

# Deteksi Pelanggaran Lampu Lalu Lintas Berdasarkan Sensor Visual

Budi Sugandi<sup>1\*</sup>, Shitiya Lifitri<sup>2</sup> 

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Batam, Batam, Indonesia

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received July 18, 2022

Revised July 19, 2022

Accepted September 20, 2022

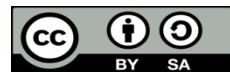
Available online October 25, 2022

### Kata Kunci:

Deteksi Objek, Pelanggaran Lalu Lintas, Sensor Visual, Pengolahan Citra

### Keywords:

Object Detection, Traffic Light Violation, Visual Sensor, Image Processing



This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2022 by Author. Published by Universitas Pendidikan Ganesha.

## ABSTRAK

Peningkatan jumlah pengendara yang pesat berefek pada masalah pelanggaran lalu lintas yang menimbulkan banyak korban. Untuk mengurangi masalah pelanggaran lalu lintas tersebut, dibutuhkan sistem pendeteksi pelanggaran yang dapat mempermudah petugas dalam memantau terjadinya pelanggaran di persimpangan lampu lalu lintas. Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan mengevaluasi sistem deteksi pelanggaran pada simpang lampu lalu lintas menggunakan sensor visual. Sistem dirancang dengan melalui tiga tahapan yaitu deteksi lampu hijau, deteksi kendaraan dan deteksi jumlah pelanggaran. Pada tahap pertama yaitu deteksi lampu hijau digunakan filter warna HSL yang akan mendeteksi lampu hijau lalu lintas. Untuk mendeteksi kendaraan digunakan metode *background subtraction*, *morphology filter* dan *blob detection*. Tahapan terakhir adalah mendeteksi jumlah pelanggaran yang ditentukan dengan penentuan garis virtual yang ditempatkan di atas *zebra cross*. Pada tahap ini, pelanggaran ditentukan oleh pengendara yang melewati atau berada di atas garis virtual. Sistem diimplementasikan menggunakan video hasil rekaman di beberapa simpang lalu lintas. Hasil evaluasi pengujian menunjukkan bahwa sistem deteksi pelanggaran yang telah dikembangkan telah berhasil mendeteksi pelanggaran lalu lintas dengan tingkat kesalahan rata-rata sebesar 1,1%. Sistem telah berhasil mendeteksi lampu lalu lintas menggunakan filter warna HSL.

## ABSTRACT

The increasing of the number of vehicles may cause traffic light violation and many accidents. In order to reduce the traffic light violations problem, it is necessary to develop a system that automatically detect the traffic violation. The system can monitor a violation real time and make the officer easy to monitor. The paper aims to develop and evaluate a system to detect the traffic violation based on visual sensing. The system is designed within three stages namely green light detection, vehicle detection and number of violations detection. In the first stage, the HSL color filter is used to detect the green light. In order to detect the vehicles in stage two, the background subtraction and blob detection method are used. In the last stage, the violation detection is determined using virtual line which lied over the zebra cross. In this stage, the violation is determine when the vehicle passed the virtual line or over the virtual line. The system is implemented using recorded videos in some road junction. Our system has succesfully detected number of violation which break through the red traffic light. The evaluation results show that our system has average error 1.1 %. The system has successfully detected traffic lights using the HSL color filter.

## 1. PENDAHULUAN

Kendaraan bermotor merupakan salah satu media mobilisasi yang telah lama menunjang kebutuhan manusia di dunia. Seiring dengan melonjaknya pertumbuhan populasi dan kemudahan memiliki kendaraan bermotor, jumlah pengendara kini meningkat begitu pesat. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik jumlah kendaraan bermotor pada tahun 2020 mencapai 136 juta unit (Satlantas, 2022; Triwibowo et al., 2020). Peningkatan jumlah pengendara yang begitu pesat yang belum mampu ditangani oleh fasilitas jalan maupun disiplin berkendara berefek pada masalah pelanggaran lalu lintas yang menimbulkan banyak korban. Tidak sedikit korban berjatuh akibat kelalaian para pengendara yang melanggar ketentuan. Hasil laporan jajarannya Polda seluruh Indonesia tahun 2019 menyebutkan dalam kurun waktu satu tahun data kecelakaan lalu lintas di seluruh Indonesia mencapai 116 ribu kecelakaan (Badan pusat & Statistik, 2021). Berbagai faktor kecelakaan di jalan raya antara lain disebabkan oleh penerobosan lampu lalu lintas, tidak adanya penggunaan helm dan pengendara yang melewati mbang batas kecepatan kendaraan bermotor. Untuk membantu mengurangi angka kecelakaan lalu lintas, pengembangan teknologi yang dapat memudahkan pemantauan pelanggaran sebagai usaha pencegahan kecelakaan sangatlah diperlukan.

