

**PERBAIKAN CITRA SIDIK JARI MENGGUNAKAN
METODE ADAPTIVE HISTOGRAM EQUALIZATION (AHE)
DAN GABOR FILTER**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer**



OLEH :

**NINA NURIA BR. KARO
09011281320023**

**JURUSAN SISTEM KOMPUTER
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2019**

HALAMAN PENGESAHAN

**PERBAIKAN CITRA SIDIK JARI MENGGUNAKAN
METODE ADAPTIVE HISTOGRAM EQUALIZATION (AHE)
DAN GABOR FILTER**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer

Oleh:

NINA NURIA BR. KARO
09011281320023

Palembang, Juli 2019

Mengetahui,

Ketua Jurusan Sistem Komputer



Rossi Passarella, M.Eng.

NIP.197806112010121004

Pembimbing I,



Erwin, S.Si., M.Si.

NIP. 197101291994121001

HALAMAN PERSETUJUAN

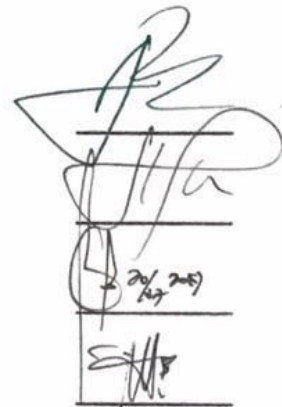
Telah diuji dan lulus pada :

Hari : Jumat

Tanggal : 24 Mei 2019

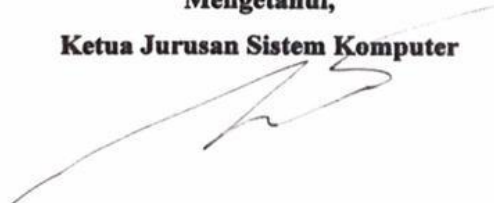
Tim Penguji :

1. Pembimbing : Erwin, M.Si.
2. Ketua Penguji : Huda Ubaya, M.T.
3. Anggota I : Sutarno, M.T.
4. Anggota II : Muhammad Ali Buchari, M.T.



Handwritten signatures of the examiners on a grid. The grid has four rows corresponding to the list of examiners. The first row has a large signature. The second row has a signature. The third row has a signature and the date '20/2019'. The fourth row has a signature.

Mengetahui,
Ketua Jurusan Sistem Komputer



Handwritten signature of Rossi Passarella.

Rossi Passarella, M.Eng.
NIP.197806112010121004

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nina Nuria Br. Karo
NIM : 09011281320023
Jurusan : Sistem Komputer
Judul Skripsi : Perbaikan Citra Sidik Jari Menggunakan Metode *Adaptive Histogram Equalization* (AHE) dan Gabor Filter

Menyatakan bahwa laporan tugas akhir saya merupakan hasil karya sendiri dan bukan hasil penjiplakan / *plagiat*. Apabila ditemukan unsur penjiplakan / *plagiat* dalam laporan tugas akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak ada paksaan oleh siapapun.



Indralaya, 1 Juli 2019



Nina Nuria Br. Karo

NIM.09011281320023

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRACT	viii
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan dan Batasan Masalah	3
1.3 Tujuan dan Manfaat	3
1.3.1 Tujuan	3
1.3.2 Manfaat	4
1.4 Metodologi Penulisan	4
1.5 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Sidik Jari	7

2.2.1 Sifat Sidik Jari	7
2.3 Jenis Citra Digital	7
2.3.1 Citra Warna (RGB).....	8
2.3.2 Citra <i>Grayscale</i>	8
2.3.3 Citra Biner.....	8
2.4 Pengolahan Citra	8
2.4.1 Citra Digital.....	9
2.5 Pengolahan Citra Digital.....	9
2.5.1 Perbaikan Kualitas <i>Citra</i>	10
2.5.1.1 <i>Adaptive Histogram Equalization</i>	10
2.5.1.2 <i>Gabor Filter</i>	11
2.6 Pengenalan Pola	13
2.6.1 Pendekatan <i>Minutiae</i>	13
2.6.2 Ekstraksi Ciri dengan Pendekatan <i>Minutiae Extraction</i>	11
2.6.2.1 <i>Cross Number</i>	15
2.6.3 <i>Minutiae Matching</i>	16
2.7 <i>Self Organizing Map</i> (SOM)	17
BAB III METODOLOGI	18
3.1 Pendahuluan	18
3.2 Studi Pustaka dan Literatur	19
3.3 Dataset Citra Sidik Jari	19
3.4 Perancangan Pengolahan Citra Sidik Jari	19
3.5 Akusisi Data	20
3.6 Tahapan Peningkatan Citra Sidik Jari	20
3.6.1 <i>Adaptive Histogram Equalization</i> (AHE)	20
3.6.2 <i>Gabor Filter</i>	20

