Sistem Identifikasi Biometrika Multimodal *Palmprint* dan *Palmvein* Menggunakan *Two-Dimensional Locality Preserving Projection*

Palmprint and Palmvein Multimodal Biometrics Identification System Using Two-Dimensional Locality Preserving Projection

Fuad Ikhlasul Amal[1], Tjokorda Agung Budi Wirayudha, S.T., M.T.[2], Kurniawan Nur Ramadhan, S.T., M.T.[3]
[1, 2, 3] Program Studi S1 Teknik Informatika, Fakultas Informatika, Universitas Telkom
[1]fuadikhlasul@gmail.com, [2]cokagung@telkomuniversity.ac.id, [3]kurniawannr@telkomuniversity.ac.id

Abstrak - Dalam penelitian Tugas Akhir ini dijelaskan mengenai sistem biometrika multimodal dengan menggabungkan dua modalitas yaitu *palmprint* dan *palmvein* di level nilai kemiripan serta menggunakan *Two-Dimensional Locality Preserving Projection* sebagai algoritma ekstraksi ciri, melanjutkan penelitian sebelumnya oleh Wang dkk yang berhasil menggabungkan dua modalitas tersebut di level citra. *Palmprint* dan *palmvein* dipilih karena sulit untuk dipalsukan dan cara akuisisinya yang mudah. Algoritma 2DLPP diterapkan pada *palmprint* dan *palmvein* secara independen dalam proses ekstraksi ciri dengan memproyeksikan masing-masing citra ke sebuah vektor ciri menggunakan sebuah matriks transformasi. Penggabungan ciri dilakukan di level skor dengan mengombinasikan nilai kemiripan masing-masing ciri menggunakan sebuah konstanta bobot. Penelitian ini menunjukkan performansi sistem biometrika multimodal *palmprint* dan *palmvein* yang dihasilkan berupa *recognition rate* menggunakan dataset CASIA MS-PalmprintV1 dengan rasio data latih dan data uji 3:3 dalam *mode* verifikasi dan identifikasi secara berturut-turut yaitu 94,67% dan 97,33%.

Kata kunci: biometrika, multimodal, region of interest, two-dimensional locality preserving projection

Abstract – *Multimodal biometrics authentication system using palmprint and palmvein is explained in this research. Continuing the prior research by Wang et al that succeed combining those two modalities at image level, this research attempt to combine them at matching score level using 2DLPP as feature extraction technique. Palmprint and palmvein is selected because they hard to be copied and easy to acquire. 2DLPP is applied to both palmprint and palmvein separately in feature extraction process by projecting each image to feature vector space using a transformation matrix. The features combination is done in score level by combining their similarity score using a weight constant. This research shows the recognition rate of the system by using CASIA MS-PalmprintV1 with 3:3 of training and testing data ratio in terms of verification and identification task is 94.67% and 97.33% respectively.*

Keywords: biometrics, multimodal, region of interest, two-dimensional locality preserving projection

I. PENDAHULUAN

Metode autentikasi konvensional seperti *password*, PIN, token, dan *smart card* tidak relevan untuk diterapkan pada sistem yang membutuhkan keamanan tinggi. Sistem biometrika menggantikan metode konvensional dengan memanfaatkan ciri fisik atau perilaku manusia yang benar-benar merepresentasikan identitas seseorang dan kelebihannya yang sulit untuk diduplikasi, dicuri, maupun dipalsukan [5].

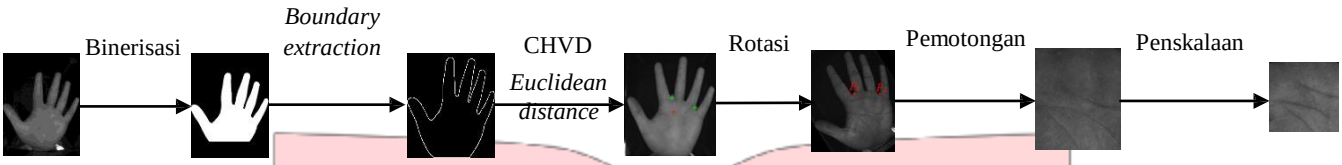
Tiga tantangan utama yang dihadapi sistem biometrika [6] yaitu akurasi, skala, dan usabilitas. Berbagai cara diusulkan untuk meningkatkan akurasi sistem biometrika diantaranya dengan menggabungkan lebih dari satu ciri biometris untuk pengenalan atau disebut dengan istilah sistem biometrika multimodal [1]. Selain itu, berbagai teknik ekstraksi ciri diusulkan untuk meningkatkan performansi sistem biometrika diantaranya yaitu LDA, PCA, ICA, LBP, dan LDP [3, 9, 12].

