

Rancang bangun penghitung dan pengidentifikasi kendaraan menggunakan *Multiple Object Tracking*

Laila Rahmawati dan Kusworo Adi

Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang

E-mail: laila.rahmawati@st.fisika.undip.ac.id

ABSTRACT

Detection of a vehicle with a video camera is one accurate technology for detecting vehicles efficiently and can be used for large-scale data collection. This study has been conducted implementation of counters and identifiers vehicles on the highway using multiple object tracking. The system uses an algorithm Gaussian mixture models and Kalman filter to detect and track the position, speed, direction of motion and size of vehicles from time to time in each image frame. The process of counting and identifying the vehicle consists of several stages of image acquisition, object detection using a Gaussian mixture models, morphology, object tracking using a Kalman filter and counting as well as the identification of the vehicle. The results of system performance is obtained by calculating the value of accuracy. Best performance results from the system counters and identifiers of vehicles on the highway using multiple object tracking obtained by the time of the morning and the worst at night. The results of the performance measurement system and vehicle identifiers using multiple object tracking accuracy of the results obtained on the morning of 94%, by 90% during the day, in the afternoon by 85%, and the evenings of 59%.

Keywords: *Counters and vehicle identifiers, multiple object tracking, Gaussian mixture models, Kalman Filter*

ABSTRAK

Deteksi kendaraan dengan kamera video merupakan salah satu teknologi yang menjanjikan untuk mendeteksi kendaraan secara efisien serta dapat digunakan untuk pengumpulan data skala besar. Pada penelitian ini telah dilakukan implementasi sistem penghitung dan pengidentifikasi kendaraan di jalan tol menggunakan multiple object tracking. Sistem tersebut menggunakan algoritma Gaussian mixture model dan Kalman filter untuk mendeteksi dan melacak posisi, kecepatan, arah gerak dan ukuran kendaraan dari waktu ke waktu pada tiap frame citra. Proses penghitungan dan identifikasi kendaraan terdiri dari beberapa tahap yaitu akuisisi citra, deteksi objek menggunakan Gaussian mixture model, morfologi, pelacakan objek menggunakan Kalman filter dan penghitungan serta identifikasi kendaraan. Hasil kinerja sistem diperoleh dengan menghitung nilai akurasi. Hasil kinerja terbaik dari sistem penghitung dan pengidentifikasi kendaraan di jalan tol menggunakan multiple object tracking yang diperoleh yaitu saat pagi hari dan yang terburuk pada malam hari. Hasil kinerja sistem penghitungan dan pengidentifikasi kendaraan menggunakan multiple object tracking memperoleh hasil akurasi pada pagi hari sebesar 94%, siang hari sebesar 90%, sore hari sebesar 85%, dan malam hari sebesar 59%.

Kata kunci: *Penghitung dan pengidentifikasi kendaraan, multiple object tracking, Gaussian mixture model, Kalman filter.*

PENDAHULUAN

Penghitungan kendaraan secara manual memiliki banyak kelemahan, diantaranya yaitu tingkat keakuratan data yang rendah, membutuhkan waktu relatif lama untuk mengakumulasi data serta membutuhkan banyak sumber daya manusia. Deteksi kendaraan dengan kamera video merupakan salah satu teknologi yang menjanjikan untuk

mendeteksi kendaraan serta dapat digunakan untuk pengumpulan data skala besar [1].

Sebuah teknik berbasis pengolahan citra untuk mendeteksi objek yang bergerak dapat digunakan untuk menghitung dan mengidentifikasi kendaraan secara efisien dan lebih akurat dibanding penghitungan kendaraan secara manual. Berdasarkan beberapa hal tersebut, penelitian ini dilakukan implementasi penghitungan dan identifikasi kendaraan dengan

rancangan multiple object tracking menggunakan metode *Gaussian mixture model* dan Kalman filter.

Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra adalah pemrosesan citra dua dimensi dengan berbagai teknik untuk memanipulasi dan memodifikasi citra [2]. Citra adalah suatu gambaran, kemiripan atau imitasi dari suatu objek. Citra terbagi menjadi dua yaitu citra analog dan citra digital. Citra analog adalah citra yang bersifat kontinu seperti gambar pada monitor televisi, foto sinar X, dan hasil CT Scan. Sedangkan citra digital adalah citra yang dapat diolah oleh komputer. Sebuah citra digital dapat diwakili oleh sebuah matriks yang terdiri dari M kolom N baris, dengan perpotongan antara kolom dan baris disebut piksel (piksel = *picture element*), yaitu elemen terkecil dari sebuah citra [3].

Background Subtraction

Background subtraction adalah teknik yang digunakan untuk identifikasi objek bergerak dari rangkaian video. *Background subtraction* mengidentifikasi objek bergerak dari tiap *frame* yang berupa nilai piksel yang berbeda pada tiap *frame*. Ada beberapa tantangan dalam menerapkan algoritma *background subtraction*. Pertama algoritma harus tahan terhadap perubahan pencahayaan (*illumination*). Kedua, algoritma dapat menghindari deteksi objek yang non-stasioner pada *background* seperti daun bergerak, hujan, salju dan bayangan dari objek [4].

Gaussian Mixture Model

Gaussian Mixture Model (GMM) adalah fungsi kepadatan probabilitas yang direpresentasikan sebagai jumlah terukur dari kepadatan *Gaussian Mixture*. Pada pengolahan citra GMM digunakan untuk subtraksi *background*, terdapat langkah-langkah diterapkan untuk mencapai hasil yang

diinginkan. Ketika terdapat distribusi K Gaussian pada kumpulan piksel tersebut akan diberikan fungsi probabilitas yang ditunjukkan pada Persamaan (1).

$$P(X_t) = \sum_{i=1}^K w_{i,t} \eta(X_t, \mu_{i,t}, \Sigma_{i,t}) \quad (1)$$

dengan, $w_{i,t}$ adalah bobot kovarian ke- i dari pemodelan *Gaussian* pada waktu t , $\mu_{i,t}$ adalah nilai rata-rata ke- i dari pemodelan *Gaussian* pada waktu t , $\Sigma_{i,t}$ adalah matriks kovarian ke- i dari pemodelan *Gaussian* pada waktu t , serta η adalah fungsi probabilitas kepadatan yang dinyatakan pada Persamaan (2).

$$\eta(X_t, \mu, \Sigma) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{n}{2}} \sqrt{|\Sigma|}} e^{\frac{1}{2}(X_t - \mu)^T \Sigma^{-1} (X_t - \mu)}$$

(2)

dengan, X adalah variabel yang menunjukkan jumlah piksel dalam *frame*. Setiap nilai piksel yang baru dicek terhadap distribusi *Gaussian* sehingga ditemukan kesesuaian model *background* [5].

Kalman Filter

Kalman filter adalah seperangkat persamaan matematika yang menyediakan komputasi yang efisien (rekursif) untuk memperkirakan keadaan sebuah proses dalam beberapa aspek [6]. Proses Kalman filter terdiri dari dua aspek yaitu proses prediksi dan proses koreksi. Berikut proses prediksi dinyatakan dalam persamaan 3 dan 4.

$$X_k = A \cdot X_{k-1} + B \cdot U_{k-1} \quad (3)$$

$$P_k^- = A \cdot P_{k-1} \cdot A^T + Q \quad (4)$$

X_k adalah vektor dari proses suatu keadaan dalam waktu k . X adalah sebuah vektor 4 dimensi (x, y, dx, dy), dengan x dan y adalah koordinat dari pusat objek, sedangkan dx dan dy mewakili kecepatan. X_{k-1} adalah vektor dari proses suatu kondisi dalam waktu $k-1$. A adalah sebuah proses matriks transisi 4 x 4. U_k adalah sebuah vektor kendali dan B terhubung secara opsional dengan vektor kendali U_k dalam kondisi ruang. P_k adalah kovariansi *error* pada waktu k . P_{k-1} adalah sebuah matriks yang mewakili kovarian *error* dalam kondisi prediksi

pada waktu $k - 1$, dan Q adalah proses kovarian derau.

