

SIMULASI DAN ANALISIS SISTEM SMART TRAFFIC LIGHT BERBASIS PENGOLAHAN CITRA DIGITAL DENGAN METODE DETEKSI TEPI DAN SEGMENTASI

Simulation and Analysis of System Smart Traffic Light Based on Digital Image Processing with Edge Detection and Segmentation

Danding Adhi Priutomo¹, Ir. Rita Magdalena, M.T.², Nur Andini, S.T., M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Telkom University

¹adhidanding@students.telkomuniversity.ac.id, ²ritamagdalenat@telkomuniversity.ac.id,

³nurandini@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Sistem lampu lalu lintas saat ini belum cukup efektif untuk mengurai kemacetan karena sistemnya masih menggunakan *fixed time traffic signal* dimana sistem ini bekerja dengan waktu yang telah ditentukan. Hal ini menyebabkan terjadinya banyak kemacetan di beberapa ruas jalan. Pada penulisan tugas akhir ini dikembangkan sistem lampu lalu lintas yang bisa mendeteksi ruas mana yang memiliki antrian paling panjang pada persimpangan jalan. Cara kerja detektor ini merekam video pada masing-masing ruas jalan dan *frame* didetik ke 40 diambil untuk diproses menggunakan metode deteksi tepi dan segmentasi. Perhitungan centroid dan *thresholding* dilakukan agar sistem dapat membedakan warna aspal dengan kendaraan. Pengambilan video ini dilakukan di 3(tiga) kondisi yaitu pagi hari(cerah), siang hari(cerah), dan sore hari(berawan). Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebuah sistem yang mampu menentukan ruas mana yang memiliki antrian paling panjang dengan menghitung panjang centroid-centroid pada masing-masing ruas jalan. Setelah dilakukan pengujian terhadap sistem, dapat diambil kesimpulan bahwa sistem bekerja secara optimal di pagi dan sore hari dengan tingkat akurasi sebesar 82,85%. Sedangkan sistem bekerja kurang optimal di siang hari dengan tingkat akurasi sebesar 77,14%. Dengan demikian rata-rata tingkat akurasi sistem sebesar 80,93%.

Kata kunci : Lampu lalu lintas, citra, antrian, deteksi tepi, segmentasi.

Abstract

Traffic light system is currently not effective enough to break the bottleneck because the system is still using fixed-time traffic signal where the system is working with a predetermined time. This leads to a lot of congestion in some roads. At this thesis, developed a traffic light system that can detect where the road that has the longest queue at a crossroads. If one road has the longest queue, then the traffic lights on the road will turn green ahead of other roads. . The workings of the detector is to record video on each road and the frame on 40 seconds were taken to be processed using edge detection and segmentation. Centroid calculation and thresholding is done so that the system can distinguish the color of asphalt with the vehicles. Video capture is done in three (3) conditions that morning (sunny), daylight (sunny) and afternoon (cloudy). The results obtained from this study is a system that is able to determine which road has the longest queue by calculating the length of the centroids of each road. After testing the system, it can be concluded that the system works optimally in the morning and afternoon with a level of accuracy is 82.85%. While the system works less than optimal during the daylight with a level of accuracy is 77.14%. Thus the average rate of system accuracy is 80.93%.

Keywords: traffic lights, images, queues, edge detection, segmentation.

1. Pendahuluan

Di kota-kota besar seperti Jakarta, Surabaya, Medan, Bandung dan lain-lain, kemacetan merupakan hal yang biasa terjadi. Sumber kemacetan biasa terjadi di persimpangan jalan. Sistem lampu lalu lintas saat ini banyak yang menggunakan sistem hitungan mundur. Namun cara tersebut kurang optimal. Oleh karena itu, pada tugas akhir kali ini dikembangkan sistem pengaturan lalu lintas yang mampu mendeteksi panjang antrian pada ruas jalan di persimpangan menggunakan pengolahan citra digital. Hasil yang diperoleh pada proses pengolahan sinyal digital tersebut akan dapat mendeteksi kemacetan pada persimpangan jalan. Lampu lalu lintas akan menyala hijau terhadap ruas jalan yang terjadi kemacetan. Melanjutkan dari penelitian sebelumnya, mengenai pengaturan sistem lalu lintas dengan metode deteksi pola dengan algoritma teorema antrian, pada penelitian ini

penulis mencoba mendeteksi kemacetan dan pengukuran waktu menggunakan metode citra digital. Pada penelitian sebelumnya, kendaraan yang dapat dideteksi hanya kendaraan roda empat sedangkan penelitian ini dapat mendeteksi semua jenis kendaraan baik roda dua maupun roda empat. Pada penelitian lainnya metode yang digunakan adalah *background subtraction* dengan menghitung jumlah kendaraan saja. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan panjang antrian kendaraan pada persimpangan empat ruas jalan. Dengan demikian pengaturan lampu lalu lintas bisa lebih adil.

