

## Deteksi dan Klasifikasi Kendaraan menggunakan Algoritma *Backpropagation* dan Sobel

Rama Adistya<sup>1,2,a\*</sup>, M. Aziz Muslim<sup>1,b</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Magister Teknik, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Informatika, Universitas PGRI Ronggolawe, Tuban, Indonesia

<sup>a</sup>ramaadistyanurcahya@gmail.com, <sup>b</sup>muh\_aziz@ub.ac.id

**Abstract.** *Vehicle object recognition is a very interesting and everlasting research topic. The use of appropriate algorithms have a significant impact in the process of recognition and calculation. Proposed approach is designed and implemented using java. This system contain an application which can classify vehicles to recognize passing the toll road Surabaya-Malang km 34 using Backpropagation for learning and Sobel in Introduction to objects. In the process of image processing, the binary data of 10x10 pixels is used as input values for the neural network with 3 layers, and or learning rate 0.3. Training process stops with a maximum value of 10,000 MSE (Mean Square Error) 0.0001. Success rate on the morning, noon, night test where 94.63%, 93.85% and 68.32%.*

**Keywords.** *Backpropagation, Edge Detection, Neural Networks, Image Processing, Sobel.*

**Abstrak.** Pengenalan objek kendaraan adalah topik yang sangat menarik untuk dijadikan bahan penelitian yang tak ada habisnya. Penggunaan Algoritma yang tepat memberikan dampak yang signifikan dalam proses pengenalan dan perhitungannya Sistem dalam jurnal ini dirancang dan diimplementasikan menggunakan java. Sistem ini mewujudkan sebuah aplikasi yang mana dapat mengklasifikasikan kendaraan berdasarkan golongan yang melintas pada ruas tol surabaya-malang km 34 dengan menggunakan *Backpropagation* untuk *learning* dan *Sobel* dalam Pengenalan objek. Pada proses *image processing*, data yang digunakan 10x10 kemudian dibinerisasi untuk dijadikan nilai input pada jaringan syaraf tiruan menggunakan 3 layer, learning rate 0.3. Training proses berhenti dengan nilai maksimal 10.000 MSE (*Mean Square Error*) 0.0001. Tingkat pengujian sistem pada pagi, siang, malam secara rata-rata adalah 94,63% , 93,85% , dan 68,32%.

**Kata kunci.** *Backpropagation, Deteksi Tepi, Jaringan Syaraf Tiruan , Pengolahan citra, Sobel.*

### Latar Belakang

Pada era saat ini, pertumbuhan sektor transportasi di Indonesia sangat tinggi, namun perkembangan infrastruktur tidak memadai. Hal ini mengakibatkan penumpukan kendaraan baik itu di jalan raya ataupun di jalan bebas hambatan (tol). Dengan adanya Surat MA Nomor: 7/PR/I/7 P/HUM/TH.2014 yang menyetujui Permen soal mobil murah telah diregistrasi dengan register No. 7 P/HUM/Th.2014 pada tanggal 24 Januari 2014 akan berdampak signifikan dalam bertambahnya jumlah kendaraan, Maka perlu ditemukan solusi mengenai hal tersebut dengan mengumpulkan sampling kendaraan apa saja yang melintasi area-area yang dirasa bisa berdampak kemacetan.

Berdasarkan dari Permen tersebut maka untuk mencegah adanya penumpukan jumlah kendaraan dibutuhkan data statistik mengenai jumlah kendaraan yang melintasi di jalan tol Surabaya-Malang serta mengidentifikasi golongan dari kendaraan dengan cara mengklasifikasikan ke dalam parameter yang telah di berikan. Mengacu pada penelitian sebelumnya, [1] berdasarkan hasil perancangan, analisis, desain, dan pengujian system, dengan menggunakan algoritma canny ada keterbatasan yaitu tidak dapat mengenali kendaraan ketika malam datang atau pada keadaan gelap dengan respon waktu yang lama, sedangkan untuk algoritma Robert dan Prewitt sangat buruk dalam mengenali objek yang bergerak [1]. Berdasarkan dari acuan tersebut dapat digunakan metode *Backpropagation* dalam mengenali dan mengklasifikasikan golongan kendaran berdasarkan panjang

dan lebar di titik sudut kendaraan. Untuk mendapatkan ciri-ciri kendaraan dilakukan proses ekstraksi ciri menggunakan Sobel.

