

PERANCANGAN MODEL SISTEM PENGENDALIAN GERBANG RUMAH OTOMATIS DENGAN MENGGUNAKAN *FACE RECOGNITION*

Alvin Decky Namaya; Agus Supardi
Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta

Abstrak

Pintu gerbang merupakan salah satu keamanan yang dapat diterapkan pada sebuah bangunan untuk menjaga keamanan bangunan. Gerbang konvensional yang awalnya memerlukan tindakan manual dari pemilik rumah untuk membuka dan menutup, kini dapat beroperasi secara otomatis melalui teknologi pengenalan wajah. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat gerbang yang dapat terbuka secara mandiri menggunakan sistem pembacaan *face recognition* dan menutup secara mandiri dengan menggunakan sensor *infrared* tanpa bantuan langsung dari pemilik. Penelitian ini menggunakan beberapa komponen seperti *raspberry*, *LCD touchscreen*, *sensor infrared*, kamera, dan motor *stepper*. Komponen yang digunakan memiliki perannya masing-masing seperti *raspberry* yang memiliki fungsi sebagai pemroses kode algoritma program, *LCD touchscreen* berfungsi sebagai *interface* antara perangkat dengan pengguna, sensor *infrared* berfungsi sebagai pengirim nilai masukan untuk menutup gerbang, kamera berfungsi sebagai pengirim nilai masukan untuk membuka gerbang, dan motor *stepper* berfungsi untuk menggerakkan gerbang. Pada sistem *face recognition* menggunakan *dlib* sebagai pengolah gambar. Pada *dlib* terdapat perubahan warna gambar yang menjadi *grayscale* kemudian setelah perubahan warna gambar nilai gradien dan besaran tiap *pixel* pada gambar akan dihitung dengan metode *Histogram of Oriented Gradien* (HOG). Hasil penelitian menunjukkan saat wajah yang tertangkap oleh kamera terdeteksi sama seperti gambar yang ada di *database* maka motor *stepper* akan bergerak berlawanan arah jarum jam untuk membuka gerbang, kemudian motor *stepper* akan bergerak searah jarum jam untuk menutup gerbang saat sensor *infrared* mendeteksi sebuah gerakan yang melewatinya. Pada sistem ini juga terdapat sistem penambahan data wajah baru dengan menggunakan *face recognition* untuk mengaksesnya, dan terdapat pula sistem untuk menghapus *file* yang sudah tidak diperlukan.

Kata Kunci: *face recognition*, gerbang otomatis, keamanan.

Abstract

A gate is a form of security that can be applied to a building to maintain the security of the building. Conventional gates that initially required manual action from the homeowner to open and close can now operate automatically through facial recognition technology. The aim of this research is to create a gate that can open independently using a facial recognition reading system and close independently using an infrared sensor without direct assistance from the owner. This research uses several components such as *raspberry*, *LCD touchscreen*, *infrared sensor*, camera, and *stepper motor*. The components used have their respective roles, such as the *raspberry* which functions as a program algorithm code processor, the *LCD touchscreen* functions as an interface between the device and the user, the *infrared sensor* functions as a sender of input values to close the gate, the camera functions as a sender of input values to open the gate, and the *stepper motor* functions to move the gate. The face recognition system uses *Dlib* as an image processor. In *dlib* there is a change in image color to grayscale, then after changing the image color the gradient

value and size of each pixel in the image will be calculated using the Histogram of Oriented Gradient (HOG) method. The research results show that when the face captured by the camera is detected the same as the image in the database, the stepper motor will move counterclockwise to open the gate, then the stepper motor will move clockwise to close the gate when the infrared sensor detects a movement passing through it. In this system there is also a system for adding new facial data using facial recognition to access it, and there is also a system for deleting files that are no longer needed.

