

Pendeteksi kelelahan mata pengemudi kendaraan menggunakan metode segmentasi warna dalam ruang warna YCBCR

Salsabila Naqiyah, Kusworo Adi, dan Catur Edi Widodo
Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro, Semarang
Email : salsabila@st.fisika.undip.ac.id

ABSTRACT

The progress and technology in development of transportation is increasing. However, this is also accompanied by the emergence of some undesirable negative effects such as increased number of traffic accidents. The increase in number of accidents is usually caused by various factors including human factors, vehicle factors, and environmental factors. The human factor is one of the most frequent factors causing traffic accidents. This system is designed as the manufacture of detection software for detect the condition of eyestrain in the driver of the vehicle using a camera connected to the computer as an image input device and measured performance of system deveopment. The method used in this system is to detect faces with segmentation RGB color to YCBCR color, eye detect with Roberts edge and the last method of simple logic as a classification of eye conditions. The system shows the results of classification with the highest accuracy is on video 1 of 85.40% and the lowest accuracy in video 7 is 13.67% whereas, the highest accuracy warning results on video 5 with 94.4% and the least accurate accuracy of warning with 25.26%.

Keywords: *YCBCR color space segmentation, eye fatigue, eye classification system*

ABSTRAK

Kemajuan teknologi dalam perkembangan transportasi membawa dampak positif. Namun, hal ini juga diiringi dengan timbulnya beberapa dampak negatif yang tidak diinginkan seperti meningkatnya angka kecelakaan lalu lintas. Peningkatan dari jumlah kecelakaan biasanya disebabkan oleh berbagai faktor di antaranya faktor manusia, faktor kendaraan, dan faktor lingkungan. faktor manusia merupakan salah satu faktor yang paling sering menyebabkan terjadinya kecelakaan lalu lintas. Telah dibuat perangkat lunak untuk pendeteksi kondisi kelelahan mata pada pengemudi kendaraan menggunakan kamera yang terhubung ke komputer sebagai divais masukan citra dan dapat mengukur kinerja sistem yang dikembangkan. Metode yang digunakan pada sistem ini yaitu mendeteksi wajah dengan segmentasi RGB ke dalam warna YBCR, deteksi mata dengan tepi Roberts dan terakhir metode logika sederhana sebagai pengklasifikasian kondisi mata. Sistem menunjukkan hasil pengklasifikasian dengan akurasi tertinggi adalah pada video 1 sebesar 85,40% dan akurasi terendah pada video 7 sebesar 13,67% sedangkan, hasil akurasi peringatan tertinggi pada video 5 dengan akurasi 94,4% dan akurasi paling tidak akurat sebesar 25,26%.

Kata Kunci: *Segmentasi ruang warna YCBCR, kelelahan mata, sistem pengklasifikasian kondisi mata*

PENDAHULUAN

Di era modern saat ini, kemajuan teknologi dalam perkembangan transportasi dapat membawa dampak positif bagi pemenuhan dan peningkatan kesejahteraan masyarakat, terutama sebagai alat mobilisasi guna memperlancar aktivitas sehari-hari. Tentunya, hal ini juga diiringi dengan timbulnya beberapa dampak negatif yang tidak diinginkan seperti meningkatnya angka kecelakaan lalu lintas. Proporsi peningkatan angka kecelakaan lalu lintas pada tahun 2010-2014 di Indonesia berkisar antara 15-22 % [1].

Peningkatan dari jumlah angka kecelakaan tersebut disebabkan oleh berbagai faktor diantaranya faktor manusia, faktor kendaraan, dan faktor lingkungan. faktor manusia merupakan salah satu faktor yang paling sering menyebabkan terjadinya kecelakaan lalu lintas.

Faktor ini disebabkan oleh seorang pengemudi yang mengalami rasa lelah saat berkendara. Kondisi lelah saat berkendara dapat menimbulkan berkurangnya tingkat kewaspadaan terhadap hal yang terjadi di jalan sehingga kelelahan dapat menyumbang lebih dari 25% penyebab dari faktor kecelakaan [2].

