

Pendeteksian Kepadatan Lalu-lintas dengan Menggunakan Simpangan Baku Histogram Citra Jalan

Freddy Kurniawan¹, Haruno Sajati², Okto Dinaryanto³

*Prodi Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto¹
freddykurniawan@stta.ac.id*

*Prodi Teknik Informatika, Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto²
Prodi Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto³*

Abstrak

Pendeteksian kepadatan lalu-lintas berbasis pemrosesan citra telah banyak dikembangkan di negara maju untuk mendukung pewaktuan sebuah pengatur lalu-lintas cerdas. Pendeteksian ini dilakukan dengan cara mendeteksi beberapa bagian dari kendaraan untuk mendukung metode penghitungan jumlah kendaraan. Metode pendeteksian ini efektif digunakan untuk jalan raya yang hanya digunakan untuk mobil dan kendaraan beroda empat lainnya. Namun metode tersebut tidak dapat dengan mudah diterapkan di negara berkembang yang kebanyakan masih memperbolehkan jalan raya untuk digunakan semua jenis kendaraan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, pada penelitian ini, dikembangkan metode baru untuk pendeteksian kepadatan lalu-lintas yang dapat mendeteksi semua jenis kendaraan. Pendeteksian dilakukan dengan menghitung simpangan baku histogram intensitas atas citra yang menggambarkan kondisi lalu-lintas. Citra didapat dengan mengekstrak frame video dari kamera pemantau kepadatan lalu-lintas. Dari hasil analisis didapat bahwa nilai histogram intensitas atas citra pada area tersebut berubah dengan adanya perubahan intensitas cahaya. Namun nilai simpangan baku histogram intensitas mempunyai kecenderungan sebanding dengan kepadatan lalu-lintas dan tidak banyak terpengaruh oleh nilai intensitas cahaya yang ada. Metode pendeteksian ini dapat digunakan untuk mendeteksi kepadatan lalu-lintas dengan baik pada siang dan malam hari.

Kata Kunci: simpangan baku, histogram intensitas, mendeteksi kepadatan, pemrosesan citra.

Abstract

Traffic density detection based on image processing has been developed rapidly in developed country for supporting the timing of an intelligent traffic controller. The detection was done by detecting the element of vehicles to perform a method for calculating the number of vehicles. The method is effectively used for a road intended for cars only. Unfortunately, the method could not be easily applied in a developing country that most of road is used for all type of vehicles. To overcome the problem, in this research, a new method for detecting the traffic density that accommodates all type of vehicles was proposed. The method was done by counting an intensity histogram standard deviation of the image represents the traffic condition. The image was extracted from a video surveillance of the traffic. The results of this research show that light intensity of the area can change the intensity histogram of the image. However, the intensity histogram standard deviation tends to be proportional to the traffic density and independent to the light intensity. This detection method can be used for detecting the traffic density in day and night time.

Keywords: standard deviation, intensity histogram, detecting traffic density, image processing.

1. Pendahuluan

Kemacetan lalu-lintas di kota Yogyakarta telah menimbulkan kerugian jutaan rupiah (Basuki, 2008). Kemacetan biasanya berupa antrian panjang di persimpangan yang diatur oleh alat pengatur isyarat lalu-lintas (APILL). Sementara itu, pada tengah malam, beberapa kendaraan harus tetap menunggu di setiap pengatur lalu-lintas meskipun tidak ada kendaraan lain yang melewati persimpangan tersebut. Terjadinya fenomena kemacetan pada jam-jam sibuk dan adanya waktu terbuang pada malam hari disebabkan tidak dapatnya pengatur lalu-lintas

menyesuaikan dengan volume kendaraan yang datang ke persimpangan tersebut.

Di negara maju, sistem pengatur lalu-lintas adaptif telah banyak dikembangkan. Sistem tersebut dapat mengatur aliran kendaraan menurut kepadatan lalu-lintas saat itu. Sistem tersebut menggunakan beberapa sensor, di antaranya adalah sensor logam yang berupa kalang induktif (ILD, *Inductive Loop Detector*), sensor inframerah, atau kamera. Keberadaan sensor tersebut digunakan untuk mendeteksi kepadatan lalu-lintas.

Salah satu metode pendeteksian kepadatan lalu-lintas yang banyak dikembangkan saat ini adalah dengan menggunakan pengolah citra (*image processing*). Metode pendeteksian ini menggunakan beberapa kamera sebagai sensor keberadaan kendaraan. Pengembangan pengatur lalu-lintas menjadi bersifat adaptif dapat didasarkan atas data jumlah kendaraan yang didapat dari sensor kamera. Ini merupakan metode yang paling banyak ditempuh pada beberapa penelitian sebelumnya.

