

PENGEMBANGAN METODE SELEKSI TITIK *MINUTIAE* PADA SIDIK JARI DENGAN RADIUS KETETANGGAAN

Yohanes I. Riskajaya¹⁾ dan Tohari Ahmad²⁾

^{1,2)} Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi
Institut Teknologi Sepuluh Noverber
Surabaya, Indonesia

e-mail: indra13@mhs.if.its.ac.id¹⁾, tohari@if.its.ac.id²⁾

ABSTRAK

Sidik jari sebagai sarana otentikasi sudah banyak digunakan dalam berbagai sistem, baik untuk memberi akses ke dalam sebuah sistem maupun hanya sebagai pencatat kehadiran. Seiring semakin banyaknya penerapan tersebut, keamanan data sidik jari menjadi tantangan tersendiri. Sejumlah metode telah dipelajari untuk mengamankan data sidik jari, mulai dari teknik enkripsi konvensional hingga teknik transformasi. Metode transformasi data sidik jari merupakan sebuah teknik yang menerapkan suatu fungsi transformasi pada data sidik jari secara searah sehingga kemungkinan untuk dikembalikan ke dalam bentuk aslinya nyaris mustahil, namun tetap dapat dilakukan pencocokan dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan template sidik jari yang memiliki akurasi yang tinggi pada saat proses pencocokan. Salah satu proses dalam pembuatan template sidik jari yang dapat mempengaruhi tingkat akurasi adalah proses seleksi titik minutiae yang merupakan proses paling awal. Maka dalam penulisan ini diusulkan sebuah mekanisme seleksi titik yang baru dengan memanfaatkan proses seleksi dari metode pair-polar sebagai seleksi titik referensi kemudian menambahkan proses seleksi titik ketetanggaan yang dibatasi dengan radius tertentu dari titik referensi. Hasil uji coba menunjukkan bahwa metode seleksi yang diusulkan mampu menekan kesalahan identifikasi sehingga dapat disimpulkan sebagai peningkatkan akurasi secara keseluruhan.

Kata Kunci: biometrik, cancelable template, otentikasi, seleksi minutiae, sidik jari, transformasi.

ABSTRACT

Fingerprints have been widely used as a means of authentication in various systems, both to provide access to the system or only as registrar presence. With the increasing number of such applications, the security of fingerprint data has more challenge. A number of methods have been studied for securing fingerprint data, ranging from conventional encryption techniques to data transformation techniques. Fingerprint data transformation method is a technique that applies a transformation function on the fingerprint data in a one-way direction that it is almost impossible to reconstruct to its original shape, but it can still made to be match with high accuracy. The purpose of this research is to generate a fingerprint template, which can achieve high accuracy in matching process. One of the processes in generating fingerprint template that can affect the accuracy of matching process is the selection process. This paper proposed a new mechanism of selection point with adoption of selection method in pair-polar as reference point selection then add neighbouring-points selection process in the certain radius from a reference point. Experiment results show that the proposed selection method can suppress the mistake in identifications, therefore, overall accuracy level is improved.

Keywords: authentication, biometric, cancelable template, fingerprint, minutiae selection, transformation.

I. PENDAHULUAN

CARA otentikasi klasik dengan menggunakan kata sandi atau *token* masih banyak digunakan. Namun konsep otentikasi tersebut masih menyimpan beberapa permasalahan, salah satunya pengguna dapat kehilangan atau lupa dengan kata sandinya. Permasalahan lainnya berkaitan dengan mudahnya kata sandi atau token dipindahtangankan kepada pengguna lain, sehingga sistem tidak dapat menjamin keabsahan pengguna yang sudah melewati proses otentikasi. Dari permasalahan yang ada tersebut, biometrik merupakan jawaban yang paling baik untuk diterapkan.

