

**Pengenalan Sidik Jari Dengan Menggunakan
Metode Gray Level Co-Occurrence Matrix**

TESIS



Oleh :

Riri Irawati

1111600522

PROGRAM STUDI : MAGISTER ILMU KOMPUTER (MKOM)

PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS BUDI LUHUR

JAKARTA

2013

**PENGENALAN SIDIK JARI DENGAN MENGGUNAKAN
METODE GRAY LEVEL CO-OCCURRENCE MATRIX**

Tesis :

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan
Memperoleh gelar Magister ilmu Komputer (MKOM)



Riri Irawati

1111600522

UNIVERSITAS BUDI LUHUR
FAKULTAS PASCA SARJANA
MAGISTER ILMU KOMPUTER
JAKARTA
2013



PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU KOMPUTER
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS BUDI LUHUR

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini:

Nama : RIRI IRAWATI
Nim : 111600522
Program Studi : MAGISTER ILMU KOMPUTER
Program : REKAYASA KOMPUTASI TERAPAN

Menyatakan bahwa TESIS yang berjudul :

PENGENALAN SIDIK JARI DENGAN MENGGUNAKAN
METODE GRAY LEVEL CO-OCCURRENCE MATRIX

1. Merupakan hasil karya tulis ilmiah sendiri dan bukan merupakan hasil karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik oleh pihak lain.
2. Saya izinkan untuk dikelola oleh Universitas Budi Luhur sesuai dengan norma hukum dan etika yang berlaku.

Pernyataan ini saya buat dengan penuh tanggung jawab dan saya bersedia menerima konsekuensi apapun sesuai aturan apabila di kemudian pernyataan ini tidak benar.

Jakarta, 14 September 2013

METERAI
TEMPEL
PAJAK PENGALANGAN DAUJUK
TGL 20
08526ABF761951636
ENAM RIBU RUPIAH
6000
DJP
(Riri Irawati)



PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU KOMPUTER
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS BUDI LUHUR

LEMBAR PENGESAHAN

Nama : Riri Irawati
NIM : 1111600522
Konsentrasi : Teknik Informatika
Jenjang Studi : Strata 2
Judul : Pengenalan Sidik Jari dengan Menggunakan Metode *Gray Level Co-Occurrence Matrix*

Jakarta, 14 September 2013

Tim Penguji :

Ketua,

Dr. Ir. Nazori AZ., M.T

Anggota,

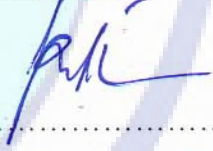
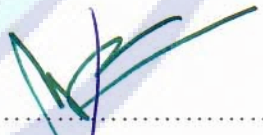
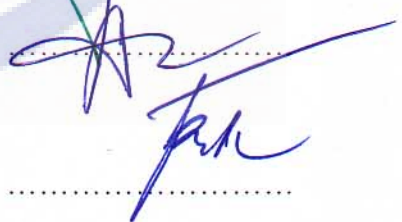
Dr. Ir. Wendi Usino, MSc, MM

Ir. Dana Indra Sensuse, Ph.D

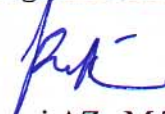
Pembimbing,

Dr. Ir. Nazori AZ., M.T

Tandatangan :


.....

.....

.....

Ketua Program Studi


(Dr. Ir. Nazori AZ., M.T)