2. Landasan Teori

4.1 Definisi Lampu Lalu Lintas [1]

Lampu lalu lintas adalah lampu yang mengendalikan arus lalu lintas yang terpasang di persimpangan jalan, tempat penyeberangan pejalan kaki (zebra cross), dan tempat arus lalu lintas lainnya. Lampu ini yang menandakan kapan kendaraan harus berjalan dan berhenti secara bergantian dari berbagai arah. Pengaturan lalu lintas di persimpangan jalan dimaksudkan untuk mengatur pergerakan kendaraan pada masing-masing kelompok pergerakan kendaraan agar dapat bergerak secara bergantian sehingga tidak saling mengganggu antar-arus yang ada.

Lampu lalu lintas telah diadopsi di hampir semua kota di dunia ini. Lampu ini menggunakan warna yang diakui secara universal. Untuk menandakan berhenti adalah warna merah, hati-hati yang ditandai dengan warna kuning, dan hijau yang berarti dapat berjalan.

Tujuan adanya lampu lalu lintas yaitu:

- a. Menghindari hambatan karena adanya perbedaan arus jalan bagi pergerakan kendaraan.
- b. Memfasilitasi persimpangan antara jalan utama untuk kendaraan dan pejalan kaki dengan jalan sekunder sehingga kelancaran arus lalu lintas dapat terjamin.
- c. Mengurangi tingkat kecelakaan yang diakibatkan oleh tabrakan karena perbedaan arus jalan.

Lampu lalu lintas dapat digolongkan berdasarkan cakupannya dan berdasarkan cara pengoperasiannya.

a. Berdasarkan cakupannya:

- (1) Lampu lalu lintas terpisah yaitu pengoperasian lampu lalu lintas yang pemasangannya didasarkan pada suatu tempat persimpangan saja tanpa mempertimbangkan persimpangan lain.
- (2) Lampu lalu lintas terkoordinasi yaitu pengoperasian lampu lalu lintas yang pemasangannya mempertimbangkan beberapa persimpangan yang terdapat pada arah tertentu.
- (3) Lampu lalu lintas jaringan yaitu pengoperasian lampu lalu lintas yang pemasangannya mempertimbangkan beberapa persimpangan yang terdapat dalam suatu jaringan yang masih dalam satu kawasan.

b. Berdasarkan cara pengoperasiannya:

- 1) Fixed time traffic signal yaitu lampu lalu lintas yang pengoperasiannya menggunakan waktu yang tepat dan tidak mengalami perubahan.
- 2) Actuated traffic signal yaitu lampu lalu lintas yang pengoperasiannya dengan pengaturan waktu tertentu dan mengalami perubahan dari waktu ke waktu sesuai dengan kedatangan kendaraan dari berbagai persimpangan.

4.2 Video Digital [5]

Video pada dasarnya merupakan array tiga dimensi. Dua dimensi digunakan untuk menggambarkan ruang pergerakan citra (spatial) dan satu dimensi lainnya menggambarkan waktu. Video digital tersusun atas serangkaian frame yang ditampilkan dengan kecepatan tertentu (frame/detik). Jika laju frame cukup tinggi, maka mata manusia akan melihatnya sebagai rangkaian yang kontinyu. Setiap frame merupakan gambar atau citra digital. Suatu citra digital direpresentasikan dengan sebuah matriks yang masing-masing elemennya merepresentasikan nilai intensitas atau kedalaman warna.

- Karakteristik Video Digital [6]

Karakteristik yang dimiliki oleh sebuah video digital akan menentukan kualitas dari video tersebut, sehingga sensitifitas mata manusia terhadap video yang dilihat dipengaruhi oleh nilai-nilai karakteristik dari video itu sendiri. Adapun karakteristik yang dimiliki oleh sebuah video digital adalah sebagai berikut :

1. Resolusi
2. Kedalaman Bit
3. Laju Frame

4.3 Deteksi Tepi (*Edge Detection*) [2][3]

Deteksi tepi merupakan suatu dasar operasi dari pemrosesan citra. Tepi merupakan batas dari suatu objek. Pada proses klasifikasi citra, deteksi tepi sangat diperlukan sebelum pemrosesan segmentasi citra. Batas objek suatu citra dapat dideteksi jika memiliki perbedaan tingkat keabuannya.