Data biometrik bersifat relatif unik dan permanen, melekat pada masing-masing individu penggunanya. Resiko seperti lupa dan kehilangan kata sandi tidak akan terjadi pada data biometrik. Salah satu data biometrik yang paling banyak digunakan adalah sidik jari. Penggunaan sidik jari sebagai kunci untuk masuk dalam sebuah sistem sudah umum diterapkan. Dengan segala keunggulan yang dimiliki data biometrik, kelemahan dalam hal keamanan penyimpanan data biometrik menjadi perhatian tersendiri saat ini. Sebuah data sidik jari yang disimpan dalam database tanpa pengamanan dapat dicuri dan direkonstruksi untuk membentuk sebuah sidik jari tiruan. Sekalinya data sidik jari tersebut dicuri dan disalahgunakan, maka akibatnya selamanya dikompromikan.

Pengamanan data sidik jari menggunakan teknik kriptografi konvensional seperti AES tidak disarankan karena jika proses pencocokan dilakukan setelah proses dekripsi, maka data sidik jari tersebut dapat terungkap. Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk mengamankan data biometrik, secara khusus yang akan dibahas dalam penelitian

ini adalah data sidik jari. Dari sebuah citra sidik jari dapat diperoleh beberapa fitur seperti yang diungkapkan pada [1] yang dibagi menjadi 3 level fitur, yang pertama adalah titik pusat atau *singular point* yang dapat berbentuk *loop* atau *delta*. Level pertama sering disebut sebagai fitur global. Level kedua adalah fitur lokal, yang merupakan titik *minutiae* dengan beberapa karakteristik *ridge*, antara lain yang paling banyak digunakan adalah *ridge ending* dan *ridge bifurcation*. Level ketiga adalah fitur yang paling detail, meliputi perbedaan lebar *ridge*, bentuk, *curvature*, kontur tepi dari *ridge*, hingga titik pori-pori keringat. Beberapa penelitian seperti [2-7] menggunakan fitur global dan atau fitur lokal yang merupakan level 1 dan level 2. Penggunaan fitur global tidak lagi diteruskan dalam penelitian saat ini, karena keberadaan fitur global kurang dapat diandalkan. Fokus dari sejumlah penelitian tersebut salah satunya adalah permasalahan tingkat akurasi yang diperoleh pada saat proses pencocokan dalam domain transformasi. Untuk itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk terus meningkatkan akurasi tersebut.

Salah satu proses dalam pembuatan *template* adalah proses seleksi titik *minutiae*. Ketepatan dalam pemilihan titik *minutiae* dapat mempengaruhi tingkat akurasi pada saat proses pencocokan. Pada tulisan ini, kami mengusulkan metode seleksi yang baru untuk meningkatkan akurasi pada proses pencocokan dengan memanfaatkan hubungan titik tetangga terhadap suatu titik referensi berdasarkan area radius tertentu.

Struktur makalah ini selanjutnya akan disusun sebagai berikut. Bagian II menjelaskan penelitian yang berhubungan dengan metode yang diusulkan. Bagian III menjelaskan metode yang diusulkan, dan bagian IV memaparkan hasil uji coba dan analisa. Terakhir adalah kesimpulan dari penelitian ini ada pada bagian V.

II. PENELITIAN TERKAIT

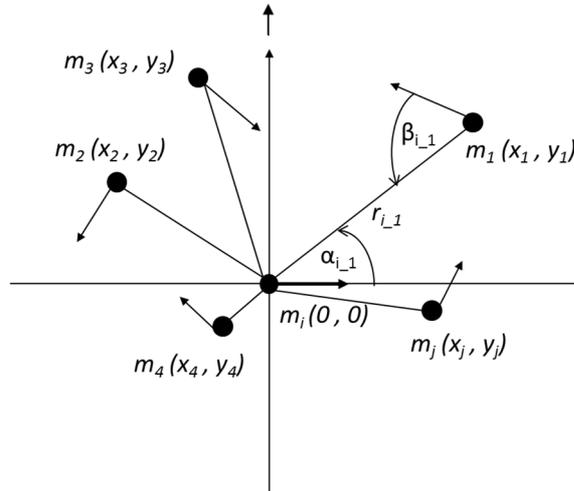
Pembuatan *template* berdasarkan titik *minutiae* memang membutuhkan usaha yang lebih besar jika dibandingkan dengan menggunakan titik pusat. Namun, seperti pada [2] dan banyak penelitian belakangan ini, pembuatan *template* berdasarkan titik *minutiae* menghilangkan proses *pre-alignment* yang dibutuhkan jika menggunakan titik pusat. Proses tersebut bertujuan untuk menyetarakan posisi titik-titik *minutiae* pada sidik jari *template* dengan titik-titik *minutiae* pada sidik jari *query* sehingga ketika dihitung jaraknya pada proses pencocokan dapat ditemukan kedekatannya. Beberapa penelitian seperti [5] dan [7] mengawali pembuatan *template* dengan proses seleksi. Proses ini bertujuan untuk memilih titik-titik *minutiae* berdasarkan kriteria yang diinginkan.

