

Sistem Pendeteksi Area Jalan Berbasis *Computer Vision* Dengan Sensor LDR

Michael Grady, Christiand *, Arka Dwinanda Soewono, Marten Darmawan
Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya
Jl. Raya Cisauk Lapan, Sampora, Kec. Cisauk, Tangerang, Banten
* E-mail: christiand@atmajaya.ac.id

Abstract

Many unmanned vehicles such as mobile robot, require the ability to navigate itself in the traversable road areas. The ability to distinguish the road areas can be realized by using computer vision technique with camera as the sensor. The images of the road from the camera are then segmented by the computer vision technique. In this research work, a detection system for segmenting the road area has been developed by using camera with additional LDR (Light Dependent Resistor) and computer vision technique. LDR sensor has main role to strengthen the segmentation process by adjusting the appropriate light intensity parameter according to the outdoor condition and day time. As a result, the process of the area segmentation was more accurate because the parameters of the computer vision algorithm were adaptive to the dynamic of the light intensity in the environment. From the experiment, it can be concluded that the proposed detection system has higher level of accuracy in road areas segmentation compared to the standard system.

Keywords: *Computer vision, LDR, Road Area, and Camera*

Abstrak

Banyak dari kendaraan otonom, seperti robot beroda, membutuhkan kemampuan bernavigasi pada area jalan yang dapat dilalui. Kemampuan tersebut dapat diwujudkan melalui penggunaan teknik *computer vision* dengan menggunakan kamera sebagai sensor. Selanjutnya, gambar yang ditangkap oleh kamera akan disegmentasikan dengan menggunakan teknik *computer vision*. Pada kerja penelitian ini, sebuah sistem pendeteksi untuk segmentasi area jalan telah dikembangkan berbasis kamera dengan tambah sensor berupa LDR (*Light Dependent Resistor*) dengan teknik *computer vision*. Sensor LDR memiliki peran dalam meningkatkan kualitas proses segmentasi dengan cara mengatur parameter intensitas cahaya sesuai dengan kondisi yang ada pada ruang terbuka dan sesuai waktu. Sebagai hasilnya, proses segmentasi area menjadi lebih akurat karena parameter yang digunakan dalam algoritma *computer vision* bersifat adaptif terhadap intensitas cahaya lingkungan. Dari eksperimen yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa, sistem yang dikembangkan memiliki tingkat akurasi lebih tinggi dibandingkan sistem yang standar dalam hal segmentasi area jalan.

Kata kunci: *Computer vision, LDR, Area Jalan, dan Kamera*

1. Pendahuluan

Pendeteksian segmen-segmen area jalan merupakan bagian penting dalam beberapa aplikasi teknologi mutakhir. Kemampuan untuk membedakan bagian dari area jalan memungkinkan sebuah sistem untuk mengambil keputusan terkait luaran (output) yang akan diberikan. Contoh aplikasi mutakhir yang membutuhkan deteksi segmen jalan diantaranya adalah navigasi kendaraan otonom (autonomous vehicle) [1][2], tongkat penuntun tuna netra [3], dan penuntun kemudi otomatis pada kendaraan roda empat [4]. Seiring dengan perkembangan jaman, aplikasi-aplikasi mutakhir yang membutuhkan kemampuan deteksi area jalan diperkirakan akan bertambah. Hal tersebut diperkuat dengan perkembangan teknologi berbagai jenis sensor serta kebutuhan otomasi pada level luar ruangan seperti di jalan umum.

Deteksi segmen-segmen area jalan dapat menggunakan beberapa jenis sensor seperti LiDAR (*Light Intensity Detection and Ranging*) [5], LRF (*Laser Range Finder*) [6], dan kamera [7]. Dari segi harga dan ketersediaan, kamera merupakan sensor yang paling murah, tersedia dalam berbagai tingkatan kualitas, dan mudah ditemukan di pasaran. Selain itu, kamera sangat cocok untuk penerapan pada aplikasi nyata untuk skala komersial. Oleh karena itu, sistem pendeteksi segmen area jalan berbasis kamera sangat berprospek untuk dikembangkan. Sistem deteksi berbasis kamera harus dibangun dengan menggunakan teknik-teknik analisa gambar dengan menggunakan komputer sebagai processing unit, yang disebut sebagai teknik *computer vision*. Teknik tersebut memberikan luaran berupa informasi yang menjadi fokus dari pembuat (pengguna) algoritma yang disematkan kedalam sistem. Luaran dari sistem bisa berupa warna, area, dan klasifikasi dari sebuah atau beberapa objek yang ada pada gambar, yang kemudian dari luaran tersebut pengguna sistem bisa membuat keputusan *ad-hoc*. Contoh pengambilan keputusan berdasarkan hasil luaran sistem pendeteksi adalah

keputusan perlu atau tidaknya sebuah kendaraan otonom berbelok ketika menemukan area persimpangan berdasarkan hasil tangkapan gambar dari kamera yang digunakan.