Keywords: *face recognition, automatic gate, security.*

1. PENDAHULUAN

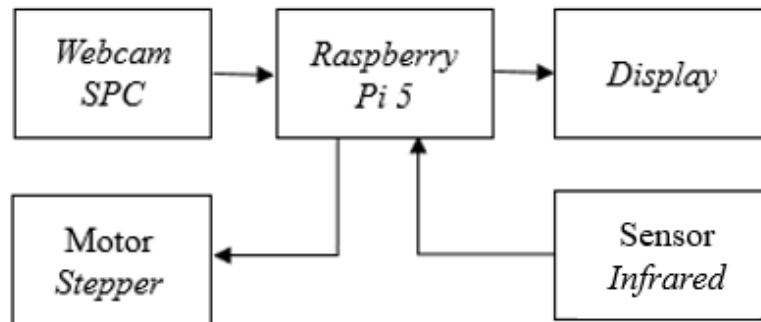
Pintu gerbang merupakan salah satu keamanan yang dapat diterapkan pada sebuah bangunan untuk menjaga keamanan bangunan. Dengan semakin maraknya tindak kejahatan yang sering terjadi di mana-mana gerbang dapat menjadi sebuah solusi untuk menjadi sebuah sistem keamanan pada bangunan. Dari data resmi yang diterbitkan oleh Badan Pusat Statistika (BPS) data ini didapatkan dari POLRI (Polisi Republik Indonesia) memperlihatkan jumlah kejadian kejahatan terhadap hak/milik tanpa penggunaan kekerasan menurut Polda Jawa Tengah pada tahun 2020 sebanyak 3.883 kejadian (Direktorat Statistik Ketahanan Sosial, 2021).

Face recognition merupakan sebuah teknologi biometrik yang dapat secara otomatis mengidentifikasi seseorang berdasarkan karakteristik fisik (Liu et al., 2023). Sistem *face recognition* sudah banyak dimanfaatkan di Indonesia seperti pada stasiun-stasiun besar kereta api. Dengan sistem *face recognition* pada saat penumpang ingin *check in* kereta api tidak diperlukan lagi pengecekan tiket tetapi hanya perlu *scan* wajah saja sehingga mempercepat antrian *check in*. Sistem pembacaan polah wajah ini juga bisa dimanfaatkan sebagai alat pembantu untuk membuka sebuah gerbang, dengan begitu pemilik tidak perlu membuka secara manual terlebih apabila terdapat lansia. Lansia terkadang mengalami kesulitan dalam membuka dan menutup gerbang konvensional.

Dlib merupakan sebuah pustaka terbuka pemrograman *c++* yang dapat melakukan beberapa tugas seperti pendeteksian wajah, pengenalan wajah dan beberapa fitur lainnya (Bao & Xu, 2024). Pada *library dlib* akan terdapat proses perubahan gambar yang ditangkap kamera. Gambar akan diubah terlebih dahulu menjadi *grayscale*, kemudian nilai gradien dan besaran tiap *pixel* pada gambar akan dihitung. Metode perubahan ini disebut juga metode *Histogram of Oriented Gradient* (HOG) (Yang & Fan, 2023). HOG merupakan sebuah deskriptor yang digunakan dalam bidang pengolahan citra dan bertujuan untuk merepresentasikan tampilan dan bentuk lokal suatu objek pada gambar dengan distribusi intensitas gradien (Benradi et al., 2023).

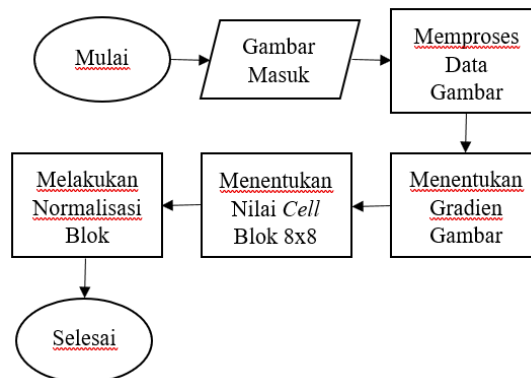
2. METODE

Penelitian ini menggunakan *raspberry* sebagai inti dari keseluruhan perangkat seperti yang ditunjukkan pada gambar 1. Pemrograman pada *raspberry* menggunakan *python* dengan *library face_recognition*, *opencv*, dan *tKinter*.



Gambar 1 Blok diagram sistem

Pada *library face_recognition* terdapat *dlib* dan pada *dlib* terdapat pemrosesan gambar dengan metode HOG. Pemrosesan algoritma dari HOG dapat dilihat pada *flowchart* algoritma HOG ditunjukkan pada Gambar 2 (Anggraeny et al., 2020) .