3.7 Binerisasi Citra	21
3.8 Penipisan Citra / <i>Thinning</i>	22
3.9 Ekstrasi Fitur	22
3.9.1 Seleksi Area	22
3.9.2 Cross Number	22
3.9.3 <i>Minutiae Matching</i>	23
3.10 <i>Self Organizing Map</i> (SOM)	24
BAB IV HASIL	25
4.1 Pendahuluan	25
4.2 Data Training Citra Sidik Jari	25
4.3 Hasil Uji Coba pada Matlab.....	27
4.3.1 Hasil pengujian metode AHE	27
4.3.2 Hasil <i>Gabor Filter</i> dengan Aplikasi Matlab	33
4.3.3 Hasil Ekstrasi Ciri.....	35
4.3.4 Hasil Identifikasi pada Citra AHE	41
4.3.5 Hasil Identifikasi pada Citra Gabor Filter	59
BAB V KESIMPULAN	78
5.1 Kesimpulan	78
DAFTAR PUSTAKA	79

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 (a) Bifurcation (b) Ridge Ending.....	13
Gambar 2.2 Tahapan dalam ekstraksi dengan Pendekatan Minutiae.....	14
Gambar 2.3 Klasifikasi Teknik Key Feature Pendekatan Minutiae.....	14
Gambar 2.4 Arah Pembacaan Cross Number	15
Gambar 2.5 Properties dari Cross Number.....	16
Gambar 2.6 (a) Topologi Rectangular Grid	17
Gambar 3.1 Skema Kerangka Kerja	18
Gambar 3.2 Blok Diagram Perancangan	19
Gambar 3.3 Proses Ekstraksi Citra Sidik Jari	21
Gambar 3.3 Hasil dari Penerapan <i>Cross Number</i>	22

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Data Training Citra Sidik Jari.....	25
Tabel 4.2 Hasil metode AHE pada Citra Sidik Jari.....	27
Tabel 4.3 Contoh Penerapan AHE.....	30
Tabel 4.4 Nilai Skala Keabuan, Freq, dan Distribusi Kumulatif Citra.....	31
Tabel 4.5 Nilai Keabuan Asli Citra.....	32
Tabel 4.6 Nilai Matrik Citra Sidik Jari setelah di Normalisasi.....	32
Tabel 4.7 Hasil Filtering menggunakan Gabor Filter	33
Tabel 4.8 Tabel Hasil Filter Citra 3 x 3.....	35
Tabel 4.9 Hasil Ekstraksi Ciri	36
Tabel 4.10 Tabel Hasil filter citra 3 x 3.....	37
Tabel 4.11(a) Hasil Identifikasi citra sidik jadi pada Citra AHE menggunakan Klasifikasi SOM dari Ekstraksi Minutiae	56
Tabel 4.11(b) Hasil Representasi Identifikasi citra sidik jadi.....	56
Tabel 4.12(a) Hasil Identifikasi citra sidik jadi	59
Tabel 4.12(b) Hasil Representasi Identifikasi citra sidik.....	74

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Form Revisi TA 2	83
-----------------------------------	----

**Perbaikan Citra Sidik Jari Menggunakan Metode Adaptive Histogram
Equalization (AHE) dan Gabor Filter**

Nina Nuria Br. Karo

Abstrak

Biometrik merupakan salah satu cabang ilmu yang menggunakan sifat atau karakteristik manusia untuk keperluan identifikasi. Sidik jari merupakan salah satu biometrik yang di gunakan dikarenakan setiap orang memiliki sidik jari yang berbeda-beda. Namun terdapat penghambat dalam identifikasi sidik jari yaitu adanya noise di antara pola *valley* dan *ridge*.