Pada penelitian ini dijelaskan mengenai sistem biometrika multimodal *palmprint* dan *palmvein* menggunakan ekstraksi ciri *Two-Dimensional Locality Preserving Projection* (2DLPP) karena terbukti berhasil digunakan dalam pengenalan identitas dengan akurasi yang cukup tinggi [2, 11]. Pada bab 2 akan dijelaskan tahapan-tahapan *preprocessing* pada citra diantaranya adalah pengambilan ROI citra kemudian pada bab 3 dibahas mengenai algoritma ekstraksi ciri 2DLPP. Pencocokan verifikasi dan identifikasi akan dibahas pada bab 4 dan bab 5 akan dibahas mengenai konfigurasi data yang digunakan, pengujian sistem, hasil pengujian, dan performansi sistem.

II. *PREPROCESSING*

Sebuah area segi-empat *Region of Interest* (ROI) diambil dari semua citra *palmprint* dan *palmvein* untuk mendapatkan bagian citra yang mengandung informasi penting sebelum dilakukan proses ekstraksi ciri. ROI diambil

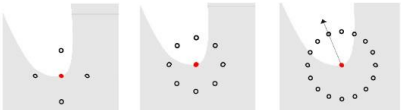
menggunakan algoritma *Competitive Hand Valley Detection (*CHVD) dan *Euclidean distance* [7, 10] untuk mendapatkan titik referensi (*reference point*) yang digunakan dalam pemotongan ROI. Sebelum dilakukan pengambilan ROI, beberapa tahapan umum dilakukan terhadap citra input diantaranya yaitu binerisasi dan *boundary extraction* [7]. Proses selanjutnya adalah pencarian titik referensi ROI menggunakan aturan CHVD dan *Euclidean distance*, rotasi, dan penskalaan menggunakan *bicubic interpolation*. Adapun diagram konseptual dari tahapan *preprocessing* adalah sebagai berikut:



Gambar 1 – Diagram konseptual *preprocessing*

A. Pengambilan ROI

Titik referensi yang digunakan adalah dua buah titik P_1 dan P_2. Titik P_1 terletak di antara jari telunjuk dan jari tengah sedangkan P_2 terletak di antara jari manis dan jari kelingking. Kedua titik tersebut termasuk dalam *valley point*. Algoritma CHVD mendapatkan titik referensi dengan menggunakan empat aturan CHVD yang diilustrasikan pada gambar di berikut ini:



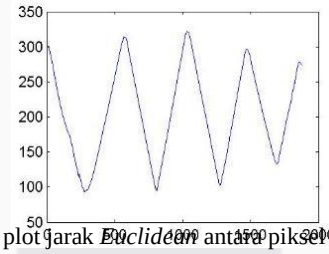
Gambar 2 – Ilustrasi pengecekan piksel *boundary* pada algoritma CHVD

Berikut ini merupakan empat kondisi yang harus terpenuhi oleh sebuah piksel (P_i) untuk dijadikan kandidat *valley point* pada algoritma CHVD [10]:

1. Terdapat 3 buah titik uji di sekitar P_i berada di area *palm*.
2. Terdapat lebih dari 4 buah titik uji di sekitar P_i berada di area *palm*.
3. Terdapat lebih dari 9 buah titik uji di sekitar P_i berada di area *palm*.
4. Jika ditarik sebuah garis lurus menuju luar area *palm* tidak bersinggungan dengan area *palmprint* di atasnya.

