

PENGENALAN SIDIK JARI DENGAN ROTATION INVARIANT MENGUNAKAN METODE WEBER LOCAL BINARY PATTERN DAN CIRCULARLY SYMMETRIC GABOR FEATURE

FINGERPRINT RECOGNITION WITH ROTATION INVARIANT USING WEBER LOCAL BINARY PATTERN AND CIRCULARLY SYMMETRIC GABOR FEATURE METHOD

Nyimas Claudia Arizka¹, Anggunmeka Luhur Prasasti², Randy Erfa Saputra³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Komputer, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹nyimasclaudia@student.telkomuniversity.ac.id, ²anggunmeka@telkomuniversity.ac.id,

³resaputra@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Fingerprint sudah banyak digunakan sampai saat ini. Sebuah penelitian yang sudah dilakukan untuk mengidentifikasi sidik jari yang tidak dapat berotasi. Masalah tersebut mengakibatkan terbuangnya waktu dan kurangnya efisiensi dalam mengidentifikasi seseorang. Permasalahan tersebut dibutuhkan teknik atau metode yang dapat mempermudah untuk mengenali citra/gambar sidik jari dan akan mengidentifikasi pemilik sidik jari yang dapat berotasi. Proses pengenalan sidik jari dimulai dari akuisisi data citra, pengolahan gambar, dan di proses dengan metode *Weber Local Binary Pattern (WLBP)* dan *Circularly Symmetric Gabor Feature (CSGF)*. Citra sidik jari akan dicocokkan dengan citra yang ada pada *database* menggunakan algoritma *Back Propagation*. Hasil dari identifikasi sidik jari dalam implementasi sidik jari berotasi menghasilkan rata-rata tingkat akurasi sebesar 72% menggunakan partisi data latih 85% dan data uji 15% dengan akurasi 81%.

Kata kunci: *Metode Weber Local Binary Pattern (WLBP), Metode Circularly Symmetric Gabor Feature (CSGF), fingerprint, Back Propagation.*

Abstract

Fingerprints have been widely used today. A study conducted to identify non-rotating fingerprints. These problems result in wasted time and lack of identification of a person. This error requires a technique or method that can make it easier to recognize the image of the fingerprint and will identify the owner of the fingerprint that can rotate. The fingerprint recognition process starts from image data acquisition, image processing, and processing using the *Weber Local Binary Pattern (WLBP)* and *Circularly Symmetric Gabor Feature (CSGF)* methods. The fingerprint image will be matched with the existing image in the *database* using the *Backpropagation* algorithm. The results of the rotating fingerprint implementation produce an average accuracy rate of 72% using 85% training data partition and 15% test data with an accuracy of 81%.

Keywords: *Weber Local Binary Pattern (WLBP) Method, Circularly Symmetric Gabor Feature (CSGF) Method, fingerprint, Back Propagation.*

1. Pendahuluan

Pengenalan *biometrics* adalah proses mengenali seseorang berdasarkan karakteristik tingkah laku atau anatominya. *Biometrics* yang bagus harus dapat diukur, unik (berbeda untuk setiap orang) dan tetap atau stabil dari waktu ke waktu [1]. Pengenalan *biometrics* pada manusia banyak diterapkan ke berbagai jenis. Contoh pengenalan *biometrics* adalah pengenalan sidik jari, wajah, pembuluh darah, iris, dan geometri tangan [2]. Pengenalan sidik jari (*fingerprint recognition*) adalah salah satu teknologi *biometrics* paling populer yang telah menarik banyak perhatian. Sidik jari dipercaya tidak ada kemiripan di antar individu satu dengan yang lain. Kembar identik yang memiliki DNA serupa, bahkan memiliki sidik jari yang berbeda [3][4]. Karena itu, sidik jari sering dijadikan sebagian identitas [2].

Pengenalan sidik jari yang baik dibutuhkan informasi yang aktual dan informatif. Masalah tersebut akan mencoba menambahkan fungsi dengan penerapan baru dalam pengembangan penelitian. Penerapan tersebut merupakan memperhitungkan posisi sidik jari dari segala arah. Pengenalan sidik jari (*fingerprint recognition*) dari segala arah agar mempercepat pendeteksi sehingga menjadi efisien. Pengguna dapat mengenali seseorang tidak memandang posisi arah sidik jari.

