

Sistem Sinyal Lalu Lintas Adaptif memanfaatkan YOLOv11 dan Logika Fuzzy untuk Mitigasi Kemacetan

Adaptive Traffic Signal System Utilizing YOLOv11 and Fuzzy Logic for Congestion Mitigation

¹**Dio Damas Permadi***, ²**Muchtar Ali Setyo Yudono**, ³**Abdul Haris Kuspranoto**, ⁴**Ardin Rozandi**,
⁵**Marina Artiyasa**, ⁶**Alvin Mubarok**, ⁷**Dwi Septiani**

^{1,4,7}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Komputer dan Desain, Universitas Nusa Putra,
Sukabumi, Jawa Barat, Indonesia

^{2,6}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon,
Banten, Indonesia

³Program Studi Teknik Elektromedis, Politeknik Bina Trada Semarang, Semarang, Jawa Tengah,
Indonesia

⁵Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Komputer dan Desain, Universitas Nusa Putra,
Sukabumi, Jawa Barat, Indonesia

*e-mail: dio.permadi@nusaputra.ac.id

(*received*: 19 November 2025, *revised*: 6 December 2025, *accepted*: 7 December 2025)

Abstrak

Peningkatan jumlah kendaraan di kawasan urban dan sub-urban telah menyebabkan kemacetan lalu lintas yang mengarah pada waktu tempuh yang lebih lama, peningkatan emisi gas buang, dan tingginya potensi kecelakaan. Sistem lampu lalu lintas konvensional berbasis waktu tetap sering kali tidak dapat merespons perubahan kondisi lalu lintas secara dinamis, yang mengakibatkan antrean yang tidak efisien. Penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem lampu lalu lintas adaptif yang memanfaatkan YOLOv11 dan logika fuzzy untuk mendeteksi volume kendaraan dan menyesuaikan durasi lampu hijau secara *real-time*. YOLOv11 digunakan untuk mendeteksi kendaraan di setiap jalur, sementara logika fuzzy mengatur durasi lampu hijau berdasarkan jumlah kendaraan yang terdeteksi. Hasil pengujian menunjukkan akurasi 0,92 dan *recall* 0,93 dalam mendeteksi kendaraan. Durasi lampu hijau bervariasi, mulai dari 80 detik untuk volume kendaraan rendah hingga 100 detik untuk volume tinggi. Siklus lampu lalu lintas disesuaikan dengan jumlah kendaraan, dengan siklus total maksimum 100 detik. Sistem ini terbukti efektif dalam mengurangi kemacetan dan meningkatkan efisiensi pengaturan lalu lintas di persimpangan dengan volume kendaraan tinggi.

Kata kunci: logika fuzzy, lampu lalu lintas adaptif cerdas, pengaturan waktu, deteksi kendaraan, yolov11

Abstract

The increasing number of vehicles in urban and suburban areas has led to traffic congestion, resulting in longer travel times, higher exhaust emissions, and an increased risk of accidents. Conventional fixed-time traffic signal systems often fail to respond dynamically to changing traffic conditions, leading to inefficient vehicle queues. This study proposes the development of an adaptive traffic signal system that utilizes YOLOv11 and fuzzy logic to detect vehicle volume and adjust green light durations in real time. YOLOv11 is employed to detect vehicles in each lane, while fuzzy logic is used to regulate green signal durations based on the detected vehicle counts. Experimental results demonstrate a detection accuracy of 0.92 and a recall of 0.93. The green light duration varies from 80 seconds for low traffic volumes to 100 seconds for high traffic volumes. The traffic signal cycle is dynamically adjusted according to vehicle density, with a maximum total cycle time of 100 seconds. Overall, the proposed system is proven effective in reducing congestion and improving traffic management efficiency at intersections with high vehicle volumes.

Keywords: fuzzy logic, intelligent adaptive traffic light, time control, vehicle detection, yolov11

1 Pendahuluan

Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor di kawasan urban dan sub-urban memberikan dampak signifikan terhadap sistem transportasi [1], [2], [3], [4], [5]. Peningkatan volume kendaraan menyebabkan inefisiensi perjalanan yang ditandai dengan bertambahnya waktu tempuh, meningkatnya emisi gas buang, pemborosan konsumsi bahan bakar, serta meningkatnya potensi kecelakaan lalu lintas [6], [7], [8], [9], [10]. Ketergantungan masyarakat terhadap kendaraan pribadi memperburuk kondisi ini dan menimbulkan ketidakseimbangan antara pertumbuhan kendaraan dengan kapasitas infrastruktur jalan [11], [12], [13], [14], [15]. Ketidakseimbangan tersebut mendorong terjadinya kemacetan pada berbagai titik dengan intensitas mobilitas tinggi [16], [17], [18].

Sistem sinyal lalu lintas konvensional yang berbasis waktu tetap (*fixed time*) memiliki keterbatasan dalam merespons kondisi lalu lintas yang berubah secara dinamis [19]. Pengaturan berbasis durasi tetap seringkali menimbulkan antrean panjang pada lengan persimpangan tertentu, sementara lengan lain relatif lebih lengang [20]. Ketidakseimbangan distribusi arus kendaraan ini menurunkan efisiensi lalu lintas dan meningkatkan potensi kemacetan, khususnya pada jam sibuk. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya sistem pengendalian lalu lintas adaptif yang mampu menyesuaikan sinyal berdasarkan situasi nyata di lapangan [21].

Kemajuan teknologi *computer vision* dan *deep learning* menghadirkan peluang dalam perancangan sistem lalu lintas yang lebih adaptif. Algoritma *You Only Look Once* versi 11 (YOLOv11) memiliki keunggulan dalam mendekripsi objek secara *real-time* dengan akurasi tinggi [22], [23]. Kemampuan ini memungkinkan akuisisi data volume kendaraan secara kuantitatif pada setiap lengan persimpangan [24]. Data tersebut dapat diolah lebih lanjut untuk menghasilkan keputusan pengaturan sinyal yang lebih relevan terhadap kondisi lalu lintas aktual [25].