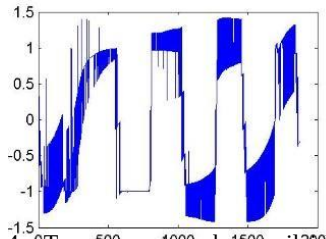
Sedangkan pada algoritma *Euclidean distance*, titik referensi ROI didapatkan dari hasil analisis terhadap grafik nilai jarak tiap piksel *boundary* dengan titik *centroid*. Berikut algoritma *Euclidean distance* untuk pengambilan ROI [7]:

1. Untuk semua piksel pada *boundary*, hitung jarak *Euclidean* dengan titik *centroid.*
2. Plot nilai jarak *Euclidean* ke dalam sebuah kurva.



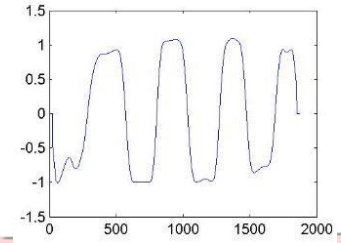
Gambar 3 – Kurva hasil plot jarak *Euclidean* antara piksel *boundary* dengan *centroid*

3. Plot turunan pertama dari kurva nilai jarak yang dihasilkan dari langkah 2.



Gambar 4 – Turunan pertama kurva nilai *Euclidean*

4. Hilangkan komponen berfrekuensi tinggi dari kurva menggunakan filter *smoothing.*



Gambar 5 – Kurva turunan pertama nilai *Euclidean* yang telah di-*smoothing*

5. Dapatkan posisi titik referensi ROI dengan cara mencari titik pada kurva yang melewati nilai nol (*zero-crossing*) atau mengalami perubahan tanda dari negatif ke positif.

B. Rotasi

Rotasi dilakukan untuk mengatasi adanya variasi pose atau orientasi telapak tangan. Rotasi dilakukan dengan cara memutar citra sebesar sudut tertentu (θ) yang didapat dari persamaan trigonometri di bawah ini:

(———) (1)

Titik x_1 dan y_1 merupakan koordinat piksel dari titik referensi P_1 sedangkan titik x_2 dan y_2 merupakan koordinat piksel dari titik referensi P_2.

C. Penskalaan

Jarak telapak tangan dari kamera yang bervariasi mengakibatkan ukuran citra ROI yang dihasilkan tidak konsisten. Oleh karena itu, normalisasi dimensi perlu dilakukan agar menghasilkan citra ROI dengan ukuran yang tetap mengingat beberapa algoritma ekstraksi ciri membutuhkan data citra dengan ukuran yang konsisten dan seragam, salah satunya 2DLPP. Normalisasi dilakukan dengan cara melakukan penskalaan menggunakan teknik *bicubic interpolation*.

III. EKSTRAKSI CIRI MENGGUNAKAN 2DLPP

Ciri dari *palmprint* maupun *palmvein* didapatkan dengan cara memproyeksikan citra menggunakan sebuah matriks transformasi yang didapatkan dari algoritma 2DLPP. Representasi ciri hasil 2DLPP disebut dengan *Laplacianpalm*. Matriks transformasi didapat dari proses 2DLPP yang diterapkan pada sebuah himpunan citra latih $X = \{x_1, x_2, \ldots, x_N\}$ dengan N merupakan jumlah sampel pada dataset.

Adapun algoritma dari 2DLPP [2, 4] dijelaskan sebagai berikut:

1. Pembentukan graf *nearest-neigbor*
   Graf *nearest-neighbor* (*S*) direpresentasikan sebagai sebuah matriks S_{ij} yang tiap elemen ke-*ij* menunjukkan kedekatan antara citra *i* dan citra *j* dalam sebuah dataset. Simpul *i* dan *j* terhubung jika citra *i* dekat dengan *k* buah titik yang bertetanggaan dengan *j* menggunakan *k-nearest neighbor* (KNN).
2. Pemberian bobot pada graf
   Jika simpul *i* dan *j* tidak saling terhubung, maka nilai $S_{ij} = 0$. Jika terhubung, maka bobot dapat dihitung dengan dua cara yaitu: (i) *simple-minded*, memberi nilai 1 S_{ij} jika *i* dan *j* saling terhubung dan (ii) *heat-kernel* memberi bobot menggunakan persamaan:

‖ ‖ (2)

dimana x_i dan x_j merupakan dua buah citra observasi dan *t* adalah sebuah konstanta yang telah ditentukan. Output dari tahap ini adalah matriks kemiripan yang simetris (*S*) berdimensi *N* x *N*.

