



Penghitung Trafik Kendaraan Berbasis *Object Recognition* Studi Kasus Jalan Utama Universitas Tanjungpura

Agung Tuah Ananda^{#1}, Yus Sholva^{#2}, Rudy Dwi Nyoto^{#3}

[#]Program Studi Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura
Jl. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi, Pontianak, 78124

¹anan474@student.untan.ac.id

²sholvariza@untan.ac.id

³rudydn@informatika.untan.ac.id

Abstrak— Pertumbuhan penggunaan kendaraan bermotor untuk transportasi oleh masyarakat terus meningkat seiring waktu. Sebagai lembaga pendidikan tinggi dengan jumlah mahasiswa aktif mencapai angka 31 ribu orang maka Universitas Tanjungpura perlu menyadari bagaimana penggunaan jalan oleh pengendara kendaraan bermotor di Universitas Tanjungpura dalam bagian dari perencanaan pembangunannya untuk menghindari permasalahan yang mungkin timbul dikemudian hari. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan suatu sistem yang dapat menghitung trafik kendaraan di jalan masuk utama Universitas Tanjungpura. Peneliti menggunakan pendekatan *object recognition* untuk mengetahui jenis kendaraan yang lewat apakah merupakan kendaraan sepeda motor atau mobil, dimana digunakan metode *background subtraction* dan pemrosesan morfologi dalam tugas deteksi objek, dan metode *Haar cascade classifier* dalam tugas klasifikasi jenis kendaraan dari objek yang terdeteksi. Pada penelitian ini dilatih model klasifikasi kendaraan sepeda motor (masuk dan keluar) dengan masing-masing 5000 data latih dan model klasifikasi kendaraan mobil (masuk dan keluar) dengan masing-masing 500 data latih. Evaluasi pendeteksi objek menunjukkan bahwa program dapat mendeteksi objek yang bergerak dengan akurasi dengan akurasi terendah sebesar 67% dan akurasi tertinggi sebesar 93%. Evaluasi model klasifikasi kendaraan menunjukkan nilai *F1-score* rata-rata 0.916 (sepeda motor masuk), 0.311 (mobil masuk), 0.965 (sepeda motor keluar) dan 0.427 (mobil keluar). Evaluasi menunjukkan tidak terdapat pengaruh yang signifikan mengenai perbedaan kondisi waktu dan kepadatan trafik kendaraan terhadap performa model klasifikasi kendaraan. Di mana nilai rata-rata *f1-score* pada pengujian pagi, siang dan sore adalah masing-masing 68%, 62% dan 67% dan rata-rata akurasi pada pengujian padat, sedang dan sepi adalah masing-masing 89%, 86% dan 88%. Hasil pengujian *unit testing* dan *integration testing* menunjukkan sistem ini dapat mendeteksi objek kendaraan yang lewat, mengetahui jenis kendaraan tersebut dan menghitung jumlahnya serta menyediakan cara untuk mendapatkan data trafik kendaraan yang dihasilkan. Secara keseluruhan penelitian dinilai berhasil dalam membuat sebuah sistem penghitung

trafik kendaraan berbasis *object recognition* studi kasus jalan utama Universitas Tanjungpura.

Kata kunci— *Object Recognition*, Deteksi Objek, Klasifikasi, Haar Cascade Classifier, Penghitung Kendaraan.

I. PENDAHULUAN

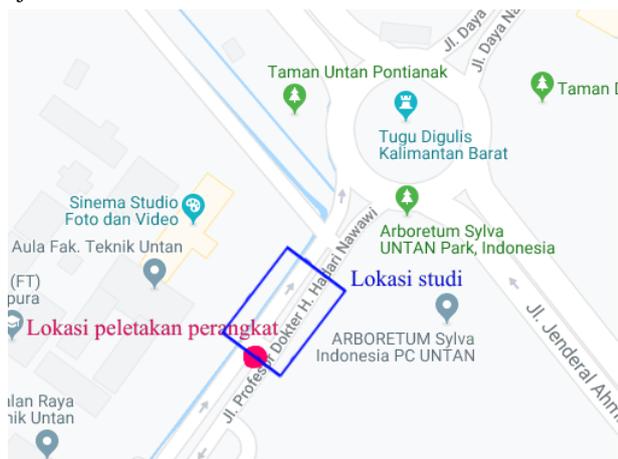
Saat ini masyarakat umumnya menggunakan kendaraan pribadi sebagai alat transportasi. Mengikuti hal tersebut nilai pertumbuhan jumlah kepemilikan kendaraan pribadi turut meningkat, terutama kendaraan bermotor. Berdasarkan data [1], tercatat sejak tahun 2018 hingga 2020 persentase rata-rata pertumbuhan kepemilikan kendaraan bermotor tiap tahunnya mencapai 6,63 persen. Namun, tingginya kepemilikan kendaraan bermotor belum tentu diimbangi dengan pembangunan jalan yang sesuai. Di mana data dari [2] menunjukkan persentase rata-rata pertumbuhan jalan di Indonesia dari 2018 hingga 2020 tiap tahun hanya meningkat sebesar 0,72 persen. Kondisi-kondisi di atas dapat menimbulkan permasalahan seperti kepadatan trafik kendaraan bermotor di jalanan dan peningkatan kebutuhan atas lahan parkir kendaraan bermotor. Permasalahan tersebut pada skala tertentu perlu dipertimbangkan oleh instansi yang memiliki jalan dan lahan parkir dengan pengguna besar, seperti Universitas Tanjungpura.

