

# Penghitungan Kepadatan Kendaraan Di Jalan Tol Menggunakan Metode Gaussian Mixture Model dan Kalman Filter

## *Counting Density of Vehicle Based on Gaussian Mixture Model and Kalman Filter in Highway*

Muhammad Jendro Yuwono<sup>1</sup>, Bedy Purnama, S.Si., MT.<sup>2</sup>, Febryanti Sthevanie, ST., MT.<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Program Studi S1 Teknik Informatika, Fakultas Informatika, Universitas Telkom

<sup>1</sup>muhammadjendroyuwono@hotmail.com, <sup>2</sup>bedyurnama@telkomuniversity.ac.id, <sup>3</sup>febryantisthevanie@gmail.com

**Abstrak** - Tingkat kepadatan volume kendaraan yang terdapat di jalan tol menjadi acuan dalam mengetahui informasi kepadatan kendaraan di jalan tol. Untuk mengetahui cara penghitungan ataupun cara pendeteksian kepadatan kendaraan tersebut, perlu adanya metode yang efisien untuk mengetahui tingkat kepadatan kendaraan yang melintas di jalan tol. Karena pemantauan yang dilakukan oleh pihak kepolisian, dinas perhubungan, maupun pihak penyelenggara jalan tol saat ini menggunakan berbasis video pengintai yang masih dipantau oleh manusia / orang secara manual. Maka dari itu perlu adanya sistem yang dapat menghitung kepadatan objek kendaraan yang terdapat di jalan tol.

Seperti yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya dimana metode yang digunakan adalah edge detection, mampu menghasilkan tingkat akurasi hingga 80% dalam menghitung kepadatan kendaraan di jalan tol[6]. Metode edge detection menggunakan resource yang tinggi dalam keperluan komputasi, ini menjadi kelemahan penggunaan edge detection sebagai metode dalam kasus tersebut[6].

Dalam hal ini penelitian bertujuan untuk mengimplementasikan metode Gaussian Mixture Model dan Kalman Filter dalam kasus penghitungan kendaraan di jalan tol. metode GMM digunakan untuk mensubstraksi background dan foreground. Serta metode Kalman Filter yang digunakan untuk tracking kecepatan untuk memenuhi standar klasifikasi kepadatan jalan tol di Indonesia[8].

Dari hasil penelitian diperoleh tingkat akurasi rata rata sebesar 93.04%, dengan menggunakan parameter – parameter metode Gaussian Mixture Model yaitu Model GMM sebesar 5 modes, Threshold sebesar 0.5. Dan parameter yang digunakan pada metode Kalman Filter yaitu state covariance matrix sebesar [1 1], process noise matrix sebesar [25 10] dan measurement noise sebesar 25.

**Kata kunci:** CCTV, vehicle counting, jalan tol, statistic kepadatan, Gaussian Mixture Model, Kalman Filter.

**Abstract** – *Traffic in highway in the modern century, make a new idea of counting about the traffic or the vehicle who used the highway. As we can see in the graph of the increment of vehicle used highway in year by year, the demand and volume of vehicle used the highway is get increasing. Therefore, that data could be the reason for increase side road of highway. The counting is not only in the toll gate. But, could be done when vehicle through in highway.*

*Due to research previously, the method of edge detection could reach the accuracy up to 80%, in case the research in scope of toll road. The method of edge detection have a weakness, need a lot of resource of computation in density vehicle detection[6]. The goal of this research is implemented method Gaussian Mixture Model for background and foreground subtractions, and Kalman filter for tracking the vehicle due to handle the classification standard the density of highway especially in Indonesia[8].*

*GMM parameters that used is 5 modes GMM and 0.5 of Threshold value, and Kalman Filter parameters is [1 1] state covariance matrix value, [125 10] process noise value and 25 of measurement value. From these configuration results, the methods could reach the accuracy up to 93.04%*