3. Penyelesaian terhadap permasalahan *generalized eigenvalue* (*eigenmap*)
   Pada tahap ini, *eigenvector* dan *eigenvalue* dihitung dari persamaan:

$$XLX^T w = \lambda XDX^T w \quad (3)$$

$$\Sigma \quad (4)$$

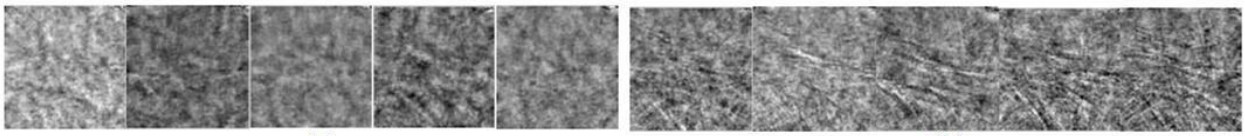
$$L = D - S \quad (5)$$

dimana X adalah kumpulan matriks citra dalam sebuah dataset, D adalah vektor hasil penjumlahan kolom atau baris dari S mengingat S adalah matriks simetris. L adalah matriks *Laplacian* hasil pengurangan matriks D dengan vektor S. Persamaan 3 akan menghasilkan solusi matriks $w = \{w_1, w_2, \ldots, w_d\}$ yang merupakan d buah *eigenvector* yang berkorespondensi dengan *eigenvalue* terurut secara *ascending*.

4. Proyeksi
Proyeksi dilakukan dengan melakukan perkalian matriks antara matriks citra dengan matriks W dari hasil persamaan 3 untuk mendapatkan vektor ciri.

$$x_i \rightarrow Y_i = X_i W, i = 1, 2, \ldots, N \quad (6)$$

Vektor baris berdimensi d (Y_i) adalah vektor ciri yang merepresentasikan citra X_i.



(a) (b)

Gambar 6. Representasi *Laplacianpalm* pada (a) *palmvein* dan (b) *palmprint*

IV. PENCOCOKAN

Terdapat dua buah pencocokan yang mampu dilakukan oleh sistem biometrika yaitu verifikasi dan identifikasi [5]. Verifikasi yang disebut juga dengan istilah *positive recognition* atau *one-to-one matching* adalah sebuah pencocokan yang dilakukan antara data biometris milik seseorang dengan data di dalam *database* yang identitasnya diklaim milik orang tersebut. Identifikasi yang disebut juga dengan istilah *negative recognition* atau *one-to-many matching* adalah pencocokan yang dilakukan antara data biometris milik seseorang dengan semua data yang ada di dalam *database*.

A. *Similarity Measurement*
Perhitungan jarak digunakan untuk mengukur tingkat kemiripan antar dua buah citra. Pada kasus ini, perhitungan jarak pada *similarity measurement* digunakan untuk menghitung jarak antar dua buah vektor ciri. Metode pengukuran yang digunakan pada penelitian ini yaitu *Euclidean distance*. Berikut persamaan *Euclidean distance* untuk mengukur jarak antara vektor ciri f_1 dan f_2:

$$(\quad) \quad \sqrt{\Sigma} \quad (\qquad) \quad (7)$$

dengan N adalah jumlah atribut atau panjang dimensi dari vektor ciri f_1 dan f_2.

B. Keputusan
Terdapat dua keputusan yang diambil oleh sebuah sistem biometrika tergantung *mode* yang dijalankan. Pada *mode* verifikasi, keputusan yang diambil adalah "diterima" atau "ditolak". Pada *mode* identifikasi, keputusan yang diambil adalah "dikenali" atau "tidak dikenali". Apabila jarak minimum pencocokan lebih kecil dari nilai *threshold* maka keputusan yang diambil yaitu "diterima" atau "dikenali", sebaliknya keputusan yang diambil yaitu "ditolak" atau