Logika fuzzy berfungsi sebagai mekanisme pengambilan keputusan yang fleksibel dalam kondisi yang memiliki ketidakpastian atau variabilitas tinggi, seperti arus lalu lintas [26]. Pendekatan ini mampu memproses informasi hasil deteksi YOLOv11 untuk menentukan durasi lampu hijau secara adaptif sesuai dengan jumlah kendaraan pada setiap lengan persimpangan. Fleksibilitas logika fuzzy menjadikannya lebih unggul dibanding metode deterministik dalam menghadapi dinamika lalu lintas harian [27].

Penelitian ini diarahkan pada pengembangan prototipe lampu lalu lintas adaptif di persimpangan tiga lengan (*T-junction*) [28]. Sistem dirancang dengan batasan durasi sinyal maksimum 100 detik [29]. Volume kendaraan pada setiap lengan dideteksi secara *real-time* menggunakan YOLOv11, kemudian hasil deteksi diproses menggunakan logika fuzzy untuk menghasilkan durasi lampu hijau yang adaptif. Integrasi kedua metode ini diharapkan mampu mengurangi kemacetan, menekan waktu tunggu kendaraan, serta meningkatkan kelancaran arus lalu lintas pada persimpangan dengan tingkat mobilitas tinggi.

2 Tinjauan Literatur

Penelitian mengenai pengembangan sistem lalu lintas cerdas terus berkembang. Salah satunya adalah "*Traffic Light Detection and Recognition Method Based on YOLOv5 and AlexNet*" (2024) [30], yang mengusulkan penggunaan YOLOv5s untuk mendekripsi lampu lalu lintas dan AlexNet untuk klasifikasi citra. Metode ini berhasil meningkatkan akurasi deteksi, dengan *average precision* (AP) mencapai 99,46% dan akurasi pengenalan lampu lalu lintas sebesar 87,75%.

Penelitian "*Design and Development of Portable Smart Traffic Signal System*" (2022) [31] mengusulkan sistem lampu lalu lintas portabel berbasis kecerdasan buatan menggunakan mikrokontroler ESP32. Sistem ini dapat berfungsi baik dengan atau tanpa koneksi internet dan menggunakan aplikasi Android untuk mengontrol pengaturan lampu lalu lintas berdasarkan data kepadatan, serta mengoptimalkan waktu pengaturan menggunakan algoritma K-means clustering.

Penelitian "*Improving Traffic Light Systems Using Deep Q-Networks*" (2024) [32] mengusulkan penggunaan *Deep Q-Networks* (DQN) untuk mengatur siklus lampu lalu lintas secara dinamis. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pendekatan ini dapat mengurangi waktu tunggu dan meningkatkan waktu perjalanan sebesar 44%, dibandingkan dengan pengaturan lampu lalu lintas berbasis waktu tetap.

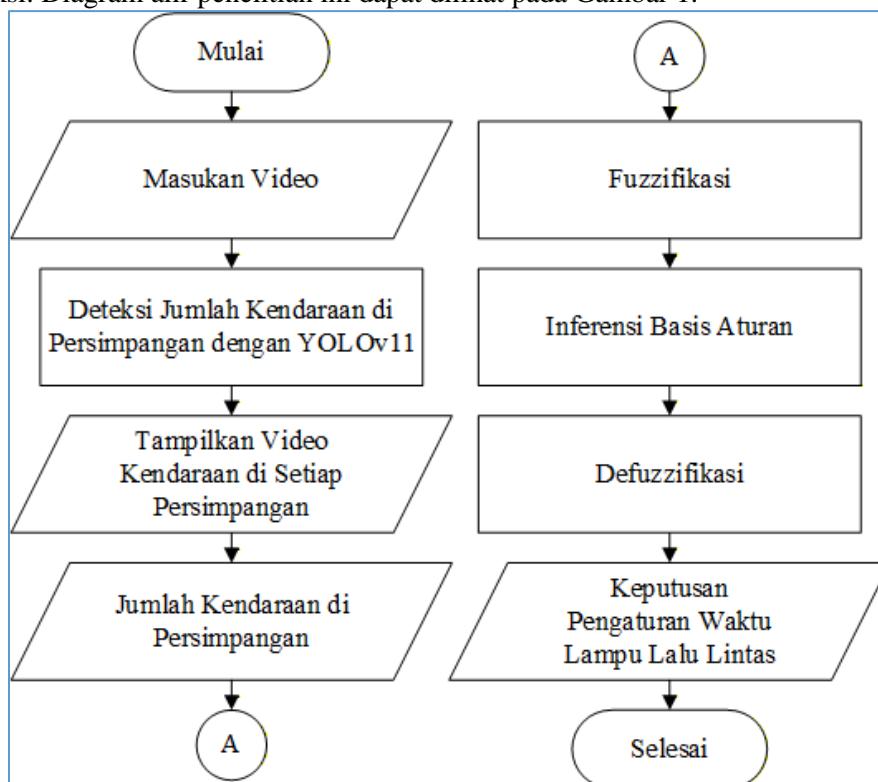
Penelitian "Traffic Flow Measurement for Smart Traffic Light System Design" (2023) [33] menggunakan teknik pemisahan latar belakang untuk mengukur kemacetan lalu lintas. Dengan memanfaatkan operasi XOR antara dua gambar, penelitian ini berhasil meningkatkan kontras gambar dengan menggunakan modifikasi histogram, menghasilkan akurasi yang tinggi meskipun dalam kondisi pencitraan rendah.

"Performance Analysis of Three-Armed Intersection Capacity" (2024) [34] melakukan analisis kapasitas simpang tiga menggunakan PKJI 2023. Penelitian ini menemukan bahwa simpang tiga tersebut mengalami kemacetan parah pada jam sibuk, sehingga diperlukan perbaikan dalam pengaturan lalu lintas untuk meningkatkan efisiensi sistem dan mengurangi kemacetan.

Penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem lampu lalu lintas adaptif yang mengintegrasikan teknologi deteksi citra digital berbasis algoritma *You Only Look Once* versi 11 (YOLOv11) dengan pendekatan logika fuzzy. Integrasi kedua metode tersebut bertujuan untuk mengatur durasi sinyal lalu lintas secara *real-time* berdasarkan parameter volume kendaraan dan waktu tunggu. Sistem yang diusulkan diharapkan mampu memberikan pengaturan sinyal yang lebih responsif, efisien, dan adaptif terhadap kondisi dinamis lalu lintas. Implementasi model ini relevan diterapkan pada persimpangan yang belum dilengkapi dengan sistem pengendalian konvensional, sehingga berpotensi meningkatkan kelancaran arus kendaraan sekaligus mengurangi kemacetan.

