah mengurangi citra hasil proses tersebut dengan citra sebelumnya. Sehingga objek yang memiliki tinggi lebih besar dari objek plat akan terhapus, seperti yang terlihat pada Gambar 10.

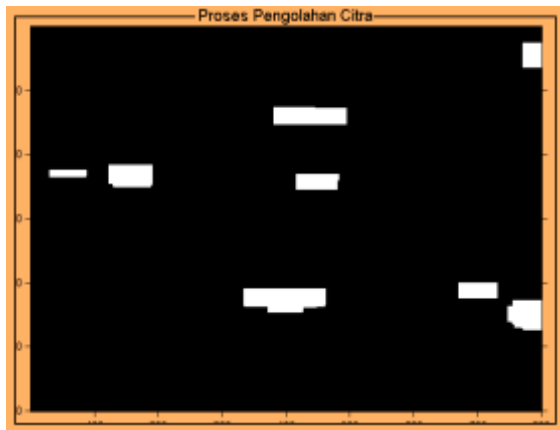


Gambar 10 Hasil pengujian tahap proses *opening* tinggi plat

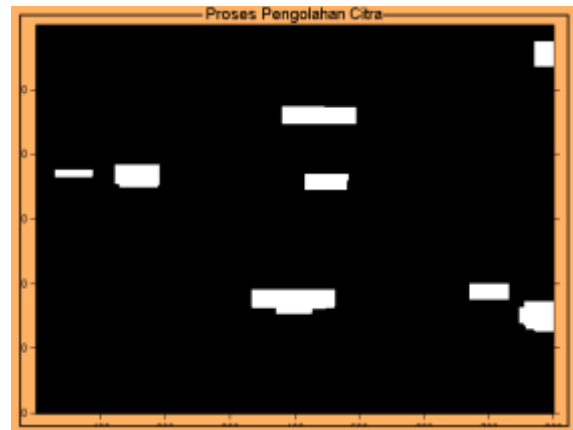
3.5 Tahap Proses *Opening* Lebar Minimal dan Lebar Maksimal Plat

3.5.1 *Opening* Lebar Minimal Plat

Proses ini dilakukan untuk menghapus objek yang memiliki lebar lebih kecil dari objek plat. Digunakan *strel* berupa garis horisontal untuk melakukan proses *opening* ini. Panjang *strel* diperoleh melalui penelitian terhadap 20 citra mobil. Pada penelitian ini, panjang *strel* ditentukan melalui 3 buah percobaan, yaitu panjang *strel* 51, 55, dan 61. Dari hasil percobaan panjang *strel* 55 memiliki tingkat akurasi yang paling baik. Gambar 11 merupakan hasil proses penghapusan objek yang memiliki lebar lebih kecil dari objek plat.



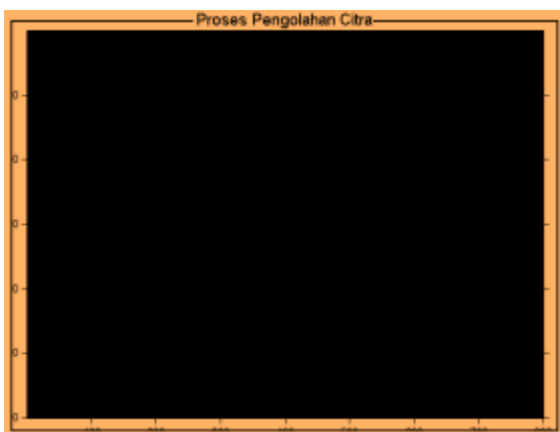
Gambar 11 Hasil pengujian tahap proses penghapusan objek yang memiliki lebar lebih kecil dari objek plat



Gambar 13 Hasil pengujian tahap proses *opening* lebar plat

3.5.2 *Opening* Lebar Maksimal Plat

Proses ini dilakukan untuk menghapus objek yang lebih lebar dari objek plat maksimal. Terdapat 2 langkah yang dilakukan dalam proses ini. Langkah pertama yaitu menghapus objek yang memiliki lebar seukuran dengan lebar objek plat. Digunakan *strel* berupa garis horisontal untuk melakukan langkah ini. Panjang *strel* diperoleh melalui penelitian terhadap 20 citra mobil. Pada penelitian ini, panjang *strel* ditentukan melalui 3 buah percobaan, yaitu panjang *strel* 171, 175, 181, dan 185. Dari hasil percobaan panjang *strel* = 185 memiliki tingkat akurasi yang paling baik. Gambar 12 merupakan hasil proses penghapusan objek yang seukuran dengan lebar objek plat.

