

APLIKASI DETEKSI GERAK PADA KAMERA KEAMANAN MENGGUNAKAN METODE BACKGROUND SUBTRACTION DENGAN ALGORITMA GAUSSIAN MIXTURE MODEL

Muhammad Harry Bintang Pratama^{*)}, Achmad Hidayatno, dan Ajub Ajulian Zahra

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: muhammadharry.b.id@ieee.org

Abstrak

Pencurian merupakan permasalahan yang sering terjadi di Indonesia. Pencurian biasanya terjadi pada malam hari atau saat tidak ada pengawasan terhadap barang maupun lokasi tertentu. Kamera CCTV (*Closed-Circuit Television*) merupakan salah satu sistem keamanan yang digunakan untuk memantau keadaan suatu tempat. Namun sistem kamera CCTV hanya berfungsi sebagai sistem pemantauan pasif saja. Tindakan ilegal seperti pencurian dapat dicegah dengan cara merancang sistem yang mampu mengidentifikasi bila terdapat penyusup lalu mengirimkan pemberitahuan ke pengguna. Pada tugas akhir ini, dirancang suatu sistem kamera keamanan menggunakan kamera *web* dan OpenCV yang terpasang pada Raspberry Pi. Masukan sistem berupa video yang diperoleh dari kamera. Metode deteksi gerakan yang digunakan adalah *background subtraction* dengan algoritma *gaussian mixture model*. Deteksi manusia kemudian dilakukan pada objek bergerak yang terdeteksi menggunakan metode Viola Jones. Hasil yang diperoleh dari sistem ini adalah pemberitahuan yang dikirim ke pengguna melalui *email*. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh bahwa algoritma *gaussian mixture model* dapat bekerja dengan baik untuk mendeteksi gerak pada kondisi lingkungan berbeda. Deteksi manusia memiliki rata-rata akurasi 86,1% pada kondisi dalam ruangan dan akurasi 88,3% pada kondisi luar ruangan. Hasil pengujian keseluruhan sistem mulai dari proses deteksi gerak, deteksi manusia, dan pengiriman pemberitahuan telah berhasil berjalan dengan baik.

Kata kunci: deteksi objek bergerak, deteksi manusia, algoritma gaussian mixture model, metode Viola Jones, OpenCV, Raspberry Pi.

Abstract

Thievery is one of the criminal activity that happens frequently in Indonesia. It usually happens at the night or when there is no surveillance on certain place or things. CCTV (*Closed-Circuit Television*) camera is a security system that is used for observing the area condition. However, CCTV camera can only observe the condition as a passive surveillance system. Illegal action such as thievery can be prevented by designing a system that can detect intruders and send notification to the user. In this final project, a security camera system has been designed using web camera and OpenCV that was installed on Raspberry Pi. The input is video stream from the camera. Motion detection method was applied using background subtraction method with gaussian mixture model algorithm. Human detection was applied to the detected moving object using Viola Jones method. The proposed system send notification to the user using email. The results show that the gaussian mixture model algorithm worked quite good for detecting moving object in different condition. Human detection has average accuracy of 86,1% at indoor condition and average accuracy of 88,3% at outdoor condition. The overall system result show that the moving object detection, the human detection, and email notification run successfully.

Keywords: moving object detection, human detection, gaussian mixture model algorithm, Viola Jones method, OpenCV, Raspberry Pi.

1. Pendahuluan

Pencurian merupakan permasalahan yang sering terjadi di Indonesia. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik [1] selama periode tahun 2013 hingga 2015, pencurian mendominasi sebagai jenis kejahatan yang paling banyak

terjadi di Indonesia. Pencurian tersebut umumnya terjadi pada malam hari atau saat tidak ada pengawasan terhadap barang maupun lokasi tertentu.

Kamera CCTV (*Closed-Circuit Television*) merupakan salah satu sistem keamanan yang digunakan untuk memantau keadaan suatu tempat. Namun sistem kamera

CCTV hanya berfungsi sebagai sistem pemantauan pasif saja. Kamera CCTV tidak dapat mengidentifikasi apa yang terjadi dari objek yang sedang dipantau dan melakukan tindakan pencegahan pencurian.

Beberapa penelitian mengenai sistem kamera keamanan agar dapat mengidentifikasi konteks dari suatu telah dilakukan. Abaya [2] dan Mhatre [3] merancang sistem kamera keamanan tersebut menggunakan kamera dan OpenCV. Sistem tersebut mampu mengidentifikasi bila terdapat penyusup dengan cara mendeteksi gerak lalu mengirimkan pemberitahuan.