3 Metode Penelitian

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem lampu lalu lintas adaptif berbasis teknologi YOLOv11 dan logika fuzzy untuk mengurangi kemacetan di persimpangan jalan dengan mendekripsi kendaraan secara *real-time*. YOLOv11 dipilih karena kemampuannya mendekripsi objek secara cepat dan akurat, yang memungkinkan sistem beroperasi dengan *frame rate* tinggi serta mendekripsi berbagai jenis kendaraan dalam satu kali proses. Logika fuzzy digunakan untuk mengatasi ketidakpastian dalam data lalu lintas, seperti fluktuasi volume kendaraan yang dapat berubah secara dinamis tergantung pada waktu dan kondisi lalu lintas. Diharapkan dengan adanya sistem ini, durasi siklus lampu lalu lintas dapat disesuaikan secara dinamis berdasarkan tingkat kepadatan kendaraan yang terdeteksi. Diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

Sebelum memulai proses utama, diagram alir pada Gambar 1 memberikan gambaran umum tentang tahapan yang dilalui dalam penelitian ini. Proses dimulai dengan pengambilan video sebagai input, kemudian dilakukan deteksi jumlah kendaraan dengan menggunakan YOLOv11. Hasil deteksi tersebut selanjutnya digunakan untuk pengambilan keputusan terkait pengaturan waktu lampu lalu lintas, yang dilakukan berdasarkan inferensi berbasis aturan dalam logika fuzzy. Keputusan akhir akan diterapkan pada sistem lampu lalu lintas secara adaptif, diikuti dengan pengulangan siklus ini.

3.1. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa video yang diambil dari tiga persimpangan di Yogyakarta. Setiap video berdurasi lima menit dan diambil pada waktu yang berbeda untuk mencakup kondisi lalu lintas yang bervariasi. Setiap video diproses secara terpisah untuk ditampilkan pada program secara individual, guna memudahkan pemantauan dan analisis. Pada tahap ini, dilakukan pra-pengolahan video yang meliputi penyeragaman resolusi gambar, normalisasi, serta pemilihan *region of interest* (ROI) per lajur. Langkah-langkah ini memastikan bahwa video yang digunakan memenuhi spesifikasi yang diperlukan untuk deteksi kendaraan.

3.2. Proses Deteksi Kendaraan

Pada tahap deteksi, sistem menggunakan YOLOv11 untuk menganalisis setiap frame video dan mendeteksi kendaraan yang melintas. YOLOv11 dapat mendeteksi berbagai jenis kendaraan seperti mobil, sepeda motor, bus, dan truk. Hasil deteksi berupa *bounding box* dan *confidence score* dari setiap deteksi kemudian diproses dengan teknik pelacakan antar-frame (*tracking*) untuk mencegah penghitungan ganda. Dengan pelacakan ini, jumlah kendaraan di setiap lajur dapat dihitung secara akurat, menghasilkan metrik volume kendaraan per lajur dan total kendaraan yang terdeteksi di setiap pendekatan persimpangan.

3.3. Pengaturan Waktu Lampu Lalu Lintas dengan Logika Fuzzy

Keputusan pengaturan waktu lampu lalu lintas didasarkan pada data deteksi kendaraan yang diproses dengan logika fuzzy. Pada tahap fuzzifikasi, data seperti volume kendaraan per lajur, proporsi kendaraan berat, dan laju kedatangan kendaraan dipetakan ke dalam himpunan linguistik seperti (rendah, sedang, tinggi). Data ini kemudian digunakan dalam inferensi berbasis aturan (*rule-based inference*) untuk menentukan durasi lampu hijau dalam kategori (pendek, sedang, panjang). Proses defuzzifikasi mengubah hasil ini menjadi nilai waktu dalam detik untuk menentukan durasi siklus lampu hijau, kuning, dan merah di setiap persimpangan.

3.4. Siklus Operasional Sistem

Sistem beroperasi dalam siklus iteratif. Setiap siklus dimulai dengan pembacaan *frame* video baru dan pembaruan estimasi volume kendaraan yang terdeteksi. Setelah itu, dilakukan fuzzifikasi dan inferensi berbasis aturan, diikuti dengan penerapan keputusan pengaturan waktu lampu lalu lintas pada siklus berikutnya. Proses ini berulang, memungkinkan penyesuaian waktu lampu secara real-time berdasarkan kondisi lalu lintas yang dinamis.

3.5. Evaluasi Kinerja Model

Evaluasi kinerja model dilakukan dengan menggunakan beberapa metrik, antara lain akurasi, *recall*, dan *Area Under the Curve* (AUC). Metrik ini digunakan untuk mengukur kemampuan model dalam mengklasifikasikan kendaraan dan non-kendaraan. Selain itu, *confusion matrix* digunakan untuk menganalisis distribusi *false positives* dan *false negatives*.