Deteksi tepi merupakan operasi untuk menemukan perubahan intensitas lokal yang berbeda dalam sebuah citra (Prasetyo, 2011, Gonzales, 2002). Gradien adalah hasil pengukuran perubahan dalam sebuah fungsi intensitas, dan sebuah citra dapat dipandang sebagai kumpulan beberapa fungsi intensitas kontinu sebuah citra. Perubahan mendadak pada nilai intensitas dalam suatu citra dapat dilacak menggunakan perkiraan diskrit pada gradien. Gradien disini adalah kesamaan dua dimensi dari turunan pertama dan didefinisikan sebagai vektor (Gonzales, 2002). Metode deteksi tepi yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode canny.

2.3.1. Operator Canny [7]

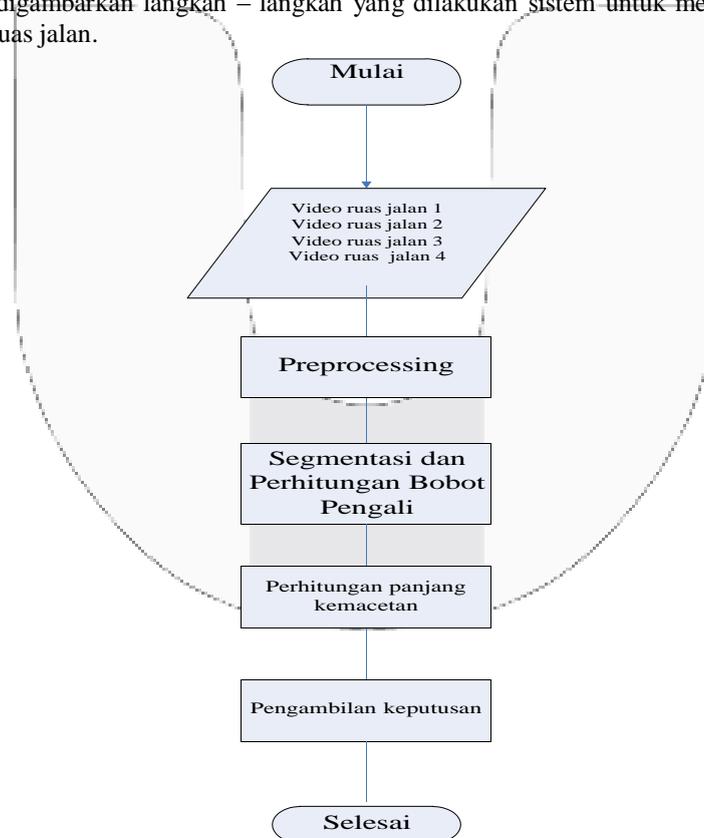
Algoritma ini memberikan tingkat kesalahan rendah, melokalisasi titik-titik tepi (jarak piksel-piksel tepi yang ditemukan deteksi dan tepi yang sesungguhnya sangat pendek), dan hanya memberikan satu tanggapan untuk satu tepi. Terdapat lima langkah untuk mengimplementasikan deteksi tepi *canny*.

4.4 Segmentasi [4]

Segmentasi Citra adalah pemisahan objek yang satu dengan objek yang lain dalam suatu citra atau antara objek dengan latar yang terdapat dalam sebuah citra. Dengan proses segmentasi tersebut, masing-masing objek pada citra dapat diambil secara individu sehingga dapat digunakan sebagai input bagi proses lain. Ada 2 macam segmentasi, yaitu *full segmentation* dan *partial segmentation*. *Full segmentation* adalah pemisahan suatu objek secara individu dari *background* dan diberi ID (label) pada tiap-tiap segmen. *Partial segmentation* adalah pemisahan sejumlah data dari *background* dimana data yang disimpan hanya data yang dipisahkan saja untuk mempercepat proses selanjutnya.

3. Blok Diagram Sistem

Pada Gambar 1 digambarkan langkah – langkah yang dilakukan sistem untuk memulai proses perhitungan panjang antrian pada ruas jalan.