Computer vision merupakan teknologi yang dapat memberikan informasi-informasi penting dengan mengolah sumber berupa gambar yang ditangkap oleh alat pengindera (sensor) [8]. *Computer vision* sendiri sudah menjadi suatu teknik yang dapat digunakan untuk solusi dari masalah-masalah di berbagai bidang, terutama di bidang-bidang yang menggunakan teknologi mutakhir seperti : kendaraan otonom (*autonomous vehicle*), otomasi industri, dan robotika [5-7]. Pada bidang-bidang tersebut, peluang penggunaan teknik *computer vision* terbuka luas dikarenakan banyak jenis permasalahan yang dapat diselesaikan dengan menganalisa informasi yang ditangkap oleh sensor kamera dalam rupa sebuah atau beberapa gambar. Lebih lanjut lagi, teknik *computer vision* (dalam bentuk sederhananya) menggunakan pembacaan dan pembatasan beberapa variabel (seperti : warna *pixel*, besar *pixel*, dan kumpulan garis) pada algoritma yang digunakan ketika menyimpulkan informasi dari suatu gambar. Lebih jauh lagi, pengaturan parameter yang digunakan pada algoritma juga menentukan keakurasian luaran yang dihasilkan oleh sistem. Pada banyak kasus, parameter yang digunakan pada algoritma dibuat tetap (*fixed*) sepanjang waktu penggunaan. Hal tersebut walaupun bisa berhasil namun menciptakan sebuah sistem yang tidak adaptif terhadap lingkungan sekitar. Padahal, gambar hasil tangkapan kamera bergantung pada lingkungan mulai dari lokasi objek, waktu pengambilan gambar, dan intensitas cahaya ketika gambar tersebut diambil. Secara khusus hal tersebut nyata dan menjadi masalah pada aplikasi deteksi area jalan yang merupakan kategori aplikasi luar ruangan (*outdoor*) dimana intensitas cahaya bergantung pada pencahayaan matahari, keberadaan objek disekitar (misal : pohon, bangunan, bayangan, dst.), dan tingkat kelebatan awan. Kesalahan dalam pengaturan parameter intensitas cahaya akan mempengaruhi hasil deteksi area jalan. Oleh karena itu, pengembangan sistem pendeteksi area jalan harus sebisa mungkin mengantisipasi dinamika lingkungan, secara khusus intensitas cahaya.

Pengembangan sistem deteksi jalan yang adaptif terhadap dinamika intensitas cahaya dapat diwujudkan dengan penggunaan sensor intensitas cahaya yang tepat. Untuk hal tersebut, LDR (*Light Dependent Resistor*) dapat digunakan untuk mengetahui intensitas cahaya yang tepat yang kemudian dapat digunakan untuk menentukan nilai-nilai dari parameter yang digunakan dalam algoritma *computer vision* secara adaptif. Melalui kerja penelitian ini diajukan sebuah sistem pendeteksi segmen area jalan berbasis kamera dan teknik *computer vision* serta diperkuat dengan penggunaan LDR sensor. Dari hasil pengembangan yang dilakukan diketahui bahwa sistem yang diajukan memiliki keakurasian dalam hal pendeteksian area lebih baik dari sistem standar yang tidak menggunakan sensor LDR. Kerja penelitian yang telah dilakukan dipaparkan kedalam empat bagian penulisan, yaitu : (1) pendahuluan yang menjelaskan latar belakang masalah yang ada, (2) metode penelitian terkait teori yang digunakan dalam pengembangan sistem serta langkah-langkah kerja yang digunakan, (3) hasil dan pembahasan yang memaparkan performa serta analisa dari sistem yang telah dikembangkan, (4) kesimpulan yang memberikan hal-hal penting yang didapat melalui kerja penelitian ini.