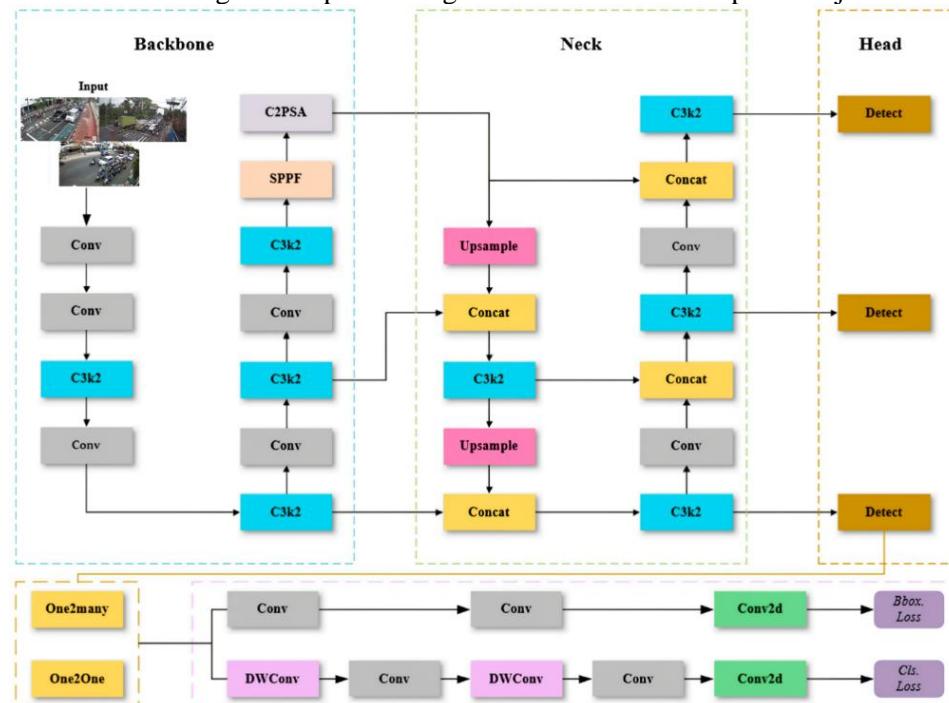
3.6. Aturan Waktu Lampu Lalu Lintas

Penerapan aturan ini memungkinkan sistem untuk mengatur waktu lampu secara adaptif sesuai dengan kondisi riil yang terjadi di lapangan. Dengan demikian, pengaturan lalu lintas menjadi lebih efisien dan dapat mengurangi kemacetan secara efektif. Sistem ini menggunakan aturan waktu lampu lalu lintas yang disesuaikan berdasarkan volume kendaraan yang terdeteksi di setiap persimpangan, serta mempertimbangkan faktor lain seperti laju kedatangan kendaraan dan proporsi kendaraan berat. Dengan cara ini, durasi lampu hijau, kuning, dan merah dapat disesuaikan secara dinamis untuk setiap jalur, meningkatkan responsivitas sistem terhadap fluktuasi arus lalu lintas yang terjadi. Tabel 1 berikut menunjukkan aturan yang diterapkan dalam sistem untuk menentukan durasi waktu lampu hijau, kuning, dan merah.

Tabel 1 Aturan waktu lampu lalu lintas

| Rule | If | Then |
|------|--|---|
| 1 | Jumlah kendaraan A, B, C = <i>Low</i> | <i>Green</i> : 10 detik (<i>VeryShort</i>), <i>Yellow</i> : 3 detik (<i>Fixed</i>), <i>Red</i> : 87 detik |
| 2 | Jumlah kendaraan A, B, C = <i>Medium</i> | <i>Green</i> : 30 detik (<i>Short</i>), <i>Yellow</i> : 3 detik (<i>Fixed</i>), <i>Red</i> : 67 detik |
| 3 | Jumlah kendaraan A, B, C = <i>High</i> | <i>Green</i> : 50 detik (<i>Long</i>), <i>Yellow</i> : 3 detik (<i>Fixed</i>), <i>Red</i> : 47 detik |
| 4 | Semua kamera tidak mendeteksi kendaraan | <i>Green</i> : 33 detik per kamera (<i>balanced</i>), <i>Yellow</i> : 3 detik (<i>Fixed</i>), <i>Red</i> : 64 detik |
| 5 | Lampu hijau sudah dialokasikan, hitung durasi kuning dan merah | <i>Green</i> : alokasi berdasarkan kendaraan terdeteksi, <i>Yellow</i> : 3 detik, <i>Red</i> : Sisa dari siklus total (100 detik) |

Gambar 2 menunjukkan diagram struktur jaringan YOLOv11 yang digunakan dalam penelitian ini untuk mendeteksi kendaraan. Model ini terdiri dari tiga bagian utama: *Backbone*, *Neck*, dan *Head*, yang berfungsi untuk mengekstraksi fitur, menggabungkan informasi dari berbagai skala, dan menghasilkan output deteksi kendaraan. Struktur ini memungkinkan sistem untuk mendeteksi kendaraan secara akurat dengan mempertimbangkan variasi ukuran dan posisi objek dalam video.



Gambar 2 Diagram struktur jaringan YOLOv11 [35]

Sebelum mengidentifikasi kendaraan, model YOLOv11 menjalani proses pemrosesan dengan struktur yang terdiri dari tiga bagian utama: *Backbone*, *Neck*, dan *Head*. *Backbone* berfungsi untuk mengekstraksi fitur utama dari gambar *input*, *Neck* menggabungkan informasi dari berbagai skala, dan *Head* menghasilkan *output* deteksi kendaraan. Diagram struktur ini memberikan gambaran menyeluruh tentang bagaimana informasi diproses dan dipertajam di setiap bagian jaringan YOLOv11, memungkinkan deteksi kendaraan yang akurat dan efisien.

4 Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menguji sistem lampu lalu lintas adaptif berbasis YOLOv11 dan logika fuzzy untuk mengurangi kemacetan di persimpangan jalan. Sistem ini menggunakan model YOLOv11 untuk mendeteksi volume kendaraan secara *real-time* dan logika fuzzy untuk menyesuaikan durasi lampu hijau. Data pengujian diperoleh dari video CCTV di beberapa persimpangan di Yogyakarta. Setiap

video berdurasi lima menit per jalur, direkam pada siang hari untuk memaksimalkan kualitas gambar dengan pencahayaan optimal. YOLOv11 dilatih dengan dataset *coco128.yaml* untuk mendekripsi berbagai jenis kendaraan, seperti mobil, sepeda motor, bus, dan truk. Model YOLOv11 ini memiliki 168 lapisan dan 11.156.544 parameter, serta dilatih selama tiga *epoch*. Hasil kinerja model dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Kinerja model YOLOv11 (Accuracy, Recall, Area Under the Curve (AUC))

| Kelas | Accuracy | Recall | AUC |
|-----------------|----------|--------|------|
| Semua Kendaraan | 0.92 | 0.93 | 0.95 |
| Mobil | 0.94 | 0.92 | 0.96 |
| Sepeda Motor | 0.88 | 0.85 | 0.9 |
| Bus | 0.91 | 0.95 | 0.92 |
| Truk | 0.96 | 0.93 | 0.97 |