Universitas Tanjungpura merupakan lembaga pendidikan tinggi terbesar dan tertua di Kalimantan Barat dengan jumlah mahasiswa aktif pada tahun ajaran 2021/2022 mencapai angka 31 ribu mahasiswa [3]. Universitas Tanjungpura yang terus berkembang dari segi pembangunan fisik dan jumlah mahasiswa perlu menyadari bagaimana penggunaan jalan di Universitas Tanjungpura beserta tren pertumbuhan jumlah kepemilikan kendaraan dalam bagian dari perencanaan pembangunan Universitas Tanjungpura. Kegagalan dalam mengantisipasi hal ini dapat saja menyebabkan berbagai hal seperti kemacetan

jalan, kurangnya lahan parkir, parkir kendaraan di tempat yang tidak seharusnya, juga potensi keamanan seperti kehilangan atau kerusakan kendaraan dari berbagai faktor. Potensi-potensi buruk tersebut dapat mengurangi produktivitas dan kenyamanan bagi mahasiswa, dosen dan pegawai Universitas Tanjungpura. Oleh karena itu pemangku kepentingan di Universitas Tanjungpura akan membutuhkan data penggunaan jalan di Universitas Tanjungpura.

Penggunaan jalan oleh kendaraan bermotor dapat diketahui dengan menghitung jumlah kendaraan yang lewat dan jenis kendaraannya. Data didapatkan dengan observasi dalam jangka waktu tertentu. Observasi dilakukan dengan melakukan penghitungan kendaraan yang keluar dan masuk ke Universitas Tanjungpura. Untuk melakukan penghitungan tersebut dibutuhkan suatu sistem perangkat yang dapat mendeteksi kendaraan yang lewat, mengetahui jenis kendaraan tersebut dan mencatat trafik kendaraan hingga kemudian dapat dilihat ketika dibutuhkan, baik berupa data kondisi trafik saat itu juga atau data waktu-waktu sebelumnya. Untuk melakukan tugas itu sistem perangkat yang dibutuhkan tentu saja mesti memiliki cara agar dapat mengolah kondisi jalan berupa citra menjadi data yang mudah dilihat dan diolah secara keseluruhan.

Dari kebutuhan yang telah dipaparkan, maka pada penelitian ini akan dirancang suatu sistem perhitungan trafik kendaraan yang dapat mendeteksi suatu kendaraan yang lewat, mengetahui jenis kendaraannya, menyimpan data mengenai kendaraan tersebut, lalu menyediakan data trafik kendaraan yang telah dicatat. Penelitian pembuatan sistem perhitungan trafik kendaraan ini akan dilakukan pada jalan masuk utama Universitas Tanjungpura. Dalam membuat sistem ini peneliti akan mengaplikasikan beberapa metode dan perangkat sehingga dapat memenuhi tujuan di atas.



Gambar. 1 Lokasi penelitian.

II. LANDASAN TEORI

Untuk mengetahui jenis kendaraan dari sebuah citra dibutuhkan metode untuk mendeteksi dan menentukan jenis kendaraan. Pendeteksian objek dapat dilakukan

dengan metode *background subtraction* dan pengaplikasian transformasi morfologi yang kemudian dengan mengambil *contour* objek dari citra hasil. Sedangkan untuk menentukan jenis kendaraan dari objek yang dideteksi dapat dilakukan klasifikasi objek dengan penerapan metode *Haar cascade classifier*.

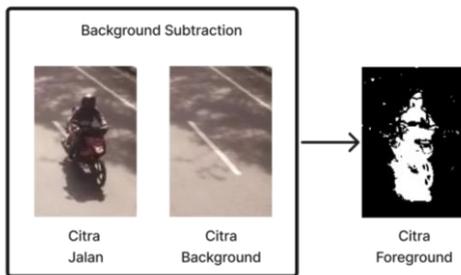
Dalam mendeteksi objek pada sebuah citra maka citra harus diproses dengan *background subtraction* terlebih dahulu yaitu di mana nilai citra saat ini akan dipisah antara citra *background* dengan citra *foreground*. Citra *foreground* yang merupakan objek terdeteksi kemudian diproses agar menghasilkan objek kendaraan. Agar objek kendaraan dapat diolah dengan baik maka mesti dilakukan transformasi morfologi pada citra tersebut [4]. Objek kendaraan dari tiap *frame* video citra jalan akan dihubungkan sehingga menghasilkan garis pergerakan kendaraan. Penelitian [5] menggunakan teknik ini untuk menghitung jumlah trafik kendaraan, hal serupa digunakan pada [6] dimana digunakan jumlah *pixel* sebagai pengklasifikasi jenis kendaraan.

Pada tugas klasifikasi objek digunakan metode *Haar cascade classifier* yang merupakan modifikasi dari sistem *face detection* dalam [7]. Metode ini diterapkan untuk mengenali objek berdasarkan nilai sederhana dari fitur citra, tetapi bukan merupakan menggunakan nilai *pixel* dari citra objek tersebut sehingga memberikan kelebihan yaitu komputasinya sangat cepat karena bergantung hanya pada jumlah *pixel* dalam persegi fitur, tidak setiap nilai *pixel* dari sebuah citra [8]. Metode ini merupakan metode yang efektif dalam pendeteksian objek, dan menjadi sebuah metode utama untuk mendeteksi objek dalam [9] hingga cocok untuk digunakan pada penelitian ini yaitu untuk mengetahui jenis kendaraan berupa mobil dan sepeda motor.

