

Rancang Bangun Keamanan Pintu Rumah Berbasis Pengenalan Wajah Menggunakan Modul ESP32-CAM

Kholiq Fajar
Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Purwokerto, Indonesia
19107007@ittelkom-pwt.ac.id

Yulian Zetta Maulana
Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Purwokerto, Indonesia
yulian@ittelkom-pwt.ac.id

Fikra Titan Syifa
Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Purwokerto, Indonesia
fikra@ittelkom-pwt.ac.id

Abstrak - Tingginya angka kejahatan di lingkungan perumahan mendorong penggunaan sistem keamanan berbasis teknologi. Penelitian ini merancang sistem keamanan pintu rumah berbasis pengenalan wajah menggunakan modul ESP32-CAM dengan metode *Haar Cascade* dan algoritma *Viola-Jones*. Sistem ini menghilangkan kebutuhan akan kunci fisik dan diuji berdasarkan variasi sudut pandang, jarak, pencahayaan, serta kondisi *indoor* dan *outdoor*. Hasil menunjukkan bahwa sistem bekerja optimal pada sudut 90° dan jarak 10–70 cm. Sistem tetap dapat berfungsi dengan baik pada sudut miring, jarak menengah, dan pencahayaan redup, meskipun akurasi sedikit menurun. Dalam seluruh pengujian terhadap wajah yang tidak terdaftar, sistem berhasil menolak akses dengan akurasi 100%.

Kata Kunci: pengenalan wajah, ESP32-CAM, *Haar Cascade*, *Viola-Jones*, keamanan pintu rumah.

I. PENDAHULUAN

Keamanan rumah merupakan aspek penting dalam kehidupan modern, terutama dengan meningkatnya angka kriminalitas di lingkungan perumahan. Metode konvensional seperti penggunaan kunci fisik rentan terhadap pencurian dan kehilangan [1]. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem keamanan yang lebih canggih dan efisien. Salah satu pendekatan modern yang potensial adalah penggunaan teknologi pengenalan wajah sebagai sistem autentikasi akses [2]. Studi ini memanfaatkan modul ESP32-CAM sebagai perangkat mandiri yang mampu melakukan deteksi dan pengenalan wajah secara langsung. Sistem ini tidak memerlukan perangkat eksternal lain seperti PC atau *cloud server*, sehingga lebih sederhana dan hemat biaya. Pengujian dilakukan terhadap beberapa variabel seperti sudut pengambilan wajah, jarak, pencahayaan, serta kondisi dalam dan luar ruangan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian [3] menggunakan pengenalan wajah berbasis *Convolutional Neural Network (CNN)* sebagai keamanannya. Dari total gambar wajah 875 yang dibagi menjadi lima kelas dengan data pelatihan 656 (75%) dan data pengujian 219 (25%) menghasilkan akurasi proses pelatihan 100% dan hilang 0,18%. Penelitian [4] menggunakan pengenalan wajah berbasis raspberry pi 3 B+ dengan metode *Fisherface*, memiliki tingkat akurasi sekitar 85% yang mengklasifikasikan warna kulit. Penelitian [5] menggunakan pemanfaatan *Internet of Things (IoT)* dan MQTT sebagai pemantau jarak jauh melalui aplikasi Telegram, ESP8266 sebagai mikrokontrolernya, dan motor servo untuk penggerak *automatic gate*. Dari 10 percobaan, terdapat 70% keberhasilan, 30% kegagalan. Penelitian [6] menggunakan pemanfaatan pengenalan wajah menggunakan ESP32-CAM dan IoT dengan aplikasi Telegram. Nilai akurasi yang dihasilkan sebesar 90% dari 5 pengujian objek, memiliki *delay* rata-rata 11.60 detik dalam