Askerzade (2010) telah membuat implementasi pemrosesan citra dan logika kabur untuk menghitung jumlah kendaraan yang datang, dan mengirim data tersebut ke mikrokontroler. Selanjutnya mikrokontroler inilah yang mengatur isyarat lalu-lintas. Kemudian dua tahun setelah itu Rachmadi dkk. (2012) juga telah dapat mendeteksi kepadatan kendaraan dari sensor kamera dengan mencari perbedaan data citra yang ada dengan data citra latar belakang. Dari data titik-titik yang mempunyai perbedaan cukup signifikan dengan data titik untuk jalan, dapat ditentukan kepadatan kendaraan yang berada pada jalan tersebut. Bahkan Sutjiadi dkk. (2015) telah dapat membuat penghitung kendaraan dengan mengekstrak latar belakang secara adaptif menggunakan algoritma model *Gaussian Mixture*.

Tahun 2013 Hongjin Zhu telah membuat sistem pendeteksian kendaraan yang sedang bergerak menggunakan pendeteksian sisi horisontal dan auto korelasi. Dengan metode ini dimungkinkan terdeteksinya dua kendaraan yang terekam kamera meskipun dalam posisi saling tumpang tindih.

Metode pendeteksian kendaraan juga telah dikembangkan dengan menggunakan Cascade Haar. Metode ini mendeteksi kumpulan titik-titik pada citra yang membentuk pola bentuk beberapa bagian dari kendaraan. Chiraq dan Ripal (2013) telah mengembangkan metode ini untuk menghitung jumlah kendaraan yang melintas di suatu ruas jalan. Metode ini dapat bekerja dengan baik untuk ukuran citra 35×20 titik dengan menggunakan 15 tingkat klasifikasi dan 17 fitur Haar. Hasil pendeteksian dapat dijadikan lebih akurat dengan menerapkan algoritma pelatihan dan meningkatkan jumlah sampel. Kepadatan lalu-lintas dapat dihitung dengan membandingkan video lalu-lintas saat ini dengan citra acuan yang hanya berisi latar belakang berupa jalan (Abbas dkk., 2013). Lebih jauh lagi, dengan mengekstrak setiap frame dari data video *streaming*, dapat ditentukan arah pergerakan kendaraan (Chaple dan Paygude, 2013).

Metode pendeteksian kendaraan tersebut sekarang banyak digunakan di negara maju. Metode ini efektif digunakan pada jalan yang

diperuntukkan hanya bagi mobil atau kendaraan beroda empat atau lebih sebagaimana jalan-jalan yang ada di negara maju. Sayangnya sistem tersebut tidak efektif digunakan di negara berkembang seperti di Indonesia. Di negeri ini, banyak ruas jalan yang diperuntukkan bagi semua jenis kendaraan dari bus, truk, mobil, sepeda motor, sepeda, becak, andong, dan kendaraan tidak bermotor lain.

Metode pendeteksian keberadaan kendaraan menggunakan Cascade Haar masih dimungkinkan untuk mendeteksi keberadaan semua jenis kendaraan tersebut dengan menambahkan ribuan sampel gambar semua jenis kendaraan. Namun usaha ini akan menjadikan beban komputasi meningkat cukup signifikan. Untuk itu diperlukan suatu metode baru untuk mendeteksi semua kendaraan sehingga hasil pendeteksian kepadatan lalu-lintas dapat lebih akurat.

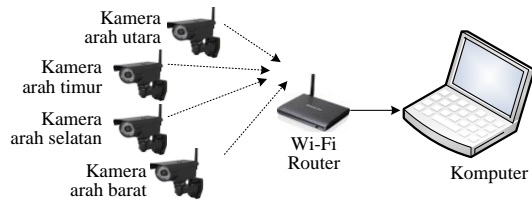
2. Metode Penelitian

Metode pendeteksian kendaraan yang dikembangkan pada penelitian ini adalah dengan menghitung simpangan baku atas nilai histogram intensitas semua titik pada citra yang menggambarkan kondisi lalu-lintas. Metode ini merupakan pengembangan dari metode penelitian Dunne dan Matuszewski (2011). Pada hasil penelitian tersebut disebutkan bahwa keberadaan suatu kendaraan menjadikan adanya perbedaan cukup signifikan dengan latar belakang. Semakin banyak kendaraan yang ada pada suatu jalan, maka akan semakin banyak pula titik-titik yang mempunyai perbedaan intensitas dengan jalan (sebagai latar belakang). Hal ini akan membuat perubahan pada grafik histogram.

Dari penghitungan histogram ini juga dapat dideteksi keberadaan kendaraan pada malam hari. Cahaya lampu setiap kendaraan mempunyai perbedaan intensitas cukup berarti terhadap latar belakang. Cahaya lampu setiap kendaraan nantinya dapat digunakan untuk menentukan kepadatan lalu-lintas pada malam hari (Wang dkk., 2013).