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menguji efektifitas dalam pengembangan algoritma *Gray Level Co-occurrence Matrix* (GLCM) dalam melakukan tugas ekstraksi ciri citra sidik jari manusia dan merancang sistem aplikasi identifikasi sidik jari berdasarkan algoritma GLCM. Data dalam penelitian ini adalah citra sidik jari ibu jari tangan kanan manusia, dan metode pengambilan datanya menggunakan *fingerprint reader*. Untuk meningkatkan kualitas gambar citra sidik jari mentah digunakan proses *image enhancement*, yang dapat membantu meningkatkan kinerja pengenalan. Eksperimen pengujian sistem dilakukan terhadap citra sidik jari dari 50 responden heterogen masing-masing sebanyak 8 *scan*. Pengujian dilakukan pada 4 arah sudut orientasi GLCM (yaitu 0° , 45° , 90° , dan 135°) dengan tiga skenario : (1) Pengujian dengan variasi jarak piksel antar tetangga; (2) Pengujian dengan variasi level keabuan; dan (3) Pengujian dengan variasi jumlah template pada basis data. Hasil pengujian menunjukkan laju kinerja pengenalan meningkat dengan semakin kecilnya jarak piksel antar tetangga dan semakin banyaknya jumlah *template* citra sidik jari dalam basis data. Algoritma GLCM mampu mengenali tekstur citra sidik jari dengan mencocokkan empat ciri statistiknya, yaitu *contrast*, *correlation*, *energy* dan *homogeneity*, dimana kinerja pengenalan tertinggi sebesar 98,84% dicapai dengan *offset* jarak antar piksel ketetanggaan sebesar 1 piksel pada semua arah sudut orientasi, jumlah level keabuan 32, dan jumlah template citra sidik jari dalam basis data sebanyak 5 *template*. Hasil penelitian ini menyarankan implementasi sistem identifikasi sidik jari dengan GLCM dilakukan secara otomatis antara proses akuisisi citra dan pengenalan citra secara *online* sehingga dapat meningkatkan efisiensi proses pengenalan, menghemat biaya alat dan waktu. Selain itu disarankan ada penelitian lebih lanjut dengan topik serupa dengan melibatkan ciri-ciri statistik GLCM lainnya sehingga dapat memberikan pengetahuan dan pemahaman lebih baik tentang tekstur citra sidik jari manusia dan ciri statistik GLCM.

Kata kunci : sidik jari, pengenalan, algoritma, GLCM, *Gray Level Cooccurrence Matrix*.

ABSTRACT

The aim of this research was to investigate the effectiveness in the application of Gray Level Cooccurrence Matrix (GLCM) algorithm in developing the task of feature extraction of human fingerprint images, and to design the application system of fingerprint identification based on GLCM algorithm. This research used fingerprint images of human right thumbs as data, and for data collection method, I used fingerprint reader. To improve the image quality of raw fingerprint images, I used image enhancement process which can help improving the recognition performance. Research experimentation conducted on the fingerprint images of 50 heterogeneous respondents which each respondent was taken by 8 scans respectively. Tests conducted on 4 orientation angles of GLCM (i.e., 0° , 45° , 90° , and 135°) with three scenarios: (1) Testing with variation of distance between neighboring pixels, (2) Testing with variation of gray-level, and (3) Testing with variations of number of templates in the database. The results showed the rate of recognition performance increases with the smaller distances between neighboring pixels and the increasing in number of templates in the fingerprint image database. GLCM algorithm was able to accurately recognize the texture of fingerprint images by matching four statistical features, i.e., contrast, correlation, energy and homogeneity, where the highest recognition performance was achieved by 98.84% with the distance between neighboring pixel offset by 1 pixel in all orientation angles, number of gray-level 32, and with all templates in the fingerprint image database (i.e., 5 templates). This research suggested the online implementation of fingerprint identification system with GLCM, using automatic process between image acquisition and recognition to improve the efficiency of recognition process, saving instrument costs and time. In addition, it was suggested for future research on similar topics to involve more statistical features of GLCM so it can provide better knowledge and understanding of the human fingerprint image textures and GLCM statistical features.

Keywords: fingerprint, recognition, algorithm, GLCM, Gray-Level Cooccurrence Matrix.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas tesis ini.

Disusunnya tugas akhir ini adalah untuk memenuhi persyaratan guna menyelesaikan jenjang strata dua (S-2) Ilmu Komputer Universitas Budi Luhur Jakarta.

Penulisan tesis ini dilakukan pada pengenalan sidik jari. Judul tesis yang dipilih adalah Pengenalan Sidik Jari dengan Metode GLCM (*Gray-Level Cooccurrence Matrix*) dengan menggunakan Teknologi Image Processing.