Pada [5], seleksi dilakukan untuk memilih titik-titik yang memiliki jarak minimal tertentu dan membuang titik-titik yang tidak terpilih sehingga mengurangi beban komputasi pada saat proses pencocokan. Masing-masing titik yang terpilih tadi dijadikan titik referensi untuk membentuk suatu vektor ketetanggaan terhadap titik-titik referensi yang lainnya. Jadi tiap titik referensi terhubung dengan semua titik referensi lainnya. Vektor ketetanggaan tersebut diperoleh dengan melakukan perubahan koordinat titik relatif dalam kartesian (x, y) menjadi bentuk koordinat polar (r, α) , ditambahkan dengan sudut yang dibentuk dari orientasi titik *minutiae* tetangga terhadap garis jarak r antara dua titik yang disebut β . Fitur r, α, β yang menggambarkan hubungan antara titik referensi dengan titik tetangga disebut sebagai *pair-polar*. Selanjutnya masing-masing himpunan vektor dari suatu titik referensi akan ditransformasi dengan metode transformasi polar dengan menggunakan kunci tertentu.

Sedangkan pada [7], proses seleksi dilakukan dengan memilih titik-titik *minutiae* yang akan diproses berdasarkan area luasan tertentu pada citra sidik jari untuk menghindari ketidakcocokan akibat daerah yang tidak saling tumpang tindih antara data yang digunakan sebagai *template* dengan data *query*. Area segi empat ditentukan pada sisi atas, samping, dan tengah dari suatu citra sidik jari, sehingga diperoleh titik-titik *minutiae* yang ada pada daerah tersebut. Tiap daerah yang ditentukan mencakup 15 titik *minutiae* yang akan digunakan dalam proses transformasi dengan menggunakan teknik *fuzzy vault*. Jika pada saat pencocokan tidak diperoleh jumlah kecocokan titik yang mencukupi, maka akan dipilih area yang lain dimana ada kemungkinan area tersebut merupakan area yang sama yang digunakan pembuatan *template*.

III. SKEMA YANG DIUSULKAN

Skema penelitian dalam transformasi pada umumnya terbagi menjadi tiga proses, yaitu seleksi, transformasi, dan pencocokan. Pada proses seleksi, titik-titik *minutiae* yang ada dipilih dengan aturan dan kriteria tertentu untuk selanjutnya diproses dengan terlebih dahulu mendefinisikan fitur baru atau langsung masuk pada proses transformasi. Di dalam proses transformasi, data titik-titik *minutiae* yang telah diseleksi akan diubah dengan suatu fungsi transformasi sedemikian rupa sehingga terkesan acak dan tidak dapat dikembalikan ke bentuk semula. Konsep transformasi ini mirip dengan prinsip fungsi *hash*, dimana data yang telah dikenai fungsi *hash* tidak dapat dikembalikan ke bentuk asalnya, namun jika data yang sama dimasukkan dalam fungsi *hash* yang sama akan menghasilkan nilai keluaran yang sama pula. Proses terakhir adalah pencocokan antara *template* dengan *query*, dimana keduanya berasal dari proses pengambilan citra yang berbeda namun diproses dengan seleksi dan transformasi yang sama. Dalam penelitian ini, akan diusulkan pengembangan skema dari seleksi titik *minutiae* yang didasarkan pada [5].



Gambar 2. Cara memperoleh vektor ketetangaan dari suatu titik *minutiae* referensi.