Penelitian ini dilakukan untuk melanjutkan penelitian tentang pengatur lalu-lintas terjadwal dan terkoordinasi (Kurniawan, 2014) sehingga menjadi pengatur lalu-lintas adaptif. Penelitian ini mengambil data video di keempat arah kedatangan kendaraan di persimpangan Gondomanan pada siang dan malam hari. Persimpangan tersebut diatur oleh sebuah pengatur lalu-lintas. Video setiap arah kedatangan diambil oleh sebuah kamera IP nirkabel dengan laju gambar 7 frame/detik. Kemudian data video dari kamera dimasukkan ke sebuah komputer melalui sebuah Wi-fi router.

Skema alat yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema alat penelitian

Sebuah program untuk menghitung dan menganalisis histogram telah dibuat menggunakan sebuah lingkungan pengembangan terpadu (IDE, *Integrated Development Environment*). Program tersebut dapat menampilkan video pemantau keadaan (*video surveillance*) secara *real time* dari keempat arah kedatangan kendaraan dengan resolusi 320×240 dan laju frame 7 frame/detik.

Program menghitung simpangan baku dari histogram intensitas semua titik yang ada pada suatu area deteksi pada citra. Area tersebut dibatasi oleh sebuah kotak yang telah ditentukan oleh operator. Adanya kotak area deteksi ini digunakan untuk mengantisipasi adanya area yang terlihat pada video pemantau namun tidak boleh ikut dipertimbangkan karena bukan merupakan area kedatangan kendaraan. Area tersebut berada sekitar 20 meter dari marka depan dan akan dipergunakan untuk data bagi pengatur lalu-lintas adaptif pada penelitian selanjutnya.

Contoh tampilan video pemantau yang menggambarkan kondisi situasi pada siang dan malam hari beserta kotak area deteksi setiap arah dapat dilihat pada Gambar 2.

Untuk menghemat beban komputasi, meskipun data video dari kamera berformat warna (RGB), tetapi citra hasil ekstraksi diubah dari berformat warna menjadi berformat keabuan (*grey scale*). Urutan kerja pemroses citra dapat dilihat pada Algoritma 1. Algoritma tersebut dieksekusi satu kali per detik.

Algoritma 1: Penghitungan simpangan baku histogram intensitas

1. $H(k) = n_k$
 2. $\mu = \frac{H(k) \cdot n_k}{N}$
 3. $\sigma_H = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (H(k) - \mu)^2}$
-

Langkah pertama algoritma tersebut adalah menghitung histogram intensitas semua titik yang tercakup di dalam area deteksi, $H(k)$. Notasi k mewakili tingkat keabuan (0..255) dan n_k mewakili jumlah titik dengan nilai keabuan k .

Langkah kedua adalah menentukan rerata nilai intensitas semua titik dalam area tersebut (μ). Notasi N mewakili jumlah titik yang ada di area deteksi. Selanjutnya langkah terakhir, program menentukan simpangan baku histogram intensitas atas semua titik yang ada di dalam kotak area deteksi tersebut, σ_H .



(a) pada siang hari



(b) pada malam hari

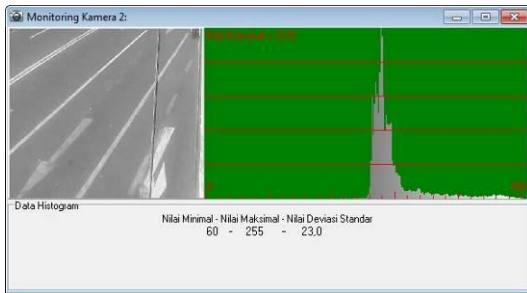
Gambar 2. Contoh tampilan pada video pemantau

3. Hasil dan Pembahasan

Dari hasil percobaan didapat bahwa grafik histogram dapat selalu berubah. Hal ini tergantung dari intensitas setiap titik yang ada pada area deteksi yang telah ditentukan. Grafik histogram citra yang ditangkap setiap kamera dapat dilihat pada jendela Monitoring untuk setiap arah.

3.1 Histogram Saat Tidak Ada Kendaraan di Siang Hari

Gambar 3 memperlihatkan jendela Monitoring untuk arah kedatangan dari timur di persimpangan Gondomanan pada siang hari. Jendela tersebut menggambarkan keadaan di area deteksi dan grafik histogram intensitas semua titik yang tercakup di dalam kotak area deteksi.