Penelitian serupa telah dilakukan sebelumnya, pada [10] digunakan metode *background subtraction* dan *haar cascade classifier* untuk mendeteksi wajah manusia dalam tugas *people counter*. Pada [11], dilakukan pendeteksian mobil dengan menggunakan metode *Haar cascade classifier* yang dilatih menggunakan 1000 gambar mobil dan menghasilkan tingkat deteksi tertinggi sebesar 0.975 dan tingkat ketepatan klasifikasi mobil rata-rata sebesar 0.978. Pada [12] juga dilakukan penelitian menggunakan *Haar cascade classifier* untuk mendeteksi mobil pada 3 kondisi berbeda yaitu jalanan sepi, sedang dan padat dengan akurasi masing-masing 77.8%, 47.5% dan 28.2%.

A. Background Subtraction

Background adalah bagian gambar yang tidak banyak berubah dari serangkaian gambar bergerak. *Background* dapat diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata dari serangkaian gambar, nilai rata-rata tersebut akan mendekati gambar latar belakang yang diinginkan [13].



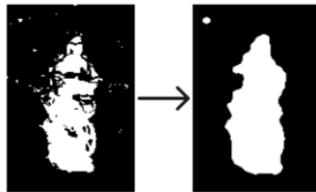
Gambar 2. Skema background subtraction.

Prinsip dasar background subtraction adalah membandingkan antara dua buah citra $f(x, y, t_1)$ dan $f(x, y, t_2)$ sehingga menghasilkan citra baru $r(x, y)$ yang memiliki nilai 0 (hitam) atau 1 (putih) dengan kriteria seperti pada persamaan 1.

$$r(x, y) = \{1, \text{jika } |f(x, y, t_1) - f(x, y, t_2)| < T \text{ atau } 0 \} \quad (1)$$

B. Transformasi Morfologi

Transformasi morfologi merupakan operasi yang umum digunakan pada citra biner (hitam-putih) untuk mengubah struktur bentuk objek yang terkandung dalam citra. Sebagai contoh, lubang pada citra sepeda motor dapat ditutup melalui operasi morfologi sebagaimana ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3 Gambar biner sepeda motor melalui proses morfologi.

Dua operasi yang mendasari morfologi yaitu dilasi dan erosi. Dua operasi lain adalah opening dan closing dibentuk melalui dua operasi dasar itu.

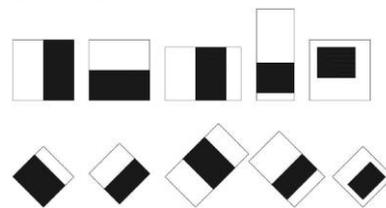
Erosi dapat diperoleh dengan melebarkan komplement dari piksel hitam dan kemudian mengambil komplement dari set point yang dihasilkan. Erosi merupakan proses penghapusan titik-titik batas objek menjadi bagian dari latar, berdasarkan structuring element yang digunakan. Pada operasi ini, ukuran objek diperkecil dengan mengikis sekeliling objek.

Operasi opening adalah operasi erosi yang diikuti dengan dilasi dengan menggunakan elemen penstruktur yang sama. Operasi ini berguna untuk menghaluskan kontur objek dan menghilangkan seluruh pixel di area yang terlalu kecil untuk ditempati oleh elemen penstruktur. Dengan kata lain, semua struktur latar depan yang berukuran lebih kecil daripada elemen penstruktur akan tereliminasi oleh erosi dan kemudian penghalusan dilakukan melalui dilasi. Operasi closing berguna untuk menghaluskan kontur dan menghilangkan lubang-lubang kecil. Operasi closing dilaksanakan dengan melakukan

operasi dilasi terlebih dahulu dan kemudian diikuti dengan operasi erosi [14].

C. Haar Cascade Classifier

Haar-like feature pertama kali diusulkan oleh Paul Viola dan Michael Jones [8] untuk keperluan mendeteksi wajah manusia[7]. Metode ini kemudian diperbarui kembali oleh Rainer Lienhart dan Jochen Maydt [15]. Ide dari Haar-like feature adalah sebuah classifier yang dilatih dengan sejumlah sampel citra dari suatu objek. Dalam penelitian ini sampel citra yang digunakan adalah citra dari kendaraan sepeda motor dan mobil, berupa kendaraan tampak depan dan belakang sebagai sampel positif. Sampel negatif adalah citra dari objek yang berbeda-beda namun tetap memiliki ukuran yang sama. Kumpulan citra ini akan menghasilkan kumpulan fitur objek yang disebut sebagai cascade. Classifier akan menghasilkan nilai "1" jika pada citra yang dimasukkan terdapat objek yang dikenali dan nilai "0" jika tidak ada objek yang dikenali.



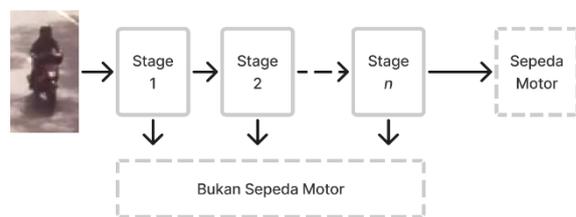
Gambar. 4 Contoh bentuk haar-like feature.