Metode yang digunakan untuk pengenalan sidik jari sudah banyak dikembangkan oleh para peneliti. Penelitian sebelumnya sudah cukup akurat dalam pengenalan sidik jari seseorang, namun belum ada pengenalan sidik jari dengan posisi jari dari segala arah [5]–[8]. Metode yang diusulkan terdiri dari dua komponen: *Weber Local Binary Pattern (WLBP)* dan *Circularly Symmetric Gabor Feature (CSGF)*. Untuk metode WLBP, yaitu menggabungkan hukum Weber dan Local Binary Pattern (LBP) untuk mengekstraksi fitur konstanta lokal spasial. Untuk metode

CSGF, besarnya data yang difilter dihitung dalam domain frekuensi. Hasil dari dua metode dihitung untuk menghasilkan histogram dua dimensi, yang unsur-unsurnya digunakan sebagai fitur akhir [9]. Sidik jari mempunyai sebuah karakteristik pengenalan yang bernilai dan dapat diteliti dengan mudah. Pengenalan sidik jari harus mempertimbangkan performa dan keamanan. Ekstraksi fitur dalam sidik jari selalu menjadi yang menarik dalam bidang aplikasi sidik jari.

2. Dasar Teori / Metode

2.1 Fingerprint

Fingerprint adalah sebuah alat elektronik yang menerapkan sensor scanning untuk mengetahui sidik jari seseorang guna keperluan verifikasi identitas. Sidik jari pada jari manusia memiliki sifat unik dan permanen karena tidak pernah berubah bahkan dengan bertambahnya umur. Faktor tersebut yang menjadi dasar sidik jari dapat digunakan untuk identifikasi dan klasifikasi pada manusia. Sidik jari digunakan untuk pengamanan alat elektronik seperti smartphone, presensi dan laptop. Pengidentifikasian sidik jari dapat digunakan juga pada kasus pelaku kriminal yang sulit diidentifikasi oleh bidang forensik [10]. Tangan dan kaki memiliki banyak daerah bergerigi yang dapat digunakan untuk identifikasi, sidik jari menjadi bentuk populer biometrik karena mudah untuk diklasifikasikan dan diurutkan [11].

2.2 Python

Python merupakan sekumpulan sintaks, token, dan semantik Python. Hal tersebut berada dalam bahasa C dan menangani fungsi seperti I/O dan modul inti lainnya. Semua fungsi ini bersama-sama menjadikan Python sebagai bahasa aslinya. Lebih dari dua ratus modul inti berada di *standard library*. *Library* ini dikirimkan bersama Python. Tetapi selain *library* ini terdapat beberapa ribu komponen lainnya dari Python Package Index (PyPI) [12].

2.3 Image Processing

Image Processing (Pengolahan citra) adalah sebuah ilmu yang mempelajari tentang teknik-teknik mengolah citra (gambar) yang dilakukan secara digital menggunakan komputer [13]. Pengolahan citra merupakan bidang yang biasanya digunakan oleh eksperimen dalam skala besar. Pengolahan citra memiliki banyak algoritma dan metode untuk prosesnya [14]. Sebuah proses pengolahan yang inputnya adalah citra. Outputnya dapat berupa citra atau sekumpulan karakteristik atau parameter yang berhubungan dengan citra [15]. Sebuah citra digital dapat diwakili oleh sebuah matriks dua dimensi $f(x,y)$ yang terdiri dari M kolom dan N baris, dimana perpotongan antara kolom dan baris disebut piksel (*pixel = picture element*) atau elemen terkecil dari sebuah citra [13].

2.4 Metode Weber Local Binary Pattern (WLBP)

LBP (*Local Binary Pattern*) adalah metode analisis tekstur yang dapat digunakan untuk melakukan klasifikasi berdasarkan tekstur gambar. LBP pertama kali diperkenalkan oleh Timo Ojala. LBP menggunakan perbandingan nilai keabuan dari piksel-piksel ketetanggaannya [9]. Penelitian tersebut memiliki beberapa keterbatasan, sebagian besar karena sensitivitas terhadap kebisingan dan ketidakmampuan untuk membedakan tekstur halus dan kasar. LBP kurang menangkap perbedaan piksel kecil yang disebabkan oleh gangguan dan kuantisasi di gambar tersebut. Perubahan kecil dalam nilai piksel tengah akan mengubah pola [16].