Gambar 3. Grafik histogram saat tidak ada kendaraan di area deteksi pada siang hari

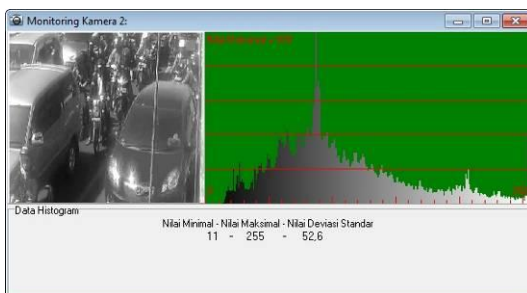
Gambar 3 tersebut memperlihatkan kondisi lalu-lintas setelah arah tersebut mendapat isyarat hijau. Pada saat itu, hampir semua kendaraan dalam antrian telah berjalan sehingga tidak ada kendaraan di area deteksi. Pada jendela tersebut dapat dilihat tampilan video pemantau, grafik histogram dan beberapa nilai statistik penting histogram, yaitu: nilai minimum dan maksimum histogram intensitas, dan simpangan baku histogram intensitas.

Dari gambar tersebut terlihat bahwa pada saat tidak ada kendaraan di area deteksi, maka semua titik pada kotak tersebut cenderung mempunyai nilai intensitas hampir sama. Dari grafik histogram terlihat bahwa nilai intensitas sebagian besar titik di area deteksi berkisar dari 60 hingga 255, dan nilai simpangan baku adalah 23,0.

Grafik nilai histogram merupakan komposisi warna keabuan pada jalan aspal sebagai latar belakang. Warna aspal pada latar belakang yang cenderung hampir merata membuat nilai intensitas keabuan semua titik menjadi hampir seragam yaitu sekitar 130 sampai 155. Sementara itu adanya marka jalan yang berwarna lebih cerah hingga putih membuat adanya sebaran nilai intensitas keabuan hingga 255.

3.2 Histogram Saat Banyak Kendaraan di Siang Hari

Pada saat terdapat banyak kendaraan dalam antrian di area deteksi, histogram menjadi lebih menyebar. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4. Gambar tersebut memperlihatkan kondisi lalu-lintas pada saat arah tersebut mendapat isyarat merah. Pada saat itu, semua kendaraan dari arah timur berhenti.



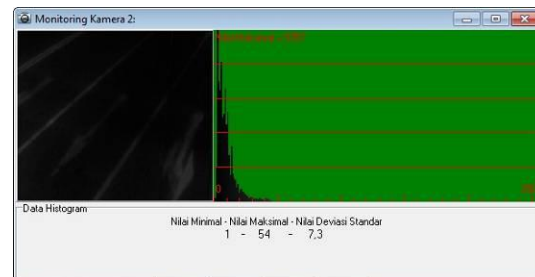
Gambar 4. Grafik histogram saat banyak kendaraan di area deteksi pada siang hari

Dari gambar tersebut terlihat bahwa pada saat banyak kendaraan di area deteksi, maka titik-titik di area tersebut cenderung mempunyai nilai intensitas keabuan bervariasi. Nilai intensitas berkisar dari 11 hingga 255, dengan nilai simpangan baku adalah 52,6.

Pada saat kondisi padat kendaraan, grafik histogram intensitas merupakan komposisi nilai keabuan warna kendaraan yang tercakup di kotak area deteksi. Nilai tersebut cenderung lebih bervariasi daripada nilai keabuan jalan aspal tanpa kendaraan. Nilai variasi histogram intensitas juga dipengaruhi oleh adanya bayangan setiap kendaraan. Bayangan tersebut mempunyai warna lebih gelap dari warna sekitarnya. Variasi warna kendaraan dan adanya bayangan kendaraan pada jalan aspal menjadi penyebab naiknya simpangan baku histogram intensitas keabuan.

3.2 Histogram Saat Tidak Ada Kendaraan pada Malam Hari

Bentuk grafik histogram pada malam hari tidak jauh berbeda dengan grafik pada siang hari. Jendela monitoring pada Gambar 5 menggambarkan kondisi kedatangan kedatangan kendaraan dari arah timur di persimpangan Gondomanan pada malam hari. Pada saat itu, hampir semua kendaraan dalam antrian telah berjalan sehingga tidak ada kendaraan dalam area deteksi.



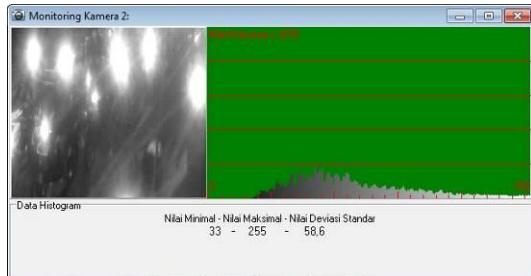
Gambar 5. Grafik histogram saat tidak ada kendaraan di area deteksi pada malam hari

Dari gambar histogram tersebut terlihat semua titik pada kotak tersebut cenderung mempunyai nilai intensitas hampir sama. Nilai intensitas berkisar dari 1 hingga 54, dengan nilai simpangan baku adalah 7,3. Sebagian besar titik yang menggambarkan warna aspal mempunyai nilai keabuan 3 hingga 15; sedangkan titik yang menggambarkan marka jalan mempunyai nilai keabuan lebih tinggi hingga 54.