Dalam beberapa penelitian yang lainnya didapatkan kesimpulan bahwa Pelatihan atau pembelajaran suatu sistem, bobot atau nilai parameter sebuah data akan diperbarui di setiap iterasi sedemikian hingga diperoleh bobot yang sesuai dengan model data. Sedangkan proses uji akan menentukan seberapa akurat prediksi yang telah dilakukan [2]. Hal inilah yang membuat metode backpropagation unggul dari metode yang lain menurut [3]. Kebutuhan mengenai data-data dalam pengklasifikasian kelas-kelas pada kendaraan yang menggunakan jalan raya dapat memberikan data penting ke sistem dalam mengambil sebuah kebijakan. Dimana sistem dapat mendeteksi, mengelompokkan dan mengklasifikasi jenis kendaraan yang sudah ditetapkan dan memberikan informasi mengenai kendaraan tersebut.

Berdasarkan paparan diatas pada penelitian ini dibuat parameter yang bisa mengklasifikasi jenis-jenis kendaraan dan menghitung banyaknya kendaraan yang melewati tol Surabaya-Malang pada area yang ditentukan, yang mungkin bisa menimbulkan kemacetan dan mampu memberikan solusi kepada pemerintah setempat nantinya dalam pengambilan keputusan dan kebijakan berdasarkan data yang diberikan oleh aplikasi ini.

## Tinjauan Pustaka

### Citra

Citra adalah suatu representasi (gambaran), kemiripan, atau imitasi dari suatu objek. Citra sebagai keluaran suatu sistem perekaman data dapat bersifat optik berupa foto, bersifat analog berupa sinyal-sinyal video seperti gambar pada monitor televisi, atau bersifat digital yang dapat langsung disimpan pada suatu media penyimpan [4].

Ada beberapa jenis klasifikasi untuk mendeteksi tepi pada citra yaitu metode *Sobel*, *Canny*, *Robert*, dan *Prewitt*. Pada penelitian sebelumnya dari beberapa metode tersebut diperoleh kesimpulan bahwa *Sobel* merupakan teknik paling bagus dalam mendeteksi tepi dengan banyak mengurangi *noise* pada citra yang bergerak [5]. Klasifikasi berdasarkan bentuk dan ukuran sebuah kendaraan sangat berguna dalam manajemen lalu-lintas [6].

### Deteksi Tepi

Pada dasarnya ada beberapa jenis metode untuk mendeteksi tepi pada citra yaitu metode *Sobel*, *Canny*, *Robert*, dan *Prewitt*. Pada penelitian sebelumnya [1] menggunakan deteksi tepi sobel untuk diterapkan pada gambar untuk melihat perbedaan nilai pada *frame*.

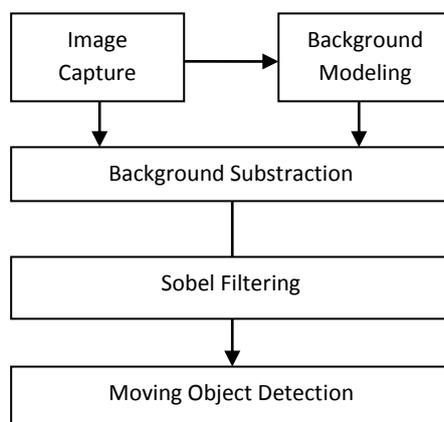
Operator *Sobel* menghitung *gradien* intensitas citra pada setiap titik, memberikan arah kemungkinan perubahan besar dari terang ke gelap untuk setiap *pixel* pada gambar. yang pada dasarnya adalah menunjukkan peningkatan intensitas pada masing-masing arah sumbu x ( $G_x$ ) dan y ( $G_y$ ), dengan menggunakan persamaan (2.1) dan (2.2), sehingga kita dapat menghitung besar tepi ( $G$ ) dari seluruh *pixel*. Jika ( $G$ ) dibawah *Threshold* maka tidak ada tepi yang terdapat pada *pixel* [7].