$$___(\quad)____(\quad - \quad (8)$$

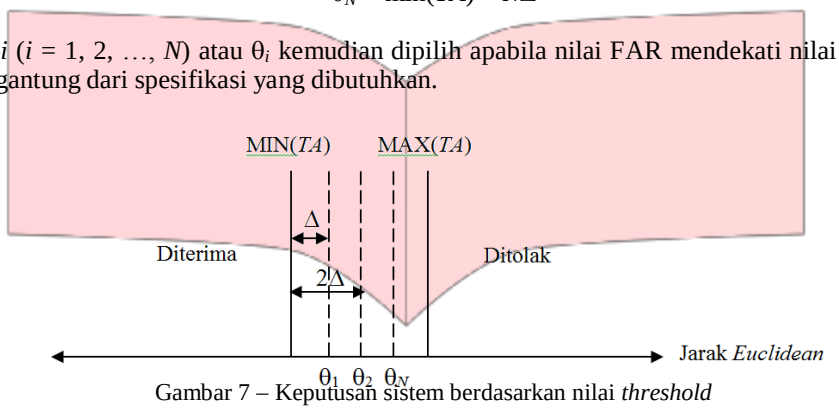
"tidak dikenali". Nilai *threshold* (θ) yang digunakan dalam pengambilan keputusan didapatkan dari sebuah *threshold array* [8] melalui persamaan:

( ) ((8)

Threshold Array (*TA*) didapat dari jarak *Euclidean distance* antar semua vektor ciri sampel dalam sebuah dataset. Jika pada sebuah dataset terdapat *N* individu dengan masing-masing *M* sampel maka terdapat *N* buah *TA*, masing-masing *TA* memiliki *M* buah nilai *threshold*. β adalah sebuah konstanta yang telah ditetapkan untuk membagi nilai *threshold* menjadi *N* bagian. Kemudian, *N* nilai *threshold* akan diujikan untuk mendapatkan nilai FAR dan FRR optimal dengan persamaan:

$$\theta_1 = \min(TA) + \Delta$$
$$\theta_2 = \min(TA) + 2\Delta \quad (9)$$
$$\theta_N = \min(TA) + N\Delta$$

Nilai *threshold* ke-*i* (*i* = 1, 2, …, *N*) atau θ_i kemudian dipilih apabila nilai FAR mendekati nilai FRR atau nilai FAR sangat kecil [8] tergantung dari spesifikasi yang dibutuhkan.



Gambar 7 – Keputusan sistem berdasarkan nilai *threshold*

V. HASIL DAN ANALISIS

Pada penelitian dilakukan beberapa skenario pengujian untuk mendapatkan parameter optimal dan mengukur performansi dari sistem yang dibangun. Terdapat dua tipe dasar kesalahan pada sistem biometrika yaitu FAR dan FRR [5]. Analisis performansi sistem dilakukan dengan sebuah metrik pengukuran yang ditunjukkan oleh kurva ROC. Performansi didapatkan dari perpotongan antara kurva FAR dan FRR yang disebut dengan *Equal Error Rate* (EER). Semakin kecil nilai EER, semakin bagus performansi yang dihasilkan.

A. Spesifikasi Perangkat Keras dan Perangkat Lunak
Pengujian dijalankan di atas komputer dengan prosesor Intel(R) *Core* (TM) i3 2,4 GHz dan RAM 2 GB menggunakan sistem operasi Windows 7 64-bit dan *tools* simulasi MATLAB R2009b.

B. Dataset
Adapun dataset yang digunakan dalam penelitian ini adalah CASIA Multi-Spectral Palmprint Database v1.0 yang terdiri dari citra *palmprint* (iluminator 460 nm) dan *palmvein* (iluminator 850 nm) berukuran 768 x 576 piksel milik 100 individu dengan ID 001 – 100, 6 sampel per individu dengan label 01 – 06, dan menggunakan tangan sebelah kiri saja (100 x 6 x 2 = 1200).