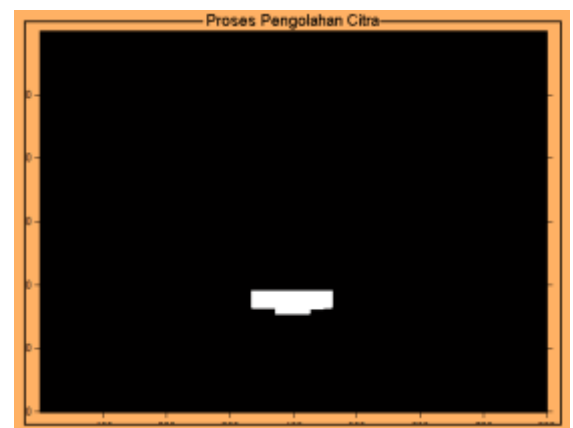


Gambar 12 Hasil pengujian tahap proses *opening* lebar maksimal plat

Langkah kedua adalah mengurangi citra hasil proses tersebut dengan citra sebelumnya. Sehingga objek dengan lebar lebih besar dari objek plat akan terhapus. Tahap ini akan dihasilkan objek plat yang memiliki luas paling besar, seperti yang terlihat pada Gambar 13.

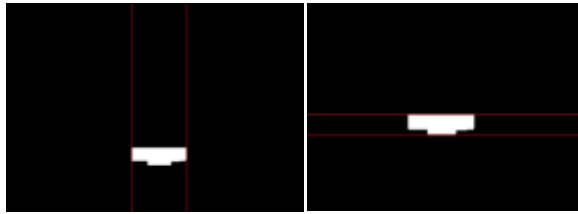
3.6 Pengujian Tahap Proses Verifikasi Posisi Plat

Verifikasi objek plat dilakukan dengan menghapus objek yang memiliki luas lebih kecil dari objek plat. Gambar 14 merupakan hasil proses penghapusan objek yang lebih kecil dari objek maksimal plat.



Gambar 14 Hasil proses penghapusan objek yang lebih kecil dari objek maksimal plat

Setelah dideteksi objek plat, langkah selanjutnya adalah mencari koordinat dari objek plat yang terdeteksi. Pencarian dilakukan dengan melacak batas vertikal dan horisontal dari objek plat tersebut. Batas awal vertikal diperoleh dengan menelusuri citra dari kolom pertama hingga kolom terakhir (sumbu y) sampai ditemukannya piksel putih. Kemudian untuk batas akhir vertikal didapat dari batas akhir dari piksel putih yang ditelusuri tersebut. Sementara batas awal horisontal diperoleh dengan menelusuri citra dari baris pertama hingga baris terakhir (sumbu x) sampai ditemukannya piksel putih. Kemudian untuk batas akhir horisontal didapat dari batas akhir dari piksel putih yang ditelusuri tersebut. Ilustrasi penelusuran batas vertikal dan horisontal seperti yang terlihat pada Gambar 15.



Gambar 15 Ilustrasi penelusuran batas vertikal koordinat

Setelah didapat koordinat posisi dari objek plat, kemudian menggunakan koordinat tersebut untuk memberi tanda kotak merah pada citra masukan tentang posisi dari plat yang ditemukan. Seperti yang terlihat pada Gambar 16.