Gambar 2 Flowchart algoritma HOG

Menurut (Ghaffari et al., 2020) Algoritma HOG untuk menentukan gradien dapat dilakukan dengan (1) dan (2):

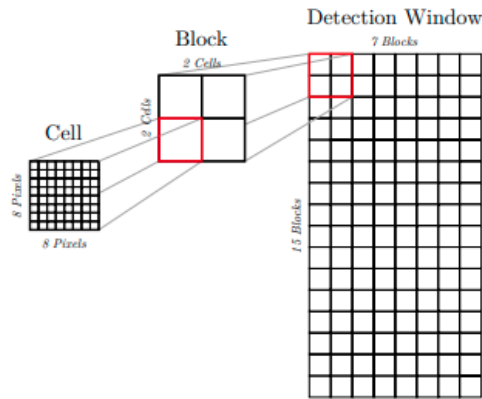
$$G_x(x, y) = I(x + 1, y) - I(x - 1, y) \quad (1)$$

$$G_y(x, y) = I(x + 1, y) - I(x - 1, y) \quad (2)$$

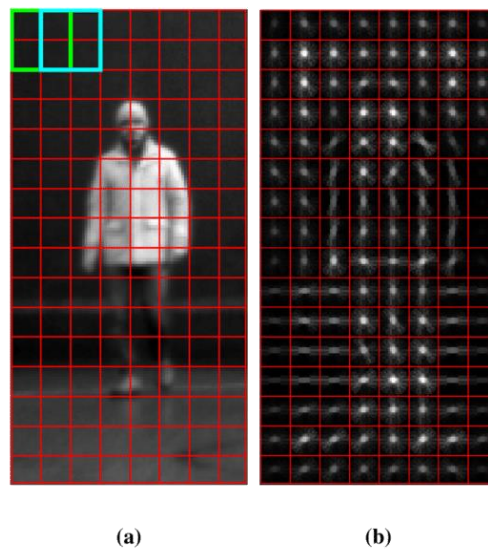
Dimana $I(x, y)$ merupakan *pixel* citra dengan kordinasi x dan y , G_x merupakan gradien arah horizontal dan G_y merupakan gradien arah vertikal. Setelah menghitung gradien dilanjutkan dengan menghitung *magnitude* dan *orientation* menggunakan persamaan 3 dan 4:

$$Magnitude(x, y) = \sqrt{G_x^2(x, y) + G_y^2(x, y)} \quad (3)$$

$$Orientation(x,y) = \arctan \frac{G_y(x,y)}{G_x(x,y)} \quad (4)$$



Gambar 3 Pembagian jendela deteksi menjadi blok dan *cell*



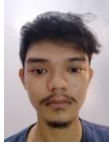
Gambar 4 (a) Menentukan titik blok (b) Hasil titik arah gradien

Pemrosesan algoritma dari HOG dapat dilihat pada gambar 3, pertama akan menentukan titik blok dimana tiap blok akan terbagi oleh 2 *cell*, kemudian tiap *cell* akan terbagi dari 8 *pixel* (Hahnle et al., 2013). Hasil normalisasi dari HOG dapat terlihat pada gambar 4b dimana titik lekuk dari bentuk gambar dapat terlihat, sedangkan pada gambar 4a menentukan blok yang memiliki 2 *cell* yang kemudian tiap *cell* ini akan terbagi kembali menjadi 8 *pixel* seperti yang ditampilkan oleh gambar 4.

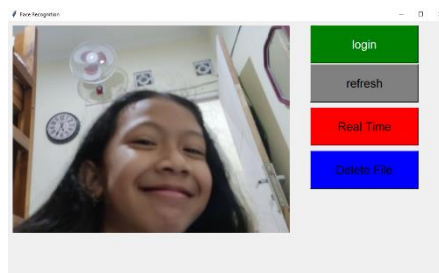
1.1. Rancangan Sistem

Tahap awal dari penelitian adalah mengumpulkan foto wajah dari orang yang akan mengakses gerbang yang terdapat pada tabel 1.

Tabel 1 Foto wajah orang yang mengakses gerbang

No	Nama	Foto
1	Alvin Decky Nayama	
2	Mirza Alfarizi Nayawa	
3	Rehvan Ziola Nayaga	
4	Nanang Winaryo Utomo	
5	Qyara Almera WU	

Pada penelitian ini menggunakan *library Tkinter* sebagai GUI (*Graphical User Interface*) antar muka untuk menampilkan tampilan halaman daftar, *delete file*, dan *realtime* seperti gambar 5. Kode dari GUI halaman dapat dilihat pada gambar 6. Penempatan tombol dan tampilan kamera diatur sedemikian untuk menampilkan tampilan yang menarik. Lokasi penempatan tampilan ini diatur dengan *place(x,y)* dimana setiap nilai yang dimasukan pada (x,y) akan mengubah lokasi penempatannya.