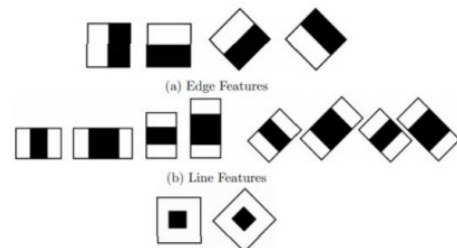
pengiriman informasi ke Telegram. Penelitian [7] menggunakan pendeteksian wajah menggunakan metode *Viola Jones* dan *Local Binary Pattern Histogram* sebagai pendeteksiannya yang diimplementasikan pada CCTV menggunakan *library* OpenCV dan python *library* OpenCV, memiliki akurasi hampir 100%. Penelitian [8] menggunakan ESP32-CAM sebagai pengambilan gambar yang dan sensor PIR sebagai pendeteksi pergerakan yang mampu mendeteksi hingga jarak tiga meter. Efektivitas penangkapan gambar atau sensor PIR yang dapat deteksi di jarak 0–300cm. Penelitian [9] menggunakan pemanfaatan sensor MLX90614 sebagai sensor suhu, ESP32-CAM dan Arduino Pro Mini sebagai mikrokontrolernya, memiliki akurasi sebesar 99,6%. Penelitian [10] menggunakan *webcam* dan menerapkan metode LBPH (*Local Binary Pattern Histogram*) sebagai pengubah sampel gambar wajah, memiliki akurasi 85,32% dengan jarak 30cm. Penelitian [11] menggunakan algoritma *fuzzy* dengan metode *mamdani* mengatasi kelemahan dalam pencahayaan. Hasil penerapan algoritma *fuzzy* dapat meningkatkan kontras cahaya pada ESP32-CAM. Penelitian [12] menggunakan sidik jari dan *keypad* sebagai autentifikasi keamanan pintu. Sistem keamanan ini berfungsi dengan baik menggunakan berbagai komponen, serta bisa juga dikontrol melalui aplikasi *Blynk*. Penelitian [13] menggunakan ESP32, *Blynk*, sensor suhu DT11, sensor RFID, dan *buzzer* sebagai alarm peringatan terhadap pemaksaan dalam membuka pintu. Dari 10 percobaan pada setiap sensor tidak terdapat kesalahan saat mengakses *doorlock system*.

1. Pengenalan Wajah

Pengenalan wajah merupakan teknologi biometrik yang menggunakan fitur wajah manusia untuk proses identifikasi. Sistem ini bekerja dengan menganalisis struktur wajah seperti mata, hidung, dan mulut, kemudian membandingkannya dengan data wajah yang telah tersimpan [14].

2. *Haar Cascade* dan Algoritma *Viola-Jones*

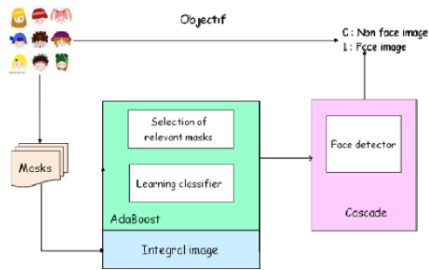
Metode *Haar Cascade* menggunakan fitur berbasis perbedaan intensitas piksel (*Haar-like features*) untuk mendeteksi objek.



GAMBAR 1.

HAAR-LIKE FEATURE [15]

Untuk mempercepat deteksi, *Viola-Jones* menerapkan algoritma *Adaboost* dan struktur *cascade classifier*, yang memungkinkan proses pendeteksian cepat dan efisien [16].



GAMBAR 2.

ALUR ALGORITMA VIOLA-JONES [17]

Dalam implementasi *Haar Cascade*, Adaboost berperan dalam memilih fitur-fitur paling relevan dari ribuan fitur Haar yang tersedia. Setelah pelatihan, fitur-fitur yang dipilih oleh Adaboost diatur dalam bentuk *cascade* (bertahap) [18].

3. Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan komputer kecil yang dibuat untuk melaksanakan tugas tertentu dalam aplikasi elektronik [19]. ESP32-CAM merupakan modul mikrokontroler berbasis ESP32 yang dilengkapi kamera dan konektivitas Wi-Fi. Modul ini memungkinkan pengolahan dan pengiriman data visual secara mandiri, mendukung pemrograman berbasis Arduino IDE [20].

4. Solenoid Doorlock

Solenoid doorlock merupakan aktuator elektromagnetik yang digunakan untuk membuka dan menutup kunci pintu secara elektronik [21].

5. Relay

Relay adalah komponen elektronik berupa saklar dengan arus listrik sebagai pengendalinya. Terdapat berbagai jenis *relay*, di antaranya *relay* elektromagnetik, *solid state relay* (SSR), dan *relay* waktu (timer *relay*) [22].

6. Semikonduktor

Semikonduktor adalah material yang mampu menghantarkan listrik melalui pergerakan elektron dengan tingkat yang berada di antara konduktor dan isolator [23].