Hasil penerapan masing-masing fitur pada suatu wilayah gambar tertentu dihasilkan melalui jumlah pixel yang terletak di dalam segi empat hitam dari fitur yang dikurangkan oleh jumlah pixel yang overlap dengan segi empat putih. Segi empat ini didefinisikan lewat koordinat kiri atas x, y, lebar w, dan tinggi h. Total pixel yang berada dalam area segi empat ri direpresentasikan oleh $RecSum(ri)$.

$$feature_1 = \sum_{i=1}^N W_t \times RecSum(r_t) \quad (2)$$

$$= \sum_{i=1}^N W_t \times RecSum(x, y, w, h)$$

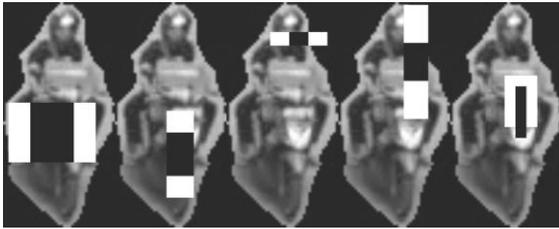
Di mana dalam persamaan 2, nilai N , W_t , dan ri dipilih secara acak, tergantung objek yang diidentifikasi.



Gambar. 5 Tahap cascade pada klasifikasi suatu citra.

Dalam mengenali suatu objek, cascade akan mengabaikan area citra yang tidak memiliki objek yang memenuhi kriteria. Ini sangat membantu dalam meningkatkan performa classifier tersebut. Efeknya,

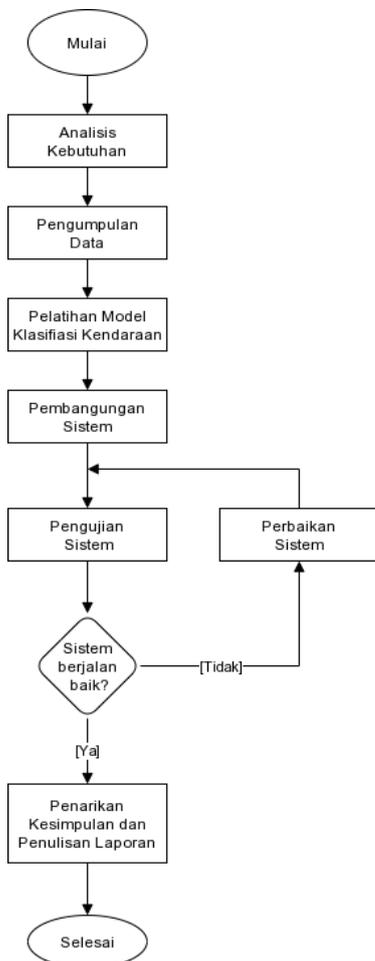
kemungkinan kesalahan deteksi objek berkurang dan akurasi deteksi menjadi meningkat.



Gambar. 6 Haar-like feature pada klasifikasi sepeda motor.

III. METODE PENELITIAN

Tahapan metode penelitian dapat diilustrasikan pada bagan alur seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar.7 Diagram alur penelitian

A. Analisis Kebutuhan

Dalam melakukan analisis kebutuhan peneliti menentukan dan mengungkapkan kebutuhan sistem. Kebutuhan sistem terbagi menjadi dua yaitu: kebutuhan fungsional dan kebutuhan non-fungsional, keduanya diperlukan untuk mewujudkan tujuan yang ingin dicapai.

Kebutuhan fungsional adalah kebutuhan-kebutuhan yang memiliki keterkaitan langsung dengan sistem. Berikut kebutuhan fungsional sistem penghitungan kendaraan:

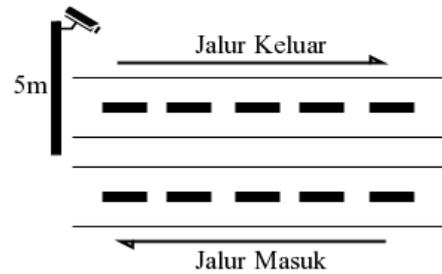
1. Sistem menerima citra jalan dari kamera.
2. Sistem mendeteksi objek kendaraan.
3. Sistem mengenali jenis kendaraan dari objek terdeteksi.
4. Sistem mentracking objek kendaraan yang dideteksi.
5. Sistem menghitung kendaraan yang lewat.
6. Sistem memberikan data perhitungan kendaraan.

Kebutuhan non-fungsional adalah kebutuhan-kebutuhan yang secara tidak langsung memiliki keterkaitan dengan sistem. Berikut kebutuhan non-fungsional sistem penghitungan kendaraan:

1. Sistem berjalan pada jadwal yang ditentukan setiap hari kecuali ada perbaikan.
2. Data keluaran sistem dapat diakses dari mana saja dan kapan saja.
3. Data dapat ditampilkan pada tampilan yang user-friendly.

B. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan merekam kondisi jalan masuk utama Universitas Tanjungpura. Posisi kamera pengambilan rekaman pada ketinggian 5 meter dan sudut perangkat 15 derajat menghadap ke arah keluar dari Universitas Tanjungpura.



Gambar. 8 Denah pemosisian perangkat relatif terhadap jalan

Perekaman dilakukan dalam 3 jenis waktu berbeda, yaitu pada pagi hari, siang hari dan sore hari dimana pada masing-masing kondisi memiliki profil pencahayaan berbeda. Perekaman berlangsung dengan durasi 20-30 menit dan dalam jangka waktu 3 hari dalam pengambilannya dan menghasilkan data rekaman dengan total durasi 218 menit.



