

IMPLEMENTASI METODE KALMAN FILTER UNTUK ESTIMASI LAJU PERUBAHAN POSISI KENDARAAN

Ferdian Bagus Hermawan¹⁾, Yesy Diah Rosita²⁾, Luki Ardiantoro³⁾

Program Studi Sarjana Informatika Universitas Islam Majapahit

E-mail: ferdianbagus43@gmail.com

Abstrak

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan Kalman filter sebagai metode estimasi kecepatan kendaraan memperlihatkan tingkat akurasi yang baik. Pengujian keakuratan sistem dilakukan dengan menggunakan MSE (Mean Square Error) sebagai metrik evaluasi, dan hasilnya menunjukkan nilai sebesar 0,276157. Angka ini mengindikasikan bahwa estimasi kecepatan yang dihasilkan oleh sistem relatif dekat dengan nilai sebenarnya, sehingga dapat dianggap akurat. Namun, perlu dicatat bahwa terdapat perbedaan dalam akurasi deteksi kecepatan antara kendaraan roda empat dan sepeda motor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa deteksi kecepatan sepeda motor menghasilkan nilai MSE sebesar 4,703646, yang menunjukkan tingkat ketidakakuratan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kendaraan roda empat. Perbedaan ini bisa disebabkan oleh karakteristik pergerakan yang berbeda antara kedua jenis kendaraan. Peningkatan akurasi deteksi kecepatan sepeda motor perlu menjadi fokus pengembangan selanjutnya. Dengan melakukan perbaikan dan penyesuaian algoritma yang digunakan untuk deteksi kecepatan sepeda motor, diharapkan hasilnya dapat semakin mendekati 0 pada nilai MSE, sehingga tingkat akurasi akan semakin tinggi. Hal ini akan membantu petugas lalu lintas dalam memantau lalu lintas dengan lebih efektif dan mendukung penegakan peraturan lalu lintas yang lebih baik.

Kata kunci: kalman filter, estimasi laju, kendaraan

Pendahuluan

Kecelakaan lalu lintas sering disebabkan oleh kecepatan kendaraan yang tidak terkendali. UU No. 22 Tahun 2009 dan PM 111 Tahun 2015 mengatur batasan kecepatan: jalan tol (60-100 km/jam), perjalanan antar kota (80 km/jam), di dalam kota (50 km/jam), dan daerah pemukiman (30 km/jam). Mematuhi batasan kecepatan penting untuk keselamatan diri dan pengguna jalan lainnya[1]. Teknologi otomotif pada kendaraan baru dapat memberikan bantuan tenaga yang memungkinkan kendaraan melaju lebih cepat, namun hal ini dapat mengurangi kenyamanan berkendara dan meningkatkan risiko kecelakaan. Pihak kepolisian saat ini menggunakan speed gun untuk mengukur kecepatan kendaraan dan mendeteksi pelanggaran kecepatan sesuai dengan batasan yang ditetapkan oleh Undang-Undang. Namun, penggunaan speed gun umumnya terbatas pada jalan tol, belum umum di jalan raya[2].

Kecelakaan sering terjadi akibat kelebihan kecepatan berkendara. Tiga faktor utama yang menyebabkan kecelakaan adalah faktor manusia, faktor kecepatan kendaraan, dan faktor jalan. Kombinasi dari faktor-faktor ini dapat terjadi, misalnya saat manusia melampaui batas kecepatan yang ditetapkan dan terjadi pecah ban yang mengakibatkan kecelakaan. Selain itu, faktor cuaca juga dapat berkontribusi terhadap kecelakaan[3].

Peneliti akan menggunakan Kalman filter dengan bahasa pemrograman Matlab untuk deteksi kecepatan melalui pengambilan video kendaraan di jalan raya. Belakangan, metode estimasi kecepatan kendaraan populer adalah Kalman filter. Metode ini efektif dalam memperkirakan variasi kecepatan kendaraan dengan menerima deretan citra dari rekaman video kendaraan sebagai input[4]. Sistem ini melibatkan observasi langsung di lapangan, pengambilan data video, dan pemisahan data menjadi data training dan data testing. Data training akan diambil di depan Pabrik PT.Tjiwi Kimia Tbk, sementara data testing akan diambil di lapangan pacing untuk menghindari kejadian yang tidak diinginkan.