7. Baterai

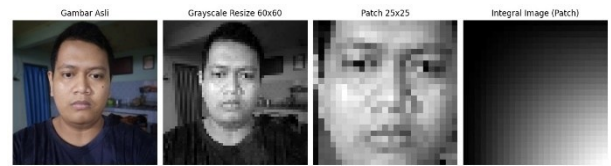
Baterai adalah alat yang terdiri dari beberapa sel elektrik yang mampu menampung energi dan mengubahnya menjadi energi listrik [24]. Baterai *lithium-ion* melibatkan pergerakan ion litium dari anoda ke katoda saat pelepasan energi (*discharging*), dan sebaliknya saat pengisian daya (*charging*). Reaksi redoks yang terjadi bersifat *reversible* [25].

III. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan *eksperimen* dengan merancang dan menguji sistem keamanan pintu rumah berbasis pengenalan wajah menggunakan modul *ESP32-CAM*. Perangkat keras yang digunakan mencakup *ESP32-CAM* sebagai inti pemrosesan citra, *relay module* untuk mengendalikan *solenoid doorlock*, serta *buzzer* dan LED sebagai indikator. Sistem dikembangkan dengan bantuan *Arduino IDE* dan algoritma *Haar Cascade* untuk deteksi wajah, karena metode ini efisien dalam hal kecepatan dan penggunaan sumber daya, sesuai dengan keterbatasan perangkat. Data wajah yang pengguna direkam dan disimpan secara lokal pada sistem. Pengujian dilakukan terhadap beberapa variabel, meliputi sudut pandang (45°, 90°, 135°), jarak antara wajah dan kamera (10–150 cm), intensitas pencahayaan (terang dan redup), serta lingkungan pengujian (*indoor* dan *outdoor*). Sistem juga diuji terhadap wajah yang terdaftar dan tidak terdaftar guna mengevaluasi akurasi dan keandalan dalam memberikan akses secara tepat.

IV. HASIL DAN ANALISA

1. Hasil Pengolahan Citra Wajah



GAMBAR 3.

HASIL PENGOLAHAN CITRA WAJAH

Gambar 3 memperlihatkan alur transformasi citra dalam proses deteksi wajah menggunakan algoritma *Haar Cascade*, yang secara sistematis menyederhanakan data untuk mempercepat dan mempermudah identifikasi objek. Pada Gambar 4 merupakan representasi numerik dari sebuah *patch* citra *grayscale* dalam bentuk matriks. Setiap angka pada matriks tersebut menunjukkan tingkat keabuan dari piksel, dengan rentang nilai antara 0 (hitam) hingga 255 (putih).

40	23	28	65	139	154	163	169	167	166	157	154	147	157	157	142	146	141	130	125	119	107	83	70	33
42	32	30	85	139	156	160	169	179	175	166	161	158	153	154	153	151	148	141	131	122	103	84	81	46
48	38	45	101	140	156	164	179	193	187	188	176	169	165	165	170	167	159	157	138	123	104	87	83	57
58	26	47	130	145	150	139	156	155	177	181	174	165	166	176	175	171	160	151	140	133	109	91	83	68
64	30	73	132	122	130	140	107	101	82	96	121	141	162	162	148	140	148	123	99	103	87	80	86	81
69	28	109	134	130	147	168	170	143	128	117	110	128	154	138	119	98	74	68	98	103	85	68	63	83
159	32	127	146	138	118	152	169	152	96	105	114	143	151	124	92	81	126	133	152	137	122	85	78	91
133	63	141	158	139	85	95	36	32	119	72	119	163	178	123	75	155	96	99	36	85	79	72	83	94
173	69	143	156	145	130	146	130	64	139	128	152	174	176	124	93	121	120	165	27	69	51	61	92	98
156	53	150	152	151	152	159	159	165	156	161	174	185	182	132	103	142	158	129	121	101	81	89	98	95
176	131	161	165	175	167	174	182	160	172	177	183	177	179	138	103	131	143	154	147	136	125	118	104	99
115	172	158	173	195	203	179	174	185	187	186	171	181	179	148	109	115	142	156	150	161	160	141	118	109
60	167	164	178	192	208	192	184	181	193	164	170	188	190	157	103	87	166	163	160	175	172	120	119	112
56	155	163	181	190	206	198	198	195	167	177	192	194	204	162	116	132	109	178	170	170	161	140	120	102
47	150	165	170	185	193	189	192	177	164	182	162	163	171	139	117	162	108	133	176	165	155	135	108	98
45	166	153	172	180	187	182	177	177	192	143	152	189	131	107	118	158	115	129	174	166	149	126	104	98
41	151	148	165	174	177	184	180	184	184	171	178	180	173	159	130	125	140	167	169	157	145	120	102	86
39	72	149	160	172	172	177	178	183	182	168	177	175	161	155	125	118	133	154	157	151	125	110	97	73
72	142	167	168	174	174	171	162	162	177	158	119	146	103	104	105	120	123	141	132	125	102	93	85	85
33	79	84	161	159	171	173	164	145	144	100	111	108	108	101	76	75	121	120	119	126	112	96	84	54
35	86	90	147	165	162	173	149	140	120	158	163	174	129	148	128	100	111	122	110	119	101	91	70	56
33	84	89	117	156	159	156	145	151	140	137	142	146	133	132	100	93	100	110	119	105	94	87	84	85
30	88	90	91	145	154	152	152	150	155	142	127	112	123	117	116	113	111	103	109	89	82	66	81	85
29	83	86	90	128	147	151	158	155	156	157	165	166	161	145	134	117	107	97	96	86	72	101	106	113
29	88	83	87	95	131	143	150	147	157	171	168	162	148	143	119	108	87	79	79	63	25	97	93	