$$G_x = A * \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$G_y = A * \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$G_y = A * \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

[6] pendekatan secara umum yang di pakai untuk deteksi objek bergerak berdasarkan *Background Model* terlihat pada Gambar 1 berikut



Gambar 1. Metode *Background Subtraction*

Gambar 1 menunjukkan prosedur secara keseluruhan untuk deteksi objek bergerak dengan menggunakan metode *Update Background*. Ide utama dari *Update Background* adalah mencari probabilitas model warna dari *background*. Jika probabilitas lebih besar atau sama dengan nilai *Threshold*, *pixel* tersebut dianggap sebagai *Background*. Jika tidak, maka dianggap sebagai objek yang bergerak.

### **Pre-Processing**

Sebelum dianalisa untuk mendapatkan jenis kendaraan, *image* yang di ambil adalah video yang mana didapat dari CCTV yang berada di jalan raya.

### **Konversi warna**

Setiap *pixel* dari warna memiliki tiga numerik komponen RGB (*Red, Green, Blue*) untuk menyajikan warna dengan tiga nomor 8 bit untuk setiap *pixel*. Jadi dalam pembacaan RGB dalam byte akan didapat 24-bit. Walaupun didapatkan 24-bit hanya 8-bit saja yang akan disimpan dalam warna *grayscale* atau abu-abu.

### **Backpropagation Neural Network**

*Backpropagation neural network* merupakan tipe jaringan saraf tiruan yang menggunakan metode pembelajaran terbimbing (*supervised learning*). Pada *supervised learning* terdapat pasangan data input dan output yang dipakai untuk melatih JST hingga diperoleh bobot penimbang (*weight*) yang diinginkan.

Algoritma ini memiliki proses pelatihan yang didasarkan pada interkoneksi yang sederhana, yaitu apabila keluaran memberikan hasil yang salah, maka penimbang dikoreksi agar galat atau *error* dapat diperkecil dan tanggapan JST selanjutnya diharapkan dapat mendekati nilai yang benar.

Untuk mengetahui keandalan JST yang digunakan, hasil target pelatihan dibandingkan dengan keluaran yang diperoleh ketika dilakukan ujicoba. [8]

Metode ini memiliki dasar matematis yang kuat, obyektif dan algoritma ini mendapatkan bentuk persamaan dan nilai koefisien dalam formula dengan meminimalkan jumlah kuadrat galat *error* melalui model yang dikembangkan (*training set*) [3].

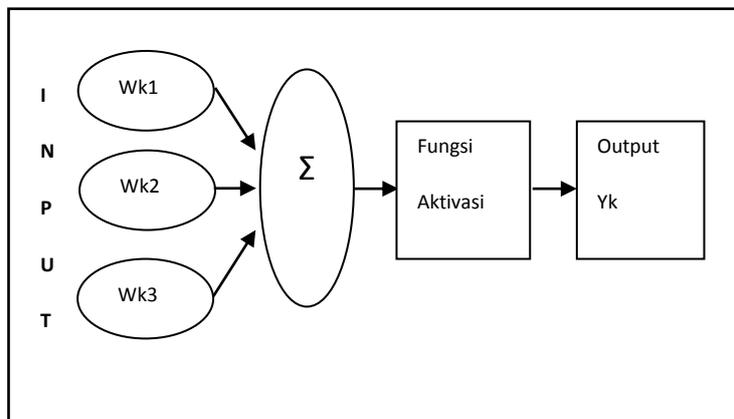
1. Dimulai dengan lapisan masukan, hitung keluaran dari setiap elemen pemroses melalui lapisan luar.
2. Hitung kesalahan pada lapisan luar yang merupakan selisih antara data aktual dan target.
3. Transformasikan kesalahan tersebut pada kesalahan yang sesuai di sisi masukan elemen pemroses.