Maka dari itu dalam tugas akhir ini melakukan perbaikan citra sidik jari yang rusak menggunakan metode *adaptive histogram equalization* (AHE) dan Gabor Filter. Agar sistem dapat dilihat hasilnya maka dilakukan sistem pengenalan yaitu menggunakan matching feature berbasis coordinate polar pada system *Self Organizing Map* (SOM). Dan hasil pengujian ditunjukkan dengan nilai keberhasilan identifikasi. Terdapat 15 data sidik jari, dimana setiap sidik jari memiliki 5 posisi yang berbeda sehingga total data merupakan 75 data sidik jari. Setelah dilakukan pengujian terhadap sidik jari uji didapat nilai hasil akurasi pada identifikasi citra adalah 33% untuk AHE dan 64% untuk Gabor Filter.

Kata kunci : sidik jari, *adaptive histogram equalization*, gabor filter, *self organizing map*

Palembang, Juli 2019

Mengetahui,

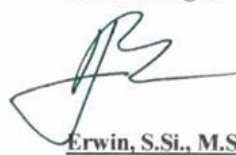
Ketua Jurusan Sistem Komputer



Rossi Passarella, M.Eng.

NIP.197806112010121004

Pembimbing I,



Erwin, S.Si., M.Si.

NIP. 197101291994121001

Fingerprint Enhancement Using Adaptive Histogram Equalization (AHE) and Gabor Filter Method

Nina Nuria Br. Karo

Abstract

Biometrics is one branch of science that uses human characteristics or characteristics for identification purposes. Fingerprint is one of the biometrics that is used because everyone has different fingerprints. However, there are obstacles in the identification of fingerprints, namely noise between the valley and ridge patterns.

Therefore in this final project to repair damaged fingerprint images using the adaptive histogram equalization (AHE) and Gabor Filter methods. In order for the system to be seen as a result, an recognition system was carried out, namely using a coordinate polar-based feature matching in the Self Organizing Map (SOM) system. And the test results are indicated by the value of the success of identification. There are 15 fingerprint data, where each fingerprint has 5 different positions so that the total data is 75 fingerprint data. After testing the test fingerprints obtained the value of the results of accuracy on image identification is 33% for AHE and 64% for Gabor Filter.

Keywords : *Fingerprint, adaptive histogram equalization, gabor filter, self organizing map*

Palembang, Juli 2019

Mengetahui,

Ketua Jurusan Sistem Komputer

Pembimbing I,



Rossi Passarella, M.Eng.

NIP.197806112010121004



Erwin, S.Si., M.Si.

NIP. 197101291994121001

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Biometrik merupakan salah satu cabang ilmu yang menggunakan sifat atau karakteristik manusia untuk keperluan identifikasi (pengenalan identitas) yang sangat pesat perkembangan dan penerapannya saat ini. Karakteristik yang dimaksud dikategorikan sebagai perilaku terhadap fisiologis. Karakteristik fisiologis mencakup kepada bentuk ciri-ciri fisik atau anggota tubuh manusia seperti wajah, geometri tangan, retina, iris DNA, cetak telapak dan sidik jari [1].

Penggunaan sidik jari pada identifikasi mengalami perkembangan yang sangat cepat. Penggunaan sidik jari biasanya berhubungan dengan keamanan, pengenalan, dan informasi. Namun juga dalam faktanya, di beberapa kasus justru sidik jari menjadi tantangan besar dikarenakan sidik jari memiliki beberapa faktor penghambat dan juga *noise* diantara pola *valley* dan *ridge* sering mengalami *noise* berupa rusak, basah akibat cairan seperti keringat; kotor akibat benda-benda seperti tanah, pasir, makanan dan terkadang juga akibat cahaya yang saat menangkap pola sidik jari.

Penelitian oleh [2] telah melakukan peningkatan kejelasan tampilan pola *valley* dan *ridge* dengan cara memperbaiki local neighborhood yang digunakannya untuk memisahkan ikatan gelombang berupa sinusoida dalam citra. Peningkatan kualitas citra yang dimulai dengan normalisasi lalu estimasi orientasi dan frekuensi lokal, estimasi region mask dan filtering. Hasil yang didapat meningkatkan kualitas dari *ridge* dan *valley* yang rusak. Namun, global feature perlu dilakukan untuk hasil yang lebih presisi. Pada [2], melakukan peningkatan arah *ridge* untuk estimasi bidang orientasi sukses dalam peningkatan struktur *noise* dalam bidang orientasi.