Bentuk grafik histogram pada saat tidak ada kendaraan pada malam hari (Gambar 5) menyerupai grafik histogram pada saat tidak ada kendaraan pada siang hari (Gambar 3). Salah satu perbedaannya adalah nilai intensitas semua titik pada malam hari lebih rendah daripada pada siang hari.

3.2 Histogram Saat Banyak Kendaraan pada Malam Hari

Pada malam hari, citra yang ditangkap kamera didominasi oleh warna putih cahaya lampu kendaraan dan warna gelap selain lampu. Pada malam hari, warna kendaraan tidak akan terlihat dengan jelas sebagaimana Gambar 6. Pada keadaan ini histogram didominasi oleh warna putih dengan nilai 255. Nilai simpangan baku menjadi lebih besar daripada pada saat tidak ada kendaraan pada area deteksi.



Gambar 6. Grafik histogram saat banyak kendaraan di area deteksi pada malam hari

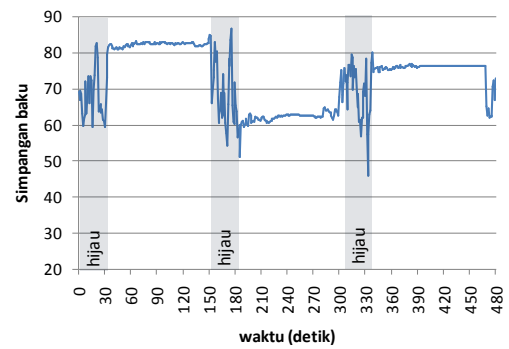
Nilai simpangan baku histogram mempunyai kecenderungan mengikuti kepadatan lalu-lintas. Dengan semakin tingginya kepadatan lalu-lintas, maka nilai simpangan baku histogram intensitas akan semakin besar. Program ini memang tidak dapat menghitung jumlah kendaraan pada area deteksi yang dideteksi, namun program ini dapat mendeteksi tingkat kepadatan lalu-lintas pada area deteksi tersebut dengan menghitung simpangan baku histogram intensitas.

3.3 Fluktuasi Nilai Simpangan baku pada Siang Hari

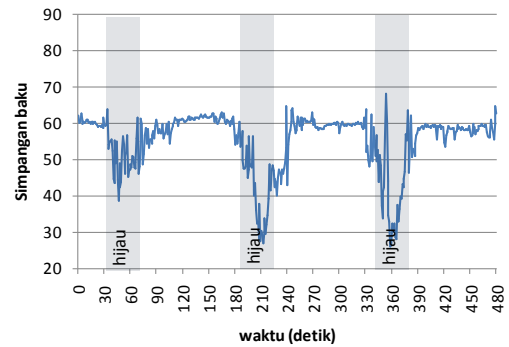
Persimpangan Gondomanan diatur oleh sebuah pengatur lalu-lintas dengan waktu hijau untuk arah utara, timur, selatan, dan barat adalah 30, 36, 43, dan 30 detik. Waktu kuning dan pengosongan untuk semua arah adalah 3 dan 5 detik.

Pada saat suatu arah mendapat isyarat merah, kepadatan kendaraan terus meningkat hingga diberikannya isyarat hijau. Antrian kendaraan yang berhenti akan memenuhi area deteksi yang ada. Semakin lama isyarat merah yang diberikan, akan semakin banyak kendaraan yang ada pada kotak tersebut. Pada kondisi ini, nilai simpangan baku cenderung meningkat.

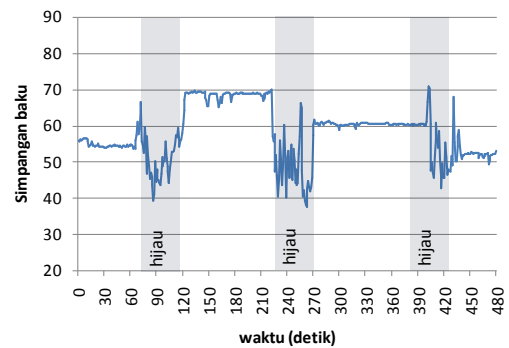
Gambar 7 memperlihatkan grafik fluktuasi nilai simpangan baku histogram intensitas atas citra kedatangan kendaraan dari setiap arah pada siang hari. Grafik tersebut memperlihatkan nilai simpangan baku yang dihitung sistem selama 8 menit (480 detik). Pada waktu tersebut, terdapat tiga siklus pengaturan lalu-lintas. Arah utara ditetapkan arah yang pertama mendapat isyarat hijau, diikuti dengan arah timur, selatan dan arah barat.