Pada Tabel 2, model YOLOv11 menunjukkan nilai *accuracy* yang sangat baik untuk kategori "Semua Kendaraan" sebesar 0.92, yang mengindikasikan bahwa 92% deteksi kendaraan benar. Truk menunjukkan performa tertinggi pada *accuracy* (0.96) dan AUC (0.97), sementara kategori Sepeda Motor memiliki nilai *accuracy* yang sedikit lebih rendah (0.88) dan AUC sebesar 0.90. Model sangat baik dalam mendekripsi mobil dan Bus, dengan *accuracy* di atas 0.91 dan AUC di atas 0.92, sementara Sepeda Motor dan Bus menunjukkan performa yang lebih baik dalam hal *recall*, dengan Bus mencapai 0.95 dan Sepeda Motor 0.85. Setelah pelatihan, model YOLOv11 diuji dengan menggunakan data pengujian yang belum pernah dilatih sebelumnya. Hasil deteksi objek yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Pengujian Lalu Lintas Cerdas Menggunakan YOLOv11

Deteksi yang dilakukan oleh YOLOv11 kemudian diproses menggunakan OpenCV. Pada sistem ini, model YOLOv11 mendekripsi kendaraan yang melewati jalur tertentu pada setiap jalur di persimpangan. Kendaraan yang terdeteksi dihitung untuk menentukan durasi waktu lampu hijau yang akan diberikan. Pemrograman Python digunakan untuk membuat logika pembagian waktu berdasarkan jumlah kendaraan yang terdeteksi di setiap jalur. Sistem sinyal lalu lintas adaptif yang dikembangkan pada penelitian ini memanfaatkan YOLOv11 untuk melakukan deteksi dan klasifikasi kendaraan secara lebih akurat. Model deteksi tidak hanya menghitung jumlah objek yang melintas pada setiap jalur, tetapi juga mengenali kategori kendaraan, mencakup sepeda motor, mobil penumpang, dan kendaraan berukuran besar. Kemampuan klasifikasi tersebut menghasilkan informasi kepadatan yang lebih representatif karena setiap jenis kendaraan memiliki bobot kontribusi yang berbeda terhadap tingkat kemacetan.

Proses penentuan durasi lampu hijau dilakukan dengan pendekatan logika fuzzy sehingga pembagian waktu berlangsung secara otomatis dan adaptif. Sistem menghitung nilai kepadatan tiap jalur berdasarkan hasil deteksi YOLOv11 yang telah dikonversi ke dalam bobot kepadatan. Jalur yang memiliki lebih dari 50 kendaraan memperoleh waktu lampu hijau hingga 80 detik, sedangkan batas maksimal durasi lampu hijau dalam satu siklus ditetapkan sebesar 100 detik untuk tiga jalur. Alokasi waktu pada setiap jalur ditentukan secara proporsional terhadap tingkat kepadatan aktual, sehingga durasi lampu hijau yang diberikan senantiasa menyesuaikan kondisi lalu lintas secara real time.

Mekanisme tersebut memastikan bahwa respons sistem terhadap perubahan jumlah kendaraan bersifat dinamis dan mampu meningkatkan efisiensi pengaturan lalu lintas.

Pada sistem ini, deteksi dan perhitungan kendaraan dilakukan pada jarak tertentu sebelum lampu lalu lintas. Hal ini memastikan deteksi kendaraan yang mengantri tanpa terhalang oleh kendaraan lain. Ketika salah satu jalur mendapatkan lampu hijau, jalur lainnya akan berada dalam kondisi lampu merah, dan sistem akan mendeteksi serta menghitung kendaraan yang mengantri pada lampu merah. Begitu jalur lain mendapatkan giliran lampu hijau, sistem mulai mendeteksi kendaraan di jalur tersebut dan menghitung jumlah kendaraan.

Sistem lampu lalu lintas adaptif diatur berdasarkan deteksi kendaraan oleh YOLOv11. Jika jumlah kendaraan pada salah satu jalur melebihi 50 kendaraan, durasi lampu hijau dapat mencapai 80 detik. Durasi maksimal lampu hijau adalah 100 detik untuk tiga jalur, dengan pembagian waktu yang disesuaikan dengan jumlah kendaraan pada setiap jalur. Sistem ini menyesuaikan durasi lampu hijau untuk mengurangi kemacetan dengan memastikan jalur yang lebih sibuk mendapatkan waktu lebih panjang. Hasil pengujian deteksi dapat dilihat pada Tabel 3, yang menunjukkan jumlah kendaraan yang terdeteksi pada setiap kamera dan waktu lampu hijau yang diberikan.

Tabel 3 Hasil pengujian sistem lampu lalu lintas cerdas

| Kamera | Total Kendaraan | Waktu Lampu Hijau | Waktu Lampu Kuning | Waktu Lampu Merah |
|--------|-----------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| 1 | 32 kendaraan | 80 detik | 3 detik | 17 detik |
| 2 | 20 kendaraan | 80 detik | 3 detik | 17 detik |
| 3 | 40 kendaraan | 80 detik | 3 detik | 17 detik |
| 1 | 87 kendaraan | 100 detik | 3 detik | 17 detik |
| 2 | 83 kendaraan | 100 detik | 3 detik | 17 detik |
| 3 | 110 kendaraan | 100 detik | 3 detik | 17 detik |

Tabel 3 menunjukkan kinerja sistem dalam menetapkan durasi lampu hijau berdasarkan jumlah kendaraan yang terdeteksi. Sistem menetapkan batas maksimal 100 detik untuk menjaga konsistensi siklus sinyal pada seluruh jalur. Jalur dengan lebih dari 50 kendaraan memperoleh durasi yang lebih panjang, mendekati batas tersebut, sehingga proses pengurangan antrean dapat berlangsung lebih optimal pada kondisi kepadatan tinggi.

Penerapan logika fuzzy memungkinkan pembagian waktu lampu hijau dilakukan secara adaptif melalui proses fuzzifikasi jumlah kendaraan. Integrasi antara YOLOv11 sebagai pendekripsi kendaraan dan logika fuzzy sebagai pengatur durasi menghasilkan mekanisme respons yang lebih realistik terhadap variasi kondisi lalu lintas. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada kemampuan sistem untuk menyesuaikan durasi lampu hijau secara otomatis berdasarkan data visual aktual, sehingga pengaturan sinyal lalu lintas menjadi lebih efisien dan responsif terhadap dinamika kepadatan kendaraan.