Studi Pustaka

Pada penelitian, penting untuk melakukan kajian pustaka yang komprehensif terhadap penelitian-penelitian sebelumnya. Tujuannya adalah untuk mengakses sumber referensi yang relevan dan terbaru guna mendukung penelitian ini, metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu KalmanFilter[5]. Pada penelitian ini menghitung keakuratan sistem menggunakan MSE yang menghasilkan 0,2 untuk estimasi kendaraan mobil dan 4,7 untuk estimasi kendaraan sepeda motor[6].

a. *Cascade Object Detector*

Algoritma Cascade deteksi objek ML. Fungsi cascade, latih dari citra positif (objek) dan negatif (tanpa objek). Filter periksa bagian, hitung selisih intensitas piksel hitam-putih sebagai fitur. Klasifikasi bertingkat, hasilkan subcitra bukan objek kendaraan [7].

b. Kalman filter

Kalman filter digunakan untuk memperkirakan kecepatan kendaraan dan memberi peringatan dini tentang potensi kecelakaan. Kelebihannya terletak pada efektivitas dan cakupan seluruh kemungkinan filter. Itu sebabnya Kalman filter dipilih sebagai metode dalam penelitian ini untuk mengestimasi kecepatan kendaraan [8].

c. *MSE(Mean Square Error)*

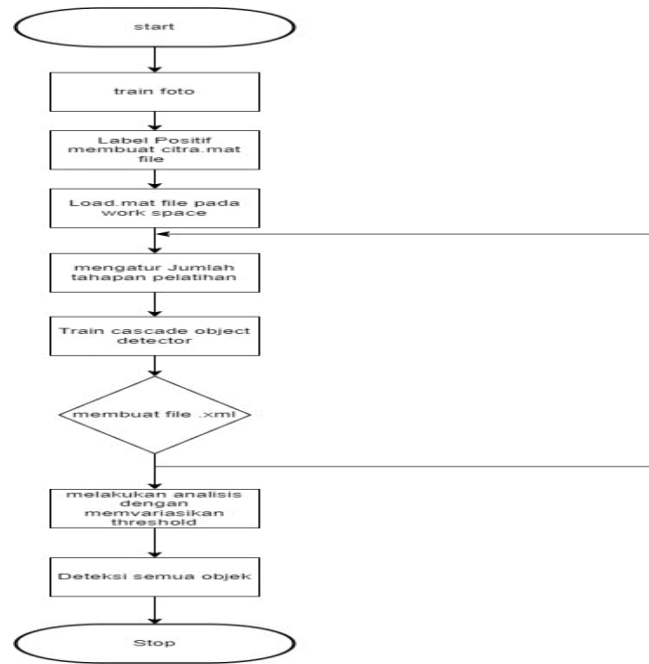
MSE, metrik evaluasi regresi, mengukur akurasi prediksi model terhadap nilai sebenarnya. Ketidakseimbangan data dalam estimasi kecepatan kendaraan menggunakan speed gun mempengaruhi kualitas dan keadilan model [9]. Perhatian penelitian semakin meningkat terhadap regresi tak seimbang, dengan penekanan pada label berkelanjutan yang tak terbatas dan berdimensi tinggi. Semakin kecil nilai MSE, semakin baik prediksi model [10].

Metodologi Penelitian

Metodologi ini berfokus pada perancangan sistem yang akan digunakan oleh peneliti untuk menciptakan aplikasi estimasi kecepatan kendaraan. Penelitian ini melibatkan beberapa proses, yaitu pengumpulan data, pelatihan data, dan implementasi estimasi kecepatan kendaraan menggunakan algoritma Kalman filter.

a. *Cascade Object Detector*

Pembuatan *cascade Object detector* melibatkan dua jenis dataset penting: dataset citra positif (sekitar 1000 gambar kendaraan yang melintas di depan Pabrik PT. Tjiwi Kimia, Tbk.) dan dataset citra negatif (sekitar 500 gambar jalan raya tanpa kendaraan). Kedua dataset ini kemudian dilatih dalam format xml untuk digunakan dalam *cascade Object detector*.