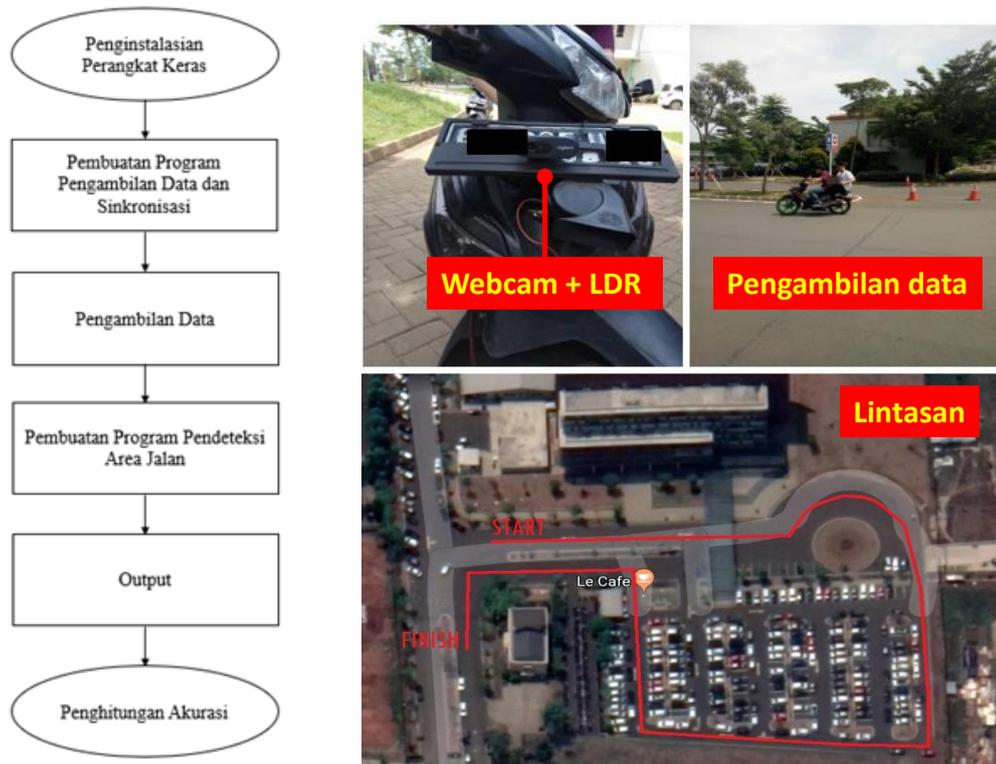
2. Metode Penelitian

2.1 Instalasi Perangkat Keras

Sistem pendeteksi area jalan memerlukan berbagai perangkat keras yang digunakan seperti mikrokontroler, komputer (PC), kamera sebagai sensor utama, serta LDR sebagai sensor pendeteksi intensitas cahaya. Sebuah motor roda dua menjadi sarana (*platform*) yang dianggap sebagai pengguna dari sistem deteksi area jalan. Komponen sistem dipasang pada bagian depan (setir) dari motor, ditunjukkan pada Gambar 1.

2.2 Program Pengambilan Data dan Sinkronisasi

Untuk keperluan pengembangan algoritma dan eksperimen, sebuah program telah dikembangkan. Program tersebut menyimpan data yang tersinkronisasi dari tiga jenis data yaitu : gambar dalam bentuk video, LDR dalam bentuk analog, dan nomor frame yang terasosiasi dengan rekaman video. Video disimpan dengan spesifikasi gambar berukuran 640 x 480 *pixels* dengan kecepatan putar 24 *frame per second* (FPS). Video dan LDR memiliki kecepatan yang berbeda dimana LDR memiliki kecepatan yang lebih lambat ketika dijalankan, maka dari itu perlu adanya sinkronisasi antara kecepatan video dengan LDR.



Gambar 1. Diagram alir pengembangan sistem deteksi, pemasangan sensor, dan lintasan eksperimen

2.3 Proses Pengambilan Data Eksperimen

Data gambar jalan yang menjadi target penelitian diambil dalam lingkungan Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya. Data diambil dengan cara menjalankan sepeda motor beroda dua dengan mengikuti lintasan yang ditunjukkan pada Gambar 1. Untuk mendapatkan data yang menunjukkan dinamika dari intensitas cahaya selama waktu penggunaan sistem, maka proses pengambilan data dilakukan sebanyak lima kali pada jam 07.52, 10.40, 13.19, 15.31, dan 18.00. Semua video yang dihasilkan dari pengambilan data sebanyak lima kali digabungkan menjadi satu file video yang memiliki jumlah *frame* sebanyak 5514 gambar.