Dalam menyelesaikan tesis ini penulis mendapatkan bantuan dan dorongan dari pihak-pihak yang secara langsung maupun tidak langsung, maka dalam kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Allah SWT, yang berperan paling penting dalam menyelesaikan tesis ini dan berkat pertolongan dan petunjuk-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Moedjiono, M.Sc. selaku Direktur Pascasarjana Universitas Budi Luhur Jakarta.
3. Bapak Dr., Ir. Nazori Az, M.T, selaku dosen pembimbing dan Kaprodi Pascasarjana Universitas Budi Luhur Jakarta.
4. Kedua orangtua beserta saudara-saudara yang telah memberikan dukungan moril serta doa-doanya.
5. Rekan-rekan serta teman-teman yang turut membantu dari awal sampai terselesaikannya tesis ini.

Dengan rendah hati penulis merasa bahwa masih banyak kekurangan-kekurangan dalam menulis tesis ini, maka penulis mengharapkan tanggapan baik itu berupa saran maupun kritik yang sifatnya membangun yang sangat penulis harapkan demi kepentingan kita semua.

Jakarta, 14 September 2013

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Masalah Penelitian	4
1.2.1 Identifikasi Masalah	4
1.2.2. Pembatasan Masalah	5
1.2.3. Rumusan Masalah	5
1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian	6
1.4. Tata Urut Penulisan	7
1.5. Daftar Pengertian	8
 BAB II LANDASAN TEORI DAN KERANGKA KONSEP	
2.1. Tinjauan Pustaka	10
2.1.1. Sidik Jari	10
2.1.2. Pengenalan Sidik Jari (Fingerprint Recognition)	11
2.1.3. Klasifikasi Sidik Jari	13
2.1.3.1. Karakteristik Global Sidik Jari	13
2.1.3.2. Karakteristik Lokal Sidik Jari	14
2.1.3.3. Klasifikasi Sidik Jari Berdasarkan Ridge	17
2.1.4. Tekstur Citra Sidik Jari	18

2.1.4.1. Pengertian Tekstur (dalam Pengolahan Citra)	18
2.1.4.2. Analisis Tekstur	19
2.1.5. Gray-Level Coocurrence Matrix (GLCM)	20
2.1.5.1. Definisi Model Matematika GLCM	20
2.1.5.2. Fitur Statistik GLCM	22
2.2. Penelitian Terdahulu tentang Pengenalan Sidik Jari	26
2.2.1. Pengenalan Sidik Jari dengan Jaringan Syaraf Tiruan	27
2.2.2. Pengenalan Sidik Jari dengan Algoritma Genetik	28
2.3. Penelitian Terdahulu tentang Pengenalan Sidik Jari GLCM	30
2.4. Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya	30
2.4.1. Pra Pemrosesan	31
2.4.2. Ekstraksi Fitur GLCM	35
2.4.3. Pencocokan Citra dengan Jarak Euclidean	36
2.5. Kerangka Konsep Penelitian	37
2.6. Hipotesis	38
 BAB III METODOLOGI DAN RANCANGAN PENELITIAN	
3.1. Metode Penelitian	39
3.2. Metode Pemilihan Sampel	41
3.3. Metode Pengumpulan Data	42
3.4. Instrumentasi	42
3.5. Perancangan Program	44
3.5.1 Pembentukan Basis Data	44
3.5.1.1 Pengambilan Citra Masukan	44
3.5.1.2 Perbaikan Kualitas Citra Masukan	45
3.5.1.3 Ekstraksi Ciri	49
3.5.1.4 Menyimpan Citra ke Database	52
3.5.2. Sistem Pengenalan dan Verifikasi Sidik Jari	52
3.6. Langkah-langkah Penelitian	53
3.7. Jadwal Penelitian	54

BAB IV PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN

4.1. Analisis Data dan Interpretasi	56
4.1.1. Pengambilan Citra Masukan (<i>Load Image</i>)	57
4.1.2. Perataan Histogram (<i>Histogram Equalization</i>).....	58
4.1.3. Normalisasi	61
4.1.4. Filterisasi Median.....	61
4.1.5. Neighborhood Averaging.....	62
4.1.6. Penentuan ROI	63
4.1.7. Cropping.....	65
4.1.8. Menyimpan Citra	66
4.2. Ekstraksi Ciri Statistik GLCM.....	67
4.3. Pencocokan Ciri Statistik GLCM.....	74
4.4. Hasil Pengujian Pengenalan Citra Sidik Jari.....	78
4.4.1. Pengujian dengan Variasi Jarak Piksel Antar Tetangga (d)	79
4.4.2. Pengujian dengan Variasi Level Keabuan (N).....	80
4.4.3. Pengujian dengan Variasi Jumlah Sampel Percobaan	81
4.5. Implikasi Penelitian	83
4.5.1. Spesifikasi sistem.....	83
4.5.2. Aspek Proses Manajerial	84
4.5.3. Penelitian Lanjut	85
4.6. Desain Rencana Implementasi Sistem.....	85