GAMBAR 3.

HASIL PERHITUNGAN MATRIKS 25X25 PIKSEL (PATCH)

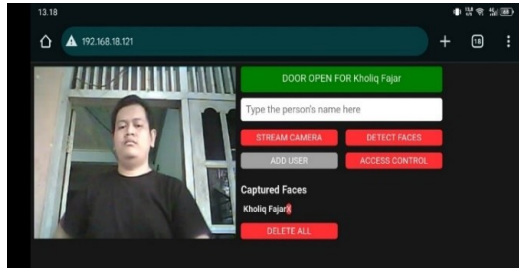
Gambar 4 adalah hasil transformasi dari citra *patch grayscale* menjadi *integral image* untuk mempercepat komputasi visual.

152	154	156	157	159	160	162	164	165	167	169	170	172	173	175	177	178	180	182	183	185	186	188	189	191
309	313	317	320	324	327	331	335	338	342	346	349	353	356	360	364	367	371	375	378	382	385	389	392	396
467	472	478	483	489	494	500	506	511	517	523	528	534	539	545	551	556	562	568	573	579	584	590	595	601
626	632	639	645	652	658	665	672	678	685	692	698	705	711	718	725	731	738	745	751	758	764	771	777	784
782	789	797	804	812	819	827	835	842	850	858	865	873	880	888	896	903	911	919	926	934	941	949	956	964
940	948	957	965	974	982	991	1000	1008	1017	1026	1034	1043	1051	1060	1069	1077	1086	1095	1103	1112	1120	1129	1137	1146
1097	1106	1116	1125	1135	1144	1154	1164	1173	1183	1193	1202	1212	1221	1231	1241	1250	1260	1270	1280	1290	1300	1310	1327	
1255	1265	1276	1286	1297	1307	1318	1329	1339	1350	1361	1371	1382	1392	1403	1414	1424	1435	1446	1456	1467	1477	1488	1499	1509
1414	1425	1437	1448	1460	1471	1483	1495	1506	1518	1530	1541	1553	1564	1576	1588	1599	1611	1623	1634	1646	1657	1668	1681	1692
1574	1586	1599	1611	1624	1636	1649	1662	1674	1687	1700	1712	1725	1737	1750	1763	1775	1788	1801	1813	1826	1838	1851	1864	1876
1735	1748	1762	1775	1789	1802	1816	1830	1843	1857	1871	1884	1898	1911	1925	1939	1952	1966	1980	1993	2007	2020	2034	2048	2061
1897	1911	1926	1940	1955	1969	1984	1999	2013	2028	2043	2057	2072	2086	2101	2116	2130	2145	2160	2174	2189	2203	2218	2233	2247
2060	2075	2091	2106	2122	2137	2153	2169	2184	2200	2216	2231	2247	2262	2278	2294	2309	2325	2341	2356	2372	2387	2403	2419	2434
2224	2240	2257	2273	2290	2306	2323	2340	2356	2373	2390	2406	2423	2439	2456	2473	2489	2506	2523	2539	2556	2572	2589	2606	2622
2380	2406	2424	2441	2459	2476	2494	2512	2529	2547	2565	2582	2600	2617	2635	2653	2670	2688	2706	2723	2741	2758	2776	2794	2811
2555	2573	2592	2610	2629	2647	2666	2685	2703	2722	2741	2759	2778	2796	2815	2834	2852	2871	2890	2908	2927	2945	2964	2983	3001
2722	2741	2761	2780	2800	2819	2839	2859	2878	2898	2918	2937	2957	2976	2996	3016	3035	3055	3075	3094	3114	3133	3153	3173	3193
2890	2910	2931	2951	2972	2992	3013	3034	3054	3075	3096	3116	3137	3157	3178	3199	3219	3240	3261	3281	3302	3322	3343	3364	3384
3059	3080	3102	3123	3145	3166	3188	3210	3231	3253	3275	3296	3318	3339	3361	3383	3404	3426	3448	3469	3491	3512	3534	3556	3577
3229	3251	3274	3296	3319	3341	3364	3387	3409	3432	3455	3477	3500	3522	3545	3568	3590	3613	3636	3658	3681	3703	3726	3749	3771
3400	3423	3447	3470	3494	3517	3541	3565	3588	3612	3636	3659	3683	3706	3730	3754	3777	3801	3825	3848	3872	3895	3919	3943	3966
3572	3596	3621	3645	3670	3694	3719	3744	3768	3793	3818	3842	3867	3891	3916	3941	3965	3990	4015	4039	4064	4088	4113	4138	4162
3745	3770	3796	3821	3847	3872	3898	3924	3949	3975	4001	4026	4052	4077	4103	4129	4154	4180	4206	4231	4257	4282	4308	4334	4359
3919	3945	3972	3998	4025	4051	4078	4105	4131	4158	4185	4211	4238	4264	4291	4318	4344	4371	4398	4424	4451	4477	4504	4531	4557
4094	4121	4149	4176	4204	4231	4259	4287	4314	4342	4370	4397	4425	4453	4480	4508	4535	4563	4591	4618	4646	4673	4701	4729	4757