2.4 Pembuatan Program Pendeteksi Area Jalan

2.4.1 Parameter Warna Dalam HSV (*Hue Saturation Value*)

Model ruang warna (*color space*) HSV digunakan sebagai parameter untuk mendefinisikan warna dari objek yang dideteksi, yaitu jalan. Ruang warna HSV merupakan ruang warna yang paling baik untuk pemrosesan gambar berbasis warna dikarenakan parameter tingkat intensitas dan kepuaran warna menjadi bagian dari parameter. Pada sistem pendeteksi yang dikembangkan, algoritma *computer vision* yang digunakan berbasis warna jalan, sehingga benda yang memiliki warna didalam kisaran (*range*) parameter tertentu yang telah ditetapkan akan dikategorikan (dideteksi) sebagai sebuah jalan. Penentuan range parameter tersebut yang kerap menjadi masalah dikarenakan dipengaruhi oleh intensitas cahaya di lingkungan ketika sebuah gambar diambil. Hal tersebut telah dijelaskan pada bagian pendahuluan. Oleh karena itu algoritma yang dikembangkan pada sistem ini memanfaatkan informasi dari nilai intensitas cahaya yang didapat dari LDR sensor untuk menentukan nilai parameter yang tepat dan adaptif. Batas bawah dan atas dari parameter HSV yang digunakan untuk mendefinisikan sebuah objek “jalan” dihitung ketika awal penggunaan sistem dari data eksperimen. Kisaran dari parameter yang digunakan bergantung dari nilai LDR yang dikelompokkan kedalam 10 kelompok kisaran LDR. Tiap kelompok nilai LDR berasosiasi dengan nilai batas bawah dan atas dari parameter HSV (dijelaskan pada bagian 3)

2.4.2 Pemrosesan Gambar (*Image Processing*)

Image processing merupakan tahap untuk mengaplikasikan serangkaian teknik pemrosesan gambar dimana tiap tahap memiliki peran untuk menghasilkan gambar dengan karakteristik tertentu. Rangkaian proses yang dibagi menjadi empat tahap proses, yaitu : penskalaan gambar, pemudaran gambar, pengubahan perspektif gambar, dan *color masking and contouring*, pada akhirnya adalah mendeteksi segmen jalan yang terpisah dari dari objek-objek lain pada gambar

yang bukan menjadi fokus deteksi. Gambar 2 menunjukkan rangkaian proses *image processing*. Semua proses terkait *image processing* dilakukan dengan bahasa pemrograman Python dan OpenCV library [9].

a. Penskalaan Gambar (Scaling)

Ukuran gambar pada nomor *frame* tertentu perlu diskalakan (*scaling*) agar proses pendeteksian objek jalan tidak memerlukan komputasi yang berat. Skala pengecilan digunakan untuk keperluan tersebut. Gambar yang berukuran awal 640 x 480 *pixels* diubah menjadi ukuran 450 x 450 *pixels*. Dalam hal ini, diasumsikan objek jalan dapat tertangkap dengan baik pada area 450 x 450 *pixels* dari keseluruhan area gambar. Penskalaan gambar merupakan hal yang lazim dilakukan dalam implementasi teknik *computer vision*. Selain untuk mengurangi komputasi juga bisa untuk menghasilkan gambar yang simetris pada arah panjang dan lebar, sebagai contoh 450 x 450 *pixels*.

b. Pemudaran Gambar (Blurring)

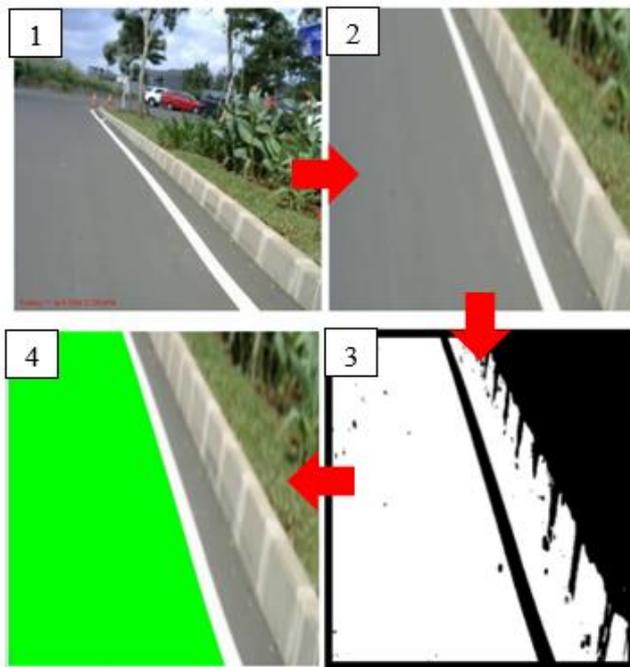
Objek yang tidak penting dan tampak sebagai gangguan (*noise*) sering nampak berbau dengan latar belakang maupun dengan objek lain yang ada disekitar. Untuk mengurangi pengaruh *noise* atau objek yang tidak penting pada proses-proses selanjutnya, maka proses pemudaran (*blurring*) dilakukan. Teknik *blurring* dilakukan dengan menggunakan konvolusi sub-area pada gambar dengan matriks inti (*kernel matrix*). Setelah dilakukan pemudaran, detail-detail yang dianggap sebagai *noise* akan berkurang. Dengan demikian, objek yang memiliki intensitas (misal : batas geometri) yang lebih kuat akan makin terfokus.