A. Seleksi Titik Referensi

Proses seleksi pada [5] dilakukan untuk mengeliminasi sejumlah titik *minutiae* sehingga tidak semua titik *minutiae* akan diproses dalam pembuatan *template*. Dari seluruh titik *minutiae* yang ada, hanya *k* titik yang jaraknya satu sama lain lebih besar dari nilai ambang yang ditentukan (*thold_dis_i*). Untuk menghitung jarak antar titik pada [5] didefinisikan sebagai berikut

$$dis(m_i, m_j) = t_1 \times \Delta r + t_2 \Delta \alpha \tag{1}$$

dimana $\Delta r = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$, dan $\Delta \alpha = \min(|\theta_i - \theta_j|, (360 - |\theta_i - \theta_j|))$, dan kedua parameter $t_1 = 1$ dan $t_2 = 0,2$.

Berbeda dengan [5], skema seleksi yang diusulkan dalam titik ini menerapkan titik yang diseleksi di awal sebagai titik *minutiae* referensi, sedangkan titik-titik yang tidak masuk dalam proses seleksi tetap dipertahankan untuk proses seleksi tahap kedua. Yang dimaksud seleksi tahap kedua di sini adalah penentuan titik-titik ketetangaan terhadap titik *minutiae* referensi.

B. Seleksi Titik Ketetangaan

Dari titik-titik referensi yang diperoleh dari proses seleksi di atas, selanjutnya adalah memilih titik-titik ketetangaan untuk masing-masing titik referensi. Titik tetangga dari titik referensi tidak mencakup semua titik lainnya, hanya titik-titik yang berada di dalam lingkaran dengan radius tertentu (termasuk titik-titik yang tidak lolos seleksi tahap awal) yang akan diproses sebagai titik tetangga dari suatu titik *minutiae* referensi. Gambar 1 menunjukkan ilustrasi seleksi titik-titik ketetangaan pada seleksi tahap kedua, dengan asumsi titik yang menjadi pusat adalah anggota titik referensi yang terpilih pada seleksi tahap awal.

Pada [5], titik-titik ketetangaan merupakan seluruh titik yang terpilih sebagai titik referensi. Masing-masing titik yang terpilih akan dijadikan pusat koordinat (0, 0) dengan orientasinya merupakan sumbu-x positif, sehingga semua titik-titik referensi lain di sekitarnya akan berada pada posisi relatif terhadap titik pusat tersebut. Dari situlah dibentuk suatu vektor ketetangaan dengan mengubah koordinat titik-titik tetangga ke dalam koordinat polar sehingga diperoleh fitur vektor [5]:

$$v_{i-j} = (r_{i-j}, \alpha_{i-j}, \beta_{i-j}) \tag{2}$$

dengan nilai *r*, *α*, *β* dideskripsikan sebagai berikut:

- jarak radial antara titik $m_i(0,0)$ dengan titik tetangga (x_j, y_j) dengan persamaan $r_{i-j} = \sqrt{x_j^2 + y_j^2}$
- sudut antara orientasi $m_i(\theta_i)$ dengan garis r_{i-j} berlawanan arah jarum jam dengan persamaan $\alpha_{i-j} = \arctan\left(\frac{y_j}{x_j}\right)$
- sudut antara orientasi *minutiae point* tetangga dan garis r_{i-j} berlawanan arah jarum jam dengan persamaan $\beta_{i-j} = \arctan\left(\frac{y'_i}{x'_i}\right)$

Gambar 2 menunjukkan ilustrasi perolehan vektor ketetangaan terhadap suatu titik referensi. Dengan skema seleksi yang diusulkan, maka vektor v_{i-j} yang diperoleh dihitung berdasarkan seluruh titik-titik *minutiae* dalam radius ketetangaan, yang termasuk di dalamnya titik-titik referensi yang lain dan titik-titik non-referensi. Hal ini bertujuan agar pola yang dibentuk dari suatu titik referensi menjadi lebih terlokalisir untuk mendapatkan kecocokan yang lebih tinggi sekaligus pembeda yang jelas pada saat proses pencocokan.