\*Corresponding author.

E-mail addresses: [budi\\_sugandi@polibatam.ac.id](mailto:budi_sugandi@polibatam.ac.id) (Budi Sugandi)

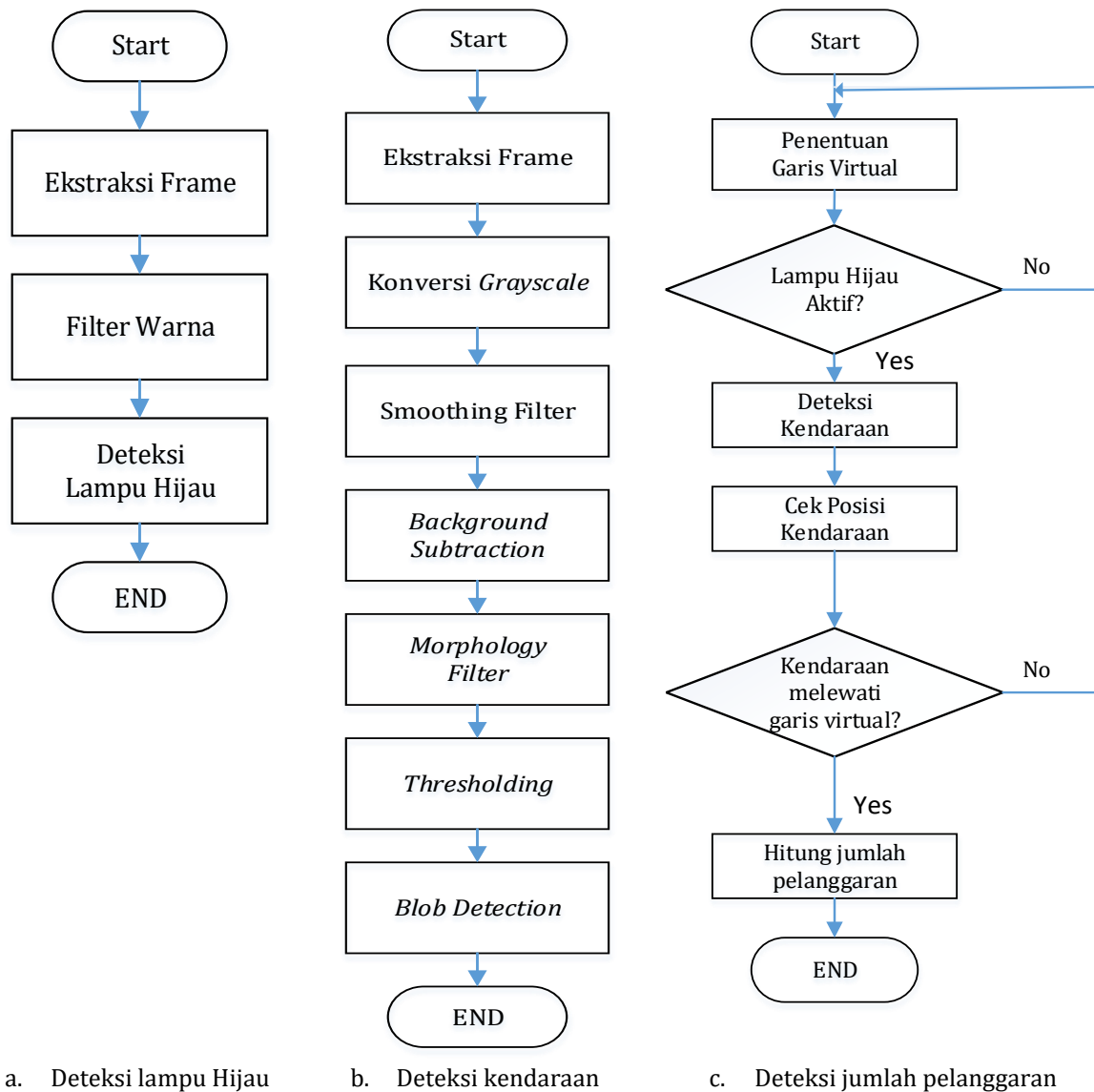
Salah satu pengembangan teknologi yang diharapkan dapat mengurangi kecelakaan lalu lintas tersebut di antaranya adalah teknologi pendeteksian pelanggaran di persimpangan lampu lalu lintas menggunakan kamera sebagai sensor visual. Beberapa penelitian sudah mulai mengembangkan sistem pelanggaran lalu lintas yang terkait dengan pelanggaran lampu lalu lintas, tidak pakai helm, maupun melebihi batas kecepatan yang diijinkan. Salah satunya adalah deteksi pelanggaran *zebra cross* yang telah dikembangkan dengan menggunakan *adaftive backgroud subtraction* (Miranto et al., 2019; Savaş et al., 2018). Sistem diimplementasikan menggunakan *Rapsberry*. Sistem berhasil mendeksi pelanggaran *zebra cross* dengan memberikan peringatan pada sistem menggunakan *buzzer*. Pelanggaran *zebra cross* dideteksi dengan menggunakan garis bantu sejajar dengan *zebra cross* (Pushpendra, Kumar, 2020; Rahmawati et al., 2022). Saat lampu merah menyala dan ada kendaraan yang melebihi batas garis tersebut maka dinyatakan melanggar lalu lintas. Sistem ini mempunyai akurasi yang baik akan tetapi mempunyai beberapa kelemahan salah satunya adanya peringatan palsu atas pelanggaran akibat pencahayaan yang kurang baik (Rizki & Suwarno, 2021; Setiawan & Sulistiyanti, 2020).