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan	87
5.2. Saran	88

DAFTAR PUSTAKA	89
----------------------	----

LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	92
------------------------	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar I-1 Tipe-tipe Fingerprint Reader	1
Gambar I-2 Prototipe sistem pengenalan sidik jari otomatis	2
Gambar II-1 Tahapan pengenalan sidik jari	12
Gambar II-2 Tiga karakteristik sidik jari menurut Francis Galton (1982)	14
Gambar II-3 Karakteristik lokal sidik jari	15
Gambar II-4 Karakteristik sidik jari berdasarkan delta dan inti	16
Gambar II-5 Tipe-tipe Ridge	18
Gambar II-6 Piksel bertetangga dalam delapan arah relatif pada GLCM	22
Gambar II-7 Pengenalan sidik jari dengan GLCM	31
Gambar II-8 Kerangka konsep penelitian	38
Gambar III-1 Pengujian fitur GLCM melalui 4 matriks orientasi	39
Gambar III-2 Proses menghasilkan matriks kookurensi	41
Gambar III-3 Proses enrollment citra sidik jari masukan	42
Gambar III-4 Bagan alur perancangan program pengenalan sidik jari dengan algoritma GLCM	45
Gambar III-5 Mengubah citra masukan ke grayscale	44
Gambar IV-1 Tampilan Utama Program Pengenalan Sidik Jari Algoritma GLCM	56
Gambar IV-2 Memasukan Citra Sidik Jari Hasil Scan ke dalam	
Gambar IV-3 Sidik Jari Hasil Scan Setelah dimasukan ke dalam	
Gambar IV-4 Hasil Proses <i>Image Enhancement</i> dengan Perataan Histogram	59
Gambar IV-5 Menu Untuk Membuka Hasil Grafik Perataan Histogram	59
Gambar IV-7 Diagram Histogram Citra Sidik Jari Setelah Perataan	
Gambar IV-8 Hasil Proses Normalisasi Citra Sidik Jari	61
Gambar IV-9 Hasil Proses Filterisasi Median	62
Gambar IV-10 Hasil Proses <i>Neighborhood Averaging</i>	63
Gambar IV-11 Hasil Proses Segmentasi Citra Sidik Jari dan Penentuan ROI	64
Gambar IV-12 Hasil Proses Morfologi dengan Operasi 'Open' dan 'Close'	64
Gamnar IV-13 Hasil Proses Pemotongan Citra (<i>Cropping</i>)	66

Gambar IV-14 Proses Menyimpan Citra Sidik Jari Hasil Pengolahan	66
Gambar IV-15 Tampilan GUI Program Ekstraksi Ciri Statistik GLCM	68
Gambar IV-16 Membuka Program Aplikasi Pencocokan Citra Sidik Jar	74
Gambar IV-17 Tampilan GUI Program Aplikasi Pengenalan dan Pencocokan Citra Sidik Jari (1 Sampel).....	75
Gambar IV-18 Tampilan GUI Program Aplikasi Pengenalan dan Pencocokan Citra Sidik Jari (2 Sampel).....	76
Gambar IV-19 Tampilan GUI Program Aplikasi Pengenalan dan Pencocokan Citra Sidik Jari (3 Sampel).....	77
Gambar IV-20 Tampilan GUI Program Aplikasi Pengenalan dan Pencocokan Citra Sidik Jari (4 Sampel).....	77
Gambar IV-21 Tampilan GUI Program Aplikasi Pengenalan dan Pencocokan Citra Sidik Jari (5 Sampel).....	78
Gambar IV-22 Hasil Pemindaian Sidik Jari dengan <i>Fingerprint Reader</i>	84
Gambar IV-23 Implementasi Sistem Verifikasi Sidik Jari <i>Offline</i>	86
Gambar IV-24 Implementasi Sistem Verifikasi Sidik Jari <i>Online</i>	86