Untuk mencegah dan menanggulangi hal tersebut, dibutuhkan pemantauan pengemudi untuk mendeteksi kondisi pra-mengantuk. Pemantauan kondisi pengemudi ini dapat dilakukan dengan sistem otomatisasi pada bidang visi komputer yaitu pengolahan citra digital. Pengolahan tersebut dapat digunakan untuk memproses citra pada wajah pengemudi sehingga diperoleh suatu informasi tertentu mengenai obyek yang sedang diamati. Karena keterbatasan visual manusia, sering kali terdapat perbedaan persepsi tentang kualitas pada masing-masing pengamat sehingga dibutuhkan pengembangan pengolahan citra guna menganalisa kondisi pengemudi lelah mata secara benar. Biasanya dalam menganalisa kondisi pengemudi lelah mata secara benar dapat dilakukan dengan beberapa

tahapan yang digunakan seperti, deteksi atau *tracking* bagian wajah dan mata pada pengemudi, klasifikasi kondisi mata dan pemberian peringatan pada pengemudi.

Salah satu teknik dasar untuk melakukan segmentasi citra awal terhadap citra digital adalah deteksi wajah dan mata. Pada deteksi tersebut dapat dilakukan dengan metode segmentasi warna kulit. Metode segmentasi warna kulit cukup baik dalam hal mendeteksi pengemudi lelah karena dalam hal ini, hasil dari penelitian menggunakan metode segmentasi warna kulit memiliki hasil yang lebih baik dalam mendeteksi pengemudi lelah [3]. Adapun, pada tahapan klasifikasi kondisi mata pada pengemudi dapat menggunakan metode logika *if else* yang bekerja berdasarkan satu parameter yaitu luas mata. Metode ini memiliki logika yang sederhana untuk melakukan klasifikasi kondisi mata pengemudi agar dapat mempermudah sistem untuk memberikan keputusan lelah mata atau tidak terhadap pengemudi.

DASAR TEORI

Kelelahan Mata

Kelelahan mata adalah ketegangan pada mata yang disebabkan oleh penggunaan indera penglihatan dalam bekerja yang memerlukan kemampuan untuk melihat dalam jangka waktu yang lama dan biasanya disertai dengan kondisi pandangan yang tidak nyaman [4].

Gejala yang berhubungan dengan daerah mulut seperti tingkah laku menguap. Selanjutnya beberapa gejala kelelahan dan gangguan berhubungan dengan kepala seperti kepala mengangguk, dan orientasi kepala. Kepala mengangguk dapat digunakan untuk deteksi kelelahan, dan orientasi kepala dapat digunakan untuk deteksi kelelahan dan gangguan [5].

Citra Digital

Citra digital merupakan suatu fungsi intensitas cahaya $f(x,y)$, dengan harga x dan y merupakan koordinat spasial dan harga fungsi tersebut. Citra digital biasanya berbentuk persegi panjang, secara visualisasi dimensi ukurannya dinyatakan sebagai lebar dikali tinggi. Ukuran dari citra dinyatakan dalam titik atau *pixel* (*pixel = picture element*) dan dapat pula dinyatakan dalam satuan panjang (mm atau inchi = *inch*) [6].

Ada tiga jenis citra yang umum digunakan dalam pengolahan citra. Pertama, citra berwarna terdapat setiap skala pada citra warna mewakili warna yang merupakan kombinasi dari tiga warna dasar (RGB=Red Green Blue). Citra *grayscale* adalah citra digital yang hanya memiliki satu nilai kanal pada setiap pikselnya. Dengan kata lain, nilai bagian RGB dengan warna yang dimiliki adalah warna hitam, keabuan, dan putih. Citra biner adalah citra dengan setiap piksel hanya dinyatakan dengan sebuah nilai dari dua buah kemungkinan (yaitu nilai 0 dan 1) [7].

Segmentasi Citra

Segmentasi citra merupakan proses yang ditujukan untuk mendapatkan objek-objek yang terkandung di dalam citra atau membagi citra ke dalam beberapa daerah dengan setiap objek atau daerah memiliki kemiripan atribut. Pada citra yang mengandung hanya satu objek, objek dibedakan dari latar belakangnya.