Deteksi pelanggaran terhadap lampu merah berdasarkan ekstraksi warna dan bentuk dari lampu telah dikembangkan dan berhasil mendeksi pelanggaran lampu merah di persimpangan. Kondisi pelanggaran ditentukan dari jarak antara kendaraan dengan lampu merah yang ditentukan dengan *threshold* tertentu yang ditentukan oleh eksperimen. Nilai *threshold* ini sangat mempengaruhi akurasi pendeteksian pelanggaran (Prasantha, 2020). Algoritma pendeteksian pelanggaran lampu lintas dikembangkan juga dengan menggunakan kecerdasan buatan dan *deep learning* maupun algoritma genetik untuk meningkatkan akurasi dan kecepatan pendeteksian (Bhat et al., 2021; Franklin & Mohana, 2020; Tonge et al., 2020; Uy et al., 2017). Selain pendeteksian pelanggaran lalu lintas dari lampu, deteksi pelanggaran lalu lintas dapat dilakukan juga pada pelanggaran pengendara sepeda motor yang tidak menggunakan helm. Sistem dikembangkan dengan mengklasifikasikan pengendara sepeda motor yang menggunakan helm atau tidak (Ibadov et al., 2017; Jia et al., 2021; Li et al., 2021). Deteksi helm menggunakan CNN (Gunadi et al., 2020). Jenis pelanggaran lainnya adalah pelanggaran batas kecepatan kendaraan. Penelitian terkait deteksi kecepatan kendaraan telah dikembangkan dengan menggunakan *Haar-like Feature* (Andrew et al., 2017). Kekurangan penelitian ini diakibatkan oleh rapatnya jarak antar kendaraan, sehingga sulit dideteksi. Selain itu penempatan kamera mengakibatkan sudut pandang yang terbatas. Akurasi sistem sangat rendah di kondisi jalan yang padat yaitu sekitar 28,2%.

Penelitian sebelumnya telah diimplementasikan dalam pendeteksian pelanggaran lalu lintas dengan tingkat akurasi yang berbeda-beda tergantung algoritma dan teknologi yang digunakan. Sistem yang dikembangkan masih meninggalkan kekurangan yang menjadi tantangan untuk diperbaiki agar akurasinya meningkatkan dengan mengembangkan baik dari sisi algoritma maupun teknologi. Untuk mengatasi kekurangan tersebut, dalam penelitian ini diusulkan sistem pendeteksi pelanggaran lampu pada simpang lampu lalu lintas. Sistem dirancang dengan menggunakan tiga tahapan yaitu deteksi lampu hijau, deteksi kendaraan dan deteksi jumlah pelanggaran. Pada tahap pertama yaitu deteksi lampu hijau digunakan filter warna HSL yang akan mendeteksi warna hijau dari lampu lalu lintas. Untuk mendeteksi kendaraan digunakan metode *background subtraction*, *morphology filer* dan *blob detection*. Tahapan terakhir adalah mendeteksi jumlah pelanggaran yang ditentukan dengan penentuan garis virtual yang ditempatkan di atas *zebra cross*. Pada tahap ini, pelanggaran ditentukan oleh pengendara yang melewati garis virtual atau berada di atas garis virtual. Sehingga, penelitian ini bertujuan untuk menciptakan sistem deteksi pelanggaran pada simpang lampu lalu lintas menggunakan sensor visual.