Gambar. 9 Citra jalan.

C. Pelatihan Model Klasifikasi Kendaraan

Untuk dapat mengenali jenis kendaraan pada suatu citra objek kendaraan menggunakan metode *haar cascade classifier* diperlukan proses pelatihan model. Model klasifikasi yang dihasilkan digunakan pada sistem untuk mengklasifikasi jenis kendaraan. Pelatihan dilakukan agar *classifier* mengetahui objek apa yang ingin dicari pada citra. Untuk itu dalam pelatihan diberikan berbagai contoh citra objek kendaraan yang ingin dicari, atau disebut juga citra positif. Semakin banyak citra positif diberikan maka semakin baik *haar cascade classifier* mengenali objek tersebut.

Untuk melatih suatu model *haar cascade classifier* dilakukan dalam beberapa tahap seperti berikut:

1. Pengumpulan citra positif.
2. Mengolah data citra positif.
3. Membuat berkas.vec dari citra positif.
4. Mengumpulkan citra negatif.
5. Melakukan pelatihan model.



Gambar. 10 Contoh citra positif objek kendaraan untuk dilatih.

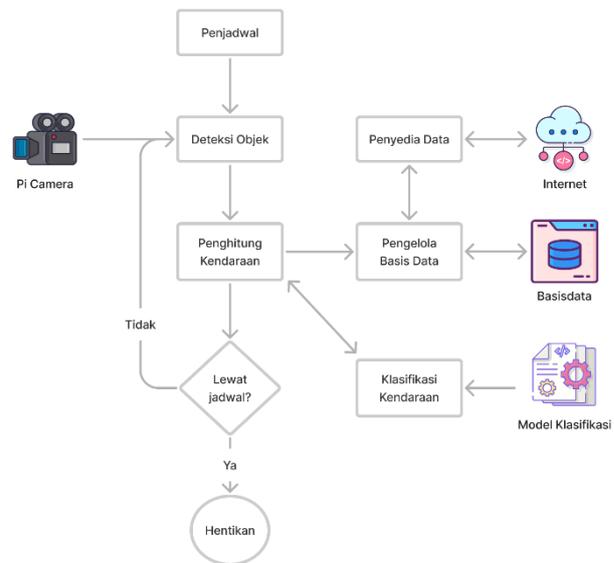
Dalam melakukan pelatihan model klasifikasi *haar cascade classifier* digunakan program *trainscascade* dari pustaka *OpenCV*. Masing-masing jenis kendaraan yang ingin dideteksi, yaitu sepeda motor masuk, sepeda motor keluar, mobil masuk dan mobil keluar perlu dilatih terlebih dahulu.

TABEL I
JUMLAH CITRA POSITIF OBJEK KENDARAAN BAHAN PELATIHAN.

Jenis Kendaraan	Lajur	Jumlah citra
Sepeda motor	Kanan – Masuk	5000
	Kiri – Keluar	5000
Mobil	Kanan – Masuk	500
	Kiri – Keluar	500

D. Arsitektur Sistem

Sistem penghitung kendaraan yang diimplementasi dibagi menjadi beberapa proses yaitu pendeteksi objek, pengenalan kendaraan, penghitung kendaraan, pengelola basis data, penyedia data statistik dan penyedia data *real time*.



Gambar. 11 Arsitektur sistem.

Terdapat modul kamera untuk menerima citra jalan. Citra jalan kemudian diproses oleh sistem. Pada operasinya sistem menghasilkan data yang disimpan ke basis data dan disediakan melalui internet. Sistem berjalan dalam waktu tertentu yang ditentukan oleh modul penjadwalan.

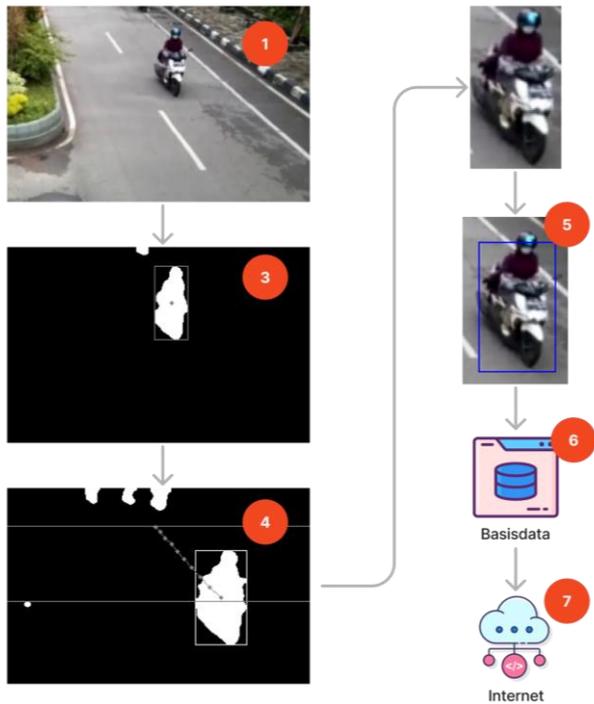
IV. HASIL DAN ANALISIS

A. Implementasi Sistem

Sistem penghitung kendaraan yang diimplementasi dibagi menjadi beberapa proses yaitu pendeteksi objek, pengenalan kendaraan, penghitung kendaraan, pengelola basis data, penyedia data statistik dan penyedia data *real time*.