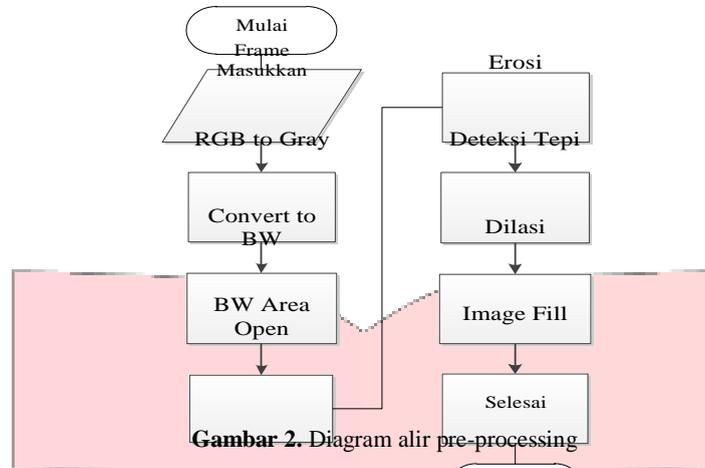


Gambar 1. Diagram Alir Proses

Berdasarkan Gambar 1 sistem yang dirancang pada tugas akhir ini adalah sistem yang mampu menghitung panjang antrian di ruas jalan pada persimpangan jalan. Masukkan dari sistem ini berupa video dengan format .MP4. Sistem merekam video pada saat pengambilan gambar di masing-masing ruas untuk diproses ditahapan selanjutnya. Frame pada detik ke 40 akan diambil untuk diproses dan dibandingkan dengan ruas lainnya.

3.1. Blok diagram pre-processing

Gambar 2 menerangkan alur proses pre-processing sistem.

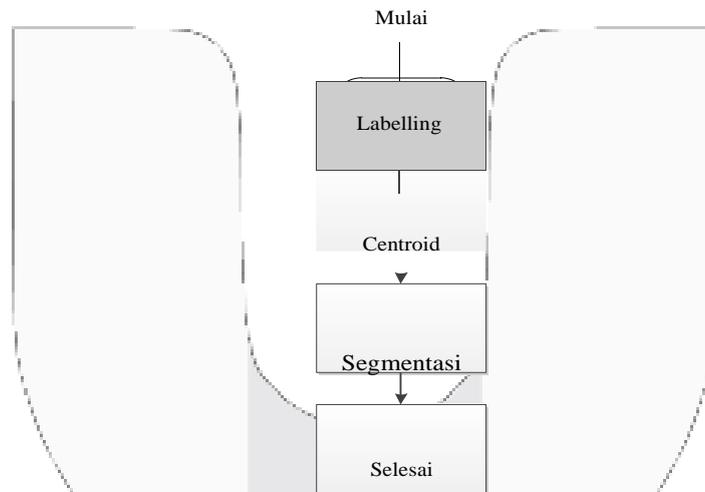


Gambar 2. Diagram alir pre-processing

Pada gambar 2 dapat dilihat bahwa frame terpilih akan diproses dengan berbagai tahapan yang bertujuan untuk membedakan antara objek kendaraan dan objek lainnya. Hasil akhir dari proses ini berupa citra *black and white*.

3.2. Blok diagram segmentasi dan Perhitungan Bobot Pengali

Gambar 3 menerangkan alur proses segmentasi sistem.



Gambar 3. Diagram alir segmentasi

Dari gambar 3 dapat kita lihat bahwa tahapan selanjutnya merupakan tahapan selanjutnya dari proses *pre-processing*. Objek kendaraan yang telah dideteksi akan diberi label dan dicari nilai centroidnya. Panjang centroid-centroid yang ada di ruas tersebut dikalikan dengan bobot nilai pada masing-masing segmen yang telah ditentukan. Masing-masing ruas memiliki 3 segmen yaitu depan dengan bobot pengali sebesar 30, tengah dengan bobot pengali 20, dan belakang dengan bobot pengali 10. Dengan menjumlahkan seluruh centroid yang telah dikalikan dengan bobot segmen, maka akan didapatkan nilai antrian di masing-masing ruas jalan. Ruas jalan yang memiliki nilai antrian tertinggi maka akan dijalankan oleh sistem terlebih dahulu.

4. Pembahasan

Pengujian sistem *smart traffic light* yang dirancang pada tugas akhir ini dilakukan dengan cara mengambil video pada ruas jalan yang sama. Setelah ruas jalan direkam, hasil rekaman video-video tersebut akan dimasukkan ke dalam empat ruas jalan yang berbeda untuk diproses. Video yang digunakan pada sistem ini berupa video dengan format .mp4. Video yang digunakan sebagai masukan sistem pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Jenis Video