Sedangkan untuk langkah koreksi dituliskan dalam Persamaan (5), Persamaan (6) dan Persamaan (7).

$$K_k = P_k^- \cdot H^T (H \cdot P_k^- H^T + R)^{-1} \quad (5)$$

$$X_k = X_k^- + K_k \cdot (Z_k - H \cdot X_k^-) \quad (6)$$

$$P_k = (1 - K_k \cdot H) \cdot P_k^- \quad (7)$$

dengan, K_k adalah penguat *Kalman*, H merupakan matriks yang merubah kondisi ruang menjadi ruang pengukuran dan R adalah kovarian pengukuran derau, X_k adalah sebuah proses kondisi sebenarnya. Dengan menggunakan K_k dan pengukuran Z_k , kondisi proses X_k dapat dilakukan pembaruan. Z_k yang paling memungkinkan adanya koordinat x dan y objek target dalam *frame*. Langkah terakhir dari *Kalman filter* adalah memperbarui kovarian error P_k yang dinyatakan pada Persamaan (7) [1].

Morfologi

Morfologi atau *mathematical morphology* adalah alat untuk mengekstrak komponen-komponen citra digital yang berguna dalam representasi dan deskripsi dari suatu citra. Morfologi adalah satu cabang dari pengolahan citra yang sangat bermanfaat dalam analisis bentuk dalam citra [7]. Operasi morfologi terdiri dari beberapa jenis yaitu operasi dilasi, erosi, *opening* dan *closing*.

Operasi *opening* merupakan kombinasi operasi erosi dan dilasi. Operasi *opening* digunakan untuk menghilangkan objek-objek kecil yang terdapat dalam citra. Sedangkan operasi *closing* dilakukan operasi dilasi terlebih dulu kemudian baru diikuti dengan operasi erosi. Operasi *closing* digunakan untuk menutup celah pada objek yang terdeteksi [3].

Penggolongan Kendaraan MKJI

Khusus jalan tol, klasifikasi jenis kendaraan hanya digolongkan menjadi tiga jenis

yaitu kendaraan ringan (KR) kendaraan sedang (KS) dan kendaraan berat (KB) [8]. Klasifikasi kendaraan di jalan tol ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Penggolongan Kendaraan MKJI

No	Klasifikasi	Jenis Kendaraan
1.	KR	Sedan, jeep, <i>station wagon</i> , opelet, minibus, mikrobus), <i>pick-up</i> , truk kecil, semua kendaraan yang panjangnya < 5,5 m
2.	KS	Bus dan truk 2 sumbu, semua kendaraan yang panjangnya 5,5 s.d 9 m
3.	KB	Truk 3 sumbu dan truk kombinasi (truk gandengan dan truk tempelan), semua kendaraan yang panjangnya > 9 m

METODE PENELITIAN

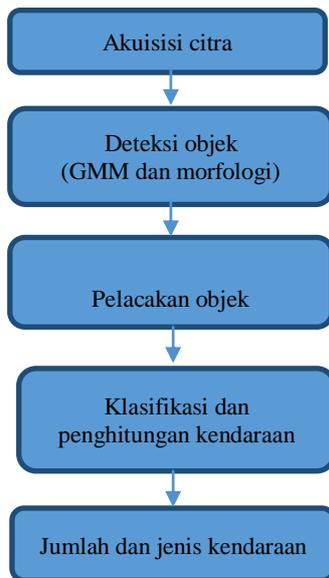
Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah kamera *Webcame Logitech C920* sebagai perekam video, komputer sebagai pengolah video digital dan *tripod* sebagai penyangga kamera.