Gambar 1. Flowchart Cascade Detector

b. Estimasi kecepatan kendaraan dengan Kalman filter

Metode deteksi kecepatan kendaraan menggunakan Kalman Filter menggabungkan kemampuan deteksi objek menggunakan *Cascade Object Detector* dengan teknik estimasi kecepatan menggunakan Kalman Filter. Prosesnya dimulai dengan tahap inialisasi Kalman Filter, di mana semua parameter penting diinisialisasi. Matriks transisi keadaan akan menggambarkan bagaimana keadaan sistem berubah dari waktu ke waktu, sedangkan matriks pengukuran akan menghubungkan antara keadaan sistem dan observasi yang dihasilkan oleh *Cascade Object Detector*. Kemudian, matriks kovarian noise proses dan kovarian noise pengukuran akan menentukan seberapa besar ketidakpastian yang ada dalam sistem dan pengukuran objek. Estimasi awal keadaan akan memberikan perkiraan awal tentang posisi dan kecepatan objek sebelum proses deteksi dimulai. Matriks kovarian awal kesalahan akan menggambarkan ketidakpastian awal dari estimasi keadaan. Setelah tahap inialisasi selesai, proses deteksi objek dengan *Cascade Object Detector* akan dimulai. Algoritma ini akan mencari objek yang bergerak dalam rangkaian gambar atau video. Setiap deteksi objek yang berhasil akan menjadi masukan untuk langkah pembaruan Kalman Filter. Kalman Filter akan melakukan langkah prediksi berdasarkan matriks transisi keadaan untuk memperkirakan posisi dan kecepatan objek pada saat berikutnya. Setelah mendapatkan observasi dari *Cascade Object Detector*, Kalman Filter akan melakukan langkah pembaruan menggunakan matriks Kalman gain yang telah dihitung sebelumnya. Langkah pembaruan ini akan memperbarui estimasi kecepatan objek berdasarkan deteksi objek terbaru, dan mengambil keseimbangan antara informasi dari pengukuran aktual dan estimasi sebelumnya yang telah dihitung oleh Kalman Filter. Proses ini berlanjut secara iteratif untuk setiap frame dalam video atau rangkaian gambar. Dengan demikian, metode ini mampu menggabungkan deteksi objek yang akurat dengan estimasi kecepatan menggunakan Kalman Filter yang adaptif terhadap ketidakpastian. Hal ini menghasilkan estimasi kecepatan kendaraan atau objek yang lebih akurat dan stabil dalam sistem pengawasan atau pemantauan. Dengan menerapkan pendekatan ini, sistem dapat mengidentifikasi dan melacak objek bergerak dengan efisien, menjadikannya berguna dalam berbagai aplikasi seperti lalu lintas, keamanan, dan navigasi otonom.

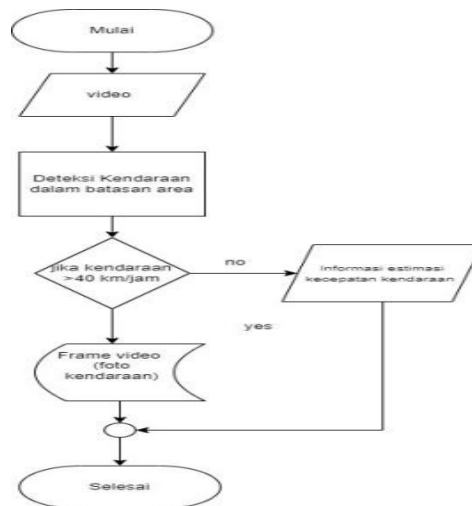
Algoritma 1.Membuat *Estimasi Speed Detector* dengan Kalman Filter.

1. inisialisasi Kalman Filter
 dt: waktu pengukuran
 A: Menentukan matriks transisi keadaan
 B: Menentukan matriks input
 C: Menentukan matriks pengukuran
 Q: (nilai variansi proses yang sesuai)
 R: (nilai variansi pengukuran yang sesuai)
 x: Menentukan estimasi awal keadaan
 P: Menentukan matriks kovarian error awal sebagai matriks identitas 2X2
 K: Menentukan Kalman gain $\rightarrow K = P * C' / (C * P * C' + R)$

2. Memprediksi posisi dan kecepatan kendaraan dalam Kalman filter:
 u:0 (tidak ada inputan)
 $x = A*x + B*u$ \rightarrow melakukan prediksi keadaan dimana 'x' adalah estimasi keadaan sebelumnya, 'A' adalah matriks transisi keadaan, 'B' adalah matriks input, dan 'u' adalah inputan.
 $P=A*P*A + Q$ \rightarrow Melakukan prediksi kovarian error dimana 'P' adalah kovarian error awal sebelumnya, 'A' adalah matriks transisi keadaan, 'Q' adalah matriks kovarian noise proses.

3. Memperbarui estimasi keadaan dan kovarian error dalam Kalman Filter:
 Z: ambil pengukuran actual
 $x = x + K*(z - C*x)$ \rightarrow Pembaruan keadaan dimana 'x' adalah estimasi keadaan sebelumnya, 'K' adalah kalman gain, 'z' adalah pengukuran actual, 'c' adalah matriks pengukuran.
 $P = (eye(2) - K*C)*P$ \rightarrow pembaruan kovarian error dimana 'P' adalah kovarian error awal sebelumnya, 'K' adalah Kalman gain, dan 'C' adalah matriks pengukuran.