c. Perubahan Perspektif Gambar

Perspektif gambar tidak menggambarkan pemetaan objek pada bidang datar dengan tepat. Oleh karena itu, untuk keperluan analisis geometri yang lebih tepat diperlukan perubahan perspektif atau pandangan kamera dengan memfokuskannya terhadap daerah yang menjadi fokus untuk pendeteksian. Sehingga, rasio jarak antar objek pada ruang nyata sama dengan rasio antar objek pada gambar (bidang datar). Algoritma untuk mengubah perspektif ini memerlukan titik-titik daerah yang ingin dijadikan sebagai daerah fokus. Titik-titik tersebut akan dihubungkan dan area yang dilingkupi oleh titik-titik tersebut yang akan menjadi daerah fokus pandangan yang diinginkan. Titik-titik yang diambil untuk dijadikan sebagai fokus pandangan yaitu berada pada posisi pixel berikut : ([0, 450], [450, 450], [30, 225], [420,225]). Selanjutnya *pixels* pada area tersebut dipindahkan pada sebuah *frame* kosong dengan posisi pixel sebagai berikut : ([0, 0], [450, 0], [0, 450], [450, 450]).

d. Masking and Contouring

Proses *masking* merupakan proses untuk mendapatkan semua *pixel* pada gambar yang sesuai dengan kriteria pola (*template/mask*) yang telah ditentukan. *Pixel* yang tidak sesuai dengan kriteria *mask* akan dibersihkan (*cleared*). *Masking* dilakukan dengan cara membuat sebuah *mask* dengan ukuran yang sama dengan gambar sumber (*source*) namun dengan



1. *Scaling*
2. *Blurring*
3. *Pengubahan perspektif*
4. *Masking and Contouring*

Gambar 2. Rangkaian tahap pada *image processing*.

nilai HSV yang telah ditentukan sesuai keperluan. Dalam hal ini, untuk mendeteksi area jalan pada gambar sumber, maka *mask* yang digunakan memiliki nilai HSV (ataupun dalam bentuk kisaran) sesuai dengan nilai HSV alami dari jalan yang ingin dideteksi. Pada akhir proses *masking* terdapat peluang besar untuk menemukan objek dengan warna sesuai warna alami dari jalan. Pada sistem pendeteksi yang diajukan ini, nilai HSV untuk warna jalan alami yang digunakan didapat dari optimalisasi parameter HSV yang terasosiasi dengan nilai dari sensor LDR.

Proses *contouring* dilakukan pada gambar yang didapat setelah proses *masking*. Pengenalan batas-batas area (*contour*) jalan dilakukan pada gambar berdasarkan area warna yang telah diidentifikasi sebagai jalan. Dengan demikian area jalan secara keseluruhan (baik warna maupun kontur) telah dideteksi. Hasil deteksi tersebut digunakan untuk keperluan lain pada tingkatan abstraksi aplikasi yang lebih tinggi (misal : untuk mengarahkan robot pada area jalan yang aman untuk dilewati), yang di luar lingkup bahasan dari kerja penelitian kali ini.