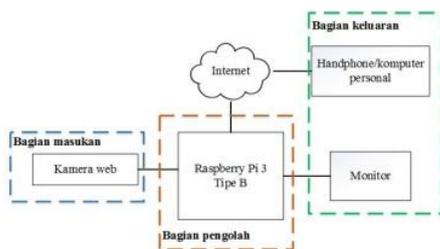
Deteksi gerak yang diterapkan pada sistem tersebut menggunakan algoritma *basic background subtraction* yang diterapkan pada OpenCV. Algoritma tersebut cukup baik bila diterapkan untuk mendeteksi objek bergerak dengan latar diam, namun kurang akurat untuk mendeteksi objek bergerak bila pada latar terdapat gerakan atau derau. Salah satu algoritma *background subtraction* yang dapat mendeteksi objek bergerak dengan akurat pada kondisi latar yang diam atau bergerak adalah algoritma *gaussian mixture model* [4].

Pada tugas akhir ini dirancang suatu sistem kamera keamanan yang digunakan untuk mendeteksi penyusup dan mengirimkan pemberitahuan ke pengguna. Masukan sistem berupa video yang diperoleh dari kamera. Metode deteksi gerakan yang digunakan adalah *background subtraction* dengan algoritma *gaussian mixture model*. Selain itu, metode Viola Jones digunakan untuk deteksi manusia yang terdapat pada objek bergerak. Hasil yang diperoleh dari sistem ini adalah pemberitahuan yang dikirim ke pengguna melalui *email* (*electronic mail*).

2. Metode

2.1 Blok Diagram Sistem

Sistem yang dirancang adalah sebuah alat untuk mendeteksi adanya gerakan manusia. Blok diagram sistem kamera keamanan dapat dilihat pada Gambar 1. Jika terdapat gerakan manusia, maka sistem ini akan memberitahukan pengguna melalui *email*. Pengguna tidak perlu melihat layar komputer untuk memantau keadaan setiap saat. Selain itu, pengguna dapat langsung memeriksa lokasi yang sedang dipantau atau meminta orang lain memeriksa jika terdapat penyusup, sehingga tindakan kejahatan dapat dicegah.



Gambar 1. Blok diagram sistem kamera keamanan

2.2 Bagian Masukan

Kamera *web* akan merekam keadaan suatu lokasi lalu mengirimkan rekaman tersebut ke Raspberry Pi. Kamera *web* ini memiliki port keluaran berupa USB (*Universal Serial Bus*) yang disambungkan ke Raspberry Pi.

2.3 Bagian Pengolah

Raspberry Pi adalah komponen yang bertanggung jawab sebagai pengolah. Blok pengolah ini melakukan tiga proses, yakni proses deteksi gerak, deteksi manusia, dan kirim pemberitahuan. Video yang direkam kamera kemudian akan diproses pertama kali oleh pendeteksi gerak. Jika terdapat objek bergerak, maka objek bergerak tersebut akan diperiksa lagi apakah terdapat manusia. Jika terdeteksi bahwa objek bergerak tersebut adalah manusia, maka sistem akan mengirimkan *email* pemberitahuan. Raspberry Pi yang digunakan adalah tipe Raspberry Pi 3 Tipe B.

2.3.1 Proses Deteksi Gerak

Proses deteksi gerak berfungsi untuk mendeteksi objek bergerak dari video yang direkam oleh kamera. Deteksi gerak menggunakan fungsi yang terdapat pada *library* OpenCV, melalui API (*Application Programming Interface*) C++ bernama *cv2.BackgroundSubtractorMOG*. Fungsi tersebut memiliki parameter yang harus diatur, yakni *learningRate*. Parameter *learningRate* mengatur nilai laju pembelajaran yang akan digunakan. Pada perancangan ini, parameter *learningRate* akan diatur sesuai dengan kondisi lingkungan. Nilai parameter *learningRate* pada masing-masing kondisi lingkungan akan ditentukan dari hasil pengujian variasi parameter *learningRate*.

2.3.2 Proses Deteksi Manusia

Proses deteksi manusia menggunakan pengklasifikasi terlatih yang terdapat pada *library* OpenCV. Pada tugas akhir ini, deteksi manusia yang digunakan adalah suatu fungsi yang terdapat di *library* OpenCV yakni *cv2.CascadeClassifier*. Fungsi tersebut membutuhkan *file* pengklasifikasi yang sudah dilatih untuk mendeteksi objek tertentu. OpenCV menyediakan *file* tersebut dengan format XML (*extensible markup language*) yang terdapat pada *folder* OpenCV. Pengklasifikasi yang digunakan untuk deteksi manusia adalah kepala dan bahu. Pengklasifikasi ini dipilih karena melalui sudut pandang kamera, bagian kepala dan bahu akan lebih mudah dilihat dibanding bagian lain, seperti wajah, keseluruhan badan, badan bagian atas, atau badan bagian bawah.