4. Propagasi balik kesalahan-kesalahan ini pada keluaran setiap elemen pemroses ke kesalahan yang terdapat pada masukan. Ulangi proses ini sampai masukan tercapai.
5. Ubah seluruh bobot dengan menggunakan kesalahan pada sisi masukan elemen dan luaran elemen pemroses yang terhubung.

**Struktur Jaringan Syaraf Tiruan**

JST disusun oleh elemen – elemen pemroses yang berada pada lapisan-lapisan yang berhubungan dan diberi bobot. Dengan serangkaian inputan diluar sistem yang diberikan kepadanya jaringan ini dapat memodifikasi bobot yang akan dihasilkannya, sehingga akan menghasilkan output yang konsisten sesuai dengan input yang diberikan kepadanya.

Setiap elemen pemroses melaksanakan operasi matematika yang sudah ditentukan dan menghasilkan (hanya) sebuah harga keluaran dari satu ataupun banyak masukan. Struktur jaringan akan ditunjukkan seperti pada gambar 2 berikut ini :



Gambar 2. Model Tiruan Neuron

Sebuah pemodelan neuron memiliki masukan  $X_p$  sebanyak  $p$ , yang berasal dari sel lain atau dari inputan luar (bukan dari neuron). Selanjutnya setiap inputan diberi pembobot  $W_{kp}$ . Masing – masing inputan  $X_p$  akan dikalikan dengan pembobot  $W_k$  yang berkesesuaian. Untuk semua hasil perkalian akan dijumlahkan sebagaimana pada persamaan dibawah ini :

$$u_k = \sum_{j=1}^p W_{kj} \cdot X_j \tag{4}$$

Keterangan :

- $u_k$  = neuron model
- $p$  = inputan luar
- $W$  = bobot pada lapisan keluaran
- $W_{kj}$  = perubahan bobot

dan hasil persamaan tersebut akan menjadi masukan bagi fungsi aktivasi untuk mendapatkan tingkat derajat sinyal keluaran pada neuron, dimana terdapat bermacam-macam jenis fungsi aktivasi. Untuk jenis fungsi sigmoid dapat dideskripsikan dengan persamaan :

$$f(x) = \frac{1}{1+e^{-ax}} \tag{5}$$

Fungsi aktivasi ini dikenal dengan nama *logsig*

1. Dimulai dengan lapisan masukan, hitung keluaran dari setiap elemen pemroses melalui lapisan luar.
2. Hitung kesalahan pada lapisan luar yang merupakan selisih antara data aktual dan target.
3. Transformasikan kesalahan tersebut pada kesalahan yang sesuai diisi masukan elemen pemroses.
4. Propagasi balik kesalahan-kesalahan pada keluaran setiap elemen pemroses ke kesalahan yang terdapat pada masukan. Ulangi proses ini sampai masukan tercapai.
5. Ubah seluruh bobot dengan menggunakan kesalahan pada sisi masukan elemen dan luaran elemen pemroses yang terhubung.

Pada umumnya sinyal fungsi aktivasi yang dikeluarkan tiap neuron berbeda, hal ini dikarenakan berbedanya nilai bobot yang diterima tiap neuron berbeda. Pemodelan jaringan pada syaraf tiruan sering dikategorikan menjadi tiga yaitu : *Single layer*, *multi layer* dan *competitive layer*. Namun pada pembahasan kali ini hanya akan dibahas *single layer* dan *multi layer*, karena mengingat kaidah pelatihannya menggunakan algoritma *backpropagation*. Secara umum, tiap unit pada lapisan (*Layer*) yang sama atau dapat kita sebut neuron mempunyai tingkah laku yang sama untuk pemrosesan sinyal data.