Gambar 5 Halaman penambahan wajah baru



Gambar 6 Kode GUI halaman penambahan wajah

Penggerak gerbang merupakan sebuah motor *stepper*. Motor *stepper* ini akan bergerak sesuai perintah dari *raspberrypi*. Ketika wajah yang terdeteksi cocok dengan *database* atau bernilai *true* seperti gambar 7(a) maka akan menjalankan fungsi *gerakmotor()*. Pada fungsi gerak motor akan terdapat sebuah *subprocess* yang berguna untuk memanggil program yang akan menggerakkan motor *stepper* berlawanan arah jarum jam untuk membuka gerbang seperti gambar 7(b).



Gambar 7 (a) Kode *face recognition realtime* (b) Kode menjalankan motor *stepper*

Gerbang dapat tertutup saat sensor *infrared* telah dilewati. Gerbang tertutup ketika nilai *counter* berjumlah lebih dari 1, nilai ini bertambah ketika ada yang melewati sensor *infrared* seperti gambar 8. Ketika *counter* bernilai lebih dari satu program *counter* akan berhenti karena terdapat *chip.close()* yang berguna untuk menghapus perintah pada *chip* dan setelah itu *subprocess* akan menjalankan program *stepper* untuk menutup. Program *counter* bertujuan agar gerbang tidak tertutup ketika nilai pada sensor *infrared* bernilai *low* atau ketika ada orang maupun kendaraan didepan *infrared*. Pada semua program terdapat *chip.close()* dan *windows.destroy()* berguna untuk mematikan program yang sedang berjalan agar tidak terjadi *crash* ketika program lain berjalan.

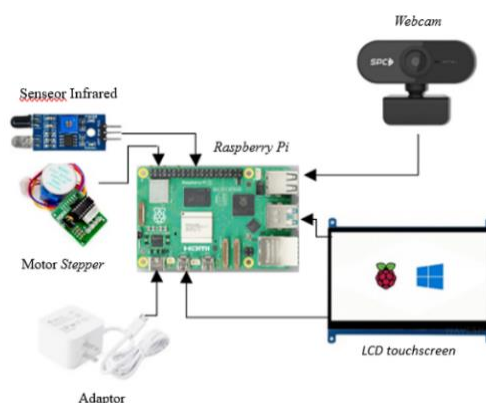


Gambar 8 Kode counter

1.2. Rancangan Alat

Dalam rancangan perangkat keras akan terdapat penjelasan mengenai bentuk dari alat yang dihasilkan dari penelitian. Gerbang akan bergerak sesuai dengan perintah dari *raspberry*, dan sebelum gerbang dapat bergerak secara otomatis maka dibutuhkan sebuah data wajah pada *database*. Data wajah dapat ditambahkan dengan menggunakan *interface* berupa *LCD touchscreen* yang terhubung dengan *raspberry* melalui kabel *HDMI (High-Definition Multimedia Interface)*.

Pada alat ini selain terdapat *raspberry* dan *LCD touchscreen*, terdapat juga motor *stepper* yang berfungsi sebagai penggerak gerbang. Ketika wajah terdeteksi dan sesuai dengan yang tersimpan maka motor *stepper* akan bergerak untuk membuka atau menutup gerbang. Gambar yang ditangkap oleh sistem akan diterima dari sebuah *webcam* yang terhubung dengan *port USB (Universal Serial Bus)* pada *raspberry*, terdapat pula sebuah sensor *infrared* yang berfungsi sebagai *input* motor *stepper* untuk menutup gerbang. Bentuk dari skematik alat ini dapat terlihat pada gambar 9.



Gambar 9 Skematik alat sistem *face recognition*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

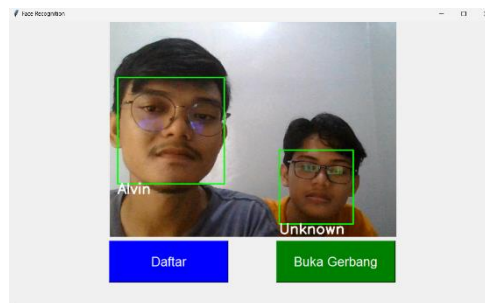
3.1 Perancangan Alat

Perancangan alat dapat disesuaikan dengan rancangan yang telah dibuat mulai dari penyesuaian komponen dan penyambungan kabel agar komponen dapat berfungsi sesuai dengan yang direncanakan. Adapun hasil perancangan alat secara konstruksi dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10 Implementasi alat