Ruang Warna Pada Citra

Ruang warna atau yang sering juga disebut sebagai model warna merupakan sebuah cara atau metode untuk mengatur, membuat dan memvisualisasikan warna (Swedia dan Cahyanti, 2010). Model warna RGB adalah model warna berdasarkan konsep penambahan kuat cahaya primer yaitu *Red, Green dan Blue* [8].

Model warna YCBCR merupakan standar internasional bagi pengkodean digital gambar televisi yang didefinisikan di CCIR Recommendation 601. Y merupakan komponen *luminance*, Cb dan Cr adalah komponen *chrominance*. Pada model ini, monitor monokrom nilai *luminance* digunakan untuk merepresentasikan warna RGB, secara psikologis ia mewakili intensitas sebuah warna RGB yang diterima oleh mata. *Chrominance* merepresentasikan corak warna dan saturasi (*saturation*) [9].

Ruang warna YCBCR biasa digunakan untuk video digital. Konversi warna YCbCr dapat diperoleh dari model RGB dengan matriks berikut:

$$Y = 0,299900R + 0,58700G + 0,11400B \quad (1)$$

$$Cb = -0,16874R - 0,33126G + 0,5000B \quad (2)$$

$$Cr = 0,5000R - 0,41869G - 0,08131B \quad (3)$$

dengan Y adalah *luminance* untuk komponen *green* (G) yang dinyatakan sebagai komponen kecerahan, Cb adalah *chrominance* untuk komponen *blue* (B) sebagai informasi kecerahan dan Cr adalah *chrominance* untuk komponen red (R) sebagai informasi kecerahan.

Deteksi Tepi Roberts

Deteksi tepi adalah proses untuk menemukan perubahan intensitas yang berbeda nyata dalam sebuah bidang citra. Operator Robert adalah salah satu contoh operator berbasis gradient yang menggunakan kernel ukuran 2×2 piksel. Operator Roberts sering disebut juga operator silang. Operator ini mengambil arah diagonal untuk penentuan arah dalam perhitungan nilai gradient [6]. Perhitungan gradient dalam operator Roberts adalah

$$\Delta f = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_x \\ G_y \end{bmatrix} \quad (4)$$

dengan,

$$G_x = \frac{\partial f(x,y)}{\partial x} = \frac{f(\Delta x+x,y)-F(x,y)}{\Delta x} \quad (5)$$

$$G_y = \frac{\partial f(x,y)}{\partial y} = \frac{f(x,y+\Delta y)-F(x,y)}{\Delta y} \quad (6)$$

Biasanya $\Delta x = \Delta y = 1$, sehingga persamaan turunan pertama menjadi:

$$G_x = \frac{\partial f(x,y)}{\partial x} = f(\Delta x + x, y) - F(x, y) \quad (7)$$

$$G_y = \frac{\partial f(x,y)}{\partial y} = f(x, y + \Delta y) - F(x, y) \quad (8)$$

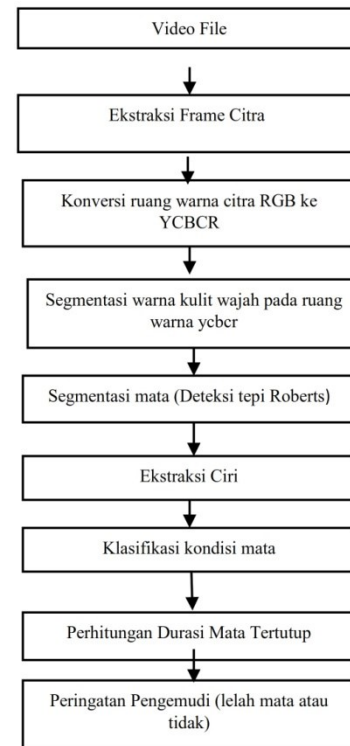
$$G = |f(x, y) - f(x + 1, y + 1)| + |f(x + 1, y) - f(x, y + 1)| \quad (9)$$