Tabel 4 Hasil pengujian logika fuzzy pada pembagian waktu lampu hijau

| Jalur | Jumlah Kendaraan | Hijau | Kuning | Merah |
|-------|------------------|----------|---------|----------|
| 1 | 50 kendaraan | 33 detik | 3 detik | 64 detik |
| 2 | 70 kendaraan | 40 detik | 3 detik | 57 detik |
| 3 | 80 kendaraan | 27 detik | 3 detik | 70 detik |

Logika fuzzy digunakan untuk menghasilkan durasi waktu lampu hijau yang lebih adaptif. Durasi waktu lampu hijau dihitung berdasarkan volume kendaraan yang terdeteksi, dengan pembagian waktu hijau, kuning, dan merah yang disesuaikan. Hasil pengujian pada Tabel 4, menunjukkan bahwa pembagian waktu lampu hijau yang dihasilkan menggunakan logika fuzzy lebih fleksibel dan efisien dalam menanggapi kondisi lalu lintas yang dinamis.

Dibandingkan dengan sistem *fixed time*, di mana durasi lampu hijau ditetapkan secara tetap tanpa mempertimbangkan volume kendaraan, sistem YOLOv11 + logika fuzzy lebih efisien dalam menyesuaikan durasi lampu hijau sesuai dengan jumlah kendaraan yang terdeteksi pada masing-masing jalur. Hal ini mengarah pada pengurangan kemacetan yang lebih signifikan.

Kemacetan dievaluasi dengan menggunakan metrik waktu tunggu rerata, panjang antrian, dan *flow rate* kendaraan seperti terlihat pada Tabel 5. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem

YOLOv11 + logika fuzzy mampu mengurangi waktu tunggu rata-rata dan panjang antrian kendaraan dibandingkan dengan sistem *fixed time*. Sistem adaptif ini mengalokasikan lebih banyak waktu untuk jalur dengan volume kendaraan lebih tinggi, yang berkontribusi pada pengurangan kemacetan.

Tabel 5 Evaluasi pengurangan kemacetan

| Jalur | Sistem <i>Fixed Time</i> (Waktu Tunggu) | Sistem Adaptif (Waktu Tunggu) | Pengurangan Waktu Tunggu (%) | Panjang Antrian (meter) |
|-------|---|-------------------------------|------------------------------|-------------------------|
| 1 | 120 detik | 80 detik | 33.33% | 15 meter |
| 2 | 130 detik | 90 detik | 30.77% | 18 meter |
| 3 | 140 detik | 100 detik | 28.57% | 20 meter |

Grafik jumlah kendaraan vs. waktu lampu hijau menunjukkan hubungan antara volume kendaraan yang terdeteksi dan durasi lampu hijau. Perbandingan antrian sebelum dan sesudah implementasi sistem menggambarkan pengurangan kemacetan yang tercapai.

Sistem YOLOv11 + logika fuzzy lebih efisien dibandingkan sistem *fixed time* dalam mengatur lalu lintas. Durasi lampu hijau yang responsif mengurangi waktu tunggu dan panjang antrian kendaraan. Penggunaan logika fuzzy memungkinkan penyesuaian waktu lampu hijau secara dinamis, mengurangi kemacetan secara fleksibel. Peningkatan deteksi Sepeda Motor dan Mobil dapat dilakukan dengan *fine-tuning* model untuk hasil yang lebih baik.

5 Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem lampu lalu lintas adaptif berbasis YOLOv11 dan logika fuzzy untuk mengurangi kemacetan di persimpangan dengan mendeteksi volume kendaraan secara *real-time*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini dapat mendeteksi kendaraan dengan *accuracy* hingga 0.92 dan *recall* 0.93, serta mengalokasikan durasi lampu hijau secara dinamis berdasarkan jumlah kendaraan yang terdeteksi. Penerapan logika fuzzy terbukti efektif dalam menyesuaikan pembagian waktu lampu hijau, kuning, dan merah, dengan durasi maksimal 100 detik. Sistem ini lebih efisien dibandingkan dengan metode lampu tetap (*fixed time*) dan dapat mengurangi kemacetan serta waktu tunggu kendaraan. Pengelola lalu lintas dapat mengimplementasikan sistem ini pada persimpangan dengan volume kendaraan tinggi untuk meningkatkan efisiensi aliran lalu lintas. Sistem adaptif ini memberikan solusi yang lebih responsif terhadap kondisi lalu lintas yang berubah secara *real-time*. Penelitian selanjutnya perlu difokuskan pada *fine-tuning* model untuk meningkatkan akurasi deteksi kendaraan kecil, seperti sepeda motor. Pengujian sistem pada berbagai kondisi lalu lintas yang lebih kompleks juga diperlukan untuk mengukur efektivitasnya dalam situasi yang lebih beragam.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia (Kemdiktisaintek RI) atas dukungan dana melalui program Penelitian Dosen Pemula sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

Referensi

- [1] M. Sharma, A. Bansal, V. Kashyap, P. Goyal, and T. H. Sheikh, “*Intelligent Traffic Light Control System based on Traffic Environment using Deep Learning*,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, Vol. 1022, No. 1, 2021, DOI: 10.1088/1757-899X/1022/1/012122.
- [2] A. Kurniasari and Jalinas, “Pendeteksian Tingkat Kepadatan Jalan menggunakan Metode *Canny Edge Detection*,” *J. Ilm. Teknol. dan Rekayasa*, Vol. 25, No. 3, pp. 239–248, 2020, DOI: 10.35760/tr.2020.v25i3.3419.
- [3] Irfan, D. R. Irawati, Y. I. Chandra, and Marti Riastuti, “Rancang Bangun Purwarupa Pengaturan Lampu Lalu Lintas berdasarkan Kepadatan Arus Kendaraan berbasis Mikrokontroler ATmega 328P,” *KESATRIA J. Penerapan Sist. Inf. (Komputer Manajemen)*, Vol. 5, No. 1, pp. 131–143, 2024, DOI: <https://doi.org/10.30645/kesatria.v5i1.322>.
- [4] E. S. Sendow, M. Sulistyaningsih, and J. F. Monoarfa, “Optimasi Waktu Tunggu Lampu Lalu