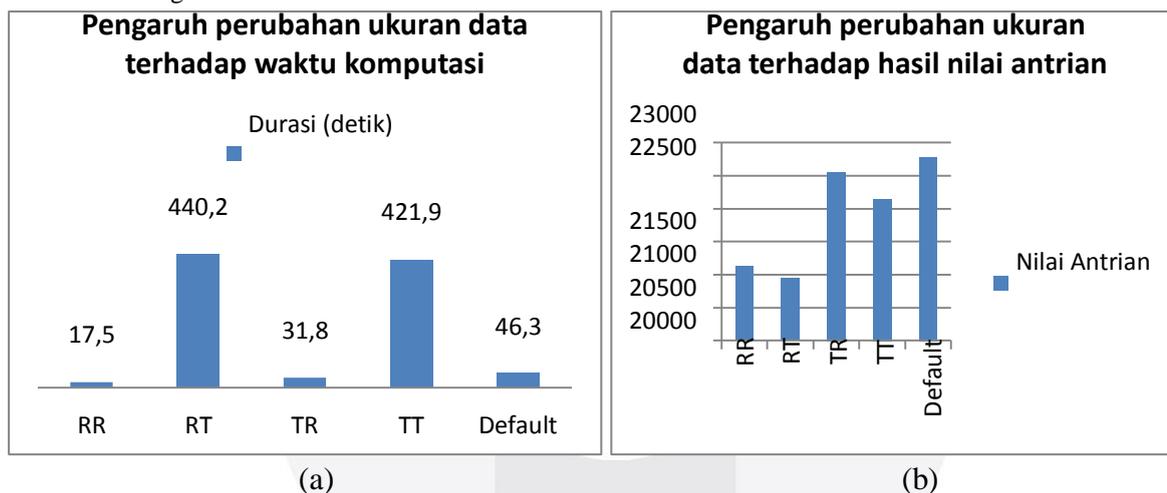
No.	Jenis Video	Durasi Video (detik)	Dimensi Video	Size Video (Mb)
1	merah	60	640x480	24.0
2	hijau	70	640x480	24.0

4.5 Pengaruh Ukuran Video Terhadap Waktu komputasi dan Hasil pada Proses Perhitungan Panjang Antrian

a. Sistematika Pengukuran

Pengukuran waktu komputasi akan dilakukan dengan menggunakan ukuran data yang berbeda-beda dan perhitungan nilai antrian juga dilakukan dengan ukuran data yang berbeda-beda. Ukuran data yang diubah adalah nilai *fps* dan data rate nya. RR adalah data rate rendah *fps* rendah, RT adalah data rate rendah *fps* tinggi, TR adalah data rate tinggi *fps* rendah, dan TT adalah data rate tinggi *fps* tinggi.

b. Hasil Pengukuran



Gambar 4. (a) Grafik pengaruh perubahan ukuran data terhadap waktu komputasi. (b) Grafik pengaruh perubahan ukuran data terhadap hasil nilai antrian.

c. Analisis Hasil Pengukuran

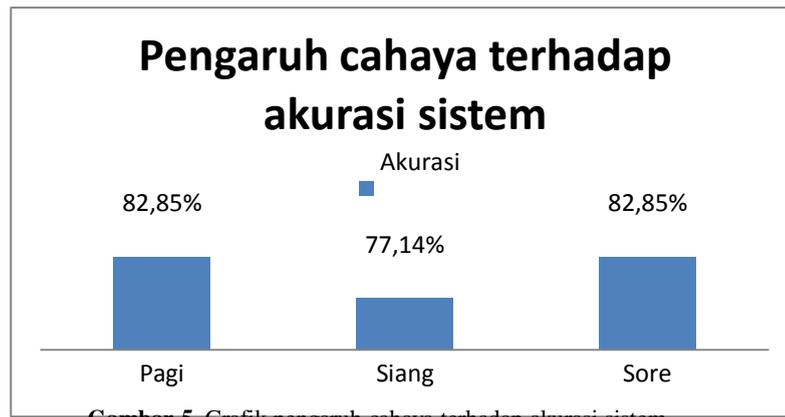
Fps sangat mempengaruhi waktu komputasi. Semakin besar nilai *fps* maka waktu komputasi semakin lama. Sedangkan data rate mempengaruhi kualitas gambar. Semakin besar data rate maka nilai antrian semakin mendekati kondisi aslinya. *Fps* tinggi memiliki rata-rata waktu komputasi sebesar 431,05.