2. Hasil Deteksi Wajah Terdaftar



GAMBAR 5.
PENDETEKSIAN WAJAH USER



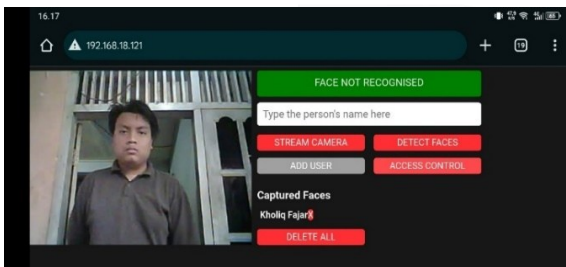
GAMBAR 6.
PEMBERIAN AKSES TERHADAP USER

Sistem berhasil mengenali subjek melalui kamera ESP32-CAM, yang ditandai dengan dibukanya akses pintu. Tampilan hasil ini didapat melalui *browser* dengan mengakses alamat IP lokal dari ESP32-CAM pada jaringan WiFi.

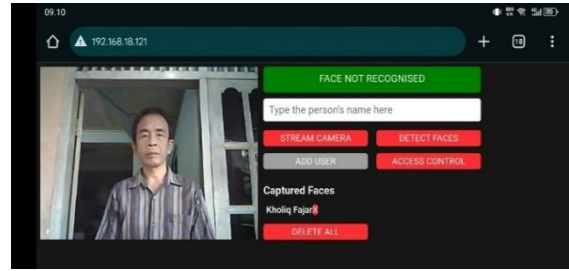


GAMBAR 7.
PROTOTYPE MEMBUKA KUNCI

3. Hasil Deteksi Wajah Tidak Terdaftar (*Intruder*)



GAMBAR 8.
DETEKSI INTRUDER 1



GAMBAR 9.
DETEKSI INTRUDER 2



GAMBAR 10.
PROTOTYPE TIDAK MEMBUKA KUNCI

4. Hasil Pengujian Sudut

Pengujian sudut ini dilakukan pada lingkungan *outdoor* maupun *indoor* dan diukur dari jarak 50 cm. Pengujian sudut dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem keamanan pintu rumah berbasis pengenalan wajah menggunakan modul ESP32-CAM dari berbagai sudut pandang.

TABEL 1.
HASIL PENGUJIAN SUDUT

Subjek	Sudut	Dikenali	Tidak Dikenali	Akurasi
Terdaftar	45°	8	2	80%
	90°	10	0	100%
	135°	9	1	90%
Intruder 1	45°	0	10	100%
	90°	0	10	100%
	135°	0	10	100%
Intruder 2	45°	0	10	100%
	90°	0	10	100%
	135°	0	10	100%

5. Hasil Pengujian Jarak

Pengujian ini dilakukan dengan rentang jarak 10 cm hingga 150 cm. Pengujian jarak bertujuan mengevaluasi kinerja sistem keamanan pintu rumah berbasis pengenalan wajah menggunakan modul ESP32-CAM dalam mengenali wajah dari berbagai jarak.