Gambar 16 Tampilan pengujian proses verifikasi posisi plat

3.7 Pengujian Data Uji

Pengujian pendeteksian posisi plat dilakukan terhadap 45 citra uji. Berikut hasil pendeteksian untuk keseluruhan data uji:

Tabel 1. Contoh Hasil Pengujian Data Uji

No	Plat Nomor	Prapengolahan	Operasi Morfologi	Verifikasi	Keterangan
1	H 7513 TW	√	√	√	Berhasil
2	AD 9327 WH	√	√	√	Berhasil
3	H 8851 LB	x	-	-	Gagal
4	H 9463 QC	√	√	√	Berhasil
5	G 8963 GB	√	√	√	Berhasil
6	H 8864 WY	√	√	√	Berhasil
7	H 8514 JS	√	√	√	Berhasil
8	H 9166 SG	√	√	√	Berhasil

Pada Tabel 1 digunakan 3 macam simbol untuk mengisi tabel berdasarkan keberhasilan pada proses prapengolahan, proses operasi morfologi, dan proses verifikasi. Tanda centang (√) pada tabel di atas menunjukkan bahwa program telah berhasil mengenali citra, tanda (x) berarti proses gagal dilakukan dan program tidak berhasil mengenali dengan baik, sedangkan tanda (-) berarti proses tidak dilanjutkan karena proses sebelumnya tidak berhasil.

3.8 Analisis terhadap Pengujian Data Uji

Dari hasil dapat dikalkulasi ternyata banyak mobil yang berhasil dideteksi posisi plat nomornya adalah 41 serta banyak citra uji total adalah 45. Maka persentase pendeteksian dari pengujian data uji sebesar 91,11 %.

Dari pengujian tersebut terdapat beberapa citra mobil yang tidak dapat dideteksi posisi plat nomornya. Salah satu faktor yang menyebabkan kegagalan dalam proses deteksi posisi plat adalah proses pengambangan yang gagal, artinya proses pengambangan menyebabkan karakter plat nomor tidak terbaca, sehingga proses morfologi tidak dapat menemukan adanya karakter dalam citra, akibatnya tidak ada objek yang terdeteksi atau objek lain terdeteksi sebagai plat. Faktor-faktor yang menyebabkan proses pengambangan tidak tepat antara lain:

1. Kondisi pengambilan citra, seperti pencahayaan (penyebaran intensitas) yang tidak merata, yang disebabkan karena pantulan cahaya yang tajam pada bagian tertentu citra atau citra yang kabur.
2. Kondisi dari plat nomor kendaraan.

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan pada bab sebelumnya dapat disimpulkan bahwa penggunaan operasi morfologi sangat bergantung pada *structuring element* yang digunakan. Penggunaan jangkauan *strel* yang terlalu besar memungkinkan sistem mengenali ukuran plat yang lebih bervariasi, tetapi kegagalan yang ditimbulkan juga semakin tinggi. Jadi pemilihan *strel* harus disesuaikan dengan domain aplikasinya dan harus meminimalisir kegagalan sistem. Pada tahap pengujian data uji menghasilkan persentase pendeteksian 91,11% untuk keseluruhan data uji.

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi hasil pendeteksian posisi plat yaitu cara pengambilan citra, tingkat pencahayaan yang tidak merata (penyebaran intensitas), rusak atau tidaknya plat nomor, dan penggunaan parameter panjang *strel*. Saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut adalah untuk meminimalisir pengaruh tingkat kecerahan pada citra mobil, sebaiknya diperlukan algoritma untuk menentukan kecerahan secara otomatis (adaptif) seperti algoritma *Contrast-limited adaptive histogram equalization (CLAHE)* agar pada proses perubahan ke citra biner tidak mengalami kendala. Kemudian untuk mendapatkan nilai panjang *strel* yang akurat, sebaiknya dilakukan penelitian dengan menggunakan citra uji yang lebih banyak.