4.6 Pengaruh Cahaya Terhadap Tingkat Akurasi Sistem

a. Sistematika Pengukuran

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah cahaya merupakan faktor penting terhadap nilai akurasi dari sistem pengukur panjang antrian. Video yang diambil sebagai masukan terdiri dari 3 kondisi yaitu pagi hari kondisi cerah, siang hari kondisi cerah, dan sore hari kondisi berawan.

b. Hasil Pengukuran



Gambar 5. Grafik pengaruh cahaya terhadap akurasi sistem

c. Analisis Hasil Pengukuran

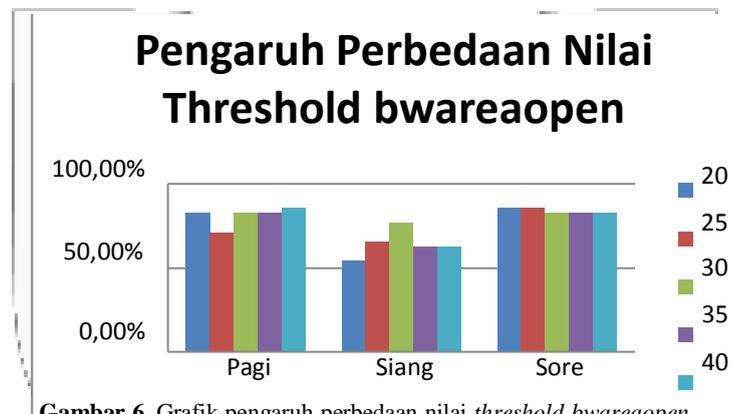
Hasil yang diperoleh di pagi dan sore hari memiliki tingkat akurasi yang sama yaitu sebesar 82,85%. Sedangkan di siang hari tingkat akurasinya sebesar 77,14%. Penyebab turunnya tingkat akurasi di siang hari adalah tingginya intensitas cahaya sehingga warna kendaraan akan tampak lebih cerah sehingga akan sangat sulit untuk dideteksi. Dapat disimpulkan nilai rata-rata tingkat akurasi sistem sebesar 80,93%.

4.7 Pengaruh Perbedaan Nilai Threshold *bwareaopen*

a. Sistematika pengukuran

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perbedaan nilai *threshold bwareaopen* terhadap akurasi sistem. *Bwareaopen filtering* bertujuan untuk menghilangkan *noise-noise* kecil yang bukan merupakan kendaraan yang akan dihitung. Nilai *threshold bwareaopen* yang diujikan adalah 20, 25, 35, dan 40. Pengujian dilakukan dalam tiga kondisi yaitu di pagi hari, siang hari dan sore hari.

b. Hasil pengukuran



Gambar 6. Grafik pengaruh perbedaan nilai *threshold bwareaopen*

c. Analisis hasil pengukuran

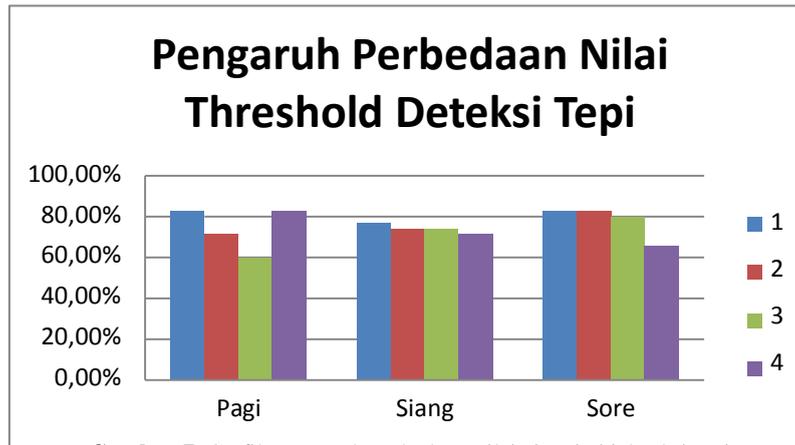
Nilai *threshold* sebesar 30-40 memberikan kinerja sistem paling akurat karena proses *filtering* terhadap citra biner menjadi optimal. Objek-objek kecil yang bukan merupakan kendaraan dapat dihilangkan, sehingga perhitungan centroid dapat optimal. Sedangkan jika nilai *threshold* dibawah 30, objek-objek kecil akan masuk kedalam perhitungan kendaraan. Sebaliknya jika nilai *threshold* diatas 40, ada objek kendaraan yang ikut hilang karena *filtering* yang terlalu besar. Maka dapat disimpulkan bahwa sistem akan bekerja secara akurat pada nilai *threshold bwareaopen* sekitar 30-40.