Hanya hal terpenting yang perlu diperhatikan adalah penentuan penggunaan jenis fungsi aktivasi pada masing-masing unit pada lapisan tersebut dan pola koneksi pembobot antar lapisan. Namun biasanya unit pada lapisan yang sama mempunyai jenis fungsi aktivasi yang sama dan pola koneksi pembobot yang sama pula.

Untuk pemilihan jumlah *layer* bukan berarti pemilihan *layer* untuk neuron, namun pemilihan *layer* untuk penghubung jalur pembobot antar neuron. Jadi variabel terpenting untuk pengenalan pola adalah pembobotnya.

Tujuan dari perubahan bobot untuk setiap lapisan, bukan merupakan hal yang sangat penting. Perhitungan kesalahan merupakan pengukuran bagaimana jaringan dapat belajar dengan baik. Kesalahan pada keluaran dari jaringan merupakan selisih antara keluaran aktual (*current output*) dan keluaran target (*desired output*).

Langkah berikutnya adalah menghitung nilai SSE (*Sum Square Error*) yang merupakan hasil penjumlahan nilai kuadrat error neuron1 dan neuron2 pada lapisan output tiap data, dimana hasil penjumlahan keseluruhan nilai SSE akan digunakan untuk menghitung nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) tiap iterasi [9].

Sum Square Error (SSE). SEE dihitung sebagai berikut :

1. Hitung lapisan prediksi atau keluaran model untuk masukan pertama.
2. Hitung selisih antara nilai luar prediksi dan nilai target atau sinyal latihan untuk setiap keluaran.
3. Kuadratkan setiap keluaran kemudian hitung seluruhnya. Ini merupakan kuadrat kesalahan untuk contoh lain.

$$SSE = \sum_{i=1}^N (-D_{ij} - f_j)(X_i) \quad (6)$$

*Root Mean Square Error (RMS Error)*. Dihitung sebagai berikut :

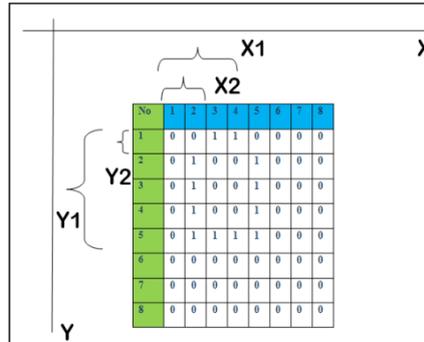
1. Hitung SSE.
2. Hasilnya dibagi dengan perkalian antara banyaknya data pada latihan dan banyaknya keluaran, kemudian diakarkan.

$$RMSE = \sqrt{\frac{SSE}{N \cdot K}} \quad (7)$$

RMSE = *Root Mean Square Error*  
 SSE = *Sum Square Error*  
 N = Banyaknya data pada latihan  
 K = Banyaknya luaran.

**Proses Ekstraksi Ciri**

Proses ekstraksi ciri digunakan untuk mendapatkan variabel-variabel yang dibutuhkan untuk proses selanjutnya. Variabel-variabel itu antara lain : panjang, lebar titik sudut kendaraan.



Gambar 3. Proses Ekstraksi Fitur

Pada Gambar 3 untuk X1 berada pada no 1 – 4 sehingga X1= 4, sedangkan untuk X2 berada pada no 1 – 2 sehingga X2 =2. Dengan demikian lebar 26 kendaraan dapat diketahui dengan hasil pengurangan X1 dan X2 . Untuk mendapatkan panjang kendaraan mengacu pada sumbu y, posisi awal angka 1 dan posisi akhir dari angka 1. Sehingga untuk panjang kendaraan dapat menggunakan rumus  $Y= y1-y2$  . Untuk titik sudut kendaraan mengacu pada sumbu x, sumbu y, posisi awal angka 1 dan posisi akhir angka 1 pada masing-masing sumbu.