## 2. METODE

Penelitian ini mengembangkan suatu sistem untuk mendeteksi pelanggaran lampu lalu lintas di suatu simpang jalan. Proses deteksi pelanggaran dilakukan dengan melihat kondisi lampu hijau pada suatu simpang dan kondisi kendaraan yang melaju di simpang yang lain. Dalam penelitian ini digunakan alat bantu berupa garis virtual di atas *zebra cross* sebagai penanda dimana suatu kendaraan dianggap melanggar atau tidak. Tahapan pengembangan sistem dibagi menjadi tiga tahap pendeteksian yaitu deteksi lampu lalu lintas, deteksi kendaraan yang melintas di simpang lampu dan deteksi jumlah kendaraan yang melanggar lampu lalu lintas setiap tahapan ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Tahapan Deteksi Pelanggaran Lalu Lintas

Tahap pertama dari sistem deteksi pelanggaran lalu lintas adalah tahapan deteksi lampu hijau pada lampu lalu lintas (Gambar 1.a). Proses deteksi lampu hijau ini menggunakan filter warna HSL (*hue*, *saturation* dan *Luminance*) (Sugandi, 2018). Persamaan konversi citra RGB ke HSL dirumuskan dalam persamaan (1) (Ehkan et al., 2020). Nilai HSL ini mempunyai rentang  $0 \leq L \leq 1, 0 \leq S \leq 1$  dan  $0 \leq H \leq 360^\circ$ . Dengan mengatur rentang nilai H, S dan L, maka hanya akan difilter objek yang berwarna hijau. Hasil pendeteksian lampu hijau ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Hasil Deteksi Lampu Hijau

$$r = \frac{R}{255}; g = \frac{G}{255}; b = \frac{B}{255}$$

$$d = \max(r, g, b) - \min(r, g, b)$$

$$H = \begin{cases} 0, & \text{if } d = 0 \\ \frac{60(G - B)}{d}, & \text{if } \max = r \\ 120 + \frac{60(B - R)}{d}, & \text{if } \max = g \\ 240 + \frac{60(R - G)}{d}, & \text{if } \max = B \end{cases} \quad (1)$$

$$L = \frac{\max(r, g, b) + \min(r, g, b)}{2}$$

$$S = \begin{cases} 0, & \text{if } d = 0 \\ \frac{d}{\max(r, g, b) + \min(r, g, b)}, & \text{if } L < 0,5 \\ \frac{d}{2 - \max(r, g, b) - \min(r, g, b)}, & \text{if } L > 0,5 \end{cases}$$

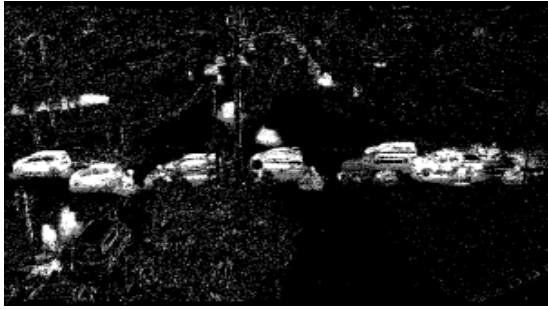
Tahap selanjutnya adalah mendeteksi kendaraan yang melewati simpang jalan (Gambar 1.b). Hasil pendeteksian kendaraan ditunjukkan pada Gambar 4. Proses ini diawali dengan konversi citra ke bentuk citra *grayscale*. Untuk mendapatkan citra objek yang bergerak, digunakan metode *background subtraction*. Filter *smoothing* digunakan untuk mengurangi noise hasil pendeteksian objek oleh *background subtraction*. Filter *smoothing* akan merata-ratakan nilai piksel sehingga membuat citra dengan noise menjadi *blur*. Morphology filter selanjutnya diberikan pada citra untuk melokalisasi objek yang akan dideteksi. Morphology filter terhadap suatu citra didefinisikan dalam persamaan (2) dan (3) yang merupakan operasi erosi dan dilasi, dimana  $f(x,y)$  adalah citra asal dan  $B_{xy}$  adalah struktur elemen dengan titik referensi pada koordinat  $x, y$  (Boato et al., 2020; Qian & Weng, 2015). Tahap terakhir dari pendeteksian kendaraan adalah *thresholding* dan *blob detection* (Triwibowo et al., 2020). *Thresholding* akan memisahkan objek yang dideteksi dengan *background*-nya. Sedangkan, *blob detection* akan menghilangkan objek palsu yang masih terdeteksi sehingga terpisah dari objek yang benar-benar akan dideteksi. Selanjutnya, objek yang dideteksi akan ditandai dengan kotak yang berwarna merah. Proses deteksi kendaraan di simpang lalu lintas disajikan pada Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7.