4.8 Pengaruh Perbedaan Nilai Threshold Deteksi Tepi

a. Sistematika pengukuran

Nilai *threshold* pada deteksi tepi juga mempengaruhi tingkat akurasi sistem karena nilai *threshold* deteksi tepi menentukan kesensitifitasan sistem untuk memilih objek yang akan dideteksi tepinya. Semakin besar nilai *threshold*, maka sistem akan semakin sensitif. Pada pengujian kali ini, nilai *threshold* yang akan digunakan sebesar 2, 3, dan 4. Sedangkan nilai *threshold* kondisi awal yaitu 1. Pengujian dilakukan di tiga kondisi yaitu di pagi hari, siang hari dan sore hari.

b. Hasil pengukuran



Gambar 7. Grafik pengaruh perbedaan nilai *threshold* deteksi tepi

c. Analisis hasil pengukuran

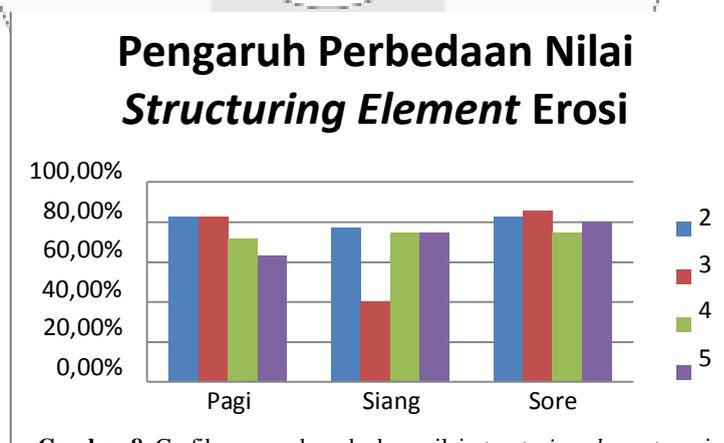
Dari gambar 7 dapat kita lihat bahwa sistem dengan nilai *threshold* 2 memiliki tingkat akurasi paling optimal yaitu 76,18%. Nilai *threshold* 4 memiliki tingkat akurasi rata-rata sebesar 73,32%. Sedangkan nilai *threshold* 3 memiliki tingkat akurasi rata-rata paling kecil yaitu sebesar 71,42%. Akan tetapi jika dibandingkan dengan nilai *threshold* awal yakni sebesar 1, maka tingkat akurasi rata-rata sistem mencapai 80,93%. Nilai *threshold* sebesar 1 memberikan kinerja sistem paling akurat karena proses mengidentifikasi tepi objek tidak terlalu sensitif sehingga nilai piksel yang terletak ditengah-tengah objek tidak seluruhnya hilang. Hal ini akan mempermudah sistem untuk menandai centroid objek. Namun jika nilai *threshold* deteksi tepi besar, maka yang tampak hanya tepian objek saja dan sistem tidak bisa menghitung panjang centroid. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai *threshold* deteksi tepi yang paling optimal untuk sistem ini adalah 1.

4.9 Pengaruh Perbedaan Nilai Structuring Element Erosi

a. Sistematika pengukuran

Pada penelitian ini, penulis menggunakan jenis erosi *square* dengan ukuran *structuring element* sebesar 2. Tidak ada batasan nilai untuk ukuran *structuring element* karena nilai ukuran erosi harus disesuaikan dengan kebutuhan. Jika nilai terlalu kecil, proses erosi kurang berpengaruh terhadap objek. Namun jika nilai ukuran terlalu besar dapat mengakibatkan hilangnya objek atau memecah objek menjadi beberapa objek. Pada pengujian kali ini, penulis melakukan perubahan nilai ukuran *structuring element* erosi terhadap sistem. Ukuran yang diujikan adalah 3, 4, dan 5. Pengujian dilakukan ditiga kondisi yaitu di pagi hari, siang hari, dan sore hari.

b. Hasil pengukuran



Gambar 8. Grafik pengaruh perbedaan nilai *structuring element* erosi

c. Analisis hasil pengukuran

Dari gambar 8 dapat dilihat bahwa sistem dengan nilai structuring element sebesar 4 memiliki nilai yang paling optimal jika dibandingkan dengan nilai structuring element sebesar 3 dan 5. Sistem dengan nilai structuring element sebesar 3 memiliki nilai tingkat akurasi rata-rata sebesar 69,52%. Sedangkan sistem dengan nilai structuring element sebesar 5 memiliki nilai tingkat akurasi sebesar 72,37% dan sistem dengan nilai structuring element sebesar 4 memiliki nilai tingkat akurasi sebesar 73,32%. Akan tetapi, sistem akan bekerja lebih optimal jika memiliki nilai ukuran erosi sebesar 2 dengan tingkat akurasi mencapai 80,93%.