Deteksi manusia memiliki beberapa parameter penting, yakni *image*, *scaleFactor*, dan *minNeighbors*. Parameter *image* berisi citra masukan yang akan dideteksi. Parameter *scaleFactor* mengatur berapa banyak ukuran

citra yang dikurangi pada tiap skala citra. Parameter *minNeighbors* menentukan banyak piksel untuk pergeseran *sliding window*.

2.3.3 Proses Mengirimkan Pemberitahuan

Pengiriman pemberitahuan kepada pengguna dikirimkan menggunakan *email*. Layanan *email* yang digunakan adalah gmail (google mail). Raspberry Pi harus terhubung dengan internet. Pada perancangan ini, Raspberry terhubung dengan internet menggunakan jaringan WLAN. Agar dapat mengirimkan pemberitahuan, pengguna perlu memiliki akun gmail terlebih dahulu dan mengatur agar aplikasi atau peralatan yang kurang aman diizinkan untuk mengakses akun tersebut. Pengguna akan menerima pemberitahuan saat objek yang teridentifikasi sebagai manusia terdeteksi. Pada pemberitahuan tersebut, sebanyak tiga citra dan sebuah teks akan dikirimkan. Ketiga citra tersebut merupakan citra yang teridentifikasi terdapat manusia.

2.4 Bagian Keluaran

2.4.1 Proses Mengirimkan Pemberitahuan

Layar komputer berfungsi untuk menampilkan GUI (*Graphical User Interface*) dan melihat hasil rekaman video secara *real-time*. Pada GUI tersebut, pengguna dapat mengatur program, seperti memilih kondisi lingkungan tempat kamera akan dipasang, mengatur alamat *email*, serta mengaktifkan program.

2.4.2 Handphone atau komputer personal

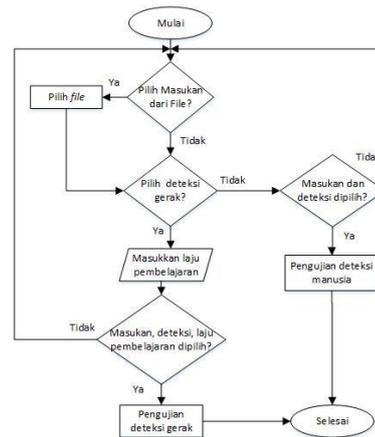
Handphone atau komputer personal berfungsi sebagai penerima pemberitahuan. Perangkat tersebut akan menerima pemberitahuan berupa teks dan gambar hasil rekaman bila terdapat objek bergerak atau terdapat manusia yang terdeteksi.

2.5 Perancangan Perangkat Lunak

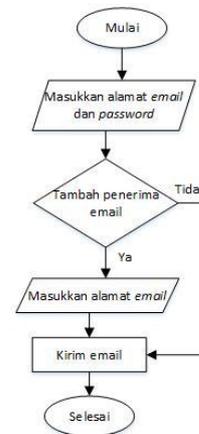
Perangkat lunak yang digunakan adalah Python versi 2.7 dan OpenCV versi 2.4.11. Pada OpenCV terdapat *library* fungsi pemrograman yang dapat langsung digunakan untuk mendeteksi gerak dan mendeteksi manusia.

2.5.1 Diagram Alir Menu Pengujian

Diagram alir pengujian deteksi ditunjukkan pada Gambar 2. Pengguna diharuskan memilih masukan video yang akan diuji. Video tersebut dapat berupa *file* video dengan format *.avi* yang sudah direkam atau merekam video langsung melalui kamera. Kemudian, pengguna memilih pengujian deteksi yang akan dilakukan. Bila pengguna memilih pengujian deteksi gerak, maka parameter laju pembelajaran harus diisi sebelum program deteksi gerak dijalankan. Pengujian deteksi manusia dapat langsung dijalankan setelah masukan video dipilih.



Gambar 2. Diagram Alir Pengujian Deteksi Gerak dan Manusia



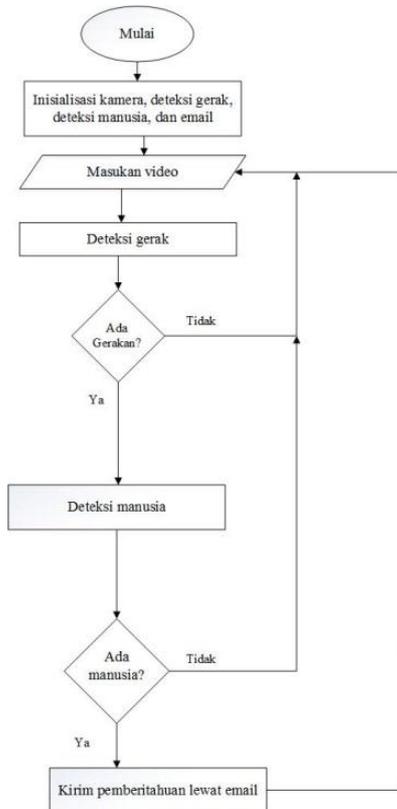
Gambar 3. Diagram alir pengujian pengiriman pemberitahuan