- Lintas dengan mengaplikasikan Teori Graf dan Metode Webster," *J. Educ.*, Vol. 6, No. 1, pp. 2272–2284, 2023, DOI: 10.31004/joe.v6i1.3240.
- [5] P. A. Rosyady, Z. A. Ikhsan, and M. R. Feter, "Prototype Lampu Lalu Lintas Adaptif berdasarkan Panjang Antrian Kendaraan berbasis Arduino Uno," *CIRCUIT J. Ilm. Pendidik. Tek. Elektro*, Vol. 6, No. 2, pp. 173–186, 2022, DOI: <http://dx.doi.org/10.22373/crc.v6i2.13748>.
- [6] B. Sugandi and S. Lifitri, "Deteksi Pelanggaran Lampu Lalu Lintas berdasarkan Sensor Visual," *JST (Jurnal Sains dan Teknol.)*, Vol. 11, No. 2, pp. 315–323, 2022, DOI: 10.23887/jstundiksha.v11i2.50287.
- [7] C. Chairani, I. Jaya, and H. Cipta, "Optimasi Waktu Tunggu Total dengan Metode Webster dalam mengatasi Kemacetan Lalu Lintas Persimpangan Jalan Kolonel Yos Sudarso," *FARABI J. Mat. dan Pendidik. Mat.*, Vol. 4, No. 2, pp. 175–180, 2021, DOI: 10.47662/farabi.v4i2.226.
- [8] Desmira, M. A. Hamid, N. A. Bakar, M. Nurtanto, and Sunardi, "A Smart Traffic Light using a Microcontroller based on the Fuzzy Logic," *IAES Int. J. Artif. Intell.*, Vol. 11, No. 3, pp. 809–818, 2022, DOI: 10.11591/ijai.v11.i3.pp809-818.
- [9] C. Gabriel and J. Arpasi, "Design and Implementation of a Smart Traffic Signal Control System," *Int. J. Eng. Technol. Res. Manag.*, Vol. 4, No. 04, pp. 28–36, 2020, DOI: 10.34074/scop.6004001.
- [10] S. Sabaar and S. S., "Rancang Bangun Kontrol Lampu Lalu Lintas Simpang Tiga berbasis Arduino," *J. Informatics Electron. Eng.*, Vol. 2, No. 1, pp. 10–14, 2022.
- [11] F. Mejart, Y. L. Prambodo, and H. M. Valentine, "Perancangan dan Pembuatan Alat Pemantau Lampu Lalu Lintas Simpang Lima menggunakan Mikrokontroler berbasis Web," *Sist. Komput. dan Teknol. Intelektensi Artifisial*, Vol. 1, No. 1, pp. 55–66, 2022, DOI: 10.59039/sikomtia.v1i1.5.
- [12] D. C. Zulkarnain and R. B. Aji, "Smart City , Konsep Kota Pintar Deteksi Objek pada CCTV Lalu Lintas di Kota Nganjuk," *Stain. (Seminar Nas. Teknol. Sains)*, Vol. 3, No. 1, pp. 169–174, 2024, DOI: <https://doi.org/10.29407/stains.v3i1.4217>.
- [13] G. N. Laananila, I. D. Irawati, and D. N. Ramadan, "Smart Traffic Monitoring & Control dengan Pengolahan Citra Digital," *eProceedings Appl. SCI.*, Vol. 9, No. 1, pp. 330–336, 2023, [Online]. Available: <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/appliedscience/article/view/19421>
- [14] J. Warta, W. Priatna, and T. S. Lestari, "Smart Power Monitoring System untung CCTV menggunakan Internet of Thing," *J. Sistem Inf. dan Teknol.*, Vol. 5, No. 1, pp. 145–150, 2023, DOI: 10.37034/jsisfotek.v5i1.253.
- [15] H. A. A. Sakti and Haniyah, "Pelaksanaan Sistem *Electronic Traffic Law Enforcement (E-Tle)* menggunakan Pengawasan CCTV Lalu Lintas dalam Upaya Penertiban Pengguna Jalan di Kota Surabaya Pusat," *J. Penelit. Ilmu-Ilmu Sos.*, Vol. 1, No. 7, pp. 140–147, 2024, DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10728930>.
- [16] B. F. Setiawan, V. K. S. Rizal, and W. Mahendra, "Strategi Kebijakan Pemerintah Provinsi DKI Jakarta dalam menanggulangi Tantangan Transportasi Perkotaan," *JOPPAS J. Public Policy Adm.*, Vol. 5, No. 2, pp. 145–156, 2024, DOI: [s://doi.org/10.31539/joppas.v5i2.8298](https://doi.org/10.31539/joppas.v5i2.8298).
- [17] D. A. Rizal, M. Usman, A. Ratih, N. Aida, and H. Wahyudi, "Komparasi Pengaruh Indeks Kemahalan Konstruksi dan Jumlah Kendaraan Bermotor terhadap Kemantapan Jalan Nasional di Kawasan Timur dan Barat Indonesia," *J. Ekon. Revolusioner*, Vol. 8, No. 3, pp. 15–23, 2025, [Online]. Available: <https://eco.ojs.co.id/index.php/jer/article/view/1124>
- [18] M. A. Conceição *et al.*, "The Effect of Transport Infrastructure, Congestion and Reliability on Mental Wellbeing: A Systematic Review of Empirical Studies," *Transp. Rev.*, Vol. 43, No. 2, pp. 264–302, 2023, DOI: 10.1080/01441647.2022.2100943.
- [19] G. Sun, R. Q. Id, Y. Liu, and F. Xu, "A Dynamic Traffic Signal Scheduling System based on Improved Greedy Algorithm," pp. 1–22, 2024, DOI: 10.1371/journal.pone.0298417.
- [20] L. B. Said and R. A. Saraswati, "Optimasi Sistem Transportasi Perkotaan untuk mereduksi Kemacetan menggunakan Model Simulasi Lalu Lintas," *Syntax Lit. J. Ilm. Indones.*, Vol. 10, No. 3, pp. 1–23, 2025, DOI: 0.36418/syntax-literate.v10i3.57899.
- [21] V. Pantovi and M. Jovanovi, "Dynamic Traffic Flow Optimization using Reinforcement Learning and Predictive Analytics : A Sustainable Approach to Improving Urban Mobility in