Bila ditulis dalam komponen gradien menjadi:

$$G = |G_x| + |G_y| \quad (10)$$

METODE PENELITIAN

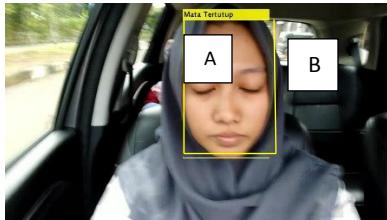
Penelitian dilaksanakan selama 6 bulan dari bulan Desember 2016 sampai bulan Juni 2017 di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro dan daerah sekitar lingkungan Kampus Universitas Diponegoro. Alat yang digunakan yaitu kamera, telepon seluler, komputer dan Bahasa pemrograman Matlab. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis citra digital berupa video bergerak dengan format ekstensi citra adalah MP4. Untuk memaksimalkan hasil, citra yang discan disesuaikan dengan ekstensi/format standar pengolahan citra. Selanjutnya, pada tahap perancangan sistem untuk pengolahan citra video ini dibagi menjadi beberapa tahapan seperti pada gambar 1.



Gambar 1 Diagram Implementasi Deteksi Pengemudi Kelelahan Mata

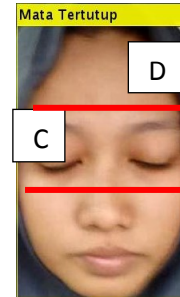
Perancangan dan Implementasi Sistem

Proses implementasi citra akan berhasil apabila sistem akan menandai warna kulit jika objek tersebut terdeteksi oleh sistem ditandai dengan *bbox* atau *bounding box* yaitu pada daerah *frame* dengan ID tertentu terdapat *detecting shape* untuk menentukan area di mana wajah yang dapat terdeteksi dan setiap *detecting shape* memiliki nilai koordinat yaitu $[x,y,w,h]$. Gambar 2 menunjukkan bentuk visualisasi pembagian ID pada *frame*. Daerah luasan deteksi wajah yang telah ditentukan diberi ID A dan wajah yang berada pada *frame* diberi ID B. Pada area ID A diberi nilai batasan luasan yang berada pada koordinat sumbu y.



Gambar 2 Bentuk visualisasi pembagian ID pada *Frame*

Sebuah proses ditemukannya lintasan objek yang ditandai oleh *bbox* berada diantara batas $Cb \geq w$ dan $Cr \leq z$ serta melewati batas $Cr \geq z$, maka ID B bernilai satu dan titik koordinat y *bbox* akan dihitung satu secara otomatis. Kemudian, sistem akan melakukan pembaharuan untuk melakukan pengulangan pencarian titik koordinat y baru untuk meneruskan iterasi, hingga jumlah wajah nantinya diakumulasikan dan ditampilkan dalam video. ketika titik koordinat/titik origin pada sumbu y dari Setelah citra objek ditandai dengan *bbox*, maka selanjutnya dilakukan proses *cropping* wajah objek dengan melakukan pengurangan setiap piksel pada citra objek dengan citra latar belakang. setelah dilakukan *cropping* citra wajah maka dilakukan segmentasi kembali dengan metode deteksi tepi Roberts. Pada segmentasi ini menggunakan hasil *cropping* citra *grayscale* yang kemudian diubah kedalam citra biner. Setelah dilakukan segmentasi wajah dengan deteksi tepi Roberts, maka dilakukan proses segmentasi mata dengan cara melakukan pengurangan setiap *pixel* guna untuk memisahkan antara daerah mata dan bagian daerah wajah lainnya. Hasil dari pengurangan citra tersebut diasumsikan koordinat sumbu-y pada piksel daerah antara bagian alis dan dibawah. Gambar 3 menunjukkan visualisasi segmentasi daerah mata pada objek. Daerah tepian mata yang telah ditentukan diberi ID C dan wajah yang berada pada *frame* diberi ID B.