Referensi

- [1]. Ardianto, E. dkk, *Rancang Bangun Aplikasi Pengolah Gambar Digital untuk Segmentasi Otomatis Lokasi Objek Angka pada Meter Listrik*, Fakultas Teknologi Informasi Universitas Stikubank, Semarang, 2011.
- [2]. Gea, K. N. Natalius, *Pengenalan Plat Nomor Polisi Kendaraan Bermotor Dengan Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan*, Jurusan Teknik Informatika Universitas Komputer Indonesia, Bandung , 2006.
- [3]. Hakim, A. W., *Penghapusan Noise Pada Citra Dengan Filter Adaptive-Hierarchical*, Jurusan Teknologi Informasi ITS, Surabaya, 2006.
- [4]. Harjoko, A., dan Sela, EI., *Deteksi dan Identifikasi Ukuran Objek Abnormal*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2011.
- [5]. Hendry, J., *Menghaluskan Citra Dengan Filter Spasial Nonlinier: Median, Mean, Max, Min Pada Pengolahan Citra Digital*, Jurusan Teknik Elektro UGM, Yogyakarta, 2009.
- [6]. Iswanto, N. dkk, *Desain dan Implmentasi Color Code untuk Verifikasi Nomor Kendaraan Bermotor pada Sistem Parkir*, Program Studi Telekomunikasi, Institut Teknologi Telkom, Bandung, 2010.
- [7]. Jain, A. K., *Fundamentals of Digital Image Processing*, Prentice Hall International Edition, New York, 1998.
- [8]. James, *Identifikasi Plat Nomor Mobil Dengan Skeletonisasi Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan*, Jurusan Teknik Elektro UI, Jakarta, 2007.
- [9]. Liliana, dkk, *Segmentasi Plat Nomor Kendaraan Dengan Menggunakan Metode Run-Length Smearing Algorithm (RLSA)*, Jurusan Teknik Informatika UK Petra, Surabaya, 2010.
- [10]. Martin, F. Dkk, *New Methods For Automatic Reading of VLP's (Vehicle License Plates)*, Departamento de Tecnologías de las Comunicaciones Universidad de Vigo, Vigo, Spain.
- [11]. Permata, T. P., *Segmentasi Iris Mata Menggunakan Metode Deteksi Tepi dan Operasi Morfologi*, Jurusan Sistem Informasi Universitas Gunadarma, 2009.
- [12]. Prasetyo, Eko., *Pengolahan Citra Digital dan Aplikasinya Menggunakan Matlab*, ANDI, Yogyakarta, 2011.
- [13]. Rinaldi, M., *Pengolahan Citra Digital dengan Pendekatan Algoritmik*, Informatika, Bandung, 2004.
- [14]. Susilawati, I., *Teknik Pengolahan Citra: Mathematical Morphology*, Jurusan Teknik Elektro Universitas Mercu Buana, Yogyakarta, 2009.
- [15]. Susilawati, I., *Teknik Pengolahan Citra: Restorasi Citra*, Jurusan Teknik Elektro Universitas Mercu Buana, Yogyakarta, 2009.
- [16]. Utami, S. E., *Pembacaan Plat Nomor Kendaraan Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan (JST) Backpropagation Berbasis Image Processing*, Jurusan Teknik Telekomunikasi ITS, Surabaya, 2009.
- [17]. Wicaksana, R. P., *Pengenalan Plat Nomor Kendaraan Secara Otomatis Untuk Pelanggaran Lalu Lintas*, Jurusan Teknik Elektro ITS, Surabaya, 2010.
- [18]. Yuniarti, A. dkk, *Metode Shape Descriptor Berbasis Shape Matrix untuk Estimasi Bentuk Structuring Element*, Jurusan Teknik Informatika ITS, Surabaya, 2005.
- [19]. Yuwono, B., *Image Smoothing Menggunakan Mean Filtering, Median Filtering, Modus Filtering dan Gaussian Filtering*, Jurusan Teknik Informatika UPN, Yogyakarta, 2000.
- [20]. ---, *Computer Vision*, http://arsyablog.blogspot.com/2012/10/computer-vision_html, Desember 2012.
- [21]. ---, *Computer Vision*, http://nobelug.blogspot.com/2012/11/computer-vision_html, Desember 2012.
- [22]. ---, *Kecerdasan Buatan*, <http://rehulina.wordpress.com/2009/08/05/pengertian-kecerdasan-buatan/>, Desember 2012.
- [23]. ---, *Plat Nomor Kendaraan*, http://id.wikipedia.org/wiki/Tanda_nomor_kendaraan_bermotor, Desember 2012.