Perbaikan citra sidik jari (*Fingerprint Enhancement*) merupakan sebuah proses pembentukan kualitas citra baru menggunakan berbagai teknik dan metode sesuai kebutuhan agar didapatkan citra yang lebih mudah diinterpretasikan oleh mata manusia. Pada proses ini, ciri-ciri tertentu yang terdapat di dalam citra lebih diperjelas kemunculannya [3][1]. Pada penelitian sebelumnya oleh Raymond Thai

et al dan Iwasokun Gabriel Babatunde et al, mereka mengajukan perbaikan citra dengan menggunakan konsep dasar dari Hong et al.. Secara garis besar metodologi Hong et al mempunyai 4 tahapan yakni: 1. Normalisasi, 2. Estimasi Orientasi, 3. Estimasi Frekuensi *Ridge* dan 4. Pemfilteran Gabor.

Agar sistem perbaikan dapat dilihat hasilnya maka dibutuhkannya sistem pengenalannya. Sistem pengenalan sidik jari (fingerprint) telah banyak diteliti diantaranya [4]–[6] dimana penelitian mereka mengambil minutiae sebagai ekstraksi ciri yang tepat dalam pengenalan fingerprint.

Berdasarkan, estimasi permasalahan dari work tadi, penelitian ini mengajukan penambahan Adaptive Histogram Equalization (AHE) dengan tujuan untuk mengatur kontras dari citra. Sama halnya dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini menggunakan empat tahapan dasar dari Hong et al., namun peneliti menambahkan tahapan Adaptive Histogram Equalization (AHE) ke tahapan Normalisasi. Hal tersebut didasarkan pada fungsi AHE itu sendiri, yakni dapat menyeimbangi intensitas histogram.

Penerapan algoritma atau alur kerja penelitian ini dimulai dari melakukan normalisasi citra menggunakan AHE, lalu memfilter citra dengan Gabor lalu setelah itu hasil dibinerisasi. Dataset yang digunakan dalam work ini adalah dataset milik NIST dimana pengujiannya dilakukan sebanyak 10 buah citra.

Sebagian besar metode ekstraksi minutiae sidik jari menggunakan metode penipisan (thinning), yang di mana proses skeletonisasi nya mengubah setiap kontur ridge menjadi lebar satu piksel. Dalam praktiknya, metode penipisan (thinning) sensitif terhadap noise dan membuat struktur kerangka tidak sesuai dengan harapan dalam pencapaian tingkat pengenalan. Berdasarkan hal tersebut, penulis mengajukan metode alternatif menggunakan Cross Number. Bidang arah yang diperkirakan dari kode rantai memberikan orientasi ridge dan informasi tentang ketidaksempurnaan struktural seperti patah pada ridge, ridge palsu, dan lubang.

Dengan latar belakang permasalahan atau tantangan tersebut, perbaikan kualitas citra sidik jari sepatutnya menjadi salah satu prioritas utama dalam tahapan sistem sebelum mengidentifikasi parameter yang berupa ciri dari objek di dalam citra, yang selanjutnya parameter tersebut digunakan dalam menginterpretasi citra untuk dapat diekstraksi ciri seperti meningkatkan pola ridges and valleys dari citra

tersebut. Kemudian akan dilakukan matching feature berbasis coordinate polar pada system Self Organizing Map (SOM).

Sehingga pada tugas akhir ini, penulis mengambil estimasi judul **“Perbaikan Citra Sidik Jari Menggunakan Metode *Adaptive Histogram Equalization* (AHE) dan Gabor Filter**

1.2 Rumusan dan Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah bagaimana perbandingan hasil perbaikan kualitas citra sidik jari antara menggunakan metode *Adaptive Histogram Equalization* dan *Gabor Filter*.