Sistem penghitung trafik kendaraan di implementasi menggunakan bahasa pemrograman Python. Dalam penerapannya sistem berjalan dalam tahapan berikut.

1. Mengambil citra jalan: Kamera pada sistem mengambil citra jalan secara terus menerus.
2. *Background subtraction* dan operasi morfologi: Citra yang diterima kemudian diproses menghasilkan citra biner yang jelas untuk tahap selanjutnya.
3. Mendeteksi objek kendaraan: Dari citra biner dapat diambil contour objek yang menghasilkan daftar objek terdeteksi.
4. *Tracking* objek kendaraan: Daftar objek terdeteksi kemudian dicocokkan dengan daftar kendaraan yang telah ada dari frame sebelumnya.
5. Klasifikasi objek kendaraan terdeteksi: Objek kendaraan yang melewati garis batas akan diklasifikasi jenis kendaraannya.
6. Simpan klasifikasi kendaraan ke basis data: Hasil klasifikasi kendaraan disimpan ke basis data.
7. Sediakan data untuk di akses: Data pada sistem dapat diakses menggunakan REST API untuk data statistik dan websocket untuk pembaruan data secara *realtime*.



Gambar. 12 Alur implementasi sistem.

Sistem menerima citra kondisi jalan yang terus menerus diproses oleh sistem. Sistem akan berhenti pada jadwal yang telah ditentukan dan kembali berjalan jika di *trigger* oleh penjadwal.

B. Pengujian Sistem

Setelah di implementasi sistem penghitung kendaraan berbasis deteksi objek diuji dengan seperangkat pengujian untuk memastikan penelitian berhasil.

1. *Unit testing*: Pengujian unit dilakukan pada setiap bagian-bagian dari kode program dimana dengan dilakukannya pengujian unit diharapkan kesalahan pemrograman dapat ditangkap sejak pada tahap pengembangan sistem. Terdapat 25 *unit test* yang ditetapkan dan berhasil dilewati.
2. *Integration Testing*: Pengujian integrasi dilakukan untuk memastikan sistem yang terdiri dari bagian-bagiannya dapat berjalan bersama secara keseluruhan. Pengujian dilakukan dengan memastikan bahwa 4 *endpoint* pada REST API data statistik dan 1 *websocket* pada penyedia data *realtime* berhasil mengeluarkan data dengan benar.
3. Evaluasi Pendeteksi Objek: Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem bagian penghitung kendaraan yang terdiri dari kamera dan proses deteksi objek pada kode program. Citra jalan yang didapat dari kamera diproses untuk mendapatkan objek, di dalam proses ini citra jalan melewati proses *background subtraction* untuk mendapatkan citra jalan dalam bentuk biner, kemudian melalui beberapa langkah proses morfologi dapat dideteksi bentuk objek pada citra. Pengujian ini mengevaluasi seberapa

baik pendeteksian objek terjadi. Analisa dari pengujian evaluasi pendeteksi objek menunjukkan bahwa program dapat mendeteksi objek yang bergerak dengan akurasi terendah sebesar 67.117% dan akurasi tertinggi sebesar 93.939%. Walaupun akurasi bervariasi tetapi tidak mempengaruhi sistem keseluruhan karena dari hasil evaluasi ditemukan bahwa tidak terdapat objek yang gagal dideteksi (semua objek terdeteksi, termasuk deteksi yang salah/tidak valid).

TABEL II
HASIL EVALUASI PENDETEKSI OBJEK.

Pengujian	Lajur	Deteksi Valid	Deteksi Tidak Valid	Gagal Deteksi	Persentase akurasi
Pagi	Masuk	188	15	0	92.611%
	Keluar	149	73	0	67.117%
Siang	Masuk	201	69	0	74.444%
	Keluar	288	57	0	83.478%
Sore	Masuk	166	29	0	85.128%
	Keluar	373	24	0	93.939%

4. Evaluasi Model Klasifikasi Pada Waktu Berbeda: Evaluasi dilakukan pada 3 video rekaman citra jalan pada tiga waktu berbeda yaitu pagi, siang dan sore dengan masing-masing durasi 5 menit. Analisa dilakukan dengan menggunakan *confusion matrix*, pada setiap rekaman uji dicatat nilai *true positive* (TP), *false positive* (FP), *true negative* (TN) dan *false negative* (FN). Nilai-nilai tersebut kemudian digunakan untuk mengambil nilai akurasi, presisi, *recall* dan *F1-score*. *F1-score* digunakan untuk dapat membandingkan performa antar model dengan lebih baik karena nilai ini memberikan nilai rata-rata antara nilai presisi dan *recall*. Pada tabel III ditunjukkan bahwa nilai akurasi dan *f1-score* pada masing masing pengujian terhadap semua model tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh yang besar mengenai pencahayaan yang berbeda akibat perbedaan waktu tersebut performa model klasifikasi kendaraan.

TABEL III
HASIL EVALUASI MODEL KLASIFIKASI PADA WAKTU BERBEDA.

Pengujian	Akurasi	Presisi	Recall	F1-score
Pagi	93%	78%	62%	68%
Siang	90%	68%	60%	62%
Sore	92%	72%	63%	67%

5. Evaluasi Model Klasifikasi Pada Kondisi Kepadatan Berbeda: Evaluasi ini dilakukan untuk melihat performa model klasifikasi kendaraan pada kondisi kepadatan sepi, sedang dan padat. Pengujian dilakukan pada video rekaman citra jalan berdurasi 1 menit untuk tiap kondisi. Nilai rata-rata akurasi,

presisi dan *recall* dari hasil pengujian berdasarkan kondisi kepadatan jalan pada tabel IV menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan pada nilai akurasi dan *recall*. Sedangkan untuk nilai presisi terlihat bahwa semakin padat kondisi jalan maka semakin presisi hasil dari klasifikasi objek kendaraan.