C. Pengukuran Performansi
Pengukuran performansi dilakukan dengan dua cara yaitu menggunakan akurasi, FAR, dan FRR. Akurasi dihitung menggunakan rumus:

(10)

sedangkan FAR dan FRR dihitung menggunakan rumus:

(11)

(12)

D. *Baseline* Akurasi

Pengujian yang dilakukan pertama kali adalah mencari *baseline* akurasi masing-masing modalitas jika digunakan pada sistem unimodal menggunakan semua atribut pada vektor ciri yang berjumlah 600 atribut (panjang dimensi (n) = 600). Pengujian ini menggunakan data dengan model konfigurasi 2 (bab 5 poin B) untuk menghitung akurasi. Tabel di bawah ini menunjukkan *baseline* akurasi dari *palmprint* dan *palmvein*:

Tabel 1 – *Baseline* akurasi dari *palmprint* dan *palmvein* dalam konteks sistem unimodal

Kombinasi label pencocokan (data validasi → data model)	Akurasi	
	Palmprint	*Palmvein*
01 → {02, 03, 04, 05, 06}	85 %	92 %
02 → {01, 03, 04, 05, 06}	93 %	95 %
03 → {01, 02, 04, 05, 06}	87 %	92 %
04 → {01, 02, 03, 05, 06}	88 %	96 %
05 → {01, 02, 03, 04, 06}	92 %	98 %
06 → {01, 02, 03, 04, 05}	89 %	96 %
Rata-rata (*baseline* akurasi)	**89 %**	**94,83 %**

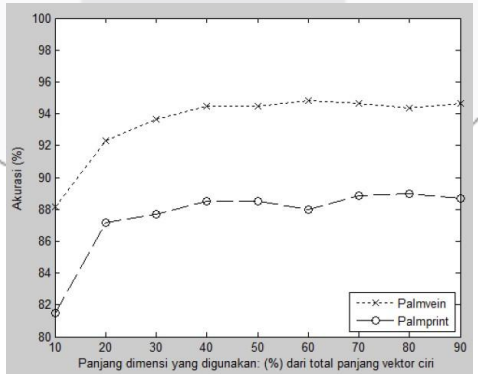
E. Panjang Dimensi Vektor Ciri

Jumlah atribut atau panjang dimensi vektor ciri diuji dengan beberapa nilai untuk mencari panjang yang optimal untuk masing-masing vektor ciri *palmprint* dan *palmvein* secara independen pada sistem unimodal. Hasil akurasi terbaik dari beberapa panjang dimensi vektor ciri yang diujikan pada *palmprint* dan *palmvein* ditunjukkan dalam tabel berikut:

Tabel 2 – Perbandingan akurasi dengan menggunakan beberapa jumlah atribut vektor ciri untuk *palmprint* dan *palmvein*

Jumlah (%) dari dimensi total	Jumlah atribut	Akurasi	
		Palmprint	*Palmvein*
10 %	60	81,50 %	88,17 %
20 %	120	87,17 %	92,33 %
30 %	180	87,67 %	93,67 %
40 %	240	88,50 %	94,50 %
50 %	300	88,50 %	94,50 %
60 %	360	88,00 %	**94,83 %**
70 %	420	88,83 %	94,67 %
80 %	480	**89,00 %**	94,33 %
90 %	540	88,67 %	94,67 %

Adapun nilai akurasi jika diplot ke dalam grafik akan menghasilkan kurva sebagai berikut:



Gambar 8 – Grafik karakteristik pengaruh panjang dimensi vektor ciri dengan akurasi sistem unimodal *palmprint* dan *palmvein*

Grafik di atas menunjukkan karakteristik pengaruh penggunaan jumlah atribut vektor ciri terhadap akurasi. Reduksi dimensi memiliki keuntungan yaitu dapat mempersingkat waktu pemrosesan dan mengeliminasi atribut yang tidak relevan yang dapat menurunkan akurasi.

F. Unimodal v.s Multimodal

Pada pengujian ini akan ditunjukkan penggunaan dua buah modalitas *palmprint* dan *palmvein* secara simultan pada sistem multimodal dapat meningkatkan akurasi. Menggunakan panjang dimensi vektor ciri optimal yang diperoleh dari hasil pengujian sebelumnya, pada pengujian ini, nilai kemiripan atau skor pencocokan hasil dari perhitungan *Euclidean distance* (persamaan 7) masing-masing modalitas akan dikombinasikan dengan menambahkan konstanta bobot (α). Pemberian bobot bertujuan untuk memberi tingkat kepercayaan lebih kepada salah satu vektor ciri, dalam hal ini adalah ciri dari *palmvein* yang menghasilkan akurasi lebih tinggi. Pencocokan dilakukan dengan menambahkan bobot pada hasil perhitungan jarak *Euclidean distance* menjadi:

$$d = \alpha\, d_{print} + (1 - \alpha)\, d_{vein} \quad (13)$$

Tabel berikut menunjukkan akurasi dengan mengambil beberapa sampel nilai bobot α dari hasil pengujian terhadap 100 nilai α dengan rentang dari 0 sampai 1 dan kenaikan nilai sebesar 0,01:

Tabel 3 – Akurasi sistem multimodal diujikan dari lima buah sampel nilai α

α	0	0,01	…	0,13	0,14	0,15	**0,16**	0,17	…	1
Akurasi	89 %	95 %	…	95,5 %	95,5 %	95,5 %	**95,83 %**	95,76 %	…	94,83 %

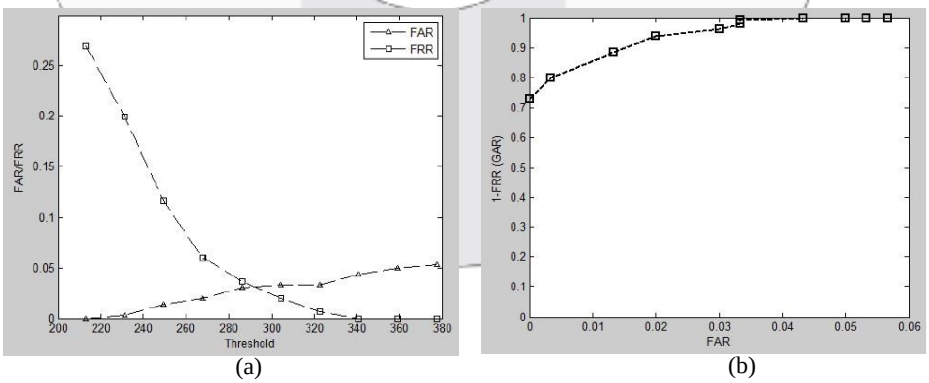
Dari tabel di atas menunjukkan adanya peningkatan akurasi jika dilakukan kombinasi nilai kemiripan dari ciri *palmprint* dan *palmvein* menggunakan sebuah konstanta bobot. Pada sistem unimodal, akurasi tertinggi didapatkan dari ciri *palmvein* yaitu 94,83%. Pada sistem multimodal, akurasi meningkat menjadi 95,83% dengan nilai α = 0,16 yang artinya level kepercayaan 16% diberikan kepada ciri *palmprint* dan 84% diberikan kepada ciri *palmvein*.

G. Nilai *Threshold* dan Performansi

Beberapa nilai β diujikan untuk mendapatkan nilai *threshold* yang optimal. Berikut ini tabel yang menunjukkan nilai *threshold* yang menghasilkan nilai FAR dan FRR yang terkecil dari empat nilai β :

Tabel 4 – FAR dan FRR yang dihasilkan dari pengujian lima buah nilai β beserta nilai *threshold*-nya

β	FAR	FRR	Selisih	Nilai *threshold*
25	0,033	0,020	0,013	304,3551
50	0,030	0,037	0,007	286,0596
75	0,033	0,020	0,013	304,3551
100	0,030	0,023	0,013	**295,2073**



(a) (b)

Gambar 9 – Kurva ROC (a) menunjukkan EER dan (b) FAR vs GAR

Nilai *threshold* optimal diambil berdasarkan nilai FAR dan FRR terrendah yang mampu dicapai yaitu 0,03 dan 0,023 atau menghasilkan nilai EER = 0,0265 dilihat dari kurva pada gambar 9a serta *error rate* sebesar 0,057 dilihat dari kurva pada gambar 9b. Nilai *threshold* yang digunakan untuk pengujian yaitu 295,2073. Dari 300 kali percobaan untuk

masing-masing verifikasi dan identifikasi terhadap 100 individu, hasilnya 16 kesalahan terjadi saat proses verifikasi dan 15 kesalahan (8 kesalahan dalam penerimaan dan 7 kesalahan dalam penolakan) terjadi saat proses identifikasi. Performansi sistem terrangkum pada tabel di bawah ini:

Tabel 5 – Performansi sistem

Mode pengenalan	*Error rate*	*Recognition rate*
Verifikasi	5,33 %	94,76 %
Identifikasi	2,67 %	97,33 %