Tujuan penelitian ini untuk membangun kerangka kerja yang menggabungkan karakteristik LBP yang menguntungkan dengan fitur tahan kebisingan dari hukum Weber untuk mengenali tekstur dinamis. Penambahan fraksi Weber meningkatkan kekuatan pembeda LBP dan membantu untuk membedakan pola struktur yang berbeda serta hukum Weber untuk mendefinisikan *Weber Local Binary Pattern* (WLBP). Informasi piksel tengah ditambahkan dengan parameter yang diusulkan [16].

$$Th_w = g_c + \sum_{n=0}^{P-1} \frac{g_n - g_c}{g_c} \quad (1)$$

Th_w adalah *threshold*. Dimana g_c adalah nilai tengah, dan g_n ($n = 0 \dots P-1$) menunjukkan total nilai piksel tetangga, dan P adalah jumlah nilai tetangga [16]. Untuk merancang deskriptor yang lebih efektif, lebih meningkatkan LBP asli sesuai dengan hukum Weber, menyandikan pola spasial lokal dengan informasi kontras relatif. Dan menamakannya *Weber Local Binary Pattern* (WLBP), yang dapat didefinisikan sebagai [9]:

$$WLBP_{P,R} = \sum_{n=0}^{P-1} s(g_n - Th_w) 2^n \quad (2)$$

$$s(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (3)$$

2.5 Metode Circularly Symmetric Gabor Feature (CSGF)

Fitur Gabor adalah fitur yang diterapkan dalam beberapa aplikasi vision termasuk segmentasi gambar, pengenalan tulisan tangan, mengenali skrip gambar teks dan mengidentifikasi tulisan tangan teks dalam gambar

dokumen [17]. Multi-skala dan arah dapat diperoleh dengan menskalakan dan memutar $g(x, y)$. Karena arah fungsi Gabor dapat diatur secara fleksibel, fitur Gabor sangat efektif untuk mendeskripsi tekstur yang bergantung pada orientasi tetapi tidak cocok untuk analisis tekstur invarian-rotasi [9].

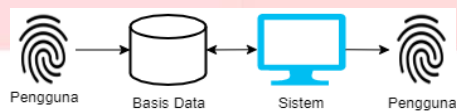
$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x^2+y^2}{\sigma^2}\right)} e^{-2\pi jF\sqrt{x^2+y^2}} \quad (4)$$

Oleh karena itu, *Circularly Symmetric Gabor Feature* selanjutnya dirancang untuk aplikasi invarian-rotasi. *Circularly Symmetric Gabor Filter* untuk ekstrak fitur tekstur dari gambar sidik jari di mana tingkat abu-abu di sepanjang punggung bukit dan lembah dapat dimodelkan secara lokal sebagai gelombang berbentuk sinusoidal. Filter Gabor dengan demikian, telah digunakan untuk fitur tekstur sidik jari [9].

3. Perancangan Sistem

3.1 Gambaran Umum Sistem

Penelitian ini dilakukan dengan membuat program dengan implementasi metode Weber Local Binary Pattern (WLBP) dengan *Circularly Symmetric Gabor Feature* (CSFG) dalam pengenalan sidik jari dengan berotasi. Program ini untuk membantu mengenali seseorang dari pengenalan sidik jari berotasi. Berikut gambaran umum perancangan sistem.

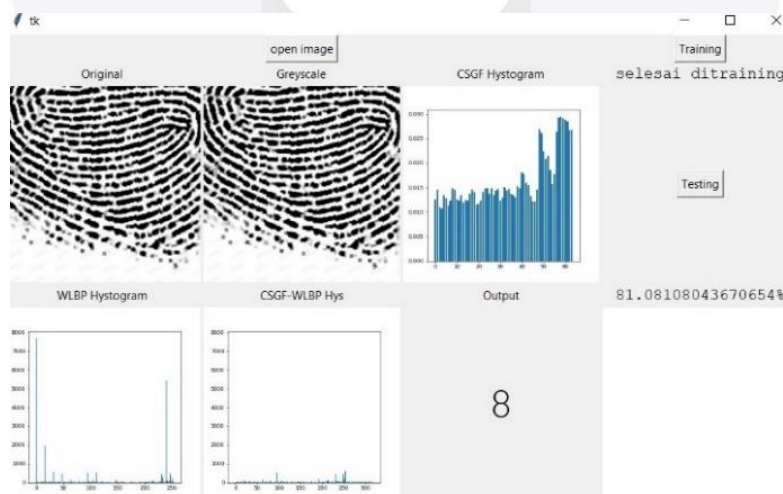


Gambar 1 Gambaran Umum Sistem

Penjelasan dari gambaran umum sistem tersebut adalah sebagai berikut:

1. Pengguna melakukan pengambilan citra sidik jari yang telah terdaftar pada basis data.
2. Data sidik jari yang terdapat pada basis data selanjutnya diproses oleh sistem untuk dilakukan proses *pre-processing* dan klasifikasi.
3. *Pre-processing* diawali dengan proses mengonversi citra sidik jari ke *grayscale* lalu mengubah bentuk ke biner dan selanjutnya dilakukan proses deteksi tepi tengah.
4. Citra dilanjutkan dengan proses ekstraksi ciri dengan menggunakan metode WLBP dan CSGF untuk deteksi sidik jari dengan rotasi tertentu. Citra tersebut menjadi data uji.
5. Proses selanjutnya dilakukan klasifikasi citra dengan menggunakan metode Back Propagation dengan menyamakan data uji dengan data latih yang terdapat pada basis data. Jika data uji cocok dengan data latih maka sidik jari tersebut dapat dikenali.
6. Hasil keluaran sistem berupa citra sidik jari yang dapat teridentifikasi dengan pengambilan citra yang dideteksi.

3.2 Implementasi Antarmuka



Gambar 2 Implementasi Antarmuka Sistem

Implementasi Antarmuka menyesuaikan perancangan antarmuka menunjukkan antarmuka sistem pada penelitian ini. Terdapat tiga tombol, yaitu tombol *training*, *testing* dan *open image*. Tombol *training* dilakukan pertama untuk melatih data pada sistem. Data latih selesai maka tombol *testing* dilakukan hingga terdapat akurasi.

Akurasi berdasarkan hasil proses yang dilakukan oleh sistem. Data testing berdasarkan data yang akan diuji dengan melihat basis data yang digunakan. Kolom Original, Grayscale, CSGF Histogram, WLBP Histogram, WLBP-CSGF Hys, dan Output menampilkan hasil pengolahan citra. Original menampilkan data sidik jari yang akan dikenali dan Output menampilkan sidik jari nomer subjek.

3.3 Perancangan Basis Data

Tabel 1 Perancangan Basis Data

No	Nama Data Latih	No	Nama Data Uji
1	1_1	1	1_11
2	1_2	2	1_12
3	1_3	3	2_11
4	1_4	4	2_12
5	1_5	5	3_11
6	2_1	6	3_12
7	2_2	7	4_11
8	2_3	8	4_12
9	2_4	9	5_11
10	2_5	10	5_12
11	3_1	11	6_11
12	3_2	12	6_12
13	3_3	13	7_11
14	3_4	14	7_12
15	3_5	15	8_11
16	4_1	16	8_12
17	4_2	17	9_11
18	4_3	18	9_12
19	4_4	19	10_11
20	4_5	20	10_12
21	5_1		
22	5_2		
23	5_3		
24	5_4		
25	5_5		

Pada tabel 1 menjelaskan bahwa data latih dirancang untuk setiap subjek dengan tiga data. Perancangan data tersebut menjadi data latih sidik jari. Data latih tersebut merupakan sampel dari data latih yang sebenarnya. Data uji dirancang untuk setiap subjek memiliki satu data. Data uji tersebut merupakan data sampel yang diambil dari data sebenarnya. Penamaan subjek diambil dari angka pertama sedangkan angka setelah “_” merupakan nomer data pada subjek tersebut.