Gambar 3 Visualisasi segmentasi daerah mata pada objek

Tahapan berikutnya adalah ekstraksi ciri. Pada tahap ini dipilih parameter ciri berupa area atau luas. Hasil dari parameter luasan tersebut akan digunakan untuk proses identifikasi objek yang selanjutnya digunakan untuk klasifikasi. Tahap selanjutnya adalah penentuan nilai *thresholding* untuk klasifikasi. Penentuan nilai *thresholding* ini didapatkan dari hasil luasan mata yang terbagi dalam 2 kondisi yaitu kondisi mata terbuka dan mata tertutup. Pada sistem ini jenis kondisi mata yang berhasil terklasifikasi adalah jenis kondisi yang telah berhasil ter-*bbox* dengan diberikan keterangan mata terbuka atau mata tertutup. Sistem hanya mampu menampilkan hasil klasifikasi bagi pengemudi yang telah terdeteksi. Jika terdapat luasan mata pengemudi yang tidak terdeteksimaka wajah pengemudi tidak dapat terklasifikasi dan dinyatakan salah atau tak terklasifikasi.








HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah dibuat sistem pendeteksi pengemudi kelelahan mata di dalam mobil serta pengklasifikasian pengemudi dalam kondisi mengantuk atau tidak mengantuk secara otomatis menggunakan pengolahan video digital. Adapun bab ini membahas hasil dari akuisisi citra, segmentasi citra, ekstraksi ciri, dan klasifikasi.

Akuisisi Citra

Dari pengambilan video diperoleh 7 objek yaitu 5 pengemudi mobil tanpa kaca mata dan 2 pengemudi mobil berkacamata. Objek tanpa kaca mata yaitu video 1 s/d 5 dan objek yang berkacamata yaitu video 6 dan 7. Tabel 1 menjelaskan data hasil akuisisi video, durasi, frame dan posisi kamera.

Tabel 1 Data pengambilan objek

No	Nama Data	Tampilan Citra	Posisi Camera	Durasi (s)	Frame
1.	Video 1		Depan	138	1932
2.	Video 2		Kanan	158,357	2217
3.	Video 3			1	
4.	Video 4		Kanan	126,5	1771
5.	Video 5		Depan	120,833	2900
6.	Video 6		Kiri	3	
7.	Video 7		Kanan	120	2880
			Depan	126,928	1777

Segmentasi Citra Pada Objek

Sebelum proses segmentasi, dilakukan konversi ruang warna RGB ke ruang warna YCBCR dengan 3 kanal yaitu citra Y, citra Cb dan citra Cr. Kemudian pada tahap segmentasi dilakukan dengan melalui beberapa proses yakni *preprocessing*, segmentasi wajah, operasi morfologi dan segmentasi mata. Adapun yang membedakan dari segmentasi wajah dilakukan dengan menggunakan *multithresholding* dari nilai Y, Cb, dan Cr. Berikut hasil nilai *multithresholding*, dan nilai *thresholding* luasan mata yang ditunjukkan pada Tabel 2

Tabel 2 Hasil terbaik *multithresholding*

No.	Nama Data	Batas nilai Cb		Batas nilai Cr	
		T1	T2	T3	T4
1.	Video 1	90	120	140	160
2.	Video 2	100	120	135	165
3.	Video 3	100	120	115	150
4.	Video 4	100	125	125	155
5.	Video 5	90	120	130	150
6.	Video 6	90	120	140	160
7.	Video 7	100	120	135	165

Tabel 3 Hasil batas nilai *thresholding*

No.	Nama Data	Nilai Thresholding (T)
1.	Video 1	500
2.	Video 2	350
3.	Video 3	500
4.	Video 4	350
5.	Video 5	350
6.	Video 6	1000
7.	Video 7	300

Setelah objek dilakukan segmentasi dan ditandai dengan *bounding box (bbox)*. Maka tahapan selanjutnya adalah ekstraksi ciri. Proses ekstraksi ciri ini diperoleh dari hasil segmentasi mata. Hasil parameter dari ekstraksi ciri berupa luas mata antara kelopak mata dan bola mata pada objek. Kemudian hasil dari parameter ekstraksi ciri, dilakukan penentuan nilai *thresholding* yang terbagi dalam 2 kondisi luasan mata yaitu luas mata terbuka dan mata tertutup. Penentuan batas nilai *thresholding* tersebut berdasarkan

pengamatan visual secara manual. Batas nilai thresholding ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Klasifikasi dan perhitungan akurasi pada Objek

Tabel 4 menunjukkan bahwa tampilan citra pada jenis kondisi mata secara manual ditentukan dari penglihatan mata secara subyektif sedangkan, tampilan citra pada jenis kondisi mata secara otomatis ditentukan berdasarkan parameter luasan mata.