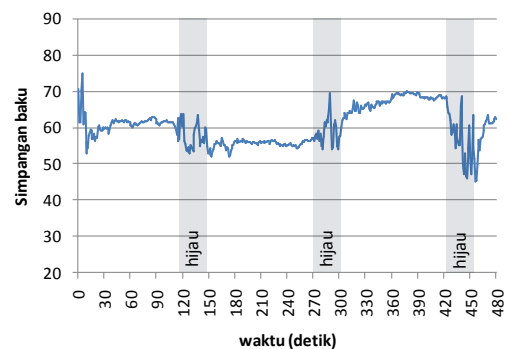
(a) dari arah utara



(b) dari arah timur



(c) dari arah selatan



(d) dari arah barat

Gambar 7. Grafik nilai simpangan baku histogram intensitas pada siang hari

Dari grafik pada Gambar 7 tersebut terlihat bahwa, pada saat suatu arah mendapat isyarat merah, nilai simpangan baku cenderung konstan karena sebagian besar mobil atau kendaraan beroda empat lain dalam kondisi tidak bergerak.

Hal ini disebabkan padatnya lalu-lintas pada siang hari sehingga begitu isyarat merah diberikan, kotak area deteksi langsung terisi oleh banyak kendaraan. Adanya sedikit fluktuasi nilai simpangan baku disebabkan adanya pergerakan beberapa motor di antara antrian mobil yang telah ada.

Peningkatan nilai simpangan baku pada saat isyarat merah pada siang hari disebabkan bertambahnya kendaraan yang berada pada area deteksi tersebut. Warna kendaraan pada saat terkena sinar matahari kebanyakan mempunyai nilai keabuan lebih tinggi daripada nilai keabuan latar belakang. Sementara itu, setiap kendaraan mempunyai bayangan. Warna bayangan kebanyakan mempunyai nilai keabuan lebih rendah daripada latar belakang. Dua fenomena tersebut merupakan faktor utama yang menyebabkan nilai simpangan baku menjadi lebih tinggi. Semakin banyak kendaraan pada antrian, nilai simpangan baku mempunyai kecenderungan semakin tinggi.

Pada saat isyarat merah diberikan, nilai simpangan baku dapat berbeda. Jika terdapat banyak motor dan sedikit mobil pada kotak area deteksi, maka nilai tersebut biasanya menjadi besar. Ini terjadi pada detik ke-30 hingga ke-150 pada Gambar 7(a). Namun jika pada kotak area deteksi terdapat beberapa mobil dengan ukuran besar dan hanya sedikit terlihat bayangan, maka nilai simpangan baku dapat menjadi kecil. Ini terjadi pada saat isyarat merah detik ke-190 hingga ke-300 pada Gambar 5(a).

Pada saat isyarat merah, nilai simpangan baku untuk beberapa saat dapat menurun, meskipun dalam kenyataannya kepadatan lalu-lintas tetap naik. Hal ini disebabkan adanya beberapa kendaraan yang terlihat tumpang tindih di kamera pemantau. Kondisi tumpang tindih kendaraan ini menyebabkan luas bayangan berkurang.

Sementara itu pada saat arah tersebut mendapat isyarat hijau, kepadatan kendaraan cenderung turun. Nilai simpangan baku cenderung turun. Penurunan tersebut cenderung lebih berfluktuasi. Hal ini disebabkan adanya pergerakan kendaraan yang sedang berusaha meninggalkan antrian. Pada saat-saat tertentu, nilai simpangan baku menjadi minimal karena tidak ada kendaraan yang berada pada area deteksi.

Pada siang hari, kepadatan lalu-lintas cukup tinggi. Di arah kedatangan utara, selatan dan timur, waktu isyarat hijau tidak cukup untuk dapat membuat semua kendaraan dalam antrian untuk berjalan. Di akhir waktu hijau, masih ada kendaraan dalam antrian yang belum berhasil meninggalkan antrian. Hal ini juga terlihat pada Gambar 7(a), 7(c), dan 7(d). Pada gambar tersebut terlihat bahwa pada saat diberikan

isyarat hijau, nilai simpangan baku histogram tidak dapat turun cukup signifikan.

Sementara itu, di arah kedatangan dari timur, waktu hijau dapat membuat semua kendaraan dalam antrian dapat berjalan. Dalam kondisi ini, pada akhir isyarat hijau nilai simpangan baku dapat turun cukup signifikan.