Adapun batasan masalah pada tugas akhir ini yakni sebagai berikut:

1. Citra uji yang digunakan adalah citra sidik jari manusia.
2. Tahap pengujian untuk penelitian ini menggunakan dua perbandingan, yaitu citra yang di *enhancement* menggunakan AHE, lalu di ekstrasi dan dikenali dengan citra yang di *enhancement* menggunakan Gabor Filter, dan juga di ekstrasi dan dikenali.
3. Terdapat 5 kondisi sidik jari di masing-masing dataset yang akan diuji.
4. Citra yang digunakan sebagai masukan dan hasil pemrosesan merupakan citra *grayscale* dengan format data JPEG (*Joint Photographic Experts Group*).
5. Alat bantu yang digunakan adalah software Matlab 7.1.3

1.3 Tujuan dan Manfaat

1.3.1 Tujuan

Adapun tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh dari metode *Adaptive Histogram Equalization* (AHE) dan *Gabor Filter* dalam memperbaiki citra sidik jari
2. Membandingkan hasil dari metode *Adaptive Histogram Equalization* (AHE) dan *Gabor Filter* dalam memperbaiki citra sidik jari

1.3.2 Manfaat

Adapun manfaat dari penulisan Tugas Akhir ini adalah :

1. Dapat dijadikan sebagai referensi untuk identifikasi sidik jari menggunakan hasil citra sidik jari yang baik.
2. Dapat di terapkan di berbagai permasalahan system terhadap sidik jari.

1.4 Metodologi Penulisan

Metodologi yang digunakan dalam tugas akhir ini akan melewati beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Studi Pustaka/Literatur

Tahap ini dilakukan dengan cara mencari dan mengumpulkan sumber-sumber referensi pada jurnal dan buku tentang metode *Adaptive Histogram Equalization* dan *Gabor Filter* sehingga dapat menunjang penulisan Laporan Tugas Akhir ini.

2. Pemilihan Objek Penelitian

Citra yang dipakai merupakan citra sidik jari. Dataset citra sidik jari dilakukan dengan meminta database milik NIST Special Database Grayscale Image of FIGS sd04.

3. Perancangan dan Pembuatan Perangkat

Tahap ini merupakan proses perancangan dan pembuatan perangkat lunak menggunakan metode *Adaptive Histogram Equalization* dan *Gabor Filter* yang dapat melakukan proses perbaikan citra.

1.5 Sistematika Penulisan

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang masalah, rumusan dan batasan masalah, tujuan dan manfaat, metodologi penulisan, dan sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori-teori yang digunakan sebagai landasan dan kerangka pikiran yang menunjang penulisan tugas akhir.

BAB III. METODOLOGI

Bab ini berisi tentang pendekatan yang digunakan sehingga tujuan dari penulisan dapat tercapai.

BAB IV. HASIL SEMENTARA

Bab ini berisi hasil penelitian yang telah dilakukan dan bersifat sementara.

BAB V. KESIMPULAN (SEMENTARA)

Bab ini berisi kesimpulan penelitian yang telah dilakukan dan bersifat sementara.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O. Marques, *Practical Image and Video Processing Using MATLAB*. New Jersey: A John-Willey & Sons, 2011.
- [2] Saparudin and G. Sulong, "A Technique to Improve Ridge Flows of Fingerprint Orientation Fields Estimation," *Telkomnika*, vol. 14, no. 3, pp. 987–998, 2016.
- [3] H. H. Ahmed, "Fingerprint Image Enhancement based on Threshold Fast Discrete Curvelet Transform (FDCT) and Gabor Filters," vol. 110, no. 3, 2015.
- [4] R. Thai, "Fingerprint Image Enhancement and Minutiae Extraction," p. 63, 2003.
- [5] A. N. Ouzounoglou, T. L. Economopoulos, P. A. Asvestas, and G. K. Matsopoulos, "Fingerprint matching with self organizing maps," *IFMBE Proc.*, vol. 29, no. June, pp. 307–310, 2010.
- [6] S. Bhattacharya and K. Mali, "Fingerprint Recognition using Minutiae Extraction Method," *Int. Conf. Emerg. Technol. Int. J. Electr. Eng. Embed. Syst.*, no. June, pp. 1–5, 2011.
- [7] M. Nasir, R. Syam, and M. Hariadi, "Enhancement Citra Sidik Jari Kotor Menggunakan Hybrid Method Dan Gabor Filter," no. May 2015.
- [8] D. Ranadhi, W. Indarto, and T. Hidayat, "Implementasi Learning Vector Quantization (LVQ) Untuk Pengenal Pola Sidik Jari Pada Sistem Informasi Narapidana LP Wirogunan," *Media Inform.*, vol. 4, no. 1, pp. 51–65, 2006.
- [9] A. A. Chamid, "Analisis komparasi metode perbaikan kontras berbasis histogram equalization pada citra medis," vol. 8, no. 1, pp. 383–388, 2017.
- [10] S. Pizer *et al.*, "Adaptive Histogram Equalization and Its Variations.pdf," *Computer Vision, Graphics, and image processing*, vol. 9939. pp. 355–368, 1987.