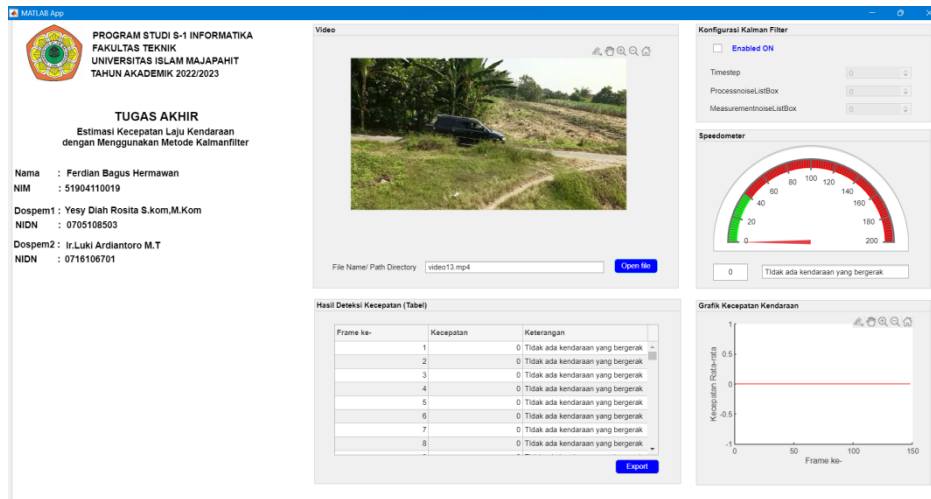
4. Output x (kecepatan).



Gambar 2. Flowchart Kalman Filter

Hasil dan Pembahasan

Hasil implementasi dari estimasi kecepatan kendaraan dengan metode Kalman filter menunjukkan hasil yang cukup akurat.



Gambar 3. Implementasi sistem

a. Deteksi kecepatan kendaraan mobil

Dalam kasus ini, hasil deteksi dihitung dengan menggunakan MSE (Mean Square Error) yang mengkuadratkan selisih antara setiap nilai prediksi dan nilai aktual, kemudian menjumlahkannya, dan dibagi dengan jumlah total data yang digunakan. Dengan nilai akhir MSE sekitar 0,276157, menunjukkan bahwa akurasi prediksinya sangat baik. Semakin mendekati nilai 0, hasil prediksinya semakin akurat. MSE adalah metrik yang umum digunakan untuk mengukur sejauh mana prediksi model mendekati nilai aktual, dan semakin rendah nilai MSE, semakin baik performa modelnya dalam melakukan estimasi kecepatan kendaraan.

Tabel 1. Hasil Uji Coba Estimasi Kecepatan Mobil

Frame	Estimasi	Aktual	Perhitungan MSE $\Sigma(\text{deteksi} - \text{aktual})^2$
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0	0	0
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0
12	0	0	0
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	1.8	1.3	0.511224

Frame	Estimasi	Aktual	Perhitungan MSE $\Sigma(\text{deteksi} - \text{aktual})^2$
.	.	.	.
355	7.76849624363039	6.6	1.168496
356	7.76849624363039	6.6	1.168496
Total data			98.31174
98.31174/356			0.276157

b. Deteksi kecepatan kendaraan sepeda motor

Dalam kasus ini, nilai MSE yang cukup tinggi (4,703646) menunjukkan kesalahan yang signifikan antara prediksi model dengan nilai aktual. Hal ini mengindikasikan bahwa performa model dalam memprediksi data tidak optimal, dan terdapat variasi besar antara nilai yang diprediksi oleh model dan nilai yang sebenarnya. Untuk meningkatkan kualitas prediksi, perlu dilakukan evaluasi dan penyesuaian model agar mengurangi kesalahan prediksi dan menghasilkan nilai MSE yang lebih rendah. Semakin rendah nilai MSE, semakin mendekati prediksi model dengan nilai aktual, dan kualitas model dapat dianggap lebih baik dalam memprediksi data dengan lebih akurat.