TABEL IV
HASIL EVALUASI MODEL KLASIFIKASI PADA KONDISI KEPADATAN BERBEDA

Kondisi Kepadatan	Akurasi	Presisi	Recall
Padat	88.79%	74.17%	57.91%
Sedang	86.21%	65.63%	49.55%
Sepi	87.50%	43.75%	50.00%

C. Skenario Pada Implementasi

Sistem penghitung trafik kendaraan dalam proses penelitian dari pengumpulan data hingga pengujian sistem menemukan bahwa terdapat skenario yang luar dari biasa. Dari skenario-skenario ini ada yang mempengaruhi perhitungan trafik kendaraan yang dilakukan.

1. Citra objek kendaraan saling berdempetan: Pada implementasi ditemukan bahwa seringkali kendaraan memiliki posisi yang saling berdempetan. Jika tidak saling menutupi maka model klasifikasi jenis kendaraan dapat bekerja dengan baik. Sedangkan pada skenario objek kendaraan saling berdempetan dimana terdapat objek kendaraan yang sebagian dari wujud nya tertutupi maka model klasifikasi jenis kendaraan tidak dapat mengklasifikasi objek tersebut menjadi kendaraan berjenis sepeda motor maupun mobil seperti yang diteliti
2. Kondisi Pencahayaan Membentuk Bayangan: Skenario ini terjadi ketika pada kondisi waktu pagi atau sore dimana posisi matahari terhadap kendaraan membentuk bayangan. Ditemukan bahwa objek kendaraan yang memiliki bayangan ketika melewati garis batas tetap dapat diklasifikasi dengan baik dan benar oleh sistem.
3. Gambar Citra Tidak Stabil : Pada implementasi ditemukan bahwa kamera pada perangkat yang mengambil citra jalan untuk pengujian kadangkala menjadi tidak stabil diakibatkan oleh angin atau faktor lain. Hasil dari kondisi kamera tidak stabil ini mengakibatkan sistem pendeteksi objek mendeteksi objek yang bukan merupakan objek yang sebenarnya bergerak.
4. Kendaraan Memutar: Skenario dimana terdapat kendaraan yang berganti lajur (memutar). Pada implementasinya sistem dapat berjalan dengan benar mulai dari pendeteksi objek hingga citra objek yang terdeteksi siap untuk diklasifikasi, namun ditemukan bahwa model klasifikasi jenis kendaraan tidak dapat menentukan jenis kendaraan yang diberikan dengan benar. Hal ini disebabkan karena objek kendaraan

- yang terdeteksi pada gambar memiliki profil citra yang berbeda dengan objek kendaraan lainnya.
5. Kendaraan Selain Objek Penelitian: Skenario ini adalah dimana sistem mendeteksi objek kendaraan yang tidak termasuk dalam objek pada penelitian sistem penghitung trafik kendaraan, yaitu sepeda motor dan mobil. Pada implementasi pada saat objek diklasifikasi untuk menentukan jenis kendaraannya dari proses klasifikasi jenis kendaraan ditemukan bahwa objek kendaraan tidak berjenis sepeda motor maupun mobil sehingga dilabeli sebagai objek yang tidak diketahui.

V. KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan dihasilkan sebuah program sistem penghitung trafik kendaraan berbasis *object recognition* yang peneliti lakukan dengan studi kasus jalan utama Universitas Tanjungpura. Mengikuti metodologi penelitian yang telah dilakukan maka dari hasil penelitian dapat disimpulkan telah memenuhi tujuan dari penelitian yaitu sebagai berikut.

1. Menghasilkan sistem penghitungan trafik di jalan utama Universitas Tanjungpura, sistem ini dapat mendeteksi objek kendaraan yang lewat, mengetahui jenis kendaraan tersebut dan menghitung jumlah trafik kendaraan tersebut serta menyediakan cara untuk mendapatkan data yang dihasilkan. Hal ini dibuktikan dengan keberhasilan pengujian 25 *unit testing* dan 5 *integration testing*.
2. Analisa dari pengujian evaluasi pendeteksi objek menunjukkan bahwa program dapat mendeteksi objek yang bergerak dengan akurasi dengan akurasi terendah sebesar 67.117% dan akurasi tertinggi sebesar 93.939%. Walaupun akurasi pendeteksian objek bervariasi tetapi tidak mempengaruhi hasil perhitungan trafik kendaraan karena dari hasil evaluasi ditemukan bahwa tidak terdapat objek yang gagal di deteksi (semua objek terdeteksi, termasuk deteksi yang salah).
3. Analisa dari pengujian evaluasi model klasifikasi jenis kendaraan pada kondisi waktu berbeda yaitu pagi, siang dan sore menggunakan *confusion matrix* menunjukkan rata-rata nilai *F1-score* untuk model klasifikasi sepeda motor sebelah kiri, sepeda motor sebelah kanan, mobil sebelah kiri dan mobil sebelah kanan masing-masing adalah 0.97, 0.92, 0.43, 0.31. Nilai ini menunjukkan pengaruh jumlah data latih menentukan performa model klasifikasi kendaraan di mana model klasifikasi sepeda motor dilatih dengan 5000 data latih sedangkan model klasifikasi mobil dilatih dengan 500 data latih.
4. Analisa dari pengujian evaluasi model klasifikasi jenis kendaraan berdasarkan kondisi waktu yang berbeda juga menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh yang besar mengenai waktu dan pencahayaan yang berbeda akibat perbedaan waktu tersebut terhadap performa model klasifikasi kendaraan. Di mana nilai rata-rata akurasi pada

pengujian pagi, siang dan sore adalah masing-masing 93%, 90% dan 92%. Sedangkan nilai rata-rata f1-score pada pengujian pagi, siang dan sore adalah masing-masing 68%, 62% dan 67%.