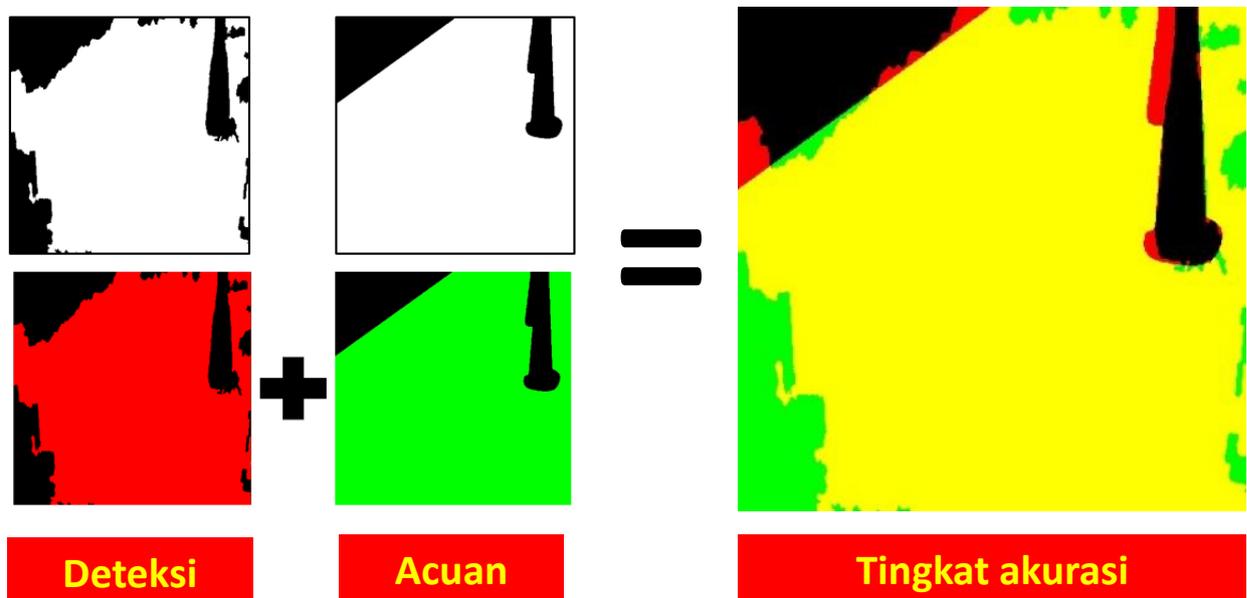
e. **Metode Perhitungan Akurasi**

Untuk keperluan evaluasi diperlukan sebuah metode perhitungan tingkat akurasi dari teknik *computer vision* yang digunakan. Secara khusus, penghitungan tingkat akurasi diperlukan untuk menunjukkan kontribusi dari penambahan sensor LDR pada sistem pendeteksi jalan yang telah dikembangkan. Metode yang digunakan untuk menghitung tingkat akurasi dari sistem adalah dengan menggunakan gambar pembandingan dimana bagian jalan yang sebenarnya telah diidentifikasi oleh penulis secara manual melalui teknik *in-painting* dengan menggunakan perangkat lunak pengolah gambar yang tersedia di pasaran. Area jalan yang telah ditandai secara manual menjadi *mask* acuan sebagai area jalan yang sesungguhnya (Gambar 3).

Metriks evaluasi telah ditentukan berdasarkan warna dari hasil *masking* antara gambar hasil deteksi oleh sistem dan acuan. Untuk menghitung nilai akurasi digunakan persamaan (1), sedangkan untuk menghitung nilai error digunakan persamaan (2). Merujuk pada Gambar 3, warna kuning akan muncul hasil kombinasi hijau dan merah. Interpretasi dari warna-warna pada hasil *masking* tersebut adalah sebagai berikut :

- Warna hijau (*G*) adalah area jalan yang seharusnya tampak namun tidak berhasil dideteksi, bernilai (1,0).
- Warna merah (*R*) adalah area yang bukan jalan namun terdeteksi sebagai jalan, bernilai (0,1).
- Warna kuning (*Y*) adalah area jalan yang terdeteksi dan sesuai dengan yang seharusnya, bernilai (1,1).
- G^T adalah jumlah *pixel* yang berwarna hijau pada *mask* acuan.

Untuk error (ϵ) maupun tingkat akurasi (σ) dihitung berdasarkan penghitungan warna pada setiap *pixel* gambar hasil *masking*.



Gambar 3. Kuantifikasi error untuk evaluasi tingkat akurasi

$$\sigma = \frac{(Y - R - G)}{G^T} \times 100\% \tag{1}$$

$$\varepsilon = 100\% - \sigma \tag{2}$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Asosiasi nilai sensor LDR terhadap nomor frame.

Pada eksperimen pengambilan data video beserta nilai sensor LDR sebanyak lima kali di waktu yang berbeda, diketahui bahwa nilai dari sensor LDR pada waktu yang berdekatan cenderung untuk sama (konstan). Gambar 4 menunjukkan pengukuran nilai sensor LDR pada salah satu eksperimen. Grafik tersebut menunjukkan nilai LDR pada setiap waktu pengambilan gambar, yang ditandai dengan nomor *frame*.

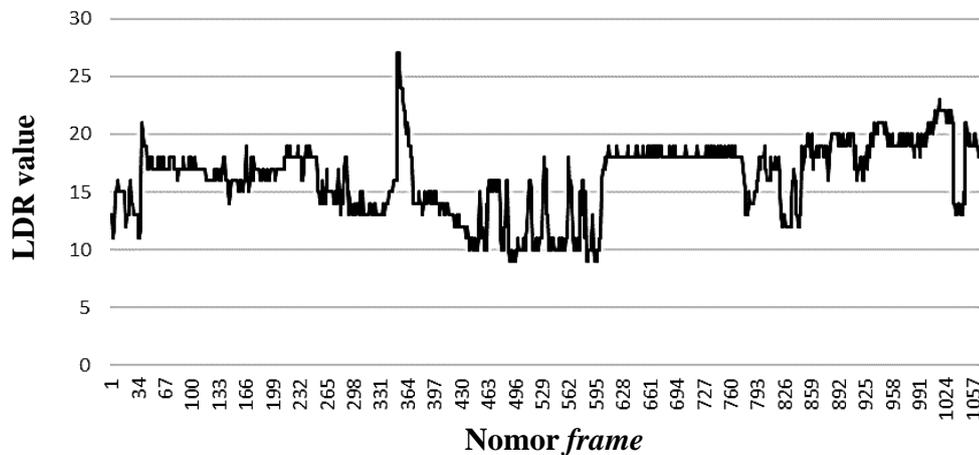
3.2 Pengaturan parameter HSV untuk proses *masking*