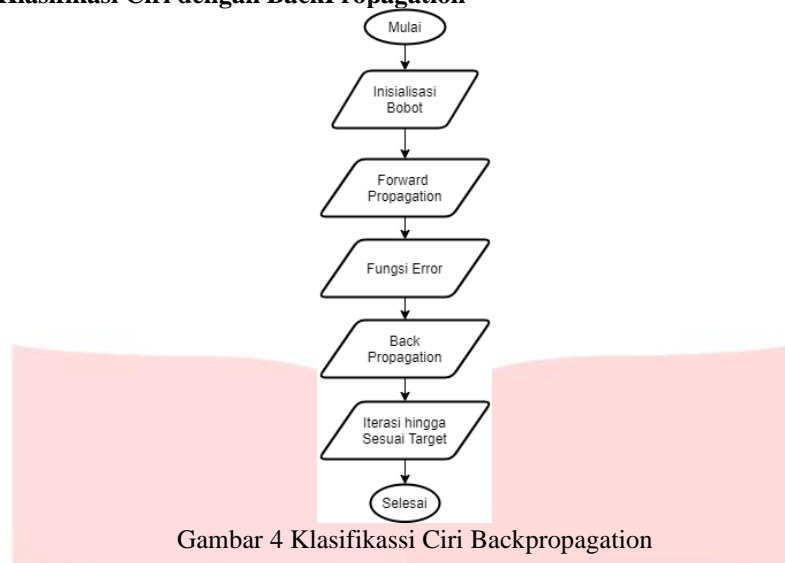
3.4 Perancangan Ekstraksi Ciri dengan WLBP dan CSGF



Gambar 3 Perancangan Ekstraksi Ciri dengan WLBP dan CSGF

Pada gambar 3 menunjukkan bahwa citra *Grayscale* yang sudah dideteksi titik tengah akan di ekstraksi ciri. Ekstraksi ciri dilakukan dengan menggunakan metode WLBP dan CSGF agar dapat mendeteksi sidik jari yang berotasi. Hasil dari ekstraksi ciri menghasilkan citra array untuk dilakukan klasifikasi. Data array tersebut menjadi dasar untuk dilakukan proses klasifikasi ciri.

3.5 Perancangan Klasifikasi Ciri dengan BackPropagation



Gambar 4 Klasifikasi Ciri Backpropagation

Pada gambar 4 menunjukkan bahwa setelah mendapat citra array dari metode WLBP dan CSGF selanjutnya dilakukan untuk proses klasifikasi. Klasifikasi menggunakan *backpropagation* dengan diawali dengan inisialisasi bobot atau *weight*. Proses *forwardpropagation* dilakukan dengan input data latih hingga menghasilkan output. Output tersebut menghasilkan nilai error karena perbedaan nilai antara nilai output yang benar dengan nilai output sekarang yang terdapat pada fungsi error. *Backpropagation* dilakukan dengan mengubah nilai error tersebut menjadi nilai bobot yang baru untuk mencapai nilai error terkecil. Nilai error dari hasil output *backpropagation* tersebut dijadikan nilai bobot yang baru. Lakukan iterasi dengan proses-proses tersebut untuk mencapai nilai error sesuai dengan target.

4. Hasil Pengujian dan Analisis

Pengujian pada pengenalan sidik jari ini dilakukan untuk mengetahui akurasi pengenalan sidik jari. Hal yang diperlukan untuk pengujian dengan cara pengumpulan data dan dilakukan sebanyak lima kali pengujian untuk setiap parameter. Parameter pengujian berdasarkan perbedaan sudut untuk setiap sidik jari. Hasil pengujian tersebut untuk menganalisa sistem yang menjadi dasar kesimpulan.

1. Pengujian Jumlah Data

Tabel 2 Pengujian Jumlah Data

Pengujian	Data Latih (%)	Data Uji (%)	Akurasi (%)
1	75	25	45
2	80	20	50
3	85	15	81
4	90	10	77.8
5	95	5	73.6

Jumlah masing-masing data dengan total 250 data yang dibagi berdasarkan pembagian jumlah data yang akan diuji. Dari masing-masing data tersebut diambil sesuai dengan persen pada setiap data yang akan diuji. Setelah didapat akurasi jumlah data yang terbaik selanjutnya akan dilakukan pengujian pada sample data sesuai dengan sidik jari dan derajat. Didapat akurasi terbaik yang membuktikan bahwa pengenalan sidik jari mendapat akurasi sesuai dengan pengujian.