TABEL 2.
HASIL PENGUJIAN JARAK

Jarak (cm)	Subjek								
	Terdaftar			Intruder 1			Intruder 2		
	dikena li	tidak dikena li	akuras i	dikena li	tidak dikena li	akuras i	dikena li	tidak dikena li	aku rasi

10	10	0	100%	0	10	100%	0	10	100%
20	10	0	100%	0	10	100%	0	10	100%
30	10	0	100%	0	10	100%	0	10	100%
40	10	0	100%	0	10	100%	0	10	100%
50	10	0	100%	0	10	100%	0	10	100%
60	10	0	100%	0	10	100%	0	10	100%
70	10	0	100%	0	10	100%	0	10	100%
80	8	2	80%	0	10	100%	0	10	100%
90	9	1	90%	0	10	100%	0	10	100%
100	6	4	60%	0	10	100%	0	10	100%
110	1	9	10%	0	10	100%	0	10	100%
120	0	10	0%	0	10	100%	0	10	100%
130	0	10	0%	0	10	100%	0	10	100%
140	0	10	0%	0	10	100%	0	10	100%
150	0	10	0%	0	10	100%	0	10	100%

6. Hasil Pengujian Intensitas Cahaya

Pengujian intensitas cahaya ini dilakukan dengan jarak objek terhadap alat sejauh 50cm.

Tabel 3. Hasil Pengujian Intensitas Cahaya

Subjek	Intensitas Cahaya	Dikenali	Tidak Dikenali	Akurasi
Terdaftar	Terang	10	0	100%
	Redup	10	0	100%
Intruder 1	Terang	0	10	100%
	Redup	0	10	100%
Intruder 2	Terang	0	10	100%
	Redup	0	10	100%

7. Hasil Pengujian Indoor dan Outdoor

Pengujian ini bertujuan untuk menilai kemampuan sistem dalam mendeteksi wajah di dalam dan di luar ruangan.

TABEL 4.
HASIL PENGUJIAN INDOOR

Subjek	Waktu	Dikenali	Tidak Dikenali	Akurasi
Terdaftar	Pagi	10	0	100%
	Siang	10	0	100%
	Sore	10	0	100%
	Malam	10	0	100%
Intruder 1	Pagi	0	10	100%
	Siang	0	10	100%
	Sore	0	10	100%
	Malam	0	10	100%
Intruder 2	Pagi	0	10	100%
	Siang	0	10	100%

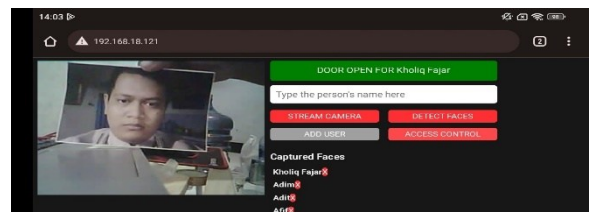
	Sore	0	10	100%
	Malam	0	10	100%

TABEL 5.
HASIL PENGUJIAN OUTDOOR

Subjek	Waktu	Dikenali	Tidak Dikenali	Akurasi
Terdaftar	Pagi	10	0	100%
	Siang	10	0	100%
	Sore	10	0	100%
	Malam	10	0	100%
Intruder 1	Pagi	0	10	100%
	Siang	0	10	100%
	Sore	0	10	100%
	Malam	0	10	100%
Intruder 2	Pagi	0	10	100%
	Siang	0	10	100%
	Sore	0	10	100%
	Malam	0	10	100%

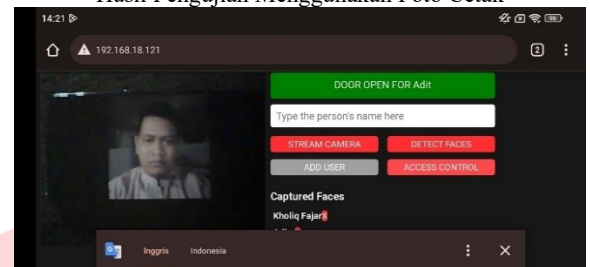
8. HASIL PENGUJIAN MENGGUNAKAN FOTO

Pengujian ini dilakukan di dalam ruangan dan foto diletakkan pada jarak tertentu dari kamera.