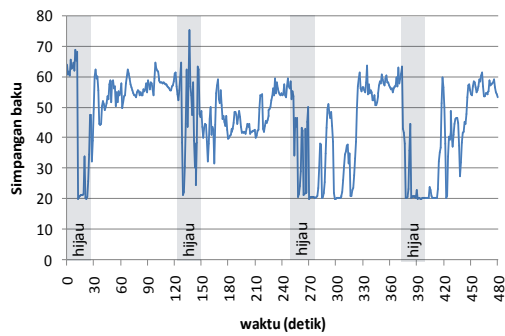
Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa, nilai simpangan baku histogram pada siang hari di setiap arah kedatangan pengatur lalu-lintas berfluktuasi mengikuti kepadatan lalu-lintas. Pada saat diberikan isyarat merah, nilai tersebut cenderung konstan. Sementara itu pada waktu diberikan isyarat hijau, nilai simpangan baku cenderung lebih kecil. Hal ini disebabkan kepadatan pada waktu hijau lebih rendah daripada pada waktu merah. Pada saat isyarat hijau, nilai tersebut juga cenderung lebih bervariasi karena adanya perubahan jumlah kendaraan karena setiap kendaraan akan bergerak dan berusaha meninggalkan antrian.

3.3 Fluktuasi Nilai Simpangan Baku pada Malam Hari

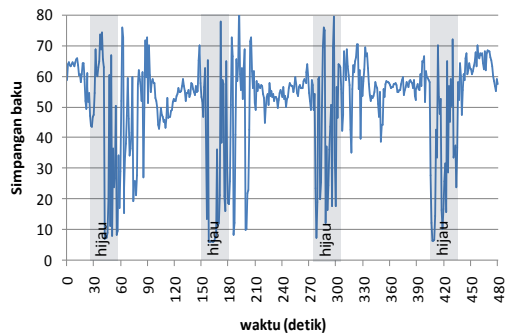
Nilai simpangan baku histogram intensitas citra di keempat arah kedatangan di persimpangan Gondomanan dapat dilihat pada Gambar 8. Pola fluktuasi nilai simpangan baku histogram intensitas pada malam hari hampir sama dengan pada siang hari. Namun nilai tersebut cenderung lebih rendah karena variasi nilai keabuan pada malam hari lebih sedikit daripada siang hari. Secara visual hal ini tampak jelas pada gambar tampilan pada video pemantau untuk siang dan malam hari di Gambar 2(a) dan 2(b). Variasi warna citra pada siang hari lebih banyak daripada malam hari.

Pada malam hari, kepadatan lalu-lintas lebih rendah daripada siang hari. Pada saat diberikan isyarat merah, dapat dipastikan selalu ada pergerakan kendaraan, baik yang baru datang maupun kendaraan yang sedang antri. Hal ini terlihat dengan berfluktuasinya nilai simpangan baku pada saat isyarat merah. Hal ini jelas terlihat pada detik ke-275 hingga detik ke-310 untuk arah utara di Gambar 8(a) dan detik ke 330 hingga 390 untuk arah selatan di Gambar 8(c). Pada saat itu kendaraan baru datang beberapa detik setelah isyarat merah diberikan.

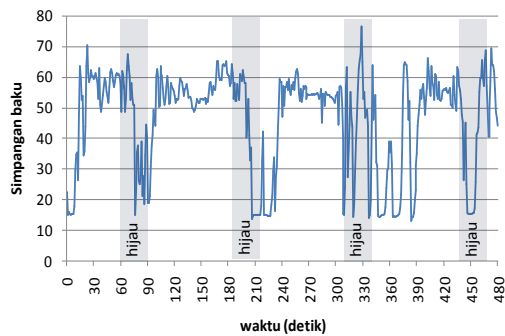
Perlu diperhatikan di sini bahwa, program tidak menghitung nilai simpangan baku atas citra yang mewakili semua kendaraan dalam antrian. Namun hanya citra yang ada dalam kotak area deteksi yang dihitung. Pada beberapa kasus dapat terjadi sebuah kedatangan kendaraan yang telah terdeteksi akan menjadi tidak terdeteksi karena telah ada di posisi antrian paling depan dan tidak masuk ke kotak area deteksi.



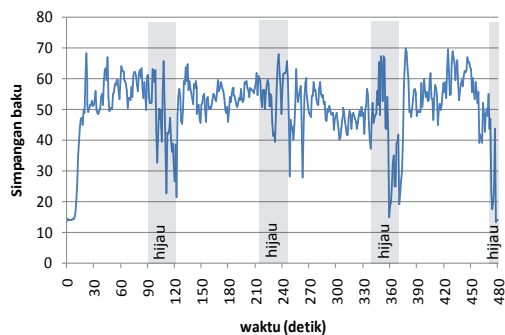
(a) dari arah utara



(b) dari arah timur



(c) dari arah selatan



(d) dari arah barat

Gambar 8. Grafik nilai simpangan baku histogram intensitas pada malam hari

Pada malam hari, waktu isyarat hijau hampir selalu dapat menjadikan semua kendaraan dalam antrian untuk berjalan. Bahkan sesuai dengan grafik nilai simpangan baku untuk arah utara dan

selatan pada Gambar 8(a) dan 8(c), waktu hijau untuk kedua arah tersebut untuk beberapa siklus cenderung terlalu lama. Antrian kendaraan telah habis 10 hingga 20 detik sebelum isyarat hijau berakhir. Fenomena ini akan lebih mudah dianalisis dengan melihat rekaman nilai simpangan baku daripada melihat rekaman video lalu-lintas secara langsung.