5. Kesimpulan

Dari hasil analisis pada pengujian sistem, perancangan simulasi sistem *smart traffic light* video berbasis pengolahan citra digital dengan metode deteksi tepi dan segmentasi mampu bekerja dengan cukup baik. Sistem memiliki rata-rata akurasi sebesar 80,93%. Nilai rata-rata ini diperoleh dari video yang diuji dari tiga kondisi, yaitu di pagi hari (cerah) sebesar 82,85%, siang hari (cerah) 77,14% dan sore hari (berawan) 82,85%. Ukuran video juga sangat berpengaruh terhadap proses pengujian sistem. FPS berpengaruh terhadap waktu komputasi, sedangkan data rate berpengaruh terhadap nilai antrian kendaraan. Semakin besar fps yang digunakan maka waktu komputasi semakin lama. Dan semakin besar data rate maka gambar semakin bagus sehingga noise berkurang. Dari pengujian perubahan nilai *threshold bwareaopen* dapat dilihat bahwa tingkat akurasi juga berubah. Nilai awal *threshold* yang digunakan sebesar 30. Sedangkan perubahan yang diuji sebesar 20, 25, 35, dan 40. Dari hasil pengujian rentang nilai *threshold bwareaopen* yang paling optimal untuk sistem yaitu sebesar 30-40 dengan tingkat akurasi 80,93%. Nilai *threshold* deteksi tepi turut menentukan tingkat akurasi sistem. Perubahan nilai *threshold* deteksi tepi yang diujikan yaitu 2, 3, dan 4. Dari ketiga nilai yang diujikan tersebut, nilai *threshold* 2 merupakan nilai yang paling optimal dengan tingkat akurasi sebesar 76,18%. Akan tetapi jika dibandingkan dengan nilai awal sebesar 1, tingkat akurasinya menjadi 80,93%. Maka dari itu nilai yang paling optimal untuk *threshold* deteksi tepi yaitu sebesar 1 karena sistem ini tidak memerlukan tingkat kesensitifitas deteksi tepi yang tinggi. Dari percobaan dengan merubah nilai ukuran erosi dari 2x2 piksel menjadi 3x3 piksel, 4x4 piksel, dan 5x5 piksel dapat diambil kesimpulan bahwa nilai 2x2 piksel tetap merupakan nilai yang paling optimal dengan tingkat akurasi mencapai 80,93% karena sistem menghilangkan objek-objek kecil yang bukan merupakan kendaraan. Objek-objek seperti bayangan, pohon yang cabangnya berada di atas jalan, dan orang yang sedang menyebrang jalan akan mempengaruhi tingkat akurasi karena jika objek-objek tersebut masuk kedalam wilayah yang akan diproses, objek-objek tersebut dianggap sebagai kendaraan.

Daftar Pustaka:

- [1] Putri, Riski D. I. 2010. *Desain dan Simulasi Penghitung dan Pengidentifikasi Panjang Antrian pada Lampu Lalu Lintas Dengan Metode Pengolahan Citra Digital*. Bandung. Tugas Akhir IT Telkom.
- [2] Muntasa, Arif dan Mauridhi Hery Purnomo. 2010. *Konsep Pengelolaan Citra Digital dan Ekstraksi Fitur*. Yogyakarta: GRAHA ILMU.
- [3] Lusiana, Veronica. 2013. *Deteksi Tepi pada Citra Digital menggunakan Metode Kirsch dan Robinson*. Semarang. Jurnal Universitas Stikubank.
- [4] Cahyan, Pramuda Akariusta, Muhammad Aswin, Ir., MT. dan Ali Mustofa, ST., MT. 2013. *Segmentasi citra digital dengan menggunakan algoritma watershed dan Lowpass filter sebagai proses awal*. Malang. Jurusan teknik elektro, Universitas Brawijaya.
- [5] N. W. Prasetya. 2009. *Kompresi Video Menggunakan Motion Compensation Dan Transformasi Wavelet Dengan Metode Kuantisasi Vektor*. Bandung. Institut Teknologi Telkom.
- [6] Dewantoro, Adrian Kurnia. 2015. *Simulasi dan analisis sistem penghitung kepadatan lalu lintas dan klasifikasi kendaraan berbasis webcam dengan metode background subtraction*. Bandung. Universitas Telkom.
- [7] Susanto, Adhi dan Abdul Kadir. 2013. *Teori dan Aplikasi Pengolahan Citra*. Yogyakarta: Andi