3.2 Pengujian Sistem *Realtime*



Gambar 11 Halaman *realtime*

Pada gambar 11 dapat terlihat apabila data wajah tidak tersedia pada *database* maka orang yang ada dikamera akan terdeteksi sebagai *unknown*, apabila wajah orang tersebut ada pada *database* maka akan keluar nama yang dimasukan saat mendaftarkan wajah seperti yang terlihat pada gambar 17. Tombol “Buka Gerbang” pada halaman *realtime* berfungsi untuk membuka gerbang dari dalam rumah. Pada halaman *realtime* terdapat pilihan menu “Daftar” yang berguna untuk membuka menu pendaftaran wajah baru seperti yang terlihat pada gambar 14.

Saat wajah yang tertangkap oleh kamera sesuai dengan gambar wajah yang tersedia pada *database* maka gerbang terbuka seperti pada gambar 12. Gerbang dapat tertutup sendiri saat sensor *infrared* telah dilewati seperti pada gambar 13. Penggerak gerbang merupakan sebuah motor *stepper*, gerbang akan berhenti bergerak apabila nilai pulsa yang diterima motor *stepper* sudah terpenuhi.

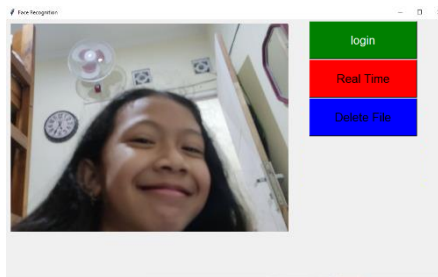


Gambar 12 Gerbang terbuka



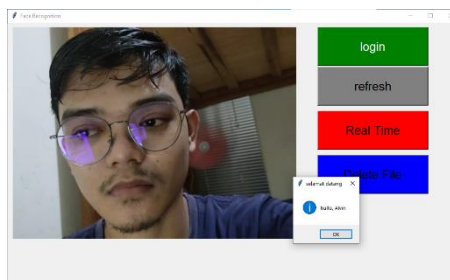
Gambar 13 Gerbang tertutup

3.3 Pengujian Sistem Pendaftaran Wajah Baru Dan Sistem *Delete File*

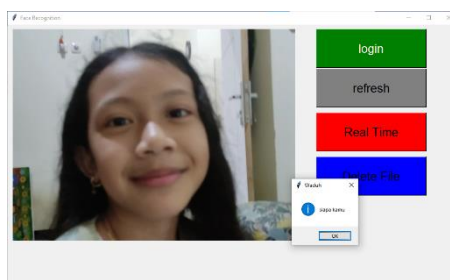


Gambar 14 Halaman awal pendaftaran

Pendaftaran wajah baru berguna untuk mempermudah menambahkan wajah baru untuk mengakses gerbang. Pada gambar 14 merupakan halaman awal yang terdapat empat pilihan menu dimana setiap menu memiliki fungsinya masing-masing. Menu pertama *login* merupakan menu yang berguna untuk menambahkan wajah baru, untuk mengakses menu ini dibutuhkan wajah orang yang sudah terdaftar terlebih dahulu karena dibutuhkan verifikasi wajah. Menu kedua *realtime* berguna untuk mengakses gerbang seperti yang ditampilkan gambar 14. Menu ketiga terdapat menu *delete file* berguna untuk menghapus *file* foto yang tidak dibutuhkan lagi untuk tampilan menu dapat dilihat pada gambar 21.

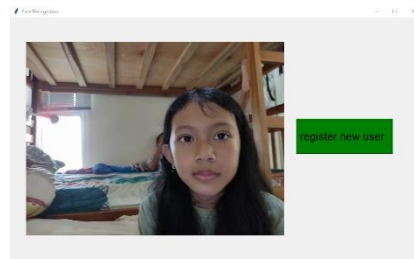


Gambar 15 *Popup* wajah diketahui

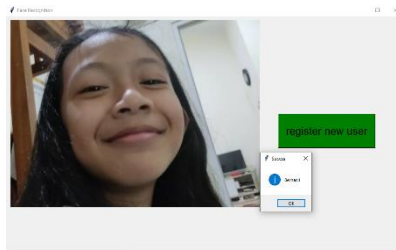


Gambar 16 *Popup* wajah tidak diketahui

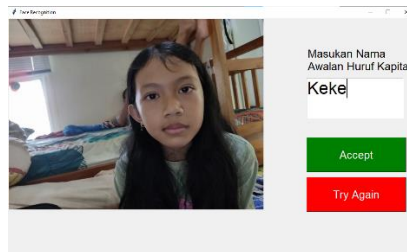
Pada gambar 15 merupakan gambar setelah mengakses menu *login* dan akses diterima oleh sistem dengan *popup* “Hallo, Nama”. Ketika akses ditolak oleh sistem maka akan muncul dengan *popup* “Siapa kamu” seperti gambar 16.