DAFTAR TABEL

Tabel II-1. Konstanta offset sudut orientasi pada GLCM	21
Tabel II-2. Penelitian terdahulu terkait identifikasi sidik jari	26
Tabel II-3. Penelitian sebelumnya terkait pengenalan sidik jari GLCM	30
Tabel III-1. Jadwal Penelitian	54
Tabel IV-1. Contoh Tampilan Hasil Ekstraksi 4 Ciri Statistik GLCM dengan $N = 32$ dan $d = 1$ pada Salah Satu Citra Sidik Jari	69
Tabel IV-2. Contoh Tampilan Hasil Ekstraksi Ciri Statistik GLCM dari Haralick dengan $N = 16$ dan $d = 1$ pada Salah Satu Citra Sidik Jari	72
Tabel IV-3. Contoh Hasil Pencocokan Ciri Statistik GLCM pada Salah Satu Sampel Citra Sidik Jari dengan $N = 32$ dan $d = 1$	75
Tabel IV-4. Hasil Pengujian Pengenalan Sidik Jari dengan Variasi Jarak Piksel Antar Tetangga (d).....	80
Tabel IV-5. Hasil Pengujian Pengenalan Sidik Jari dengan Variasi Jumlah Level Keabuan (N).....	80
Tabel IV-6. Hasil Pengujian Pengenalan Sidik Jari dengan Variasi Jumlah Sampel dalam Basis Data	82

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

A. Kode Program Tampilan Depan.....	92
B. Segmentasi Citra (ROI) dan Operasi Morfologi	96
C. Kode Program Ekstraksi Ciri Statistik GLCM.....	98

LAMPIRAN 2

A. Skenario 1

Tabel A-1. Jarak piksel antar tetanga $d = 1$ piksel Jumlah level keabuan $N = 32$, Jumlah citra tersimpan dalam basis data $n = 1$	107
Tabel A-2. Jarak piksel antar tetanga $d = 2$ piksel, Jumlah level keabuan $N = 32$, Jumlah citra tersimpan dalam basis data $n = 1$	109
Tabel A-3. Jarak piksel antar tetanga $d = 3$ piksel, Jumlah level keabuan $N = 32$, Jumlah citra tersimpan dalam basis data $n = 1$	111
Tabel A-4. Jarak piksel antar tetanga $d = 4$ piksel, Jumlah level keabuan $N = 32$, Jumlah citra tersimpan dalam basis data $n = 1$	113

B. Skenario 2

Tabel B-1. Jumlah level keabuan $N = 4$, Jumlah citra tersimpan dalam basis data $n = 1$, Jarak piksel antar tetanga $d = 1$ piksel	115
Tabel B-2. Jumlah level keabuan $N = 8$, Jumlah citra tersimpan dalam basis data $n = 1$, Jarak piksel antar tetanga $d = 1$ piksel	117
Tabel B-3. Jumlah level keabuan $N = 16$, Jumlah citra tersimpan dalam basis data $n = 1$, Jarak piksel antar tetanga $d = 1$ piksel	119
Tabel B-4. Jumlah level keabuan $N = 32$, Jumlah citra tersimpan dalam basis data $n = 1$, Jarak piksel antar tetanga $d = 1$ piksel	121
Tabel B-5. Jumlah level keabuan $N = 64$, Jumlah citra tersimpan dalam basis data $n = 1$, Jarak piksel antar tetanga $d = 1$ piksel.....	123

C. Skenario 3

Tabel C-1. Jumlah citra tersimpan dalam basis data $n = 1$, Jumlah	
---	--

level keabuan $N = 32$, Jarak piksel antar tetanga $d = 1$ piksel	125
Tabel C-2. Jumlah citra tersimpan dalam basis data $n = 2$, Jumlah level keabuan $N = 32$, Jarak piksel antar tetanga $d = 1$ piksel	127
Tabel C-3. Jumlah citra tersimpan dalam basis data $n = 3$, Jumlah level keabuan $N = 32$, Jarak piksel antar tetanga $d = 1$ piksel	129
Tabel C-4. Jumlah citra tersimpan dalam basis data $n = 4$, Jumlah level keabuan $N = 32$, Jarak piksel antar tetanga $d = 1$ piksel	131
Tabel C-5. Jumlah citra tersimpan dalam basis data $n = 5$, Jumlah level keabuan $N = 32$, Jarak piksel antar tetanga $d = 1$ piksel	133
LAMPIRAN 3	
A. Sampel Sidik Jari Mentah (sampel 50 orang dengan 5 sampel per orang)	135
B. Sampel Test Sidik Jari Mentah (sampel 50 orang dengan 3 sampel per orang).....	143