$$f \ominus B = \min_B(f(x, y) \cap B_{xy}) \quad (2)$$

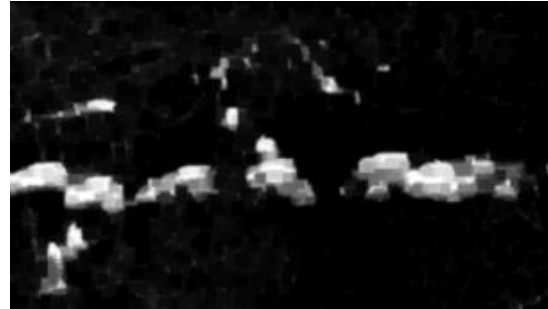
$$f \oplus B = \max_B(f(x, y) \cap B_{xy}) \quad (3)$$



Gambar 3. Citra Asal



**Gambar 4. Smoothing**



**Gambar 5. Morphology**



**Gambar 6. Thresholding & Blob Detection**



**Gambar 7. Deteksi Kendaraan**

Tahap ketiga dari sistem deteksi pelanggaran lalu lintas adalah tahapan deteksi jumlah pelanggaran. Tahapan ini dimulai dengan proses inialisasi garis virtual pada citra. Penentuan garis dilakukan dengan cara meletakkan garis virtual diatas *zebra cross* lampu lalu lintas yang terdapat pada citra seperti ditunjukkan pada [Gambar 8](#). Garis virtual ini digunakan sebagai garis referensi untuk menentukan suatu kendaraan melanggar lampu lalu lintas atau tidak.



**Gambar 8. Peletakan Garis Virtual di Masing-Masing Simpang**

Setelah itu dilakukan pengecekan lampu hijau dan pendeteksian objek. Jika keduanya terpenuhi maka kendaraan yang terdeteksi akan ditracking dengan ditandai dengan kotak berwarna merah yang digunakan sebagai acuan untuk mengetahui posisi kendaraan seperti ditunjukkan pada [Gambar 9](#). Sistem akan mengecek posisi kendaraan yang ditracking apakah kendaraan tersebut melewati garis virtual atau tidak. Kendaraan yang melewati atau berhenti di atas garis virtual akan terhitung sebagai pelanggaran. Demikian pula, kendaraan yang melewati garis virtual dan langsung berbelok kiri juga akan terhitung sebagai pelanggaran.



**Gambar 9.** Penandaan Kendaraan yang Terdeteksi

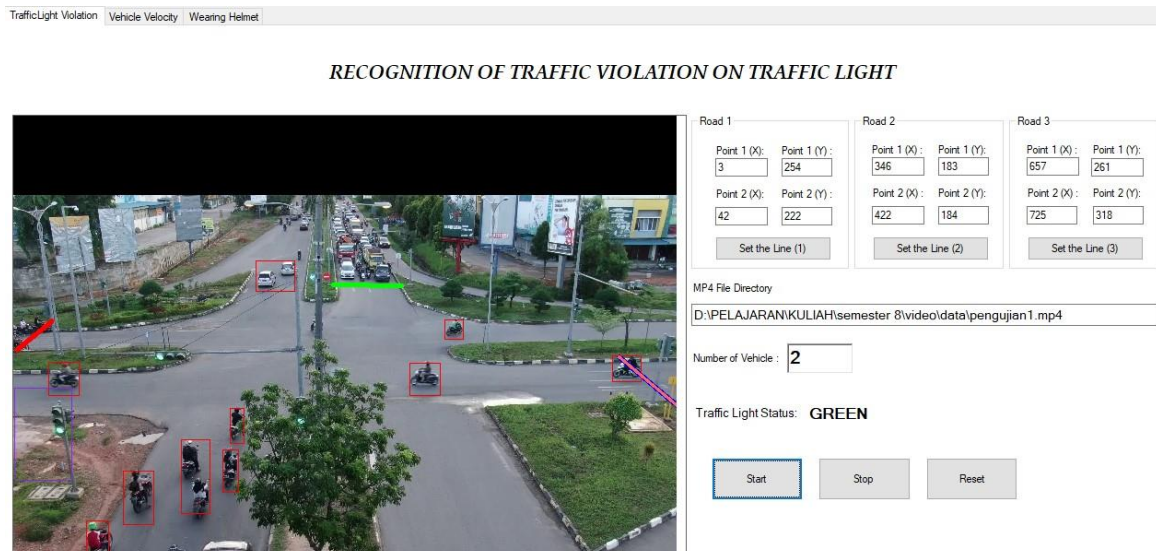
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Hasil