Pengaturan parameter HSV dilakukan dengan menggunakan semua data eksperimen yang diperoleh. Dari eksperimen yang dilakukan selama lima waktu berbeda diketahui bahwa kisaran nilai LDR dapat dikelompokkan menjadi 10 kelompok nilai. Untuk tiap kelompok tersebut terdapat parameter HSV yang optimal. Ketika sistem pendeteksi digunakan, algoritma akan mengambil parameter HSV dari Tabel 1 sesuai dengan nilai LDR yang terbaca saat itu. Pada kolom LDR bertanda “fix”, parameter yang ditunjukkan merupakan nilai standar (non-adaptif) untuk sistem tanpa penggunaan LDR.

Tabel 1. Parameter *masking* berdasarkan kelompok nilai LDR

No	LDR	Name	H	S	V	
1	fix	low_gray	22	-12	104	
		up_gray	62	28	204	
		low_white	46	-12	108	
		up_white	86	28	208	
		low_other	67	5	54	
		up_other	107	45	154	
2	< 11	low_gray	22	-11	87	
		up_gray	62	29	187	
		low_white	63	-13	92	
		up_white	103	27	192	
		low_other	40	235	-43	
		up_other	80	275	57	
3	12-20	low_gray	22	-12	104	
		up_gray	62	28	204	
		low_white	46	-12	108	
		up_white	86	28	208	
		low_other	-30	-30	17	
		up_other	30	30	137	
	6	31-43	low_other2	67	5	54
			up_other2	107	45	154
			low_gray	23	-7	87
			up_gray	63	33	187
			low_white	46	-9	70
			up_white	86	31	170
4	21-25	low_other	63	-13	106	
		up_other	103	27	206	
		low_gray	23	-8	105	
		up_gray	63	32	205	
		low_white	50	-20	100	
		up_white	110	40	190	
5	26-30	low_other	63	-13	106	
		up_other	103	27	206	
		low_other2	40	-1	-8	
		up_other2	100	59	112	
		low_gray	20	-23	43	
		up_gray	80	37	163	
7	44-53	low_white	36	-1	-16	
		up_white	96	59	104	
		low_other	79	-8	23	
		up_other	146	76	143	
		low_other2	53	-18	44	
		up_other2	123	42	164	
8	54-62	low_gray	12	0	-22	
		up_gray	96	64	103	
		low_white	36	-1	-16	
		up_white	96	59	104	
		low_other	73	-18	93	
		up_other	133	42	213	
9	63-97	low_gray	86	-2	79	
		up_gray	146	58	199	
		low_white	50	-20	100	
		up_white	110	40	190	
		low_other	63	-13	106	
		up_other	103	27	206	
10	98-126	low_other2	53	-7	-15	
		up_other2	113	53	105	
		low_gray	53	-23	78	
		up_gray	113	37	198	
		low_white	81	-13	91	
		up_white	141	47	211	
11	> 127	low_other	80	39	87	
		up_other	140	99	207	
		low_gray	82	-10	127	
		up_gray	142	50	247	
		low_white	73	-19	106	
		up_white	133	41	226	
		low_other	80	18	36	
		up_other	140	78	156	
		low_gray	96	59	63	
		up_gray	136	99	163	
		low_white	96	39	45	
		up_white	136	79	145	
		low_other	85	118	-2	
		up_other	130	190	98	

Asosiasi Nilai Sensor LDR Terhadap Nomor Frame



Gambar 4. Asosiasi data sensor LDR terhadap nomor *frame* dari video satu eksperimen.

3.1 Perhitungan error (ϵ) dan (σ) akurasi pendeteksian

Evaluasi terhadap hasil pendeteksian jalan secara *frame-per-frame* tidak dimungkinkan karena proses pembuatan gambar (*mask*) acuan pembandingan masih dilakukan secara manual. Oleh karena itu, perhitungan nilai akurasi dan error dilakukan hanya untuk 110 *frame* dengan jarak interval per 50 *frame*. Tabel 2 menyajikan hasil perhitungan error dan akurasi untuk dua buah versi algoritma pendeteksian, yaitu adaptif (menggunakan informasi LDR) dan non-adaptif. Dapat dilihat bahwa sistem pendeteksian area jalan menggunakan algoritma adaptif memiliki keakurasian dan error lebih kecil daripada non-adaptif. Hal tersebut dapat dipahami bahwa parameter HSV yang tepat memiliki pengaruh besar terhadap hasil deteksi secara keseluruhan. Penggunaan nilai HSV yang tepat dengan mendeteksi nilai intensitas cahaya berdasarkan kelompok nilai berguna untuk memperbaiki akurasi dan error sistem.