Gambar 17 Halaman untuk memotret wajah

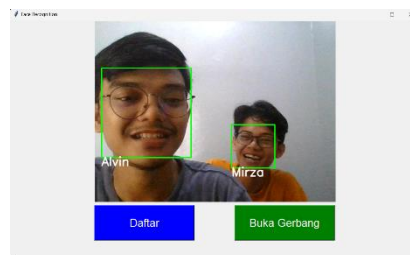


Gambar 18 Halaman memasukan nama pemilik wajah



Gambar 19 *Popup* pendaftaran berhasil

Ketika akses diterima maka muncul tampilan seperti gambar 17 yang berfungsi untuk memotret wajah baru dengan menekan *register new user*. Setelah itu secara otomatis muncul tampilan seperti gambar 18 yang akan menampilkan foto hasil pemotretan gambar 17 pada halaman ini juga terdapat *text box* untuk memasukan nama pemilik wajah. Apabila dirasa foto kurang bagus bisa menekan *try again* untuk kembali ke tampilan gambar 17. Ketika nama dan wajah sudah benar maka diperlukan menekan *Accept* setelah itu muncul *popup* “Berhasil” sebagai tanda bahwa gambar wajah telah tersimpan pada *database* seperti gambar 19. Nama ini berfungsi sebagai pengenalan pada *face recognition realtime* seperti pada gambar 14 dari bernama “unknown” akan menjadi nama sesuai dengan yang dimasukan pada *text box* seperti gambar 20.

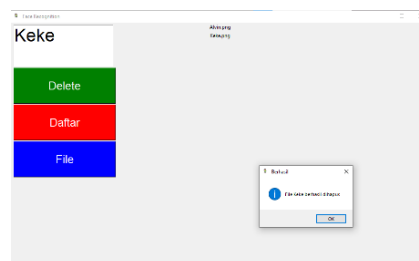


Gambar 20 Halama *realtime* saat kedua wajah dikenal

Gambar 21 merupakan tampilan untuk melakukan penghapusan *file* gambar. Ketika gambar tersebut sudah tidak dibutuhkan lagi. Saat ingin menghapus *file* hanya perlu memasukkan nama pada *text box* seperti gambar 22 lalu menekan tombol *delete* maka *file* terhapus dengan tanda *popup* “*File* nama berhasil di hapus” seperti gambar 22. Apabila nama *file* pada *database* yang ingin dihapus tidak diketahui cukup menekan tombol *file* maka akan tampil *file* yang tersimpan seperti Gambar 22 pada kanan *text box* akan tampil *file* yang tersimpan seperti “Alvin.png”.



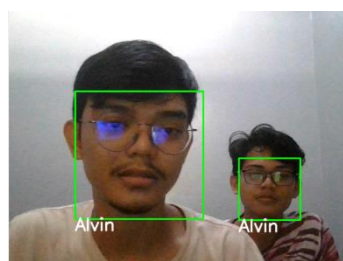
Gambar 21 Halama awal penghapus *file* yang tidak dibutuhkan



Gambar 22 *Popup* jika penghapusan *file* berhasil

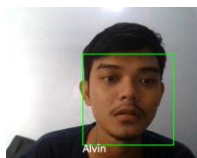
3.4 Hasil Pengujian sistem

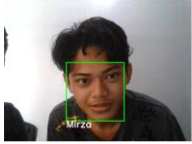
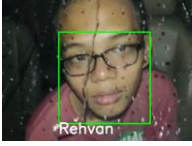
Terdapat beberapa pengujian yang dilakukan seperti pengujian dengan satu wajah, pengujian dengan posisi tertentu, pengujian dengan jarak tertentu, pengujian saat di kendaraan, dan pengujian dengan banyak wajah. Pengujian ini dilakukan dengan nilai toleransi tingkat kemiripan di 0.4. Ketika menggunakan nilai *default* (0.6) pada wajah Alvin, Mirza, dan Rehvan dianggap wajah yang sama seperti gambar 20.