Tabel 4 Jumlah Perhitungan Klasifikasi Mata Terbuka dan Tertutup





Nama Data	Posisi Camera	Jumlah yang Terklasifikasi		Jumlah yang Tak Terklasifikasi
		Mata Terbuka	Mata Tertutup	
Video 1	Kiri	1471	172	289
Video 2	Depan	935	688	594
Video 3	Kanan	1263	201	307
Video 4	Kanan	1436	447	1017
Video 5	Depan	2240	178	462
Video 6	Kiri	1268	346	1266
Video 7	Kanan	168	75	1534

Perhitungan Durasi Mata Tertutup dan Pemberian Peringatan

Perhitungan durasi peringatan dilakukan pada saat tampilan citra pada jenis peringatan secara manual diperoleh berdasarkan klasifikasi kondisi mata yang terklasifikasi secara manual sedangkan, untuk tampilan citra pada peringatan secara otomatis diperoleh berdasarkan klasifikasi kondisi mata yang terklasifikasi secara otomatis. Sistem akan memberikan warning apabila durasi mata tertutup selama 1 detik dan akan berhenti apabila setelah durasi mata tertutup 1 detik adalah

mata terbuka. Perhitungan durasi mata tertutup 1 detik diperoleh dari jumlah frame sebesar nilai *frame rate* video pada setiap data. Hasil pengujian pemberian peringatan dapat dilihat pada Tabel 5

Tabel 5 Hasil Pengujian Peringatan

No	Tampilan Citra	Jenis Peringatan	Ketepatan
1		Tidak Warning	Tepat
2		Tidak Warning	Tepat
3		Warning	Tepat
4		Warning	Tepat

Hasil Klasifikasi dan Perhitungan Durasi Peringatan Keseluruhan

Dari hasil keseluruhan data dapat dirangkum hasil keseluruhan klasifikasi dan perhitungan durasi peringatan. Tabel 6 menunjukkan hasil keseluruhan klasifikasi dan perhitungan durasi peringatan keseluruhan data. Tabel 6 diperoleh akurasi klasifikasi tertinggi pada video 1 dan akurasi terendah pada video 7 sedangkan, akurasi perhitungan durasi peringatan yang tertinggi pada video 5 dan akurasi terendah pada video 7. Tingkat akurasi dari proses hasil keseluruhan klasifikasi dan perhitungan durasi peringatan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, noise, posisi kamera, dan penggunaan kaca mata pada objek.

Faktor *noise* terdiri dari 2 faktor yaitu faktor pada luar dan dalam kendaraan. Faktor

dalam kendaraan seperti adanya objek lain yang menyerupai selain dengan warna kulit manusia atau objek lain yang memiliki tingkat intensitas piksel yang cukup besar diluar objek dan pencahayaan sehingga membuat sistem sulit mendeteksi objek pada daerah wajah dan proses segmentasi objek menjadi tidak tersegmentasi dengan baik. Faktor luar kendaraan seperti berada pada jalan yang tidak datar saat mengemudi sehingga mengakibatkan adanya getaran pada kamera saat proses pengambilan data dan noise terjadi saat objek menggunakan kacamata karena pencahayaan.