Tabel 1. Hasil Uji Coba Estimasi Kecepatan Sepeda Motor

Frame	Estimasi	Aktual	Perhitungan MSE $\Sigma(\text{deteksi} - \text{aktual})^2$
1	0	3.9	3.9
2	1.715986	3.9	2.18401
3	3.43776898514508	2.4	0.68401
4	4.57509342762511	1.7	1.737769
5	5.6909078474695	1.3	3.275093
6	5.6909078474695	1.6	4.090908
7	6.40980088459597	1.4	4.290908
8	6.40980088459597	1.5	4.909801
9	7.95926073048857	1.9	4.509801
.	.	.	.
.	.	.	.
102	11.5164973621634	7.4	4.116497
103	11.5164973621634	7.4	4.116497
Total data			931.1395
931.1395/103			4.703646

Kesimpulan

Berdasarkan penelitian deteksi kecepatan kendaraan menggunakan metode Kalman Filter, dapat disimpulkan bahwa untuk estimasi kecepatan mobil, metode ini memberikan hasil yang cukup akurat dengan MSE sebesar 0,276157. Namun, pada deteksi kecepatan sepeda motor, metode ini memberikan hasil yang kurang akurat dengan MSE sebesar 4,703646. Masalah tersebut disebabkan oleh ketidak stabilan deteksi Kalman Filter akibat pengambilan video dengan kamera yang bergerak. Meskipun demikian, Kalman Filter tetap efektif dalam mengintegrasikan data dari berbagai sensor untuk menghasilkan estimasi yang lebih baik untuk kecepatan kendaraan. Semakin mendekati nilai 0 pada MSE, semakin akurat pula estimasi yang diperoleh.

Daftar Pustaka

- [1] M. K. A. Fauzi, B. Firman, and A. Novianta, "Pengukur Kecepatan Kendaraan Di Kawasan Pemukiman Menggunakan Algoritma Image Subtracting Berbasis Opencv," *J. Elektr.*, pp. 38–45, 2017.
- [2] H. Rahmani, A. Gazali, J. Jarkawi, and M. I. Ramli, "Analisis Hubungan Kecepatan Terhadap Kecelakaan Lalu-Lintas Di Kota Banjarmasin," *J. Indones. Road Saf.*, vol. 2, no. 1, p. 45, 2019, doi: 10.19184/korlantas-jirs.v2i1.15033.
- [3] A. L. E. R. Cindy Irene Kawulur, T.K. Sendow, E. Lintong, "Pengemudi (Studi Kasus Ruas Jalan Manado-Bitung)," *J. Sipil Statik*, vol. 1, no. 4, pp. 289–297, 2013.
- [4] O. Palega, S. Wardoyo, and R. Wiryadinata, "Estimasi Kecepatan Kendaraan Menggunakan Kalman Filter," *Setrum*, vol. 2, no. 2, 2013.
- [5] R. F. Waliulu, "Deteksi dan Penggolongan Kendaraan dengan Kalman Filter dan Model Gaussian di Jalan Tol," *J. Sist. Inf. Bisnis*, vol. 8, no. 1, p. 1, 2018, doi: 10.21456/vol8iss1pp1-8.
- [6] M. Zulfikri, K. Abd Latif, R. Hammad, M. Syahrir, and P. Studi, "Deteksi dan Estimasi Kecepatan Kendaraan dalam Sistem Pengawasan Lalu Lintas Menggunakan Pengolahan Citra Detection and Estimation of Vehicle Speed in Traffic Control Systems Using Image Processing," *Agustus*, vol. 20, no. 3, pp. 455–467, 2021.
- [7] S. Yulina, "Implementation of Haar Cascade Classifier for Face Detection and Grayscale Image Transformation Using OpenCV," *J. Komput. Terap.*, vol. 7, no. Vol. 7 No. 1 (2021), pp. 100–109, 2021, doi: 10.35143/jkt.v7i1.3411.
- [8] R. Wiryadinata, "Kalman Filter Sebagai Metode Estimasi Untuk Mengukur Kecepatan Kendaraan," *Teknoin*, vol. 20, no. 4, pp. 1–8, 2014, doi: 10.20885/teknoin.vol20.iss4.art8.
- [9] A. R. Putri, "Pengolahan Citra Dengan Menggunakan Web Cam Pada Kendaraan Bergerak Di Jalan Raya," *JIPi (Jurnal Ilm. Penelit. dan Pembelajaran Inform.*, vol. 1, no. 01, pp. 1–6, 2016, doi: 10.29100/jipi.v1i01.18.
- [10] J. Ren, M. Zhang, C. Yu, and Z. Liu, "Balanced MSE for Imbalanced Visual Regression," *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, vol. 2022-June, pp. 7916–7925, 2022, doi: 10.1109/CVPR52688.2022.00777.