Tabel 2. Tabel Perhitungan Akurasi

Waktu	No Frame	Adaptif		Non-adaptif	
		σ	ϵ	σ	ϵ
07.52	1-1050	94,12	5,88	93,64	6,35
10.40	1100-2300	65,60	34,39	44,33	55,66
13.19	2350-3400	83,00	16,99	78,34	21,65
15.31	3450-4550	99,35	0,64	99,31	0,68
18.00	4600-5500	51,18	48,81	-100,53	200,53
Rata-Rata		78,65	21,34	83,23	56,97

Perlu diperhatikan bahwa pada eksperimen tertentu didapatkan nilai akurasi yang sangat buruk yaitu -100.53% (pada jam 18.000). Hal tersebut dapat dianalisa bahwa minimumnya *pixel* yang bersesuaian antara acuan dan hasil deteksi (Y) yang diperparah oleh banyaknya *pixel* yang seharusnya tidak ada kemudian terdeteksi (R) dan *pixel* yang seharusnya ada kemudian tidak terdeteksi (G) sehingga $Y < (G + R)$. Hal tersebut juga dipengaruhi oleh nilai G^T yang kecil sehingga persentasi akurasi menjadi negatif namun besar. Perhitungan nilai rata-rata akurasi dan error hanya mengambil nilai mutlak dari tiap eksperimen dengan pertimbangan bahwa jika nilai negatif dimasukkan dapat mengacaukan analisa karena sebagai pengurang rata-rata aritmatika.

4. Kesimpulan

Dari hasil kerja penelitian terkait pengembangan sistem pendeteksi area jalan berbasis *computer vision* dengan menggunakan sensor LDR dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

- Terciptanya sebuah sistem pendeteksi area jalan yang adaptif terhadap intensitas pencahayaan lingkungan.
- Nilai pembacaan sensor LDR bervariasi terhadap waktu.
- Algoritma adaptif dengan memanfaatkan nilai dari sensor LDR memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan yang non-adaptif.
- Sistem adaptif memiliki nilai rata-rata akurasi sebesar 78,65 % dan error sebesar 21,34 % sedangkan sistem non-adaptif memiliki nilai rata-rata akurasi sebesar 83,23 % dan error sebesar 56,97 %.

Daftar Pustaka

- [1] Kulhánek, J., Derner, E., Bruin, T.D., and Babuška, R., 2019, "Vision-based navigation using deep reinforcement learning," 2019 European Conference on Mobile Robots (ECMR), Proceeding: 1–8.
- [2] Guo, S., Diao, Q. and Xi, F., 2017, "Vision based navigation for Omni-directional mobile industrial robot", Procedia Computer Science, 105: 20–26.
- [3] Kim, D., Kim, K. and Lee, S., 2014, "Stereo camera based virtual cane system with identifiable distance tactile feedback for the blind", Sensors, 14(6): 10412–10431.
- [4] Xing, Y., Lv, C., Chen, L., Wang, H., Wang, H., Cao, D., Velenis, E. and Wang, F.Y., 2018, "Advances in vision-based lane detection: algorithms, integration, assessment, and perspectives on ACP-based parallel vision", IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, 5(3): 645–661.
- [5] Gatesichapakorn, S., Takamatsu, J. and Ruchanurucks, M., 2019, "ROS based autonomous mobile robot navigation using 2D LiDAR and RGB-D camera", 2019 First international symposium on instrumentation, control, artificial intelligence, and robotics (ICA-SYMP), Proceeding: 151–154.

- [6] Misono, Y., Goto, Y., Tarutoko, Y., Kobayashi, K. and Watanabe, K., 2007, “*Development of laser rangefinder-based SLAM algorithm for mobile robot navigation*”, SICE Annual Conference 2007, Proceeding : 392–396.
- [7] Nadav, I. and Katz, E., 2016, “*Off-road path and obstacle detection using monocular camera*”, IEEE International Conference on the Science of Electrical Engineering (ICSEE), Proceeding: 1–5.
- [8] Bradski, Gary and Kaehler, Adrian, 2008, “*Learning OpenCV Computer vision with the OpenCV Library*”, O'REILLY, United States of America.
- [9] Prateek, Joshi, 2015, “*OpenCV with Python By Example*”, Packt Publishing Ltd. United Kingdom.