5. Analisa dari pengujian evaluasi model klasifikasi jenis kendaraan berdasarkan kondisi kepadatan kendaraan menunjukkan bahwa tidak terdapat pengaruh yang signifikan atas perbedaan kepadatan kendaraan pada jalan dengan hasil model klasifikasi kendaraan. Di mana nilai rata-rata akurasi pada pengujian padat, sedang dan sepi adalah masing-masing 89%, 86% dan 88%.
6. Pada kondisi jalan masuk utama Universitas Tanjungpura terdapat skenario-skenario luar biasa yang mempengaruhi performa pendeteksi objek dan klasifikasi kendaraan pada sistem, seperti skenario kendaraan memutar dan kamera tidak stabil.

REFERENSI

- [1] Badan Pusat Statistik, "Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis (Unit),2018-2020," 2020. <https://www.bps.go.id/indicator/17/57/1/perkembangan-jumlah-kendaraan-bermotor-menurut-jenis.html> (diakses 23 Juli 2022).
- [2] Badan Pusat Statistik, "Panjang Jalan Menurut Tingkat Kewenangan (km), 2018-2020," 2020. <https://www.bps.go.id/indicator/17/50/1/panjang-jalan-menurut-tingkat-kewenangan.html> (diakses 23 Juli 2022).
- [3] Universitas Tanjungpura, "PDDikti Untan," 2022. <http://pddikti.untan.ac.id/dashboard> (diakses 23 Juli 2022).
- [4] A. Ajmal dan I. M. Hussain, "Vehicle detection using morphological image processing technique," in *MCIT'2010: International Conference on Multimedia Computing and Information Technology*, 2010, hal. 65–68. doi: 10.1109/MCIT.2010.5444851.
- [5] S. Solihun, I. Ruslianto, dan U. Ristian, "IMPLEMENTASI PERHITUNGAN KENDARAAN MOBIL DI JALAN RAYA MENGGUNAKAN METODE BACKGROUND SUBTRACTION DAN TEKNIK MORFOLOGI CITRA," *Coding J. Komput. dan Apl.*, vol. 9, no. 03, hal. 424–435, Feb 2022, doi: 10.26418/CODING.V9I03.50865.
- [6] L. A. KURNIAWAN, I. P. A. BAYUPATI, dan K. SUAR WIBAWA, "Sistem Hitung Kendaraan Berdasarkan Jenis Menggunakan Metode Background Subtraction," *JITTER J. Ilm. Teknol. dan Komput.*, vol. 1, no. 2, hal. 265–273, 2021.
- [7] P. Viola dan M. J. Jones, "Robust Real-Time Face Detection," *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 57, no. 2, hal. 137–154, Mei 2004, doi: 10.1023/B:VISI.0000013087.49260.fb.
- [8] P. Viola dan M. Jones, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features," in *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2001, vol. 1. doi: 10.1109/cvpr.2001.990517.
- [9] D. K. Ulfa dan D. H. Widyantoro, "Implementation of haar cascade classifier for motorcycle detection," in *2017 IEEE International Conference on Cybernetics and Computational Intelligence, CyberneticsCOM 2017 - Proceedings*, Mar 2018, vol. 2017-November, hal. 39–44. doi: 10.1109/CYBERNETICSCOM.2017.8311712.
- [10] I. P. Sinaga, I. Prasetya, D. Wibawa, dan E. Kuniawan, "Background Substraction Dan Haar Cascade People Counter and Face Identification System With Background," *e-Proceeding Eng.*, vol. 4, no. 2, hal. 1544–1551, 2017.
- [11] M. I. Ramadhani, A. E. Minarno, dan E. B. Cahyono, "Vehicle Classification using Haar Cascade Classifier Method in Traffic Surveillance System," *Kinet. Game Technol. Inf. Syst. Comput. Network, Comput. Electron. Control*, hal. 57–64, Des 2017, doi: 10.22219/kinetik.v3i1.546.
- [12] A. Lazaro, J. L. Buliali, dan B. Amaliah, "Deteksi Jenis Kendaraan di Jalan Menggunakan OpenCV," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, Sep 2017, doi: 10.12962/j23373539.v6i2.23175.
- [13] P. Hartoto, "Sistem Deteksi Kecepatan Kendaraan Bermotor pada Real Time Traffic Information System," *Fak. Tek. Inst. Teknol. Sepuluh Novemb.*, 2011.
- [14] A. Kadir dan A. Susanto, *Teori & Aplikasi Pengolahan Citra*, 1 ed. Yogyakarta: Andi, 2013.
- [15] R. Lienhart dan J. Maydt, "An extended set of Haar-like features for rapid object detection," in *IEEE International Conference on Image Processing*, 2002, vol. 1. doi: 10.1109/icip.2002.1038171.