Sistem diimplementasikan dengan merekam video di salah satu simpang dengan tampilan sudut pengambilan video. Lampu hijau yang akan dideteksi merupakan lampu yang ada di simpang didepan sudut pandang kamera. Sedangkan pelanggaran kendaraan yang akan dideteksi berada pada simpang lainnya. Jika posisi lampu hijau terdeteksi dan ada kendaraan yang melintas melewati garis virtual maka akan dihitung sebagai kendaraan yang melanggar. Salah satu contoh hasil pendeteksian lampu hijau dan pelanggaran. Garis virtual ditentukan terlebih dahulu untuk ketiga simpang lain dengan menempatkannya di atas *zebra cross* di masing-masing simpang ditandai dengan garis berwarna hijau, merah dan pink. Kendaraan yang akan dideteksi masing-masing ditandai dengan kotak yang berwarna merah. Setelah terdefinisi garis virtual, sistem akan mendeteksi lampu hijau di simpang yang lain. Seperti yang terlihat pada gambar, sistem berhasil mendeteksi kondisi lampu lalu lintas yang sedang hijau. Sistem akan menghitung jumlah kendaraan yang terdeteksi melewati atau di atas garis virtual. Terlihat dari gambar, terdapat dua kendaraan yang melanggar yaitu kendaraan yang melewati garis virtual dan kendaraan yang berada di atas garis virtual. Sistem berhasil menghitung jumlah kendaraan yang melanggar dan menampilkan jumlahnya. Sistem diimplementasikan dan diuji menggunakan 10 video.



**Gambar 10.** Tampilan Sudut Pengambilan Video



Gambar 11. Deteksi Pelanggaran Lalu Lintas

Untuk mengukur akurasi sistem dan optimalisasi hasil deteksi, pengujian dilakukan dengan menerapkan beberapa nilai *threshold* yaitu 125, 140, 160 dan 180 seperti yang tersaji pada Tabel 1. Nilai optimal didapat ketika *threshold* = 140 dengan rata-rata error 0.3%. Sementara nilai tertinggi didapatkan ketika nilai *threshold* = 160 dengan rata-rata error 1.8%.

Tabel 1. Data Pengujian untuk Masing-Masing Video

No	Data Pengujian	Rata-Rata Error (%)			
		TH = 125	TH = 140	TH = 160	TH = 180
1	Video 1	3,2	2,4	3	3
2	Video 2	0,4	2,2	4,4	2,8
3	Video 3	0	0,8	1,8	1
4	Video 4	1,4	0,8	1	0,8
5	Video 5	0,4	0	1	0,6
6	Video 6	0,6	1	0,8	0,4
7	Video 7	0	0	0	0
8	Video 8	2,2	1,6	4	0,8
9	Video 9	3	2,4	0,2	0,6
10	Video 10	1	1,6	1,2	3,6
<b>Rata-Rata Error (%)</b>		<b>1</b>	<b>0,3</b>	<b>1,8</b>	<b>1,3</b>

**Pembahasan**

Tiga tahapan pendeteksian yaitu deteksi lampu hijau, deteksi kendaraan dan deteksi jumlah pelanggaran telah diimplementasikan dan dievaluasi di simpang lalu lintas. Deteksi lampu hijau telah berhasil dilakukan menggunakan filter warna HSL. Pengaturan range warna dilakukan untuk mendapatkan hasil terbaik. Hasil pendeteksian dipengaruhi oleh kondisi pencahayaan yang ada. Sehingga pengamatan di saat yang berbeda akan menghasilkan hasil yang berbeda pula. Pemilihan filter warna HSL didasarkan pada kemampuannya mendeteksi objek dengan adanya perubahan *background* (Triwibowo et al., 2020; Tsai & Tseng, 2012). Tahapan kedua adalah pendeteksian kendaraan didasarkan *blob detection*. Sistem telah berhasil mendeteksi kendaraan yang berada di persimpangan lampu lalu lintas. Sistem berhasil mentracking dan menandai dengan persegi panjang kendaraan yang melintas. Akurasi pendeteksian kendaraan dilakukan dengan menguji beberapa nilai *threshold*. Tahapan terakhir adalah pendeteksian pelanggaran. Tahap ini telah berhasil mendeteksi pelanggaran dengan menempatkan garis virtual di atas *zebra cross* (Tseng et al., 2002; Iswanjono et al., 2010).