Pada penelitian ini telah dilakukan akuisisi data berupa data video. Data video digital direkam menggunakan kamera Logitech C920 dengan resolusi 1920 x 1080. Kamera dipasang pada tripod dan diletakkan pada kondisi stabil. Kamera difokuskan pada jalan tol untuk memperoleh citra kendaraan yang terbaik. Pengambilan video dilakukan pagi, siang, sore dan malam untuk melakukan perbandingan hasil pelacakan berdasarkan pencahayaan. Data video yang diperoleh selanjutnya akan diproses menggunakan sistem visi komputer.

Perancangan aplikasi penghitung dan pengidentifikasi kendaraan dengan multiple object tracking terdiri dari beberapa tahap yaitu akuisisi citra, deteksi objek menggunakan

GMM dan operasi morfologi, pelacakan objek menggunakan Kalman filter serta klasifikasi dan penghitungan kendaraan sehingga diperoleh hasil akhir berupa data jumlah kendaraan dan jenis kendaraan. Alur perancangan aplikasi tersebut ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok *multiple object tracking*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Akuisisi Data

Video yang diambil terdapat tiga variasi waktu pengambilan video yang berbeda yaitu pagi, siang, sore dan malam hari. Tujuan variasi ini adalah untuk mengetahui pengaruh perbedaan pencahayaan terhadap kinerja *multiple object tracking*. Data video tersebut diinputkan ke dalam sistem pendeteksi dan penghitung kendaraan secara otomatis. Selanjutnya sistem akan mengekstraksi video menjadi citra - citra yang disebut sebagai serangkaian *frame*.

Deteksi Objek

Pada pendeteksian objek dilakukan proses segmentasi citra, deteksi objek dan morfologi.

Segmentasi citra menggunakan teknik *background subtraction* dengan metode *Gaussian mixture model*. Citra hasil segmentasi dideteksi menggunakan objek detektor, kemudian dilakukan operasi morfologi untuk merepresentasikan piksel-piksel pembentuk foreground sesuai dengan objek yang sebenarnya pada proses biner.

Citra hasil ekstraksi disegmentasi menggunakan metode GMM untuk memisahkan background dengan foreground. Background adalah bagian pada citra yang yang tidak bergerak. Sebaliknya foreground merupakan citra objek berupa kelompok piksel terhubung yang bergerak pada setiap frame. Setiap piksel dalam gambar dimodelkan dengan campuran distribusi K Gaussian. Nilai piksel yang bernilai 1 maka diasumsikan sebagai piksel foreground dan nilai piksel 0 diasumsikan sebagai piksel background. Namun hasil deteksi masih terdapat celah dan objek-objek kecil disekitar *foreground*. Hal ini diatasi dengan proses morfologi sehingga diperoleh deteksi objek yang mendekati dengan objek yang sesungguhnya. Hasil deteksi objek ditunjukkan pada Gambar 2.



(a)



(b)

Gambar 2. Hasil deteksi objek
(a) Citra asli, (b) Hasil deteksi

Pada hasil training deteksi objek diketahui parameter GMM dengan nilai *number of gaussian* sebesar 3, *number of training* sebesar 40 dan *minimum background ratio* sebesar 0,7 memiliki *fraction correct* yang relatif tinggi pada setiap variasi video.

Pelacakan Objek

Kalman filter digunakan untuk melacak sebuah objek yaitu kendaraan. Keluaran yang dihasilkan dari Kalman filter adalah informasi fitur objek terbaik berupa posisi, arah gerak objek, area, kecepatan, dan histogram warna pada setiap objek setiap frame. Kalman filter memprediksi lokasi berikutnya dari suatu objek, dengan asumsi bahwa objek bergerak sesuai dengan model gerakan, yakni kecepatan atau percepatan antar frame konstan.