**Keywords:** CCTV, vehicle counting, highway, density statistic, Gaussian Mixture Model, Kalman Filter.

### I. PENDAHULUAN

Tingginya tingkat populasi penduduk mulai menjadi masalah khususnya di kota-kota. Salah satu akibat yang ditimbulkan adalah kemacetan yang semakin parah. Mobilitas penduduk yang tinggi, bertambahnya jumlah kendaraan setiap tahun dan minimnya pembangunan infrastruktur jalanan menambah parahnya kemacetan yang ada. Tidak hanya di jalan raya, jalan tol atau yang biasa disebut jalan bebas hambatan pun sudah mulai mengalami kemacetan. Informasi mengenai kepadatan jalan tol tentu dapat digunakan oleh pihak terkait menangani masalah kepadatan jalan tol. Tingkat pelayanan ini didasarkan pada karakteristik operasi yang tertuang dalam peraturan Menteri Perhubungan nomor KM 14 Tahun 2006[8]. Saat ini pemantauan yang dilakukan oleh pihak kepolisian, dinas perhubungan, maupun pihak penyelenggara jalan tol saat ini menggunakan video pengintai yang masih dipantau oleh manusia / orang secara manual, maka dari itu perlu adanya sistem yang dapat menghitung kepadatan kendaraan yang terdapat di jalan tol. Dalam hal ini penelitian bertujuan untuk mengimplementasikan metode Gaussian mixture model dan Kalman Filter dalam kasus penghitungan kendaraan di jalan tol. Berdasarkan penelitian sebelumnya yang menggunakan metode Gaussian mixture model dan Kalman Filter[3][9]. Metode GMM digunakan untuk mensubstraksi background dan foreground. Serta metode Kalman Filter yang digunakan untuk tracking kecepatan. Sehingga dapat diketahui kepadatan jalan tol.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Pengolahan Citra

Pengolahan citra adalah usaha untuk melakukan transformasi suatu citra / gambar menjadicitra lain dengan menggunakan teknik tertentu. Citra adalah gambar dua dimensi yang dihasilkan dari gambar analog dua dimensi yang kontinu menjadigambar diskrit melalui proses sampling. Gambar analog dibagi menjadidua dimensi yaitu N baris dan M kolom sehingga menjadigambar diskrit. Persilangan antara baris n dan kolom m disebut dengan piksel[n,m].

Sampling adalah proses untuk menentukan warna pada piksel tertentu pada citra dari sebuah gambar yang kontinu. Pada proses sampling biasanya dicari warna rata – rata dari gambar analog yang kemudian dibulatkan. Proses sampling sering juga disebut proses digitalisasi. Sampling merupakan bagian dari metodologi statistika[1].

Kuantisasi adalah proses mengasosiasikan warna rata – rata dengan tingkatan warna tertentu. Ada kalanya, dalam proses sampling, warna rata – rata yang didapat direlasikan ke level warna tertentu. Contohnya apabila dalam citra hanya terdapat 16 tingkatan warna abu – abu, maka nilai rata – rata yang didapat dari proses sampling harus diasosiasikan dengan 16 tingkatan tersebut.

Derau(noise) adalah gambar atau piksel yang mengganggu kualitas citra. Derau dapat disebabkan oleh gangguan fisis (optik) pada alat akuisisi maupun secara disengaja akibat proses pengolahan yang tidak sesuai. Contohnya adalah bintik hitam atau putih yang muncul secara acak yang tidak diinginkan didalam citra. Bintik acak ini disebut dengan derau salt & pepper. Banyak metode yang ada dalam pengolahan citra bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan noise[1].