Diagram alir pengujian pengiriman pemberitahuan ditunjukkan pada Gambar 3. Sebelum memulai pengujian, pengguna diharuskan memasukkan alamat *email* yang akan digunakan beserta *password*. Kemudian, pengguna dapat memilih untuk menambahkan penerima pemberitahuan dengan cara mengisi alamat *email* penerima lainnya. Pengguna juga dapat menolak untuk menambahkan penerima pemberitahuan. Setelah itu, *email* pemberitahuan dapat dikirimkan.

2.5.2 Diagram Alir Menu Utama

Diagram alir menu utama ditunjukkan pada Gambar 4. Tahap pertama adalah inisiasi kamera, deteksi gerak, deteksi manusia, dan pengaturan *email*. Tahap ini menyediakan berbagai macam parameter yang diperlukan untuk merekam video, mendeteksi gerak, mendeteksi manusia dari objek yang bergerak, dan mengirimkan pemberitahuan melalui *email*. Tahap berikutnya adalah deteksi gerak dan deteksi manusia. Jika terdeteksi objek bergerak pada video, maka program akan memulai proses deteksi manusia. Jika objek bergerak tersebut adalah manusia maka pemberitahuan akan dikirimkan ke pengguna.

Selanjutnya program akan kembali ke tahap masukan video. Bila tidak ada objek bergerak dan manusia yang terdeteksi maka program juga akan kembali ke tahap masukan video.



Gambar 4. Blok diagram sistem kamera keamanan

2.6 Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras yang telah dirangkai perlu diberi wadah agar terlindung dari kerusakan. Rangkaian keseluruhan alat yang sudah diberi wadah ditunjukkan pada Gambar 5. Pada bagian depan, lapisan plastik bening digunakan untuk melindungi bagian kamera. Wadah tersebut juga dilengkapi dengan lengan untuk dipasang di dinding.



Gambar 5. Rangkaian keseluruhan alat

3. Hasil dan Analisis

Bagian ini membahas berbagai pengujian yang dilakukan pada program yang telah dirancang dan analisis hasil pengujiannya. Masukan yang digunakan adalah beberapa video dengan durasi berbeda yang direkam dengan laju

frame sebanyak 24 *frame* per detik. Posisi kamera tidak berubah pada berbagai pengujian. Seluruh pengujian dilakukan pada kondisi dalam ruangan dan luar ruangan saat siang hari. Resolusi yang digunakan adalah 640×480 piksel. Kamera dipasang pada ketinggian 2,7 meter dan terletak di sudut ruangan. Sudut pandang kamera diatur agar dapat melihat manusia secara jelas pada posisi tersebut.

3.1 Pengujian Deteksi Gerak

Pengujian deteksi gerak bertujuan untuk mencari parameter laju pembelajaran yang sesuai untuk diterapkan pada kondisi lingkungan yang berbeda. Nilai laju pembelajaran ditentukan berdasarkan riwayat *frame*. Terdapat 4 variasi riwayat *frame* yang akan digunakan, yakni 100 *frame*, 200 *frame*, 300 *frame*, dan 400 *frame*. Sehingga variasi nilai laju pembelajaran yang akan digunakan adalah:

Riwayat *frame* = 100

$$\text{Laju pembelajaran} = \frac{1}{(\text{riwayat frame})} = \frac{1}{100} = 0,01$$

Riwayat *frame* = 200

$$\text{Laju pembelajaran} = \frac{1}{(\text{riwayat frame})} = \frac{1}{200} = 0,005$$

Riwayat *frame* = 300

$$\text{Laju pembelajaran} = \frac{1}{(\text{riwayat frame})} = \frac{1}{300} = 0,0033$$

Riwayat *frame* = 400

$$\text{Laju pembelajaran} = \frac{1}{(\text{riwayat frame})} = \frac{1}{400} = 0,0025$$

3.1.1 Pengujian Deteksi Gerak pada Kondisi Dalam Ruangan

Tabel 1. Hasil pengujian deteksi gerak dengan parameter laju pembelajaran pada kondisi dalam ruangan

Nomor Frame	Frame asli	Tampilan <i>foreground mask</i> variasi laju pembelajaran			
		0,01	0,05	0,0033	0,0025
1					
117					
137					
700					

Berdasarkan Tabel 1, dapat dilihat bahwa *foreground mask* masing-masing laju pembelajaran memiliki kinerja yang hampir sama baik. Tiap variasi laju pembelajaran mampu menghasilkan *foreground mask* yang menandai objek bergerak. Pada keadaan tidak ada objek bergerak seperti pada *frame* ke-1, tidak ada *foreground mask* yang

muncul pada masing-masing laju pembelajaran. Namun saat tidak ada gerak seperti pada frame ke-700, laju pembelajaran 0,01 dan 0,005 menghasilkan *foreground mask*, hal ini berbeda dengan laju pembelajaran lainnya yang dengan benar menganggap bahwa tidak ada gerak.