**Hasil penelitian dan pembahasan**

Pengujian digunakan untuk menjawab rumusan masalah serta untuk mengetahui kemampuan (performance) program klasifikasi golongan kendaraan dengan menggunakan metode *backpropagation* dan *sobel*.

Sehingga diketahui nilai presentase ketelitian yang bisa dihasilkan oleh aplikasi yang dibuat. Untuk mendapatkan nilai ketelitian pengujian pada sistem, maka akan dilakukan 2 jenis pengujian. Kedua jenis pengujian tersebut antara lain :

1. Pengujian secara manual

Dilakukan pengujian manual karena pengujian yang dilakukan oleh seorang user memiliki tingkat ketelitian yang maksimal. Hal ini karena seorang user dapat menghitung jumlah dan klasifikasi mobil secara manual. Presentase dari analisa manual ini yang akan digunakan sebagai perbandingan dengan analisa yang menggunakan komputer.

2. Pengujian menggunakan aplikasi

Pengujian ini adalah pengujian perhitungan yang dilakukan menggunakan aplikasi berdasarkan metode yang dipakai. Tingkat sensitifitas menggunakan aplikasi akan dibandingkan dengan pengujian secara manual untuk mengetahui presentase keakuratan pengujian menggunakan aplikasi.

Dengan menggunakan 2 jenis pengujian tersebut, diharapkan sistem yang dibangun dapat dipertanggung jawabkan tingkat ketelitiannya. Untuk mendapatkan prosentase dari perhitungan akurasi dilakukan dengan mencari error terlebih dahulu, yaitu perbandingan antara selisih jumlah kendaraan yang dideteksi oleh sistem dengan jumlah yang dilihat oleh mata manusia. Seperti terlihat pada persamaan 8 berikut.

$$Akurasi = \frac{(manual-error)}{manual} \times 100 \tag{8}$$



Gambar 4. Hasil pengujian klasifikasi golongan kendaraan dengan menggunakan metode *backpropagation* dan *sobel*

Pengujian dilakukan dengan memasukkan data video dengan kondisi pada pagi, siang,, dan malam hari. Adapaun hasilnya adalah sebagai berikut pada table 1-4 :

**1. Nama Vidio : MVI\_5523.mpg**

Tabel 1 Pengujian sistem (06.00-10.00)

NO	Golongan	Program	Manual
1	I	289	311
2	II	23	13
3	III	22	28
4	IV	1	2
5	V	0	0
	Total	335	354
Tingkat ketelitian : $335/354 * 100 = 94,35\%$			

Tabel 1 memperlihatkan tingkat keakuratan perhitungan jumlah kendaraan pada pagi hari mencapai 94,35%, hasil segmentasi obyek pada pagi hari sempurna.

**2. Nama Vidio : MVI\_5524.mpg**

Tabel 2 Pengujian sistem (11.00-15.00)

NO	Golongan	Program	Manual
1	I	305	315
2	II	49	56
3	III	12	19
4	IV	0	0
5	V	0	0
	Total	366	390
Tingkat ketelitian : $366/390 * 100 = 93,84\%$			

Tabel 2 memperlihatkan tingkat keakuratan perhitungan jumlah kendaraan pada siang hari mencapai 93,84%, hasil segmentasi obyek pada siang hari cukup sempurna. Terjadi penurunan prosentase antara data pagi ke siang hari dikarenakan kepadatan pada siang hari terjadi pada ruas tol.

### 3. Nama Vidio : MVI\_5525.mpg

Tabel 3 Pengujian sistem (19.00-22.00)

No	Golongan	Program	Manual
1	I	194	240
2	II	37	56
3	III	17	50
4	IV	0	12
5	V	0	5
	Total	248	363
Tingkat ketelitian : $248/363 * 100 = 68,31\%$			

Tabel 3 memperlihatkan bahwa tingkat keakuratan perhitungan jumlah kendaraan pada malam hari mencapai 68,31%, karena hasil segmentasi obyek pada malam hari kurang sempurna.