- the City of Belgrade,” *sustainability*, Vol. 17, No. 8, p. 3383, 2025, DOI: <https://doi.org/10.3390/su17083383>.
- [22] D. Waskito, D. F. Syarifah, and R. A. Aprilianto, “Comparison of the use of YOLOv11 Variations in the Empty Parking Spaces Detection System,” *Sainteknol*, Vol. 23, No. 1, pp. 1–10, 2025, DOI: <https://doi.org/10.15294/sainteknol.v23i1.20014>.
- [23] J. Zophie and H. H. Triharminto, “Implementasi Algoritma You Only Look Once (YOLO) menggunakan Web Camera untuk Mendekripsi Objek Statis dan Dinamis Implementation of You Only Look Once (YOLO) Algorithm using Web Camera for Static and Dynamic Object Detection,” *J. TNI Angkatan Udara*, Vol. 1, No. 1, pp. 98–109, 2022, [Online]. Available: <https://e-jurnal.tni-au.mil.id/index.php/jpb/article/download/50/44/174>
- [24] D. N. Afni, F. Juwita, A. K. Prikurnia, and I. Y. Putri, “Analisis Simpang Tak Bersinyal di Jalan Ahmad Yani - Jalan Raden Intan Gadingrejo menggunakan PKJ 2023 Analysis of the Non-Signalized Intersection on Jalan Ahmad Yani - Jalan Raden Intan Gadingrejo using PKJ 2023,” *J. Tek. Sains*, Vol. 08, No. 02, pp. 135–142, 2023, DOI: <https://doi.org/10.24967/teksis.v8i2.2706>.
- [25] A. Renninger, S. A. Noman, T. Atkison, and J. S. Computer, “Live Intersection Data Acquisition for Traffic Simulators (LIDATS),” *Sensors*, Vol. 24, No. 11, p. 3392, 2024, DOI: <https://doi.org/10.3390/s24113392>.
- [26] T. D. Chala and L. T. Kóczy, “Intelligent Fuzzy Traffic Signal Control System for Complex Intersections using Fuzzy Rule Base Reduction,” *Symmetry (Basel)*, Vol. 16, No. 9, pp. 1–24, 2024, DOI: <https://doi.org/10.3390/sym16091177>.
- [27] M. Esmaeili, A. Anjomshoae, N. Shahsavari-pour, and P. Srisurin, “Multimodal Transportation an Optimization Similarity Fuzzy Inference Method for Traffic Signal Control at an Isolated Intersection,” *Multimodal Transp.*, Vol. 4, No. 4, p. 100234, 2025, DOI: [10.1016/j.multra.2025.100234](https://doi.org/10.1016/j.multra.2025.100234).
- [28] O. Alzamzami, Z. Alsaggaf, R. Almalki, R. Alghamdi, and A. Babour, “Passable : An Intelligent Traffic Light System with Integrated Incident Detection and Vehicle Alerting,” *Sensors*, Vol. 25, No. 18, pp. 1–38, 2025, DOI: <https://doi.org/10.3390/s25185760>.
- [29] A. Agrahari, M. M. Dhabu, P. S. Deshpande, A. Tiwari, M. A. Baig, and A. D. Sawarkar, “Artificial Intelligence-based Adaptive Traffic Signal Control System : A Comprehensive Review,” *electronics*, Vol. 13, No. 19, pp. 1–23, 2024, DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics13193875>.
- [30] C. Niu and K. Li, “Traffic Light Detection and Recognition Method based on YOLOv5s and AlexNet,” *Appl. SCI.*, Vol. 12, No. 21, pp. 1–18, 2022, DOI: [10.3390/app122110808](https://doi.org/10.3390/app122110808).
- [31] B. Kamasetty, M. Renduchintala, L. L. Shetty, S. Chandarshekhar, and R. Shettar, “Design and Development of Portable Smart Traffic Signaling System with Cloud-Artificial Intelligence Enablement,” *Indones. J. Electr. Eng. Comput. SCI.*, Vol. 26, No. 1, pp. 116–126, 2022, DOI: [10.11591/ijeecs.v26.i1.pp116-126](https://doi.org/10.11591/ijeecs.v26.i1.pp116-126).
- [32] J. Moreno-Malo, J. L. Posadas-Yagüe, J. C. Cano, C. T. Calafate, J. A. Conejero, and J. L. Poza-Lujan, “Improving Traffic Light Systems using Deep Q-Networks,” *Expert Syst. Appl.*, Vol. 252, No. PB, p. 124178, 2024, DOI: [10.1016/j.eswa.2024.124178](https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124178).
- [33] M. Al-Momin, M. K. Alkhafaji, and M. M. H. Al-Musawi, “Traffic Flow Measurement for Smart Traffic Light System Design,” *Telkomnika (Telecommunication Comput. Electron. Control.)*, Vol. 21, No. 4, pp. 858–863, 2023, DOI: [10.12928/TELKOMNIKA.v21i4.24706](https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.v21i4.24706).
- [34] L. A. Indriani, S. R. Gunawan, Rendi, D. D. Permadi, and U. S. Saputri, “Performance Analysis of Three-Armed Intersection Capacity on Jalan Raya Sukabumi-Cisaat and Jalan Cibaraja,” in *Proceedings of the International Conference on Consumer Technology and Engineering Innovation (ICONTENTION 2023)*, Nanyang Ave: Atlantis Press International BV, 2024, pp. 144–150. DOI: [10.2991/978-94-6463-406-8_25](https://doi.org/10.2991/978-94-6463-406-8_25).
- [35] Z. Tian, F. Yang, L. Yang, Y. Wu, J. Chen, and P. Qian, “An Optimized YOLOv11 Framework for the Efficient Multi-Category Defect Detection of Concrete Surface,” *Sensors*, Vol. 25, No. 5, p. 1291, 2025, DOI: <https://doi.org/10.3390/s25051291>.