Tabel 2. Hasil pengujian pengaruh variasi laju pembelajaran terhadap jumlah *frame* yang diproses pada kondisi dalam ruangan

Waktu (detik)	Masukan (jumlah <i>frame</i>)	Keluaran (jumlah <i>frame</i> variasi laju pembelajaran)			
		0,01	0,005	0,0033	0,0025
6	144	39	38	38	38
12	288	58	57	57	57
18	432	129	128	127	125
24	576	200	222	223	219
30	720	234	256	257	253
36	864	259	281	298	309
42	1008	342	366	384	395
48	1152	348	372	390	401
54	1296	465	489	507	519
60	1440	496	518	536	548
66	1584	543	572	591	603

Berdasarkan Tabel 2, terdapat peningkatan jumlah *frame* keluaran saat laju pembelajaran semakin kecil. Sehingga semakin rendah nilai parameter laju pembelajaran, maka akan semakin banyak jumlah *frame* keluaran. Selain itu, jumlah *frame* keluaran tiap laju pembelajaran juga akan meningkat seiring bertambahnya waktu. Jumlah *frame* keluaran dari masing-masing parameter laju pembelajaran lebih sedikit dibandingkan jumlah *frame* masukan. Hal tersebut dapat mempermudah proses selanjutnya, yakni deteksi manusia. Proses deteksi manusia tidak perlu memproses keseluruhan *frame*, namun hanya aktif pada *frame* tertentu saja, yakni saat terdapat gerakan.

Parameter laju pembelajaran untuk deteksi gerak pada kondisi dalam ruangan dipilih dengan mempertimbangkan tampilan *foreground mask* serta jumlah *frame* keluaran. Hasil *foreground mask* menunjukkan bahwa parameter laju pembelajaran yang semakin rendah cenderung menghasilkan *foreground mask* yang lebih baik. Laju pembelajaran 0,0033 dan 0,0025 merupakan laju pembelajaran yang paling baik bila ditinjau dari hasil tampilan *foreground mask*. Pertimbangan selanjutnya adalah menentukan parameter laju pembelajaran yang menghasilkan jumlah *frame* keluaran yang lebih sedikit. Laju pembelajaran 0,0025 menghasilkan jumlah *frame* keluaran yang lebih banyak dibandingkan laju pembelajaran 0,0033. Oleh karena itu, laju pembelajaran 0,0033 dipilih untuk diterapkan pada program.

3.1.2 Pengujian Deteksi Gerak pada Kondisi Luar Ruangan

Tabel 3. Hasil pengujian deteksi gerak dengan parameter laju pembelajaran pada kondisi luar ruangan

Nomor <i>Frame</i>	<i>Frame</i> asli	Tampilan <i>foreground mask</i> variasi laju pembelajaran			
		0,01	0,05	0,0033	0,0025
20					
50					
150					
200					
450					
470					

Berdasarkan Tabel 3, dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan yang cukup jelas dari hasil deteksi gerak dengan parameter laju pembelajaran yang berbeda. Pada awal waktu saat tidak ada objek bergerak, semua laju pembelajaran akan menganggap ada objek bergerak. Latar belakang tersebut seharusnya ditandai dengan warna hitam karena tidak ada objek bergerak. Laju pembelajaran akan memperbarui latar belakang setelah beberapa waktu. Tiap laju pembelajaran memiliki waktu yang berbeda dalam memperbarui latar belakang. Perbedaan ini terjadi karena semakin besar nilai laju pembelajaran, maka akan semakin sedikit jumlah riwayat *frame* yang dibutuhkan untuk memproses latar belakang di awal waktu. Selain itu, pada kondisi luar ruangan terdapat perubahan pencahayaan serta perubahan sesaat dari latar belakang, seperti dedaunan dan rumput akibat tertiup angin. Kedua hal tersebut mempengaruhi kinerja deteksi gerak pada kondisi luar ruangan. Hal ini berbeda dengan kondisi dalam ruangan yang mana tidak ada perubahan pencahayaan atau perubahan sesaat dari latar belakang, sehingga di awal waktu saat tidak ada objek bergerak, seluruh parameter laju pembelajaran dapat menganggap tidak ada objek bergerak yang terdeteksi.