C. Pencocokan

Pada penelitian ini tidak memberikan kontribusi dalam hal metode pencocokan. Untuk keperluan uji coba, akan digunakan mekanisme pencocokan seperti pada [5]. Dalam menghitung kedekatan antara satu vektor pada *template* dengan vektor pada *query* digunakan persamaan berikut:

$$\Delta r_{i,k,i,j} = \frac{|r'_{i,k} - r_{i,j}|}{r_{i,j}} \times 100\% \quad (3)$$

$$\Delta \alpha_{i,k,i,j} = \frac{\min(|\alpha'_{i,k} - \alpha_{i,j}|, 360 - |\alpha'_{i,k} - \alpha_{i,j}|)}{360} \times 100\% \quad (4)$$

$$\Delta \beta_{i,k,i,j} = \frac{\min(|\beta'_{i,k} - \beta_{i,j}|, 360 - |\beta'_{i,k} - \beta_{i,j}|)}{360} \times 100\% \quad (5)$$

Persamaan (3-5) digunakan untuk menghitung prosentase kedekatan masing-masing fitur antar satu vektor. Untuk dapat dinyatakan mirip, maka masing-masing harus memenuhi nilai ambang tertentu. Jika salah satu nilai saja berada di atas nilai ambang yang ditentukan, maka kedua vektor tersebut dinyatakan tidak mirip satu sama lain. Selain perhitungan kedekatan dari masing-masing fitur, [5] juga menerapkan perhitungan kedekatan secara keseluruhan dengan menggabungkan ketiganya dengan persamaan:

$$\Delta f = \Delta r \times wgh_r + \Delta \alpha \times wgh_\alpha + \Delta \beta \times wgh_\beta \quad (6)$$

Dimana nilai wgh_r , wgh_α , dan wgh_β merupakan konstanta pembobotan yang sudah ditentukan nilainya. Setelah mendapatkan nilai kedekatan dengan (6) dan juga memenuhi nilai ambang tertentu ($thold_{dis_2}$). Setelah didapatkan sejumlah vektor yang saling berpasangan antara *template* dengan *query*, maka dapat ditentukan apakah kedua himpunan vektor dari *template* dan *query* berasal dari titik referensi yang sama. Syarat-syarat penentuan kecocokan lebih lanjut ada pada [5].