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada penelitian ini telah dibahas mengenai sistem biometrika multimodal menggunakan *palmprint* dan *palmvein* dengan penggabungan modalitas di level nilai kemiripan. Menggunakan algoritma ekstraksi ciri 2DLPP, sistem multimodal menghasilkan akurasi yang lebih tinggi dari sistem unimodal. Kelebihan dari 2DLPP adalah mampu mengambil ciri berupa topologi atau informasi mengenai struktur lokal dari sebuah citra dengan presisi. Kelemahannya adalah algoritma ini tidak tahan terhadap variasi pencahayaan dan orientasi. Variasi pencahayaan diatasi dengan membagi sampel data latih dan data uji dengan komposisi citra dengan pencahayaan gelap dan terang secara merata sedangkan variasi pose atau orientasi diatasi dengan menormalisasi citra ROI dengan cara melakukan rotasi dan penskalaan. Adapun beberapa saran untuk penelitian berikutnya yaitu: (i) menambahkan *zoning* atau *partitioning* pada citra dengan membagi citra ROI menjadi beberapa region sebelum dilakukan proses ekstraksi ciri, (ii) menerapkan teknik pengambilan ROI yang lebih *robust* dan menerapkan *image registration* untuk menangani variasi pose atau orientasi pada *palmprint* maupun *palmvein*, (iii) menerapkan *enhancement* pada citra untuk memperjelas komponen penting dari *palmprint* dan *palmvein*, (iv) mencoba penggabungan di level lain seperti level sensor dengan menggabungkan lebih dari satu citra secara langsung, level ciri, atau level keputusan, dan (v) memanfaatkan ciri lain pada *palm* seperti *palm geometry* menggunakan nilai statistika *chain code*, titik potong (*intersection*) antara *principal line* pada *palmprint* dengan garis pembuluh darah (*vascular pattern*) pada *palmvein*.

REFERENSI

[1] Ashish, M.. 2010. Multimodal Biometrics it is: Need for Future Systems. International Journal of Computer Applications.3:4.

[2] Chen, S., Zhao, H., Kong, M., Luo B.. 2007. 2DLPP: A Two-Dimensional Extension of Locality Preserving Projections. Neurocomputing 70 912 – 921.

[3] Connie, T., Teoh, A., Goh, M., Ngo, D.. 2003. Palmprint Recognition with PCA and ICA. Image and Vision Computing.

[4] He, Xiaofei. 2005. Locality Preserving Projections. Dokumen disertasi untuk meraih gelar *Doctor of Philosophy*, Chicago, Illinois.

[5] Jain, A.K., Flynn, P., Ross, A.A.. 2008. Handbook of Biometrics. USA: Springer Science and Business Media, LLC.

[6] Jain, A.K., Prakanthi, S., Prabhakar, S., Hong, L., Ross, A.A., Wayman, J.L.. 2004. Biometrics: A Grand Challenge. Proceeding of International Conference on Pattern Recognition.

[7] Kekre, H.B., Sarode, T., Vig, R.. 2012. An Effectual Method for Extraction of ROI of Palmprints. International Conference on Communication, Information and Computing Technology (ICCICT) 19 – 20.

[8] Malik, J., Girdhar, D.. 2014. Reference Threshold Calculation for Biometrics Authentication. International Journal Graphics and Signal Processing.2 46 – 53.

[9] Mirmohamadsadeghi, L., Drygajlo, A.. 2011. Palmvein Recognition with Local Binary Pattern and Local Detivative Pattern.

[10] Tjokorda, A.B.W., Adhi, H.A., Kuswanto, D.H., Retno, N.D.. 2013. Real-Time Hand-Tracking on Video Image Based on Palm Geometry. International Conference of Information and Communication Technology (ICoICT).

[11] Wang, J., Yau, W., Suwandy, A., Sung, E.. 2008. Fusion of Palmprint and Palmvein Images for Person Recognition Based on Laplacianpalm Feature. Pattern Recognition 41.

[12] Wu, X., Wang, K., Zhang, D.. 2003. Palmprint Recognition Using Fisher's Linear Discriminant. Internatoinal Conference on Machine Learning and Cybernetics.