### B. Gaussian Mixture Model

Gaussian mixture model (GMM) adalah sebuah tipe density model yang terdiri dari komponen fungsi – fungsi Gaussian. Komponen fungsi ini terdiri dari weight yang berbeda untuk menghasilkan multi-model density. Ide dari GMM adalah menangkap perubahan piksel dalam interval waktu tertentu. Pada penelitian ini GMM digunakan untuk memodelkan warna-warna foreground dari tiap piksel. Tiap piksel memiliki GMM-nya sendiri dan data yang diolah adalah warna piksel yang didapat dari input. Model-model GMM terbentuk dari data warna piksel berdasarkan waktu. Model yang terbentuk dibagi menjadi 2 bagian, model foreground dan model non-foreground. Model foreground adalah model yang mencerminkan foreground. Jumlah model GMM yang digunakan mempengaruhi jumlah model foreground.Semakin besar jumlah model GMM yang dipakai semakin banyak model foreground yang dimiliki oleh suatu piksel.[10]

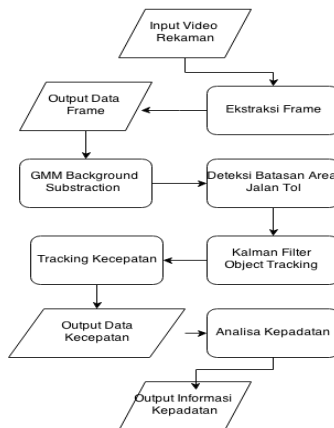
### C. Kalman Filter

Kalman filter merupakan estimator rekursif. Ini berarti bahwa hanya estimasi state dari langkah waktu sebelumnya dan pengukuran saat ini yang dibutuhkan untuk menghitung estimasi kondisi saat ini. dengan demikian, tidak ada riwayat pengamatan atau perkiraan diperlukan. Kalman filter memiliki dua fitur khas. Salah satunya adalah model matematika yang dijelaskan dalam hal konsep state-space. Konsep lain adalah bahwa solusi dihiutng secara rekursif. Biasanya kalman filter digambarkan dengan model state sistem dan model pengukuran. [2]

## III. PERANCANGAN SISTEM

### Flowchart Proses System

Berikut ini adalah gambaran umum sistem yang akan dibangun pada Tugas Akhir ini.



Mengacu pada flowchart proses sistem di atas, detail rancangan sistemnya dijelaskan pada beberapa tahap sebagai berikut : Input Video Rekaman, Ekstraksi Frame, Output Data Frame, GMM Background Substraction,

Deteksi Batasan Area Jalan Tol, Kalman Filter Object Tracking, Tracking Kecepatan, Output Data Kecepatan, Analisa Kepadatan, Output Informasi Kepadatan.

- Input Video Rekaman. Video rekaman hasil dari CCTV diinputkan.
- Ekstraksi Frame. Video diekstraksi berdasarkan frame frame citra 2 dimensi yang dianalisa ke tahap selanjutnya
- Output Data Frame. Data tentang video yang telah disubstraksi berupa gambar frame.
- GMM Foreground Substraction. Mengenali foreground dan background dengan menggunakan metode Gaussian mixture model
- Deteksi Batasan Area Jalan Tol. Mendeteksi dan memilih area batasan piksel yang dianalisis kepadatan dan kecepatannya.
- Kalman Filter Object Tracking. Tracking objek yang telah diketahui blob foregroundnya dengan menggunakan metode kalman filter.
- Tracking Kecepatan. Menganalisa tingkat kecepatan dari hasil tracking oleh kalman filter
- Output Data Kecepatan. Menghasilkan informasi analisa kecepatan kendaraan
- Analisa Kepadatan. Menganalisa tingkat kepadatan dari data kecepatan dan area yang dipilih.
- Output Informasi Kepadatan. Menghasilkan informasi dari analisa kecepatan dan kepadatan.