Beberapa penyebab terjadinya kesalahan dalam pendeteksian pada sistem diakibatkan oleh kendaraan sudah melewati garis virtual sebelum lampu hijau aktif pada simpang utama sehingga sistem tidak mendeteksi adanya pergerakan kendaraan tersebut saat melewati garis virtual. Penyebab kedua adalah kendaraan berhenti tepat di garis virtual dan melakukan pergerakan lebih dari sekali sehingga kendaraan tersebut terhitung lebih dari 1 (Fernando & Dinardinata, 2019; Triwibowo et al., 2020).

Penyebab lainnya adalah posisi kamera yang jauh, sehingga tidak mampu untuk mendeteksi kendaraan yang terlalu kecil. Objek kecil ini tereliminasi ketika diberikan beberapa pemfilteran. Untuk perbaikan ke depan, posisi kamera harus diatur sehingga semua kendaraan bisa terdeteksi dengan baik.

#### 4. SIMPULAN

Sistem telah berhasil diimplementasikan dan diuji menggunakan 10 video. Sistem yang dikembangkan telah berhasil menerapkan semua algoritma yang diusulkan dalam artikel ini. Sistem telah berhasil mendeteksi lampu lalu lintas menggunakan filter warna HSL. Kendaraan yang melintas telah berhasil dideteksi menggunakan *background subtraction* dan *blob detection*. Jumlah pelanggaran yang terjadi di salah satu simpang telah berhasil dideteksi jika kendaraan yang dideteksi melewati garis virtual atau berada di atas garis virtual. Sistem yang dikembangkan dapat diimplementasikan untuk memonitor pelanggaran di simpang lalu lintas sehingga akan mencegah atau mengurangi jumlah pelanggaran maupun kecelakaan. Untuk hasil yang lebih baik dan dapat dimanfaatkan secara optimal, penelitian ini perlu dilanjutkan dan diperbaiki. Pengembangan sistem kedepan dapat dibuat sistem yang dapat mendeteksi secara *real time* semua simpang lalu lintas. Sistem dapat dimonitor secara langsung dan memberikan notifikasi ketika ada pelanggaran. Ini semua masih tersisa untuk penelitian lanjutan.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Andrew, A., Buliali, J. L., & Wijaya, A. Y. (2017). Deteksi Kecepatan Kendaraan Berjalan di Jalan Menggunakan OpenCV. *Jurnal Teknik ITS*, 6(2). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i2.23489>.
- Badan pusat, & Statistik. (2021). *Jumlah Kecelakaan, Korban Mati, Luka Berat, Luka Ringan, dan Kerugian Materi 2017-2019*. Bps Publication.
- Bhat, A. T., Anupama, Akshatha, Rao, M. S., & Pai, D. G. (2021). Traffic violation detection in India using genetic algorithm. *Global Transitions Proceedings*, 2(2), 309–314. <https://doi.org/10.1016/j.gltp.2021.08.056>.
- Boato, G., Dang-Nguyen, D. T., & De Natale, F. G. B. (2020). Morphological Filter Detector for Image Forensics Applications. *IEEE Access*, 8, 13549–13560. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2965745>.
- Ehkan, P., Siew, S. V., Zakaria, F. F., Mohd Warip, M. N., & Ilyas, M. Z. (2020). Comparative Study of Parallelism and Pipelining of RGB to HSL Colour Space Conversion Architecture on FPGA. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 767(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/767/1/012054>.
- Fernando, F., & Dinardinata, A. (2019). Pengaruh Pendekatan Pesan Injungtif Normatif Terhadap Kepatuhan Para Pengendara Sepeda Motor Saat Lampu Merah Menyala Di Kawasan Kelurahan Tembalang Dan Banyumanik. *EMPATI*, 7(4), 1418 – 1426. <https://doi.org/10.14710/empati.2018.23459>.
- Franklin, R. J., & Mohana. (2020). *Traffic Signal Violation Detection using Artificial Intelligence and Deep Learning*. 839–844. <https://doi.org/10.1109/icc48766.2020.9137873>.
- Gunadi, K., Setyati, E., & Surabaya, J. S. (2020). Deteksi Helm pada Pengguna Sepeda Motor dengan Metode Convolutional Neural Network. *Jurnal Infra*, 8(1), 295–301.
- Ibadov, S., Ibadov, R., Kalmukov, B., & Krutov, V. (2017). Algorithm for detecting violations of traffic rules based on computer vision approaches. *MATEC Web of Conferences*, 132. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201713205005>.
- Iswanjono, Budiardjo, B., & Ramli, K. (2010). Simulation for RFID-based red light violation detection: Violation detection and flow prediction. *2nd International Conference on Computer Research and Development, ICCRD 2010, Id*, 742–746. <https://doi.org/10.1109/ICCRD.2010.168>.
- Jia, W., Xu, S., Liang, Z., Zhao, Y., Min, H., Li, S., & Yu, Y. (2021). Real-time automatic helmet detection of motorcyclists in urban traffic using improved YOLOv5 detector. *IET Image Processing*, 15(14), 3623–3637. <https://doi.org/10.1049/ipr2.12295>.
- Li, H., Zhang, A., Zhang, M., Huang, B., Zhao, X., Gao, J., & Si, J. (2021). Concurrent and longitudinal associations between parental educational involvement, teacher support, and math anxiety: The role of math learning involvement in elementary school children. *Contemporary Educational Psychology*, 66(1), 101984. <https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2021.101984>.
- Miranto, A., Sulistiyanti, S. R., & Arinto Setyawan, F. X. (2019). Adaptive background subtraction for monitoring system. *2019 International Conference on Information and Communications Technology, ICOIACT 2019*, 153–156. <https://doi.org/10.1109/ICOIACT46704.2019.8938501>.
- Prasanth. (2020). Traffic Red Light Violation Detection using Image Processing. *International Journal of Advances in Engineering and Management*.
- Pushpendra, Kumar, V. D. K. S. (2020). Design of Zebra Cross Violation Detection Model in Traffic Light Using the Adaptive Background Subtraction Method. *International Journal of Advanced Science and*