Gambar 11.

Hasil Pengujian Menggunakan Foto Cetak



GAMBAR 12.

HASIL PENGUJIAN MENGGUNAKAN FOTO NON-CETAK

TABEL 5.
HASIL PENGUJIAN MENGGUNAKAN FOTO

Sumber	Jarak (cm)	Dikenali	Tidak Dikenali	Akurasi
Foto cetak	20	10	0	100%
	40	10	0	100%
	60	10	0	100%
	80	9	1	90%
	100	7	3	70%
Foto non-cetak	20	10	0	100%
	40	10	0	100%
	60	10	0	100%
	80	9	1	90%
	100	6	4	60%

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian sistem keamanan pintu rumah berbasis pengenalan wajah menggunakan modul ESP32-CAM, dapat disimpulkan bahwa sistem berhasil melakukan rangkaian pengolahan citra wajah dengan metode *Haar Cascade* dan algoritma *Viola-Jones*, mampu melakukan pengenalan wajah dengan keberhasilan 100% pada sudut pandang 90° dalam jarak 10–70 cm, serta mampu menolak akses bagi *intruder* (penyusup) dengan tingkat penolakan 100% dalam 10 kali pengulangan. Akurasi pengujian sudut memiliki nilai tertinggi pada 90° sebesar 100% dan menurun pada sudut 45° dan 135°, pengujian jarak memiliki akurasi 100% pada rentang 10–70 cm dan mengalami penurunan akurasi pada jarak yang melebihi 70 cm, sedangkan pengujian intensitas cahaya serta pengujian *indoor* dan *outdoor* memiliki akurasi 100% baik dalam mengenali wajah terdaftar maupun mendeteksi adanya *intruder*.