IV. UJI COBA DAN EVALUASI

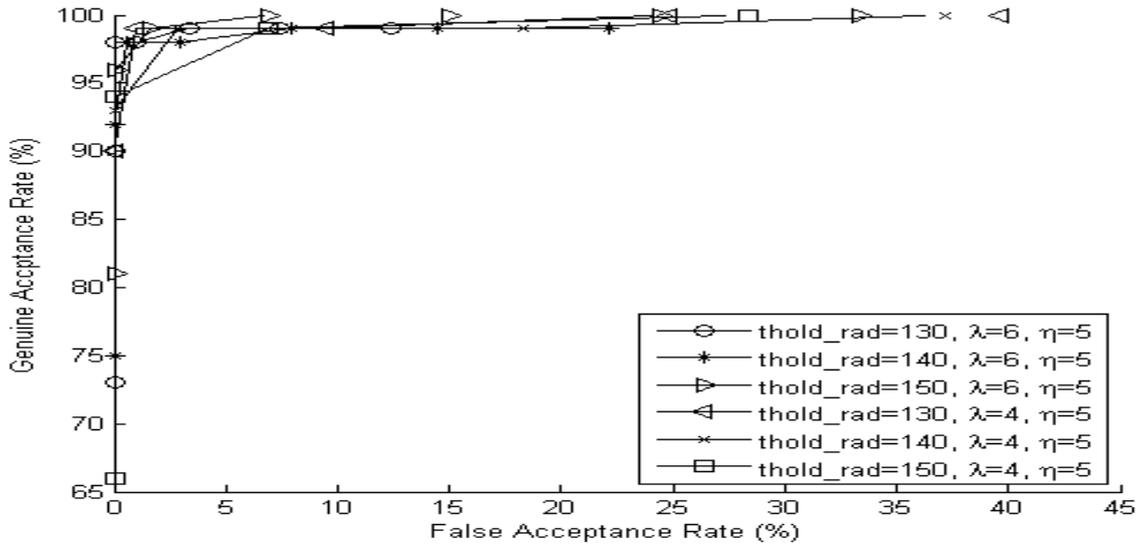
Uji coba dalam penelitian ini menggunakan *dataset* yang sama dengan [5-7], yaitu FVC2002DB2a [8]. *Dataset* ini berasal dari sebuah kegiatan kompetisi internasional yang diselenggarakan oleh BioLab – Universitas Bologna mengenai verifikasi sidik jari. Untuk keperluan kompetisi tersebut, maka dibangunlah sebuah basis data berisi citra sidik jari dari berbagai macam sumber baik itu asal jari maupun peralatan atau mesin yang digunakan untuk melakukan *scan* sidik jari. *Dataset* terdiri dari 100 data dari jari yang berbeda dengan masing-masing terdiri dari 8 pengambilan citra (impresi) yang berbeda. Data sidik jari dalam *dataset* yang disebutkan di atas masih dalam bentuk citra *grayscale*, sehingga sebelum digunakan dalam penelitian ini harus terlebih dahulu melalui proses ekstraksi fitur. Penelitian ini tidak membahas cara kerja ekstraksi fitur titik *minutiae* dari sebuah citra sidik jari, oleh karena itu untuk melakukan proses ekstraksi fitur digunakan aplikasi yang sudah ada, yakni *Verifinger*. Impresi yang digunakan adalah impresi 1 dan 2, dimana impresi 1 digunakan sebagai *template* dan impresi 2 digunakan sebagai *query*. Dengan jumlah 100 data *template* dengan 100 data *query*, maka total perbandingan yang dapat dilakukan sebanyak 10000, dengan 100 perbandingan untuk pengujian jari yang sama yang diukur dengan nilai *GAR* (*Genuine Acceptance Rate*), dan 9900 untuk pengujian jari yang berbeda yang diukur dengan nilai *FAR* (*False Acceptance Rate*). Pengujian jari yang sama dapat dilakukan dengan membandingkan data sidik jari yang memiliki nomer jari yang sama.

Untuk membandingkan performa akurasi, akan dibandingkan akurasi dengan menerapkan metode seleksi yang diusulkan dengan akurasi tanpa proses seleksi. Pada pembuatan *template* digunakan sejumlah parameter seperti yang ditampilkan pada Tabel I yang sebagian diambil langsung dari [5] kecuali untuk $thold_{rad}$ yang merupakan bagian dari metode yang diusulkan dalam penelitian ini. Jika pembuatan *template* dilakukan tanpa proses seleksi, maka seluruh titik *minutiae* yang ada diperlakukan sebagai titik referensi, dan vektor ketetanggaan diperoleh dari

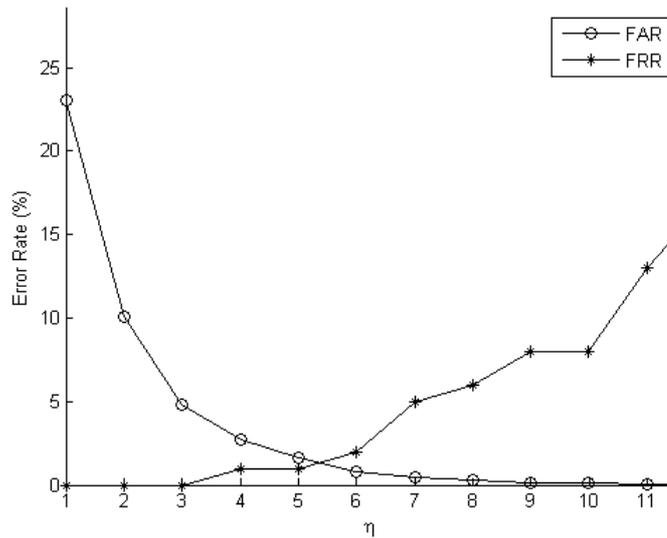
TABEL I
VARIABEL YANG DIGUNAKAN DALAM PEMBUATAN *TEMPLATE*

Variabel	Keterangan	Nilai
t_1	Pembobotan untuk menghitung jarak antar titik.	1
t_2	Pembobotan untuk menghitung jarak antar orientasi	0.2
$thold_{dis_1}$	Nilai ambang jarak antar titik dan jarak orientasinya untuk seleksi titik <i>minutiae</i> referensi.	40
$thold_{rad}$	Nilai ambang radius seleksi titik <i>minutiae</i> tetangga.	150

seluruh titik *minutiae* selain titik referensi yang bersangkutan. Tabel II menampilkan beberapa parameter yang berhubungan dengan proses pencocokan yang semuanya diambil dari [5].