Tabel 4 Perhitungan Jumlah Kendaraan Berdasarkan Hasil *Segmentasi*

Waktu	Goi	Jumlah Kendaraan			Presentase keberhasilan (Sobel+NN)	Presentase keberhasilan sobel detection (Septian, 2010)	
		Manual	Aplikasi	Error			
Pagi (06.00-10.00)	1-3	352	334	18	94.89%	94,63%	85,22%
	4-5	2	1	1	50,00%		
Siang (11.00-15.00)	1	315	305	10	96.83%	93.85%	95,23%
	2	56	49	7	87.50%		
	3	19	12	7	63.16%		
	4	0	0	0	0.00%		
	5	0	0	0	0.00%		
Malam (19.00-22.00)	1	240	194	46	80.83%	68.32%	62,08%
	2	56	37	19	66.07%		
	3	50	17	33	34.00%		
	4-5	17	0	17	0.00%		

Berdasarkan pada Tabel 4, menunjukkan hasil perbandingan segmentasi menggunakan aplikasi *Sobel Detection* dengan aplikasi penulis. Hasil proses segmentasi *Sobel* dan *Backpropagation* dari penulis lebih bagus jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, dikarenakan terapan dua metode oleh penulis obyek menggunakan Filter *Sobel* dan pelatihan menggunakan *backpropagation* cukup bagus dalam mendeteksi obyek yang bergerak dengan prosentase keberhasilan 94,63%, 93,85%, dan 68,32%.

## Kesimpulan

Dari hasil perancangan, desain, analisa, implementasi dan pengujian sistem dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Penggunaan metode *Backpropagation* dalam pengenalan golongan kendaraan menghasilkan akurasi yang tinggi pada pengenalan bentuk mobil dengan prosentase sebesar 94%. Terjadi error rasio sebesar 6% dikarenakan pencahayaan yang kurang.
2. Dalam penggunaan metode ini belum dapat mengenali jenis kendaraan secara spesifik. Hal ini disebabkan karena ada beberapa jenis mobil memiliki variabel yang sama.
3. Pengambilan data video dalam proses waktu capture pada malam hari masih ada yang salah. Ini dikarenakan kepadatan arus lalu lintas dan pencahayaan yang kurang. Keandalan perangkat sangat berpengaruh dalam hal ini.

## Daftar Pustaka

- [1] Cavallaro, Ebrahimi. "Change Detection Based On Color Edges", 2001 Choo Kar Soon, Kueh Chiung Lin, Chung Ying Jeng and Shahrel A. Suandi "Malaysian Car Number Plate Detection and Recognition System" *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 6(3): 49-59, 2012 ISSN 1991-8178, 2012
- [2] Rachmadwati. "Computer Aided Diagnostic Support System", 2012.
- [3] Feng, Xiangshi, Zhen. "A Robust Blob Recognition and Tracking Method in Vision-based Multi- touch Technique", 2010.
- [4] Sutoyo, T,dkk. 2009, Teori Pengolahan Citra Digital, Penerbit Andi:Yogyakarta
- [5] Munir, Rinaldi, 2004, Pengolahan Citra Digital dengan pendekatan Algoritmik, Penerbit Informatika, Bandung.
- [6] Gupte, S.; Masoud, O.; Martin, R.F.K.; Papanikolopoulos, N.P, "Detection and Classification of Vehicles", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 3, No. 1, Mar 2002.
- [7] Thanarat "A Statistical Approach for Real-time Robust" Background Subtraction and Shadow Detection", 2000.
- [8] Iswahyudi, Yuliman, Arif, Ricardus. "Pelacakan kendaraan bermotor di jalan tol semarang menggunakan Kalman Filter dan GMM", 2013.
- [9] Kusumadewi, Sri Artificial Intelligenci (Teknik dan Aplikasinya) /Sri Kusumadewi. Edisi Pertama – Yogyakarta; Penerbit Graha Ilmu, 2003