DAFTAR PUSTAKA

- [Adi 2002] Adi, Kusworo, *Ekstraksi Ciri Berbasis Filter Gabor sebagai Sistem Verifikasi Sidik Jari*, Tesis Magister, ITB, Bandung, 2002.
- [Ardisasmita 2001] Ardisasmita, M. Syamsa, *Pengembangan Model Matematika untuk Analisis Sistem Identifikasi Sidik Jari Otomatis*, Risalah Lokakarya Komputasi dalam Sains dan Teknologi Niklir (XII) 2001.
- [Baraldi 1995] Baraldi, A., dan Parmiggiani, F., *An Investigation Of The Textural Characteristics Associated With GLCM Statistical Parameters*, IEEE Trans. on Geos. and Rem. Sens., vol. 33(2), pp. 293-304, 1995.
- [Bazen 2001] Bazen, A. M., dan Gerez, S. H., *An Intrinsic Coordinate System for Fingerprint Matching*, in Proc. 3rd Int. Conf. Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication, pp. 198–204, 2001.
- [Benazir 2012] Benazir, K.K., dan Vijaykumar, *Fingerprint Matching by Extracting GLCM Features*. International Conference and Workshop on Recent Trends in Technology, (TCET) 2012, Proceedings published in International Journal of Computer Applications (IJCA), pp. 30-34, 2012.
- [Çavuşoğlu 2006] Çavuşoğlu, Abdullah dan Salih Görgünoğlu. *A Fast Fingerprint Image Enhancement Algorithm Using a Parabolic Mask*. Gazi University, Ankara, 2006.
- [Eleyan 2011] Eleyan, Alaa, dan Demirel, Hasan, *Co-occurrence Matrix and its statistical Features as a New Approach for Face Recognition*, Turk J Elec Eng & Comp Sci, Vol.19, pp. 97 – 107, No.1, 2011.
- [Espinosa 2008] Espinosa, Virginia. *Minutiae Detection Algorithm for Fingerprint Recognition*, Polytechnic University of Catalonia, Spanyol, 2008.
- [Fahmi 2007] Fahmi, *Image Processing for Iriodology*, International Seminar ICTS 2007, Institut Teknologi Surabaya, Surabaya, 2007.
- [Gornale 2010] Gornale, S.S. Humbe, V., Manza, R., dan Kale K.V., *Fingerprint Image De-noising Using Multi-resolution Analysis (MRA) Through Stationary Wavelet Transform (SWT) Method*, International Journal of Knowledge Engineering, ISSN: 0976–5816, Vol. 1, pp. 5-14, 2010.
- [Hao 2002] Hao, Ying, Tan, Tieniu, dan Wang, Yunhong, *An Effective Algorithm for Fingerprint Matching*. IEEE Region 10 Technical Conference on Computers, Communication, Control and Power Engineering, 2002.
- [Haralick 1973] Haralick, R. M, Shanmugam, K., dan Dinstein, I., *Textural Features for Image Classification*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, pp. 610–621, vol. 3, no. 6, 1973.
- [Henry 1990] Henry, Edward R., *Classification and Uses of Fingerprints*, George Rutledge & Sons, Ltd, London, 1990.
- [Hong 1998] Hong, Hong, Wan, Yifei, dan Jain, Anil, *Fingerprint Image Enhancement : Algorithm and Performance Evaluation*, IEEE Transaction on pattern analysis and machine Intelligence ,Vol.20, No.8, 1998.
- [Jain 1998] Jain, Anil K., dan Tuceryn, Mihran, *Texture Analysis, The Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision*, World Scientific Publishing Co., 1998.