Saat terdapat objek bergerak, *foreground mask* yang dihasilkan masing-masing laju pembelajaran memiliki kinerja yang hampir sama. Tiap variasi laju pembelajaran mampu menghasilkan *foreground mask* yang menandai objek bergerak.

Tabel 4. Hasil pengujian pengaruh variasi laju pembelajaran terhadap jumlah frame yang diproses pada kondisi luar ruangan

Waktu (detik)	Masukan (jumlah frame)	Keluaran (jumlah frame variasi laju pembelajaran)			
		0,01	0,005	0,0033	0,0025
6	144	39	77	116	143
12	288	39	77	116	153
18	432	59	84	122	153
24	576	109	131	165	201
30	720	144	166	200	235
36	864	214	263	267	297
42	1008	224	312	317	346

Berdasarkan Tabel 4, terdapat peningkatan jumlah frame keluaran saat laju pembelajaran semakin kecil. Sehingga semakin rendah nilai parameter laju pembelajaran, maka akan semakin banyak jumlah frame keluaran. Selain itu, jumlah frame keluaran tiap laju pembelajaran juga akan meningkat seiring bertambahnya waktu. Jumlah frame keluaran dari dari masing-masing parameter laju pembelajaran lebih sedikit dibandingkan jumlah frame masukan.

Parameter laju pembelajaran untuk deteksi gerak pada kondisi luar ruangan dipilih dengan mempertimbangkan tampilan foreground mask serta jumlah frame keluaran. Pada kondisi luar ruangan, jumlah frame keluaran yang sedikit lebih dipertimbangkan. Laju pembelajaran 0,01 dan 0,005 merupakan dua laju pembelajaran dengan jumlah frame keluaran yang paling sedikit. Pertimbangan selanjutnya adalah menentukan parameter laju pembelajaran yang menghasilkan tampilan foreground mask yang lebih baik. Laju pembelajaran 0,01 menghasilkan foreground mask yang lebih baik bila dibandingkan dengan 0,0033. Oleh karena itu, laju pembelajaran 0,01 dipilih untuk diterapkan pada program.

3.2 Pengujian Deteksi Manusia

3.2.1 Pengujian Jarak Deteksi dan Arah Posisi Manusia terhadap Kinerja Deteksi Manusia

Pengujian dilakukan pada kondisi lingkungan luar ruangan. Pada pengujian ini, video akan merekam manusia dengan variasi jarak deteksi dan variasi arah posisi manusia terhadap kamera. Variasi jarak deteksi yang diuji adalah jarak 1 meter, 2 meter, 3 meter, 4 meter, dan 5 meter. Pada masing-masing jarak deteksi, dilakukan pengujian variasi arah posisi manusia terhadap kamera. Beberapa tampilan hasil deteksi manusia yang berhasil ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Tampilan pengujian jarak deteksi dan arah posisi manusia terhadap kamera.

Tabel 5. Hasil pengujian jarak deteksi dan arah posisi manusia terhadap kinerja deteksi manusia

Sudut	Jarak (meter)				
	1	2	3	4	5
0	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
45	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
90	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
135	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
180	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
225	Tidak Terdeteksi	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
270	Tidak Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi
315	Terdeteksi	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak Terdeteksi	Tidak Terdeteksi

Berdasarkan Tabel 5, pada jarak 1 meter deteksi manusia hanya dapat mendeteksi pada sudut orientasi 0°, 45°, 90°, dan 135°. Hal ini terjadi karena pada jarak 1 meter hanya bagian wajah dan sedikit bagian bahu saja yang terlihat. Pada jarak 2 meter, deteksi manusia dapat mendeteksi pada sudut orientasi 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 270°, dan 315°. Jumlah sudut orientasi yang dapat dideteksi meningkat karena wajah dan bahu terlihat dengan jelas, tapi deteksi manusia tidak dapat mendeteksi manusia yang arahnya membelakangi kamera. Pada jarak 3 meter, deteksi manusia mampu mendeteksi pada semua sudut orientasi. Pada jarak ini, seluruh bagian tubuh manusia terlihat dengan jelas. Manusia tetap dapat terdeteksi walaupun membelakangi kamera. Pada jarak 4 meter deteksi manusia hanya dapat mendeteksi pada sudut orientasi 0° dan 90°. Hal ini terjadi karena pada jarak tersebut bagian wajah tidak terlihat. Pada sudut orientasi tersebut, deteksi manusia dapat mendeteksi manusia karena terdapat bagian bahu. Bagian selain wajah terlihat dengan jelas, namun tidak membantu kinerja deteksi karena fitur yang digunakan adalah wajah dan bahu. Pada jarak 5 meter, tidak ada manusia yang dapat dideteksi dari seluruh sudut orientasi karena pada bagian tersebut hanya bagian kaki saja yang terlihat oleh kamera.