2. Pengujian Parameter Sidik Jari

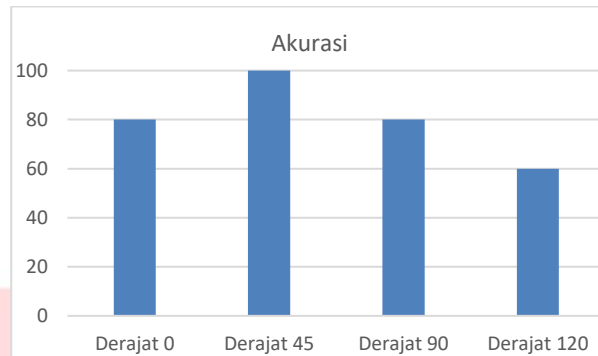
Tabel 3 Pengujian Parameter Sidik Jari

Derajat (°)	Akurasi (%)
0	80
45	100
90	80
120	60

$$\text{Rata-rata akurasi} = \frac{80+100+80+60}{4} \times 100\% = 80\%$$

Dengan pengujian parameter sidik jari masing-masing mendapatkan akurasi pada sidik jari yang sama dengan sudut yang berbeda. Untuk 0° dengan akurasi 80%, 45° dengan akurasi 100%, 90° dengan akurasi 80% dan untuk 120° dengan akurasi 60%. Total akurasi tersebut dicari rata-rata akurasi pada

pengujian parameter sidik jari sehingga mendapat rata-rata akurasi pada subjek yang sama. Rata-rata akurasi untuk pengujian per subjek yaitu 80%.



Gambar 5 Grafik Hasil Pengujian Parameter Sidik Jari

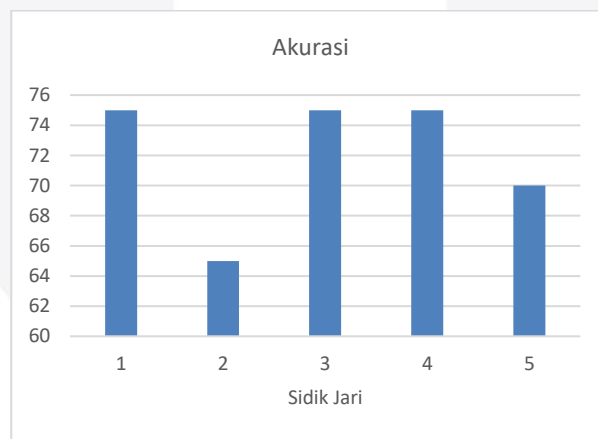
3. Pengujian Parameter Perderajat

Tabel 4 Pengujian Parameter Derajat

No	Sidik Jari	Akurasi (%)
1	1	75
2	2	65
3	3	75
4	4	75
5	5	70

$$\begin{aligned} \text{Rata-rata akurasi} &= \frac{75+65+75+75+70}{5} \times 100\% \\ &= 72\% \end{aligned}$$

Dengan pengujian parameter derajat masing-masing mendapatkan akurasi pada derajat yang sama dengan perbedaan subjek. Untuk subjek 1 dengan akurasi 75%, subjek 2 dengan akurasi 65%, subjek 3 dengan akurasi 75%, subjek 4 dengan akurasi 75% dan untuk subjek 5 dengan akurasi 70%. Total akurasi tersebut dicari rata-rata akurasi pada pengujian parameter derajat sehingga mendapat rata-rata akurasi pada derajat yang sama. Rata-rata akurasi untuk pengujian per subjek yaitu 72%.



Gambar 6 Grafik Hasil Pengujian Parameter Derajat

5. Simpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian metode *Weber Local Binary Pattern* dan *Circularly Symmetric Gabor Feature* bahwa metode tersebut dapat mengenali sidik jari berotasi dengan partisi data latih 85% dan data uji 15% menghasilkan rata-rata tingkat akurasi 81%. Hasil klasifikasi menggunakan metode *Backpropagation* data menunjukkan bahwa rata-rata akurasi pengujian derajat dengan akurasi 72% dan pengujian sidik jari per subjek mendapat akurasi 80%. Semakin banyak data latih dan data uji semakin tinggi akurasi yang didapatkan.

5.2 Saran

Perbanyak data latih dan data uji untuk mendapatkan akurasi yang lebih tinggi. Sistem aplikasi dapat dikembangkan menggunakan metode lain. Basis data dapat dikembangkan dengan menggunakan alat sebagai data uji dan data *realtime*.