#### IV. PENGUJIAN DAN SKENARIO

Untuk pengujian data menggunakan akurasi tingkat keberhasilan dalam mendeteksi kendaraan dan kepadatan. Pengujian perlu dilakukan untuk mengukur performansi sistem yang telah dibangun. ada beberapa skenario yang dilakukan yaitu:

- A. Skenario pengujian model GMM  
Pengujian model GMM bertujuan untuk mencari nilai parameter terbaik dari 3 nilai parameter yang di pilih, yaitu 3,4 dan 5. Ketiga parameter tersebut di uji dengan mencari nilai rata – rata f1 score yang diperoleh dari perbandingan piksel blob manual dan aplikasi.
- B. Skenario pengujian threshold GMM  
Pengujian threshold GMM bertujuan untuk mencari nilai parameter terbaik dari 3 nilai parameter yang di pilih, yaitu 0.05, 0.3 dan 0.05. Ketiga parameter tersebut di uji dengan mencari nilai rata – rata f1 score yang diperoleh dari perbandingan piksel blob manual dan aplikasi.
- C. Skenario pengujian state covariance Kalman Filter  
Pengujian state covariance Kalman Filter bertujuan untuk mencari nilai parameter terbaik dari 3 nilai parameter yang di pilih, yaitu [1 1], [200 50] dan [2 1]. Ketiga parameter tersebut di uji dengan mencari nilai probability density function yang diperoleh dari perbandingan centroid blob nyata dengan centroid blob prediksi dari kalman filter.
- D. Skenario pengujian process noise Kalman Filter  
Pengujian process noise Kalman Filter bertujuan untuk mencari nilai parameter terbaik dari 3 nilai parameter yang di pilih, yaitu [25 10], [100 50] dan [5 5]. Ketiga parameter tersebut di uji dengan mencari nilai probability density function yang diperoleh dari perbandingan centroid blob nyata dengan centroid blob prediksi dari kalman filter.
- E. Skenario pengujian measurement noise Kalman Filter  
Pengujian measurement noise Kalman Filter bertujuan untuk mencari nilai parameter terbaik dari 3 nilai parameter yang di pilih, yaitu 25, 50 dan 100. Ketiga parameter tersebut di uji dengan mencari nilai probability density function yang diperoleh dari perbandingan centroid blob nyata dengan centroid blob prediksi dari kalman filter.
- F. Skenario pengujian pada aplikasi dengan parameter terbaik  
Pengujian dengan menggunakan 4 skenario pada dataset dan kategori kepadatan yang berbeda. Dengan tujuan untuk mencari nilai rata – rata tingkat akurasi dari parameter yang terbaik, dengan cara membandingkan jumlah kendaraan yang berhasil dideteksi oleh aplikasi dan jumlah kendaraan nyata.

#### V. HASIL DAN ANALISIS

Pada penelitian dilakukan beberapa skenario pengujian untuk mendapatkan parameter optimal dan mengukur performansi dari sistem yang dibangun. Analisis performansi sistem dilakukan dengan menggunakan pengukuran confusion matrix pada pengujian parameter GMM dan analisa probability density function pada kalman filter. Performansi didapatkan dari hasil nilai perbandingan kendaraan nyata dan deteksi dari aplikasi. Semakin besar nilai Akurasi, semakin bagus performansi yang dihasilkan.

A. Spesifikasi Perangkat Keras dan Perangkat Lunak

Pengujian dijalankan di atas komputer dengan prosesor Intel(R) Core (TM) i7 2,00 GHz dan RAM 4 GB menggunakan sistem operasi Windows 7 64-bit dan tools simulasi MATLAB R2015a.

B. Dataset

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini adalah rekaman video objek jalan tol dengan spesifikasi jalan tol 2 jalur satu arah

C. Pengukuran Performansi

Pengukuran performansi dilakukan dengan cara yaitu menggunakan nilai perbandingan kendaraan nyata dan kendaraan asli. Akurasi dihitung menggunakan rumus:

$$Accuracy = (1 - \frac{|Jumlah Nyata - Jumlah System|}{|Jumlah Nyata|}) \times 100 \tag{1}$$