Gambar 20 *realtime* dengan nilai toleransi 0.6

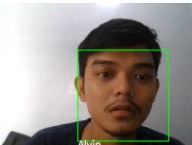
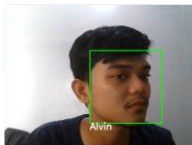
Tabel 2 Pengujian dengan satu wajah

No	Nama	Foto	Keterangan
1	Alvin Decky Nayama		Dikenali

2	Mirza Alfarizi Nayawa		Dikenali
3	Rehvan Ziola Nayaga		Dikenali
4	Nanang Winaryo Utomo		Dikenali
5	Qyara Almera WU		Dikenali

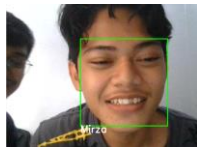
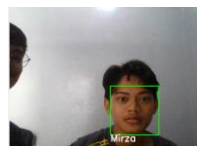
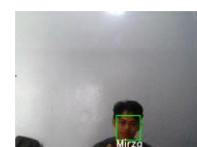
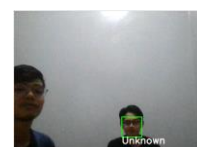
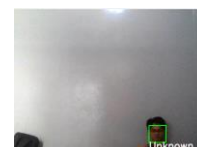
Pada tabel 2 dilakukan pengujian dengan dua data setiap wajah pada jarak 20 hingga 50 cm. Pada hasil pengujian dengan satu wajah terkadang terdapat *error* pada Alvin, Mirza, dan Rehvan dimana dianggap orang yang sama walaupun nilai toleransi 0.4.

Tabel 3 Pengujian dengan posisi tertentu

No	Posisi wajah	Foto	Keterangan
1	Menghadap kamera		Dikenali
2	Menghadap kanan		Dikenali
3	Menghadap kiri		Dikenali
4	Menghadap atas		Tidak dikenali

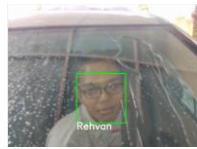
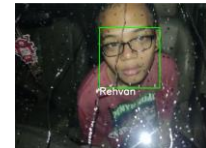
Pada tabel 3 pengujian dengan posisi tertentu ketika menghadap kamera sistem dapat membaca dengan benar begitu pula ketika menghadap kanan dan kiri. Ketika menghadap ke atas sistem tidak dapat mengenali karena lekuk wajah tidak terekspos kamera.

Tabel 4 Pengujian dengan jarak tertentu

No	Posisi wajah	Foto	Keterangan
1	20 cm		Dikenali
2	50 cm		Dikenali
3	100 cm		Dikenali
4	150 cm		Dikenali
5	200 cm		Tidak dikenali
6	250 cm		Tidak dikenali

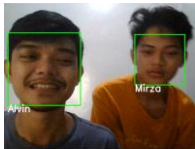
Pada tabel 4 akan mengukur jarak efektif pembacaan sistem. Pada penelitian ini sistem dapat membaca wajah dengan jarak terjauh 150cm, jarak pembacaan dapat berubah tergantung dengan kualitas kamera yang digunakan.

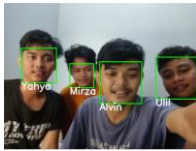
Tabel 5 Pengujian saat dikendaraan

No	Kondisi	Foto	Keterangan
1	Siang		Dikenali
2	Siang saat hujan		Dikenali
3	Malam		Dikenali
4	Malam saat hujan		Dikenali

Pada pengujian saat dikendaraan sistem dapat mendeteksi wajah dengan benar ketika jendela kering seperti pada tabel 5. Pada saat jendela basah terkena hujan sistem kesulitan mendeteksi wajah sehingga pembacaan wajah akan memakan waktu yang lebih lama dari pada saat pembacaan dengan kondisi kering. Ketika malam hari pencahayaan disekitar kamera harus terang agar sistem dapat membaca wajah apabila pencahayaan kurang sistem tidak bisa mendeteksi wajah.