Tabel 6 Hasil keseluruhan klasifikasi dan perhitungan durasi peringatan

No	Waktu	Akurasi Klasifikasi (%)	Akurasi Perhitungan durasi peringatan (%)
1	Video 1	85,40%	94,35%
2	Video 2	73,66%	82,76%
3	Video 3	82,26%	91,53%
4	Video 4	64,86%	93,41%
5	Video 5	83,95%	94,4%
6	Video 6	58,09%	77,11%
7	Video 7	13,67%	25,26%

Faktor selanjutnya yaitu faktor penggunaan kacamata. Penggunaan kacamata juga menjadi faktor dari keberjalanan sistem ini. Karena faktor ini menyebabkan luasan mata pada objek memiliki jarak yang berdekatan dengan kacamata tersebut sehingga penggunaan kacamata pada daerah wajah objek akan menimbulkan bagian wajah seperti daerah mata akan saling berhimpitan satu sama lain dan membuat sistem sulit mendeteksi. Selain itu, pada faktor ini juga menyebabkan gangguan pada objek pada saat proses melakukan segmentasi dan operasi morfologi. selanjutnya, posisi kamera yang terlalu jauh juga menjadi faktor saat melakukan proses pengambilan data karena posisi kamera sangat

berpengaruh pada jarak jauh-dekat antara posisi kamera dengan objek. Hal ini menyebabkan luasan wajah objek terlihat menjadi kurang jelas dan terukur kecil. Faktor ini membuat sistem untuk mendeteksi wajah terdapat sebuah gangguan saat melakukan *cropping* ukuran citra.

KESIMPULAN

Sistem yang dibuat dapat digunakan untuk mendeteksi objek dengan mengklasifikasikan 2 kondisi mata yaitu mata terbuka dan tertutup berdasarkan nilai thresholding luasan mata sertapemberian peringatan dengandurasi mata tertutup selama 1 detik. Sistem menggunakan metode segmentasi YCBCR memperoleh hasil yang terbaik pada pagi hari dengan nilai akurasi klasifikasi sebesar 85,40%, sedangkan nilai yang paling tidak akurat pengujian pada video objek berkacamata dengan nilai akurasi klasifikasi sebesar 13,67%. Untuk nilai akurasi peringatan terbaik pada waktu pagi hari dengan nilai akurasi 94,4% dan tidak akurat adalah siang hari yaitu sebesar 25,26%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Djaja, S., Widyastuti, R., Tobing, K., Lasut, D., dan Iriant, J. (2016) *Gambaran Kecelakaan Lalu Lintas Di Indonesia Tahun 2010-2014*, Jurnal Nasional Ekologi Kesehatan, Vol. 15, No 1.
- [2] Bergasa L. M., Nuevo J. U., Sotelo M. A., Barea R., dan Lopez (2008) *Visual Monitoring of Driver Inattention*, International Journal of Studies in Computational Intelligence, Vol. 132, No. 19.
- [3] Gurram, K. K. C., Jain H., dan Naresh (2014) *Tracking Eye State for Fatigue Detection Using Skin Color Segmentation*, International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, Vol. 3, No.1.
- [4] Pheasant, S. (1991) *Ergonomics, Work and Health*, Macmillan Academic, Profesional Ltd, London

- [5] Sigari, M.H., Fathy, M., dan Soryani, M. (2013) *A Driver Face Monitoring System for Fatigue and Distraction Detection*, International Journal of Vehicular Technology, Vol. 2013.
- [6] Sutoyo, T., Mulyanto, E., Suhartono, V., Nurhayati, D., dan Wijanarto (2009) *Teori Pengolahan Citra Digital*, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- [7] Gonzalez, R.C., Woods, R.E dan Eddins, S.L. (2009) *Digital Image Processing Using MATLAB*, Gatesmark Publishing, United States of America.
- [8] Kadir, A., dan Susanto, A. (2013) *Teori dan Aplikasi Pengolahan Citra*, Penerbit Andi, Yogyakarta
- [9] Swedia, R.E., dan Cahyanti, M (2010) *Algoritma Transformasi Ruang RGB, Hextriplet Warna, HSLHSV, HSI, HCL, YUV, Ybdr, YIQ, Ycbr Dengan Bahasa Pemrograman Visual Basic 6, Visual Basic.Net, C#.Net Dan Java*, Universitas Gunadarma, Depok.