D. Parameter Gaussian Mixture Model

Pengujian ini dilakukan untuk mencari nilai konfigurasi parameter yang paling optimal dari parameter Gaussian Mixture Model. Pengujian dilakukan dengan menggunakan 2 parameter yaitu model GMM dan threshold .. Nilai parameter model GMM berkisar dari rentang {3,4,5}, dan Threshold GMM berkisar dari rentang {0.5, 0.3,0.05}. Diperoleh hasil pengujian dengan menggunakan F1 score sebagai cara untuk mencari tingkat keakurasi dari GMM yang diperoleh. Dengan menggunakan sampling setiap 3 detik dari video training yang digunakan, dilakukan sebanyak 100 kali perbandingan antara blob manual dan dengan blob dari aplikasi. Hasil pengujian bisa dilihat dibawah ini

Tabel 1 – Sampling hasil pengujian parameter model GMM

No	Timelapse	F1 score model GMM		
		3 modes	4 modes	5 modes
1	00:03	0.998598298399452	0.998598298399452	0.998598298399452
2	00:06	0.998580344205408	0.998580344205408	0.998580344205408
3	00:09	0.998310954017517	0.998310954017517	0.998310954017517
...	...	...	...	...
98	04:54	0.999977213022432	0.999977213022432	0.999977213022432
99	04:57	0.999791623254845	0.999791623254845	0.999791623254845
100	05:00	0.998598298399452	0.998598298399452	0.999791623254845
Rata rata F1 Score		0.974265314094881	0.974266333975459	<b>0.974266373959115</b>

Tabel 2 – Sampling hasil pengujian parameter Threshold

No	Timelapse	F1 score threshold		
		0.5	0.3	0.05
1	00:03	0.998598298399452	0.998598298399452	0.998598298399452
2	00:06	0.998580344205408	0.998580344205408	0.998580344205408
3	00:09	0.998310954017517	0.998310954017517	0.998310954017517
...	...	...	...	...
98	04:54	0.999791623254845	0.999791623254845	0.999791623254845
99	04:57	0.999791623254845	0.999791623254845	0.999791623254845
100	05:00	0.999765570055482	0.999765570055482	0.999765570055482
Rata rata		<b>0.974265314094881</b>	0.974188213267570	0.974187463892000

Dari hasil pengujian kedua parameter di atas di peroleh bahwa nilai Threshold 0.5 dan nilai model GMM 5 merupakan nilai yang terbaik yang selanjutnya digunakan untuk pengujian pada dataset training.

E. Parameter Kalman Filter

Langkah pengujian kalman filter dilakukan dengan menghitung jarak antara centroid nyata dengan centroid prediksi, semakin sempit jarak antara keduanya, semakin bagus nilai dari konfigurasi kalman filter. Dengan menggunakan 3 tipe kalman filter yaitu type A dengan state covariance [1 1] , process noise [25 10], dan measurement noise 25; type B dengan state covariance [200 50] , process noise [100 25], dan measurement noise 50; type C dengan state covariance [2 1] , process noise [5 5], dan measurement noise 100; Menggunakan fungsi pdf (probability density function) kita dapat mengetahui nilai probabilitas jarak piksel posisi dari objek prediktif dengan objek asli, berikut tabel jarak objek prediksi dan objek asli yang digunakan dalam ketiga tipe parameter kalman filter:

Tabel 3 – Sampling Euclidean hasil konfigurasi parameter

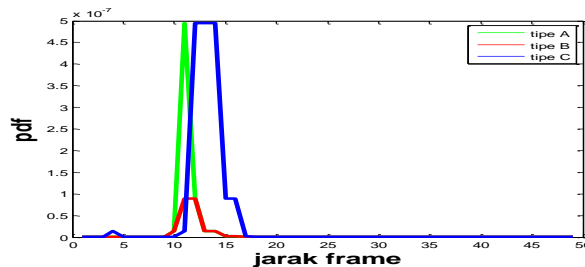
Frame	Jarak Euclidean(piksel)		
	Tipe A	Tipe B	Tipe C
1	2	2	2
2	2	3	10
3	1	1	1
...	...	...	...
47	1	1	2
48	1	1	2
49	2	2	2