3.2.1 Pengujian Variasi Jumlah Manusia terhadap Kinerja Deteksi Manusia pada Kondisi Dalam Ruangan

Tabel 6. Hasil pengujian variasi jumlah manusia terhadap kinerja deteksi manusia pada kondisi dalam ruangan

Percobaan	Jumlah orang	TP	FN	FP	TN	Akurasi
1	1	3	3	0	7	76,9%
2	1	4	2	0	7	84,6%
3	1	4	2	0	7	84,6%

4	1	4	2	0	7	84,6%
5	1	4	2	0	7	84,6%
6	2	4	2	0	7	84,6%
7	2	5	1	0	7	92,3%
8	2	4	2	0	7	84,6%
9	3	4	2	0	7	84,6%
10	3	3	0	0	4	100%

Berdasarkan Tabel 6, dapat dilihat bahwa kinerja deteksi manusia cukup baik walaupun terdapat variasi saat mendeteksi ada manusia dengan benar. Hal tersebut dapat dilihat dari nilai *false negative* yang muncul pada 9 percobaan. Nilai *false negative* menandakan bahwa program tidak mampu mendeteksi manusia saat manusia tersebut ada. Namun, nilai *true positive* hampir mendominasi semua percobaan. Nilai *true positive* terbaik terdapat pada percobaan ke-10, yang mana program mampu mendeteksi manusia dengan benar pada seluruh kondisi ada manusia.

Program deteksi manusia pada kondisi dalam ruangan mampu memberikan hasil *true negative* dan *false positive* yang baik. Hal tersebut menandakan bahwa program tidak mendeteksi manusia saat manusia tersebut tidak ada. Akurasi terendah pada pengujian deteksi manusia pada kondisi dalam ruangan adalah 76,9%, sedangkan akurasi tertinggi adalah 100%. Rata-rata akurasi deteksi manusia pada kondisi dalam ruangan adalah 86,1%.

3.2.1 Pengujian Variasi Jumlah Manusia terhadap Kinerja Deteksi Manusia pada Kondisi Luar Ruangan

Tabel 7. Hasil pengujian variasi jumlah manusia terhadap kinerja deteksi manusia pada kondisi luar ruangan

Percobaan	Jumlah orang	TP	FN	FP	TN	Akurasi
1	1	5	0	0	6	100%
2	1	3	1	2	3	66,6%
3	1	2	3	0	6	72,7%
4	1	3	1	0	5	88,8%
5	1	3	1	0	5	88,8%
6	2	3	0	0	4	100%
7	2	5	0	0	6	100%
8	2	5	0	0	6	100%
9	3	4	0	0	5	100%
10	3	4	0	3	2	66,6%

Berdasarkan Tabel 7, dapat dilihat bahwa kinerja deteksi manusia cukup baik dengan hanya sedikit variasi saat mendeteksi manusia dengan benar. Hal tersebut dapat dilihat dari banyak nilai *true positive* yang mendominasi dibandingkan nilai *false negative*. Kemunculan nilai *false negative* hanya terjadi pada 4 percobaan. Nilai *false negative* menandakan bahwa program tidak mampu mendeteksi manusia saat manusia tersebut ada. Terdapat 5 percobaan yang memiliki akurasi 100%.

Seluruh sistem mampu memberikan hasil *true negative* dan *false positive* yang cukup baik. Hal tersebut menandakan bahwa program tidak mendeteksi manusia pada saat manusia tersebut tidak ada. *False positive* muncul hanya pada 2 percobaan saja. Akurasi terendah pada pengujian deteksi manusia pada kondisi luar ruangan adalah 66,6%, sedangkan akurasi tertinggi adalah 100%. Rata-rata akurasi deteksi manusia pada kondisi luar ruangan adalah 88,3%.

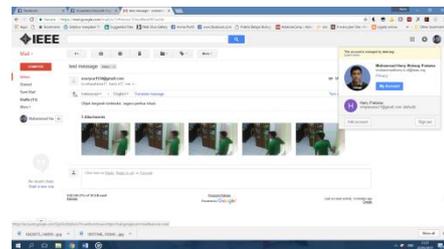
3.3 Pengujian Pengiriman Pemberitahuan

Pengujian pengiriman pemberitahuan dilakukan untuk mengetahui kinerja bagian pengirim pemberitahuan ke alamat email yang berbeda-beda. Pengujian dilakukan dengan cara mengirimkan pemberitahuan ke alamat *email* dari penyedia layanan *email* yang berbeda-beda. Pada pengujian ini, alamat *email* pengirim yang digunakan telah diatur agar mengizinkan aplikasi atau sambungan dari koneksi yang tidak aman. Sebanyak 5 citra digunakan untuk menguji pengiriman pemberitahuan.