Dengan demikian, rekaman nilai simpangan baku histogram intensitas dapat dijadikan data kuantitatif yang dapat mencerminkan nilai kepadatan kendaraan. Data ini juga dapat dijadikan acuan untuk menentukan waktu hijau setiap arah pada pengatur lalu-lintas di persimpangan Gondomanan dan persimpangan-persimpangan lain. Lebih jauh lagi, data ini diharapkan nantinya dapat dijadikan data untuk menentukan waktu hijau pada sistem pengatur lalu-lintas adaptif.

4. Kesimpulan

Dari pembahasan yang telah dipaparkan di muka dapat diambil beberapa kesimpulan berikut:

1. Nilai simpangan baku histogram intensitas cenderung semakin tinggi dengan naiknya kepadatan lalu-lintas.
2. Nilai simpangan baku pada saat diberikan isyarat merah oleh pengatur lalu-lintas cenderung lebih tinggi daripada nilai pada saat diberikan isyarat hijau.
3. Nilai simpangan baku pada saat diberikan isyarat hijau cenderung lebih berfluktuasi daripada nilai pada saat diberikan isyarat merah.
4. Pola perubahan nilai simpangan baku saat diberikan isyarat merah dan hijau pada siang hari menyerupai pola perubahan nilai tersebut saat diberikan isyarat merah dan hijau pada malam hari.

Pada penelitian selanjutnya, hasil rekaman nilai simpangan baku diharapkan dapat dijadikan acuan untuk menentukan pewaktuan sebuah pengatur lalu-lintas adaptif.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai sepenuhnya oleh Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia melalui skema penelitian hibah bersaing. Penulis mengucapkan terima kasih kepada kepada Kopertis Wilayah V dan STT Adisutjipto yang telah memberi dukungan terhadap penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Abbas N, Tayyab M, Qadri MT., (2013). Real Time Traffic Density Count using Image Processing, *International Journal of Computer Application*, 83(9) p: 16-19.
- Askerzade IN, Mahmood M., (2010). Control the Extension Time of Traffic Light in Single

- Junction by Using Fuzzy Logic, *International Journal of Electrical & Computer Sciences IJECS – IJENS*, 10(2): p. 48-55
- Basuki, Imam, Siswandi, (2008). Biaya Kemacetan Ruas Jalan Kota Yogyakarta, *Jurnal Teknik Sipil*, 9(1), hal. 71 – 80.
- Chaple M, Paygude SS., (2013). Vehicle Detection and Tracking from Video Frame Sequence, *International Journal of Science & Engineering Research*, 4(3): p. 1-7.
- Chirag I.P, Ripal P., (2013). Counting Cars in Traffic Using Cascade Haar with KLP, *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, 5(4): p. 435-437.
- Dunne P., Matuszewski BJ., (2011). Histogram-based Detection of Moving Objects for Tracker Initialization in Surveillance Video, *International Journal of Grid and Distributed Computing*, 4(3): p. 71-78.
- Kurniawan F, Dermawan D, Dinaryanto O, Irawati M., (2014). Pre-Timed and Coordinated Traffic Controller Systems Based on AVR Microcontroller. *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*, 12(4): p. 787-794.
- Rachmadi, M. Febrian, F. Al Afif, M. Anwar Ma'sum, M. Fajar, and A. Wibowo, (2012). Beagleboard Embedded System For Adaptive Traffic Light Control System with Camera Sensor, *Journal of Computer Science and Information*, 5(2): p. 63 – 71.
- Sutjiadi R, Setyadi E, Lim R., (2015). Adaptive Background Extraction for Video Based Traffic Counter Application Using Gaussian Mixture Models Algorithm, *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*, 13(3): p. 1006-1013
- Wang J., Sun X., Guo J., (2008). A Region Tracking-Based Vehicle Detection Algorithm in Night time Traffic Scenes, *Sensors*, 13: p. 16474-16493.
- Zhu H, Fan H, Guo S., (2013). Moving Vehicle Detection and Tracking in Traffic Images based on Horizontal Edges. *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*, 11(11): p. 6477-6483.