Dari tabel jarak Euclidean diatas dapat di peroleh hasil probability density functionnya seperti tabel berikut:

Tabel 4 – Sampling Probability Density Function Kalman Filter

Frame	Probability Density Function		
	Tipe A	Tipe B	Tipe C
1	$5.14^{-19}$	$5.14^{-19}$	$5.14^{-19}$
2	$5.14^{-19}$	$4.08^{-17}$	$7.43^{-7}$
3	$5.04^{-21}$	$5.04^{-21}$	$5.04^{-21}$
...	...	...	...
47	$5.04^{-21}$	$5.04^{-21}$	$5.14^{-19}$
48	$5.04^{-21}$	$5.04^{-21}$	$5.14^{-19}$
49	$5.14^{-19}$	$5.14^{-19}$	$5.14^{-19}$

Dari hasil perolehan nilai pdf diatas dapat dibuat sebuah grafik perbandingan ketiga parameter yang diujimendapatkan hasil sebuah grafik seperti :



Dari grafik diatas, diperoleh parameter type A merupakan parameter yang menghasilkan tingkat kerapatan titik pusat prediksi yang mendekati titik pusat citra asli. Oleh karena itu dipilahlah konfigurasi parameter type A untuk digunakan pada tahap pengujian selanjutnya.

F. Pengujian skenario 1

Pengujian menggunakan data uji berupa video selama 4 menit 10 detik, dengan analisa tingkat kepadatan yaitu lancar. Dengan spesifikasi video data uji sebagai berikut:

- a) Format :avi
- b) Durasi : 1 menit
- c) Jumlah kendaraan yang melintas: 29 unit

Hasil yang diperoleh setelah dilakukan pengujian terhadap skenario video tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 5 Hasil Skenario 1

Total Kendaraan Nyata	29 unit
Total Kendaraan Sistem	28 unit
Akurasi	96,55%
Error Rate	3,45%

G. Analisa Pengujian Skenario 2

Pengujian menggunakan data uji berupa video selama 1menit, dengan analisa tingkat kepadatan yaitu lancar. Dengan spesifikasi video data uji sebagai berikut:

- a) Format :avi
- b) Durasi : 1 menit
- c) Jumlah kendaraan yang melintas: 28 unit

Hasil yang diperoleh setelah dilakukan pengujian terhadap skenario video tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 6 Hasil Skenario 2

Total Kendaraan Nyata	28 unit
Total Kendaraan Sistem	27 unit
Akurasi	96,42%
Error Rate	3,58%

H. Analisa Pengujian Skenario 3

Pengujian menggunakan data uji berupa video selama 1menit, dengan analisa tingkat kepadatan yaitu padat dan menuju macet. Dengan spesifikasi video data uji sebagai berikut:

- a) Format :avi
- b) Durasi : 4 menit 33 detik
- c) Jumlah kendaraan yang melintas: 129 unit

Hasil yang diperoleh setelah dilakukan pengujian terhadap skenario video tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 7 Hasil Skenario 3

Total Kendaraan Nyata	129 unit
Total Kendaraan Sistem	116 unit
Akurasi	89,92%
Error Rate	10,08%

I. Analisa Pengujian Skenario 4

Pengujian menggunakan data uji berupa video selama 1menit, dengan analisa tingkat kepadatan yaitu lancar. Dengan spesifikasi video data uji sebagai berikut:

- a) Format :avi
- b) Durasi : 4 menit
- c) Jumlah kendaraan yang melintas: 116 unit

Hasil yang diperoleh setelah dilakukan pengujian terhadap skenario video tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 8 Hasil Skenario 4

Total Kendaraan Nyata	116 unit
Total Kendaraan Sistem	100 unit
Akurasi	86,2%
Error Rate	13,8%

Status kepadatan diperoleh dari perhitungan kecepatan rata – rata setiap 10 detik sekali, yang perhitungannya berdasarkan banyaknya unit kendaraan yang melintas dan rata – rata kecepatan seluruh kendaraan yang melintas. Dan sesuai dengan aturan analisa kepadatan diklasifikasikan ke dalam 6 kategori [7][8].