REFERENSI

- [1] Y. A. H. Prakoso and N. Pratiwi, "Sistem Pendeteksi Wajah Untuk Keamanan pada Fakultas Teknik UHAMKA Menggunakan Metode Viola Jones dan LBPH (Local Binary Pattern Histogram)," *Seminar Nasional Teknoka*, vol. 6, no. 1, pp. 104-112, 2021.
- [2] H. Syafutra, T. M. N. Aziz, I. Novianty, I. M. Chusnu and D. Prayoga, "Implementasi Sistem Keamanan Pintu Otomatis Berbasis Face Recognition di Proactive Robotic: Integrasi ESP32-Cam dan Telegram," *Jurnal Riset Fisika Indonesia*, vol. 4, no. 2, p. 65–74, 2024.
- [3] A. Fadlil and D. Prayogi, "Sistem Pengenalan Wajah pada Keamanan Ruangan Berbasis Convolutional Neural Network," *Jurnal Sains Komputer & Informatika (J-SAKTI)*, vol. 6, no. 2, pp. 636-647, 2022.
- [4] B. Kravchenko and E. Bondar, "Cybersecurity Biometric Protection of a Typical House," *Kharkiv'skyi National University of Radio-electronics*, vol. 1, no. 1, pp. 1-5, 2020.
- [5] W. Raditya, S. A. Surahman, A. Budiawan, F. Amanda, N. D. Putri and S. Yudha, "Penerapan Sistem Keamanan Gerbang Rumah Berbasis Telegram Menggunakan ESP8266," *Jurnal Teknik dan Sistem Komputer (JTikom)*, vol. 3, no. 2, pp. 93-103, 2022.
- [6] R. Muwardi and R. R. Adisaputro, "Design Sistem Keamanan Pintu Menggunakan Face Detection," *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 12, no. 3, pp. 120-128, 2021.
- [7] Y. A. H. Prakoso and N. Pratiwi, "Sistem Pendeteksi Wajah Untuk Keamanan pada Fakultas Teknik UHAMKA Menggunakan Metode Viola Jones dan LBPH (Local Binary Pattern Histogram)," *Proceeding of TEKNOKA National Seminar - 6*, vol. 6, no. 1, pp. 104-112, 2021.
- [8] H. A. Kusuma, S. B. Wijaya and D. Nusyirwan, "Sistem Keamanan Rumah Berbasis ESP32-Cam Dan Telegram Sebagai Notifikasi," *Jurnal Teknologi Informasi dan Elektronika*, vol. 8, no. 1, pp. 30-38, 2023.
- [9] P. W. Rusimanto, E. L. Anifah, R. Harimurti and Y. Anistiyasari, "Implementing of Arduino Pro Mini and ESP32 Cam for Temperature Monitoring on Automatic Thermogun IoT-Based," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 23, no. 3, pp. 1366-1375, 2021.
- [10] D. R. Yulianti, I. I. Triastomoro and S. Sa'idah, "Identifikasi Pengenalan Wajah Untuk Sistem Presensi Menggunakan Metode KNN (K-Nearest Neighbor)," *Jurnal TEKINKOM*, vol. 5, no. 1, pp. 1-10, 2022.
- [11] W. S. Putra and A. Setyawan, "Room Security System Design using ESP32 CAM with Fuzzy Algorithm," *Mobile and Forensics (MF)*, vol. 3, no. 2, pp. 66-74, 2021.
- [12] F. Zaenaldi, A. Subki, A. Akbar, L. D. Samsumar and S. , "Sistem Keamanan Pintu Rumah Menggunakan Sidik Jari Dan Keypad Berbasis Internet of Things," *Journal of Data Analytics, Information, and Computer Science*, vol. 1, no. 4, pp. 215-222, 2024.
- [13] A. Purnomo, D. Hardiyanto and S. Kartikawati, "Smart Doorlock System Menggunakan Kontrol Android Blynk Untuk Pemantauan Keamanan Rumah Tinggal," *Seminar Nasional Pendidikan Teknik Elektro*, vol. 1, no. 1, pp. 1-10, 2023.
- [14] A. Alwendi and M. Masriadi, "Aplikasi Pengenalan Wajah Manusia Pada Citra Menggunakan Metode Fisherface," *Jurnal Digital of Information Technology*, vol. 11, no. 1, p. 1, 2021.
- [15] D. M. Sakti, W. S. Murti, A. Kurniasari and J. Rosid, "Face Recognition Dengan Metode Haar Cascade dan Facenet," *Indonesian Journal of Data and Science*, vol. 3, no. 1, pp. 30-34, 2022.
- [16] F. T. Nugroho and . E. I. Sela, "Deteksi Citra Wajah Menggunakan Algoritma Haar Cascade Classifier," *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, vol. 4, no. 1, pp. 37-44, 2024.
- [17] H. Bahri, "Principle of Method of Viola / Jones," [Online]. Available: https://www.researchgate.net/figure/Principle-of-method-of-Viola-Jones_fig1_263964949. [Accessed 22 Juli 2025].
- [18] H. and M. Hardjianto, "Pengenalan Wajah Secara Realtime Menggunakan Adaboost Viola-Jones dan 2D DWT-PCA dengan Struktur Index KNN-KD Tree," *Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi*, vol. 4, no. 1, pp. 154-166, 2024.
- [19] R. H. Perangin-Angin, "Mengenal Mikrokontroler: Komponen Kunci dalam Pengembangan Proyek Elektronik," *Circle Archive*, vol. 6, no. 1, pp. 1-6, 2024.
- [20] V. Pardosi, T. K. Wijaya, F. Hasibuan, M. Alagusri and M. Irsyam, Model Optimalisasi Untuk Prototype Robot Tangki Iot Dalam Deteksi Gas dan Suhu, Makassar: Tohar Media, 2024.
- [21] M. A. Juniawan and A. H. Rismayana, "Prototipe Smart Door Lock Berbasis Internet of Things (Studi Kasus Lab Komputer Politeknik TEDC Bandung)," *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, vol. 8, no. 5, pp. 10856-10861, 2024.
- [22] M. T. S. Pratika, . I. N. Piarsa and A. C. Wiranatha, "Rancang Bangun Wireless Relay dengan Monitoring Daya Listrik Berbasis Internet of Things," *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Komputer*, vol. 2, no. 3, pp. 1-9, 2021.
- [23] A. Susilaningrum, "Penerapan Media Pembelajaran Software Multisim Dalam Menganalisis Komponen Dioda Semikonduktor," *Jurnal Penelitian Pendidikan Indonesia*, vol. 7, no. 2, pp. 1-11, 2022.
- [24] F. I. Pasaribu and M. Reza, "Rancang Bangun Charging Station Berbasis Arduino Menggunakan Solar Cell 50 WP," (*Rekayasa Elektrikal dan Energi*) : *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 3, no. 2, pp. 46-55, 2021.
- [25] R. Zainul, Elektrokimia dalam Penyimpanan Energi Menggunakan Baterai Ion Litium, Depok: RajaGrafindo Persada, 2024.