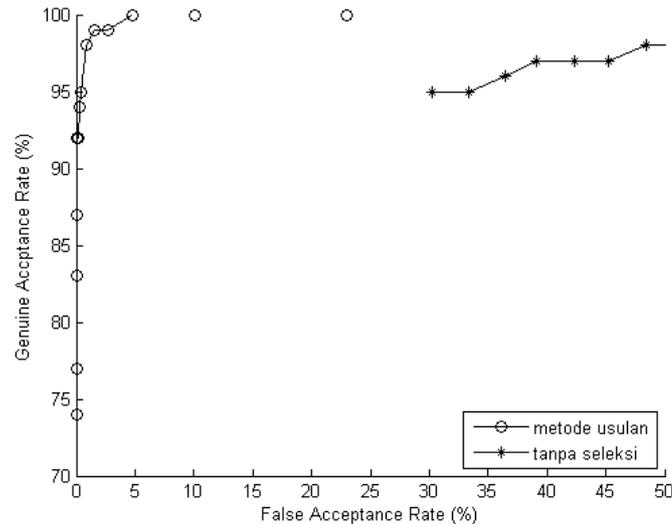


Gambar 3. Grafik ROC berdasarkan perubahan beberapa parameter.



Gambar 4. Grafik Equal Error Rate (EER) dari metode usulan

Gambar 3 menunjukkan grafik ROC dari uji coba dengan beberapa perubahan parameter, yaitu pada ukuran radius yang ditandai dengan parameter thold_rad mulai dari nilai 130, 140, dan 150. Bersamaan dengan itu dilakukan pula perubahan nilai $\lambda = 4$ dan $\lambda = 6$ pada uji coba tersebut. Hasil uji coba menunjukkan akurasi yang dicapai untuk $\text{thold_rad} = 130$ dengan $\lambda = 6$ adalah GAR 90% dan FAR 0%. Dengan radius yang lebih luas, yakni 140 piksel, diperoleh nilai akurasi GAR 92% dan FAR 0,01%, dan dengan radius 150 piksel diperoleh akurasi dengan nilai GAR 96% dan FAR 0,05%. Tampak bahwa akurasi terhadap data sidik jari yang benar semakin meningkat seiring dengan ukuran radius yang diberikan, namun resiko terhadap munculnya kesalahan identifikasi juga semakin besar. Gambar 4 menunjukkan titik keseimbangan error yang diperoleh dengan $\text{thold_rad} = 150$, $\text{thold_dis}_2 = 4$, dan $\lambda = 6$. Nilai Equal Error Rate (EER) ditunjukkan pada perpotongan garis antara grafik FAR dan FRR (False Rejection Rate) yang jatuh pada nilai 1,33%. FRR sendiri adalah kesalahan penolakan pada jari yang sama dan nilainya dapat diperoleh secara langsung dari nilai GAR dengan persamaan $FRR = 100\% - GAR$. Pada metode seleksi yang diusulkan di sini menambah satu parameter thold_rad yang juga dapat mempengaruhi tingkat



Gambar 5. Grafik ROC metode seleksi yang diusulkan dengan tanpa seleksi.