Daftar Pustaka:

- [1] E. Yohannes, "PENGENALAN SIDIK JARI (FINGERPRINT RECOGNITION) DENGAN METODE HIDDEN MARKOV MODEL (HMM)," no. August, 2013.
- [2] A. L. PRASASTI, B. IRAWAN, S. E. FAJRI, A. RENDIKA, and S. HADIYOSO, "Perbandingan Ekstraksi Fitur dan Proses Matching pada Autentikasi Sidik Jari Manusia," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 8, no. 1, p. 95, 2020.
- [3] Y. Elmir, Z. Elberichi, and R. Adjoudj, "Support vector machine based fingerprint identification," in *CEUR Workshop Proceedings*, 2012, vol. 942, no. November, pp. 21–24.
- [4] M. Adhiyaman and D. Ezhilmaran, "Fingerprint matching and similarity checking system using minutiae based technique," in *ICETECH 2015 - 2015 IEEE International Conference on Engineering and Technology*, 2015, no. March, pp. 4–7.
- [5] Monika and M. Kumar, "A Novel Fingerprint Minutiae Matching Using LBP," in *Proceedings - 2014 3rd International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization: Trends and Future Directions, ICRITO 2014*, 2015.
- [6] J. Kim, M. Ji, J. Il Jeon, S. Park, and Y. Cho, "K-NN based Positioning Performance Estimation for Fingerprinting Localization," in *International Conference on Ubiquitous and Future Networks, ICUFN*, 2016, vol. 2016-Augus, pp. 468–470.
- [7] R. Zhou, D. Zhong, and J. Han, "Fingerprint Identification Using SIFT-Based Minutia Descriptors and Improved All Descriptor-Pair Matching Ru," *Sensors (Switzerland)*, vol. 13, no. 3, pp. 3142–3156, 2013.
- [8] E. J. Al Tae and Z. Abdulsamad, "A New Approach for Fingerprint Authentication in Biometric Systems Using BRISK Algorithm," *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 8, no. 5, pp. 1941–1947, 2018.
- [9] Z. Xia, R. Lv, and X. Sun, "Rotation-invariant Weber pattern and Gabor feature for fingerprint liveness detection," *Multimed. Tools Appl.*, vol. 77, no. 14, pp. 18187–18200, 2017.
- [10] R. Pavithra and K. V. Suresh, "Fingerprint Image Identification for Crime Detection," in *Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Communication and Signal Processing, ICCSP 2019*, 2019, pp. 797–800.
- [11] N. A. Alias and N. H. M. Radzi, "Fingerprint classification using Support Vector Machine," in *Proceedings of the 2016 5th ICT International Student Project Conference, ICT-ISPC 2016*, 2016, pp. 105–108.
- [12] S. P. P. Arun Kumar, "A Survey: How Python Pitches in IT-World," in *Proceedings of the International Conference on Machine Learning, Big Data, Cloud and Parallel Computing: Trends, Perspectives and Prospects, COMITCon 2019*, 2019, pp. 248–251.
- [13] A. N. T. RD. Kusumanto, "Pengolahan Citra Digital Untuk Mendeteksi Obyek Menggunakan Pengolahan Warna Model Normalisasi Rgb," *Semin. Nas. Teknol. Inf. Komun. Terap. 2011 (Semantik 2011)*, p. 17, 2011.
- [14] M. N. Aziz, T. W. Purboyo, and A. L. Prasasti, "A Survey on the Implementation of Image Enhancement," *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 12, no. 21, pp. 11451–11459, 2017.
- [15] Tim Dosen Universitas Mercu Buana, *Modul Perkuliahan Pengolahan Citra*. 2004.
- [16] D. Tiwari and V. Tyagi, "Improved Weber's law based local binary pattern for dynamic texture recognition," *Multimed. Tools Appl.*, vol. 76, no. 5, pp. 6623–6640, 2016.
- [17] M. O. Assayony and S. A. Mahmoud, "Integration of Gabor Features with Bag-of-Features Framework for Arabic Handwritten Word Recognition," in *2017 9th IEEE-GCC Conference and Exhibition, GCCCE 2017*, 2018, pp. 1–4.