Tabel 6 Pengujian dengan banyak wajah

No	Kondisi	Foto	Keterangan
1	Dua wajah		Dikenali sebagai Mirza (benar) dan Alvin (benar)
2	Tiga wajah		Dikenali sebagai Mirza (benar), Alvin (benar) dan Ulil (benar)

3	Empat wajah		Dikenali sebagai Mirza (benar), Alvin (benar), Ulil (benar), dan Yahya (benar)
4	Lima wajah		Dua tidak dikenali, Dua dikenali sebagai Alvin (benar), Ulil (benar), Juwandito (benar)

Pada tabel 6 akan menguji dengan banyak wajah. Pada pengujian banyak wajah ini dapat dikenali dengan baik. Saat wajah yang dicek semakin banyak, maka sistem akan mengeluarkan hasil pembacaan lebih lama dari pada satu wajah. Pembacaan yang lama ini karena ketika wajah semakin banyak maka beban pada prosesor akan semakin besar. Tingkat keakurasian gambar tergantung pada jenis kamera yang digunakan. Ketika kamera yang digunakan jernih maka hasil pembacaan akan sangat baik seperti pada tabel 6 gambar 1,2, dan 3, sedangkan ketika kualitas kamera tidak terlalu bagus sistem akan kesulitan mengidentifikasi wajah seperti gambar 4 pada tabel 6..

4. PENUTUP

Berdasarkan dari hasil penelitian maka sistem gerbang otomatis dengan *face recognition* ini telah berkerja dengan baik. Pada penelitian ini untuk membuka dan menutup gerbang menggunakan sebuah motor *stepper*. Motor *stepper* akan bergerak berlawanan arah jarum jam saat wajah yang tertangkap oleh kamera sesuai dengan gambar wajah yang terdapat pada *database* dan motor *stepper* bergerak searah jarum jam saat sensor *infrared* mendeteksi sebuah gerakan yang melewati sensor untuk menutup gerbang.

Sistem ini memiliki beberapa fitur seperti penambahan wajah baru yang berguna untuk menambahkan wajah baru yang tidak terdapat pada *database*. Fitur lainnya terdapat *delete file* untuk menghapus *file* yang sudah tidak diperlukan. Pada sistem ini terdapat beberapa kekurangan yang diharapkan pada penelitian berikutnya dapat diselesaikan. Pertama terdapat pada sensor *infrared* dimana sensor ini memiliki jarak yang pendek untuk dapat mendeteksi sebuah gerakan. Kedua pemrosesan data sistem ini terlalu berat sehingga prosesor pada *raspberry* akan sangat panas karena itu tidak baik jika digunakan terlalu lama. Ketiga saat sumber listrik mati sistem ini tidak dapat digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraeny, F. T., Rahmat, B., & Pratama, S. P. (2020). Deteksi Ikan Dengan Menggunakan Algoritma Histogram of Oriented Gradients. *Informatika Mulawarman : Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, 15(2), 114. <https://doi.org/10.30872/jim.v15i2.4648>
- Bao, Y., & Xu, W. (2024). Design and Implementation of a Fatigue Detection System Based on Dlib for Driver Facial Features. *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*, 381, 792–799. <https://doi.org/10.3233/FAIA231266>
- Benradi, H., Chater, A., & Lasfar, A. (2023). A hybrid approach for face recognition using a convolutional neural network combined with feature extraction techniques. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*, 12(2), 627–640. <https://doi.org/10.11591/ijai.v12.i2.pp627-640>
- Direktorat Statistik Ketahanan Sosial. (2021). Statistik Kriminal 2021. *Statistik Kriminal 2021*, 9–25.

- Ghaffari, S., Soleimani, P., Li, K. F., & Capson, D. W. (2020). Analysis and Comparison of FPGA-Based Histogram of Oriented Gradients Implementations. *IEEE Access*, 8, 79920–79934. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2989267>
- Hahnle, M., Saxen, F., Hisung, M., Brunsmann, U., & Doll, K. (2013). FPGA-Based real-time pedestrian detection on high-resolution images. *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*, 629–635. <https://doi.org/10.1109/CVPRW.2013.95>
- Liu, X., Qi, P., Siarry, P., Hua, D., Ma, Z., Guo, X., Kochan, O., & Li, Z. (2023). Mining security assessment in an underground environment using a novel face recognition method with improved multiscale neural network. *Alexandria Engineering Journal*, 80, 217–228. <https://doi.org/10.1016/J.AEJ.2023.07.079>
- Yang, Y., & Fan, F. (2023). Ancient thangka Buddha face recognition based on the Dlib machine learning library and comparison with secular aesthetics. *Heritage Science*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s40494-023-00983-8>