TABEL II
VARIABEL YANG DIGUNAKAN DALAM PROSES PENCOCOKAN

Variabel	Keterangan	Nilai
<i>thold_r</i>	Nilai ambang maksimal prosentase selisih jarak r	15
<i>thold_α</i>	Nilai ambang maksimal prosentase selisih sudut fitur $α$	7,5
<i>thold_β</i>	Nilai ambang maksimal prosentase selisih sudut fitur $β$	7,5
<i>wgh_r</i>	Konstanta pembobotan selisih jarak r	1
<i>wgh_α</i>	Konstanta pembobotan selisih sudut fitur $α$	0,2
<i>wgh_β</i>	Konstanta pembobotan selisih sudut fitur $β$	0,2
<i>thold_dis2</i>	Nilai ambang maksimal total prosentase selisih seluruh fitur ($r, α, β$)	4
$λ$	Jumlah minimal vektor ketetangaan yang cocok	6
$η$	Jumlah minimal titik <i>minutiae</i> referensi yang cocok	5

akurasi. Nilai $thold_{dis_1}$ yang digunakan untuk menentukan seleksi titik referensi juga dapat mempengaruhi akurasi, namun pada [5] telah ditetapkan nilai yang digunakan adalah 40.

Untuk dapat menganalisa lebih lanjut mengenai pengaruh proses seleksi titik *minutiae* terhadap akurasi, maka dilakukan uji coba perbandingan tingkat akurasi yang diperoleh dengan menggunakan proses seleksi dengan tanpa menggunakan proses seleksi yang hasilnya disajikan melalui grafik ROC pada Gambar 5. Tampak bahwa tanpa proses seleksi, nilai GAR yang diperoleh sangat tinggi dimulai dengan sekitar 95% dengan parameter yang sama, namun nilai FAR yang dimunculkan juga sangat tinggi dengan nilai 30% dimana hal tersebut menjatuhkan akurasi. Dibandingkan dengan menggunakan seleksi yang pada nilai GAR yang sama hanya mendapatkan nilai FAR sekitar 0,4%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan proses seleksi menggunakan metode yang diusulkan dapat menekan kesalahan identifikasi secara signifikan. Dampak bahwa nilai GAR juga diawali dengan nilai yang lebih rendah hingga 30% dapat tergantikan dengan penekanan nilai FAR yang lebih signifikan pula.

V. KESIMPULAN

Penggunaan data biometrik khususnya sidik jari semakin populer dan banyak diterapkan pada berbagai sistem dan aplikasi. Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengimbangi banyaknya penggunaan data sidik jari dengan konsep pengamanan yang kuat. Sebuah metode transformasi berbasis koordinat polar telah dikembangkan sebagai salah satu konsep pengamanan data sidik jari. Pengembangan metode seleksi berdasarkan metode *pair-polar* dengan menerapkan ketetangaan berdasarkan area lingkaran dengan radius tertentu telah diusulkan dalam jurnal ini. Hasil uji coba menunjukkan metode yang diusulkan ini lebih efektif dalam menekan kesalahan identifikasi sehingga dapat dikatakan juga meningkatkan akurasi secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Maltoni, *Handbook of Fingerprint Recognition*. Edisi ke-2, Springer: London.
- [2] N. K. Ratha, S. Chikkerur, J. H. Connell, dan R. M. Bolle, (April 2007), Generating Cancelable Fingerprint Templates, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 29(4).

- [3] C. Lee dan J. Kim, (2010), Cancelable Fingerprint Templates using Minutiae-based Bit-strings, *Journal of Network and Computer Applications*, 33(3), hal. 236-246.
- [4] T. Ahmad dan J. Hu, (2010), Generating Cancelable Biometric Templates using a Projection Line, *ICARCV*, Singapura, hal. 7-12.
- [5] T. Ahmad, J. Hu, dan S. Wang, (Oktober-November 2011), Pair-polar Coordinate-based Cancelable Fingerprint Templates, *Pattern Recognition*, 4(10-11), hal. 2555-2564.
- [6] K. Nandakumar, A. K. Jain, dan S. Pankanti, (2007), Fingerprint-based Fuzzy Vault: Implementation and Performance, *Information Forensics and Security*, 2(4), hal. 744-757.
- [7] K. Xi dan J. Hu, (2009), Biometric Mobile Template Protection: A Composite Feature based Fingerprint Fuzzy Vault, *IEEE International Conference on Communications*, Dresden, hal. 1-5.
- [8] BioLab University of Bologna, (2002), *Basis data sidik jari FVC2002*, <http://bias.csr.unibo.it/fvc2002/download.asp>.