Setiap objek yang terlacak memiliki inisial berupa ID yang ditandai dengan kotak pembatas (*bounding box*) yang membatasi *foreground* dengan warna berbeda untuk membedakan ID. *Foreground* yang terlacak ditentukan letak *centroid*-nya kemudian dihitung jarak antara *centroid* citra asli dengan *centroid* prediksi dari *Kalman filter*. Jarak antara *centroid* yang telah diketahui akan diperoleh nilai-nilai yang digunakan untuk proses pengambilan kesimpulan dengan menggunakan *probability density function* (pdf).

Berdasarkan *probability density function* dapat diketahui tingkat akurasi dari *Kalman filter*. Parameter untuk menentukan pdf terdapat konfigurasi Kalman filter dengan hasil training terbaik yaitu matrik *state covariance* [1,1], *process noise* [25,10], dan *measurement noise* sebesar 25 menghasilkan *fraction correct* tertinggi.

Penghitungan dan Identifikasi Jenis Kendaraan

Hasil pengujian *multiple object tracking* untuk menghitung jumlah kendaraan berdasarkan parameter *Gaussian* dan konfigurasi *Kalman filter* dengan nilai

fraction correct tertinggi digunakan sebagai parameter pengujian aplikasi *multiple object tracking*, sehingga diperoleh akurasi penghitungan kendaraan berdasarkan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Akurasi pengujian jumlah kendaraan

Waktu	Jumlah kendaraan		Akurasi (%)
	Terdeteksi	Sebenarnya	
Pagi	35	37	94
Siang	29	32	90
Sore	35	41	85

KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan implementasi sistem penghitung dan pengidentifikasi kendaraan di jalan tol menggunakan *multiple object tracking*. Sistem tersebut mendeteksi kendaraan menggunakan algoritma *Gaussian mixture model* dan *Kalman filter* yang berguna untuk mendeteksi dan melacak posisi, kecepatan, arah gerak dan ukuran kendaraan dari waktu ke waktu pada tiap *frame* citra. Hasil kinerja sistem diperoleh dengan menghitung nilai akurasinya. Hasil kinerja sistem penghitung dan pengidentifikasi kendaraan dengan *multiple object tracking* memperoleh hasil akurasi pada pagi hari sebesar 94%, siang hari sebesar 90%, sore hari sebesar 85%, dan malam hari sebesar 59%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Triyani, K dan Shirisa B.L. (2015) *Moving Vehicle Detection and Tracking using GMM and Kalman Filter on Highway Traffic*, International Journal of Engineering Tecnology, Management and Applied Sciences, VR Siddhartha Engineering College, Kanuru Vijayawada-520007, Andhra Pradesh, India.

- [2] Efford, N. (2000) *Digital Image Processing a Practical Introduction Using Java*, Essex: Pearson Educaiona Limited.
- [3] Kadir, A. dan Susanto, A. (2012) *Teori dan Aplikasi Pengolahan Citra*, Yogyakarta: Andi Yogyakarta.
- [4] Toyama, K., Krumm J, Brumitt B. dan Meyers B. (1999) *Wallflower:Principles and Practice of Background Maintenance*, International Conference on Computer Vision, Corfu, Greece.
- [5] Wang, X., Sun J. Dan Peng H.Y. (2013) *Foreground Objet Detecting Algoritm based on Mixture of Gaussian and Kalman Filter in Video Surveillance*, College of Computer Science and Information Engeneering Zhejiang Gongshang University, Hangzhou, China.
- [6] Wahyudi, S.A., Pramono S. dan Widada W. (2013) *Simulasi Filter Kalman untuk Estimasi Sudut dengan Menggunakan Sensor Gyroscope*, Teknik, 0852-1697.
- [7] Gonzalez, R.C. dan Woods R.E. (2001) *Digital Image Processing*, Boston, MA, USA:Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.
- [8] Iskandar H. (2014) *Pedoman Kapasitas Jalan Beas Hambatan*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, Kementrian Pekerjaan Umum, Bandung.