- [11] B. Hartono, "Analisa Teknik Adaptive Histogram Equalization dan Contrast Stretching untuk Perbaikan Kualitas Citra," vol. 19, no. 1, pp. 1–10, 2014.
- [12] A. F. M. Raffei, H. Asmuni, R. Hassan, and R. M. Othman, "A low lighting or contrast ratio visible iris recognition using iso-contrast limited adaptive histogram equalization," *Knowledge-Based Syst.*, vol. 74, pp. 40–48, 2015.
- [13] F. Alonso-Fernandez, J. Fierrez-Aguilar, and J. Ortega-Garcia, "An enhanced Gabor filter-based segmentation algorithm for fingerprint recognition systems," pp. 239–244, 2008.
- [14] L. Hong, Y. Wan, and A. Jain, "Fingerprint image enhancement: Algorithm and performance evaluation," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 20, no. 8, pp. 777–789, 1998.
- [15] M. R. Syahziar, K. M. Lhaksamana, and S. Al Faraby, "Klasifikasi Sidik Jari Menggunakan Metode Minutiae," in *e-Proceeding of Engineering*, 2018, vol. 5, no. 1, pp. 1803–1810.
- [16] T. Moloharto, S. Al Faraby, and K. M. Lhaksmana, "Implementasi Alignment Point Pattern Pada Sistem Pengenalan Sidik Jari Menggunakan Sidik Jari Menggunakan Template Matching," in *e-Proceeding of Engineering*, 2019, vol. 6, no. 1, pp. 2442–2450.
- [17] J. Pach, F. Shahrokhi, and M. Szegedy, "Applications of the Crossing Number," *Algorithmica (New York)*, vol. 16, no. 1, pp. 111–117, 1996.
- [18] I. K. Virdaus, A. Mallak, S. Lee, G. Ha, and M. Kang, "Fingerprint Verification with Crossing Number Extraction and Orientation-Based Matching," no. February, 2017.
- [19] R. J. K. B. Raja, and V. K. R., "Fingerprint Recognition Using Minutia Score Matching," *Int. J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 1, no. 2, pp. 35–42, 2010.
- [20] L. Wieclaw, "A minutiae-based matching algorithms in fingerprint recognition systems," *J. Med. Informatics Technol.*, vol. 13, no. July, pp.

65–71, 2009.

- [21] C. R. Rahardjo, Y. Herdiyeni, F. Ardiansyah, D. I. Komputer, and J. Barat, “Cluster self-organizing map,” pp. 1–9.
- [22] B. Hardiansyah and P. N. Primandari, “Sistem Pakar Pengenalan Ekspresi Wajah Manusia Menggunakan Metode Kohonen Self Organizing Dan Principal Componen Analysis,” *INTEGER J. Inf. Technol.*, vol. 3, no. 2, pp. 43–54, 2018.
- [23] M. Hernawan, “Simulasi Kompresin Citra Dengan Neural Network Menggunakan Metode Self Organizing Map,” pp. 2–3.
- [24] M. A. Olsen, E. Tabassi, A. Makarov, and C. Busch, “Self-organizing maps for fingerprint image quality assessment,” *IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. Work.*, pp. 138–145, 2013.
- [25] A. A. Abbood, M. S. H. Al-Tamimi, S. U. Peters, and G. Sulong, “New Combined Technique for Fingerprint Image Enhancement,” *Mod. Appl. Sci.*, vol. 11, no. 1, p. 222, 2016.
- [26] P. Stathis and N. Papamarkos, “An Evaluation Technique for Binarization Algorithms,” *J. Univers. Comput. Sci.*, vol. 14, no. 18, pp. 3011–3030, 2008.
- [27] Z. Guo and R. W. Hall, “Parallel thinning with two-subiteration algorithms,” *Commun. ACM*, vol. 32, no. 3, pp. 359–373, 1989.