Analisa dilakukan dengan menggunakan skenario - skenario pengujian dengan membandingkan data analisa kepadatan sesuai dengan *output* dari aplikasi dan dengan analisa pengujian kasat mata (aktual). Skenario – scenario yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 9 Hasil analisa *error rate* dan *accuracy*

Skenario	Durasi	Tingkat Kepadatan		Selisih Data
		Aplikasi	Aktual	
Skenario 1	1 menit	28	29	1
Skenario 2	1 menit	27	28	1
Skenario 3	4 menit 33 detik	116	129	13
Skenario 4	4 menit	110	116	6
Jumlah		281	2	21
<i>Error rate</i>		6.96%		
<i>Accuracy</i>		93.04%		

Dari hasil analisa tabel diatas, diketahui bahwa aplikasi menghasilkan *error rate* sebesar 6.96% dan nilai *accuracy* sebesar 93.04%.

## VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan terhadap sistem dan hasil analisis dapat disimpulkan bahwa:

1. Tingkat kepadatan kendaraan dapat diketahui dengan mengimplementasikan *GMM* dan *Kalman filter*, dengan menggunakan nilai parameter *GMM* yaitu *model GMM* sebesar 3 *modes*, *threshold* sebesar 0.04 dan *Learning rate* sebesar 0.05, serta nilai parameter *Kalman filter* yaitu *matrix state covariance* sebesar [1 1], *matrix Process Noise* sebesar [25 10] dan *measurement noise* sebesar 25.
2. Metode *GMM* dan *Kalman Filter* dapat mendeteksi tingkat kepadatan dengan nilai akurasi 93,04%.

Adapun saran yang penulis ajukan dalam penelitian selanjutnya yaitu:

1. Penambahan klasifikasi kendaraan yang digunakan untuk menentukan bahwa objek kendaraan tersebut dapat digolongkan ke kendaraan yang sesuai dengan kategorinya.

## REFERENSI

- [1] Aristyagama, (2013) *Tracking Obyek menggunakan Kalman Filter*. Universitas Telkom
- [2] B.S.L, N. R., & Akbar, D. F. (2014). *Object Tracking Berbasis Foreground Substraction dan Kalman Filter*. Universitas Brawijaya.
- [3] Cao, J., & Li, L. (2009). *Vehicle Objects Detection of Video Images Based on Gray-Scale Characteristics*. *First International Workshop on Education Technology and Computer Science*.
- [4] Doğan, S., Temiz, M. S., & Kü, S. (2010). *Real time Speed Estimation of Moving Vehicles from Side View Images from an Uncalibrated Video Camera*. *Sensors*.
- [5] Hakim, R. I. (2014). *Traffic Density Detection in Video using Combination Value and Saturation (CVS) Methode*. Telkom University.
- [6] Lin, M., & Xu, X. (2006). *Multiple Vehicle Visual Tracking from a Moving Vehicle*. *IEEE*.
- [7] Marga, D. B. (1997). *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*. Jakarta: Direktorat Bina Marga Republik Indonesia.
- [8] PERHUBUNGAN, M. (2006). *PERATURAN MENTERI PERHUBUNGAN NOMOR: KM 14 TENTANG MANAJEMEN DAN REKAYASA LALU LINTAS DI JALAN*. JAKARTA: DEPARTEMEN PERHUBUNGAN.
- [9] Singh, B., Singh, D., Singh, G., Sharma, N., & Sibbal, V. (2014). *Motion Detection for Video Surveillance*. *IEEE*.
- [10] Stauffer, C., & Grimson, W. (2001). *Adaptive background mixture models for real-time tracking*. *Massachusetts Institute of Technology*.
- [11] Zachary, Elkan, & Naryanaswamy, (2014). *Thresholding Classifiers to Maximize F1 Score*. *University of California*.