- Technology*, 29(5), 2151–2159.
- Qian, S., & Weng, G. R. (2015). *Research on Object Detection based on Mathematical Morphology*. <https://doi.org/10.2991/icitmi-15.2015.36>.
- Rahmawati, Y., Simanjuntak, I. U., & Simorangkir, R. B. (2022). Rancang Bangun Purwarupa Sistem Peringatan Pengendara Pelanggar Zebra Cross Berbasis Mikrokontroler ESP-32 CAM. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 4(2), 189–195. <https://doi.org/10.37905/jjee.v4i2.14499>.
- Rizki, R., & Suwarno, S. (2021). A New Design Prototype of Safety System on Traffic Light using Hydraulic Limiters Zebra Cross Automatic-. *Budapest International Research and Critics Institute (BIRCI-Journal): Humanities and Social Sciences*, 4(3), 6741–6749. <https://doi.org/10.33258/birci.v4i3.2493>.
- Satlantas. (2022). *Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis (UNIT)*. Badan Pusat Statistik.
- Savaş, M. F., Demirel, H., & Erkal, B. (2018). Moving object detection using an adaptive background subtraction method based on block-based structure in dynamic scene. *Optik*, 168, 605–618. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2018.04.047>.
- Setiawan, P. R., & Sulistiyanti, S. R. (2020). Deteksi Pelanggaran Zebra Cross Pada Traffic Light Menggunakan Metode Adaptif Background Subtraction. *Electrician*, 12(3), 104. <https://doi.org/10.23960/elc.v12n3.2083>.
- Sugandi, B. (2018). Deteksi dan Pelacakan Wajah Berdasarkan Warna Kulit Menggunakan Partikel Filter. *Jurnal Rekayasa Elektrika*, 14(2). <https://doi.org/10.17529/jre.v14i2.10974>.
- Tonge, A., Chandak, S., Khiste, R., Khan, U., & Bewoor, L. A. (2020). Traffic Rules Violation Detection using Deep Learning. *Proceedings of the 4th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology, ICECA 2020*, 1250–1257. <https://doi.org/10.1109/ICECA49313.2020.9297495>.
- Triwibowo, D. N., Utami, E., & Sukoco, S. (2020). Analisis BLOB Detection Pada Pendeteksian dan Perhitungan Kendaraan di Jalan Tol. *Inspiration: Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, 10(1), 1. <https://doi.org/10.35585/inspir.v10i1.2532>.
- Tsai, S. H., & Tseng, Y. H. (2012). A novel color detection method based on HSL color space for robotic soccer competition. *Computers and Mathematics with Applications*, 64(5), 1291–1300. <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2012.03.073>.
- Tseng, B. L., Lin, C. Y., & Smith, J. R. (2002). Real-time video surveillance for traffic monitoring using virtual line analysis. *Proceedings - 2002 IEEE International Conference on Multimedia and Expo, ICME 2002*, 2, 541–544. <https://doi.org/10.1109/ICME.2002.1035671>.
- Uy, A. C. P., Quiros, A. R. F., Bedruz, R. A., Abad, A., Bandala, A., Sybingco, E., & Dadios, E. P. (2017). Automated traffic violation apprehension system using genetic algorithm and artificial neural network. *IEEE Region 10 Annual International Conference, Proceedings/TENCON*, 2094–2099. <https://doi.org/10.1109/TENCON.2016.7848395>.