Tabel 8. Hasil pengujian pengiriman pemberitahuan

Tujuan	Penerima	Keterangan
1	muhammadharry.b.id@ieee.org	Terkirim Diterima
2	fm.fajarmuhammad96@gmail.com	Terkirim Diterima
3	arizki.aulia98@gmail.com	Terkirim Diterima
	Khusnilmujib136@yahoo.com	Terkirim Diterima
	h.hariyanto39@yahoo.com	Terkirim Diterima
	mhpratama17@gmail.com	Terkirim Diterima

Berdasarkan Tabel 8, dapat dilihat bahwa pengiriman pemberitahuan berhasil dilakukan ke semua alamat *email* dari penyedia layanan yang berbeda-beda. Program mampu mengirimkan alamat *email* ke 1 tujuan, 2 tujuan, maupun 3 tujuan sekaligus. Tampilan hasil pengujian *email* yang diterima ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Tampilan email diterima

3.4 Pengujian Kinerja Keseluruhan

Tabel 9. Hasil pengujian keseluruhan pada kondisi dalam ruangan.

Pengujian	Deteksi Gerak	Deteksi Manusia	Pengiriman Pemberitahuan
1	Terdeteksi	Terdeteksi	Terkirim
2	Terdeteksi	Terdeteksi	Terkirim
3	Terdeteksi	Terdeteksi	Terkirim
4	Terdeteksi	Terdeteksi	Terkirim
5	Terdeteksi	Terdeteksi	Tidak terkirim

Berdasarkan Tabel 9, dapat dilihat bahwa deteksi gerak dan deteksi manusia mampu mendeteksi pada 5 pengujian yang dilakukan. Pengiriman pemberitahuan mampu bekerja dengan baik pada 4 pengujian yang dilakukan. Terdapat 1 kegagalan pengiriman pemberitahuan karena jumlah citra yang terdeteksi terdapat manusia tidak mencapai 3 citra, sehingga walaupun manusia terdeteksi pengiriman pemberitahuan melalui *email* tidak dapat dilakukan.

Tabel 10. Hasil pengujian keseluruhan pada kondisi luar ruangan.

Pengujian	Deteksi Gerak	Deteksi Manusia	Pengiriman Pemberitahuan
1	Terdeteksi	Terdeteksi	Terkirim
2	Terdeteksi	Terdeteksi	Terkirim
3	Terdeteksi	Terdeteksi	Terkirim
4	Terdeteksi	Terdeteksi	Terkirim
5	Terdeteksi	Terdeteksi	Terkirim

Berdasarkan Tabel 10, dapat dilihat bahwa pada kondisi luar ruangan, deteksi gerak dan deteksi manusia mampu mendeteksi pada seluruh pengujian yang dilakukan. Pengiriman pemberitahuan juga bekerja dengan baik pada 5 pengujian yang dilakukan. Program mampu bekerja dengan baik pada seluruh pengujian pada kondisi luar ruangan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, penerapan deteksi gerak dengan algoritma *gaussian mixture model* pada kamera keamanan mulai dari proses deteksi gerak, deteksi manusia, dan pengiriman pemberitahuan melalui email telah berhasil berjalan dengan baik. Nilai parameter laju pembelajaran yang sesuai untuk kondisi dalam ruangan adalah 0,0033 dan untuk kondisi luar ruangan adalah 0,01. Jarak antara manusia dengan kamera yang optimal untuk mendeteksi adalah antara 2 meter sampai dengan 3 meter. Rata-rata akurasi hasil deteksi manusia pada kondisi dalam ruangan adalah 86,1%, sedangkan pada kondisi luar ruangan adalah 88,3%. Sudut orientasi posisi manusia terhadap kamera yang paling baik adalah pada sudut 0^0 , 45^0 , dan 90^0 . Pengiriman pemberitahuan melalui email dapat terkirim dan diterima dengan baik.

Referensi

- [1]. Badan Pusat Statistik, "Statistik Kriminal 2016," Badan Pusat Statistik, Jakarta, katalog no. 4401002, 2017.
- [2]. W. F. Abaya, J. Basa, M. Sy, A. C. Abad, dan E. P. Dadios, "Low cost smart security camera with night vision capability using Raspberry Pi and OpenCV," 2014 Int. Conf. Humanoid, Nanotechnology, Inf. Technol. Commun. Control. Environ. Manag., no.7, November, hal. 1–6, 2014.
- [3]. R. Mhatre, S.G Varma, dan S. Nikhare, "Visual Surveillance Using Absolute Difference Motion Detection," Int. Conf. Technol. Sustain. Dev., hal. 4–8, 2015.
- [4]. Y. Benezeth, P. Jodoin, B. Emile, Y. Benezeth, P. Jodoin, B. Emile, dan C. Rosenberger, "Comparative study of background subtraction algorithms," J. Electron. Imaging, vol. 19, 2012.