

THINNING ZHANG-SUEN DAN STENTIFORD UNTUK MENENTUKAN EKSTRAKSI CIRI (MINUTIAE) SEBAGAI IDENTIFIKASI POLA SIDIK JARI WHORL DAN LOOP

Faiza Alif Fakhрина¹, Rahmadwati², Wijono³

Abstract— Fingerprint is the skin on the palms of the hands and feet that are covered with small ridge lines. Fingerprint pattern belonging to every human is being unique. There are fingerprint on the ridge pattern will not change during human life. Ridge pattern is characteristic of the fingerprint that can be used for biometric identification. Based on fingerprint ridge pattern into four, namely whorl, ulnar loop, radial loop, and arch. Minutiae Extraction (Crossing Number), Core and Delta, Center Point Location can be used for fingerprint pattern recognition. Some of the methods used in the fingerprint pattern recognition is Minutiae Extraction, and Thinning Zhang-Suen and Stentiford. Crossing Number is used for process Minutiae Extraction, example termination and bifurcation. The classification method used Linear Discriminant Analysis. The result fingerprint pattern recognition is system can recognize fingerprint pater as much as 20 images and system can not recognize fingerprint pattern as much as 10 images. Accuracy of fingerprint pattern recognition is 66%.

Intisari— Sidik jari merupakan kulit pada telapak tangan dan kaki yang tertutupi garis timbul kecil. Pola sidik jari yang dimiliki oleh setiap manusia bersifat unik. Pada sidik jari terdapat pola *ridge* yang tidak akan berubah selama manusia tersebut hidup. Pola *ridge* merupakan ciri pada sidik jari yang dapat digunakan untuk identifikasi biometrik. Berdasarkan pola *ridge* pada sidik jari dapat diklasifikasikan menjadi 4 yaitu, *whorl*, *ulnar loop*, *radial loop*, dan *arch*. Metode yang dapat digunakan untuk pengenalan pola sidik jari yaitu Ekstraksi *Minutiae* (*Crossing Number*), *Core* dan *Delta*, serta *Center Point Location*. Metode pengenalan pola yang digunakan pada penelitian ini adalah *Thinning Zhang-Suen* dan *Stentiford*, dan Ekstraksi *Minutiae* (*Crossing Number*). *Crossing Number* digunakan untuk proses ekstraksi *minutiae*, yaitu *termination* dan *bifurcation*. Metode klasifikasi yang digunakan adalah *Linear Discriminant Analysis*. Hasil pengenalan pola sidik jari menunjukkan bahwa sistem dapat mengenali pola sidik jari sebanyak 20 citra dan sistem tidak dapat mengenali pola sidik jari sebanyak 10 citra. Tingkat akurasi sistem pengenalan pola sidik jari pada penelitian ini sebesar 66%.

Kata Kunci— Sidik Jari, Pola Sidik Jari, Ekstraksi *Minutiae*, *Crossing Number*, *Linear Discriminant Analysis*.

I. PENDAHULUAN

Sidik jari adalah pola yang terbentuk pada epidermis dari ujung jari. Sidik jari terdiri dari *ridges* dan *valley* pada permukaan ujung jari dan memiliki *core* yang mengelilingi pola seperti *swirls*, *loop* atau *arch* untuk memastikan bahwa setiap pola sidik jari unik. Setiap manusia memiliki pola sidik jari yang unik. Tidak satupun manusia memiliki susunan sidik jari yang sama. Pola *ridge* pada jari tidak akan pernah berubah selama hidup manusia tersebut. Ciri ini yang membuat sidik jari menjadi identifikasi biometrik yang baik. [1]

Identifikasi berbagai pola sidik jari dimulai oleh Dr. Harold Cummins dan Midlo pada tahun 1943. Berdasarkan studi tersebut bahwa pola sidik jari diklasifikasikan menjadi 4 yaitu, *whorl*, *ulnar loop*, *radial loop*, dan *arch* [2]. Pengenalan pola sidik jari dapat dilakukan dengan melihat ciri yang dimiliki sidik jari, yaitu *minutiae* (metode *crossing number*), *core* dan *delta*, serta *Center Point Location*. Pada pengenalan sidik jari metode *thinning* sangat penting karena dapat mengurangi waktu proses sistem. Hasil dari metode *thinning* tidak merubah struktur sidik jari dan mempertahankan lokasi *ridge* pada sidik jari dan ciri *valley* atau bukit.

Metode *thinning* yang digunakan yaitu algoritma *thinning* paralel *Zhang-Suen* dan *Stentiford*. Metode *Zhang-Suen* memiliki keuntungan bahwa algoritma ini memiliki komputasi waktu cepat [3]. Hasil dari metode *Stentiford* cenderung mengikuti bentuk objek, maka citra *thinning* yang dihasilkan sesuai dengan citra asli.

Proses pengenalan pola sidik jari telah dilakukan sebelumnya oleh [4] dan sistem hanya mengidentifikasi pola sidik jari *whorl*. Maka dari itu penulis ingin membuat sebuah sistem pengenalan pola sidik jari *whorl*, *ulnar loop* dan *radial loop* menggunakan metode *thinning Zhang-Suen* dan *Stentiford* untuk menentukan ekstraksi ciri (*minutiae*). Pada proses pengolahan citra sidik jari menggunakan segmentasi ciri yaitu *thinning* untuk memudahkan dalam pengenalan pola sidik jari. Langkah selanjutnya yaitu mencari *minutiae* dan menghitung jumlah *minutiae* (*termination* dan *bifurcation*) setiap citra sidik jari.

¹Mahasiswa, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Jalan M.T. Haryono 167 Malang Indonesia 65145 (Hp: 082143685055; e-mail: alif.fakhrina@gmail.com)

^{2,3}Dosen, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Jalan M.T. Haryono 167 Malang 65145 Indonesia



Kelompokkan jumlah *minutiae* dari setiap citra sidik jari berdasarkan pola sidik jari. Langkah selanjutnya adalah klasifikasikan pola citra sidik jari berdasarkan jumlah *minutiae* menggunakan metode *Linear Discriminant Analysis* (LDA). LDA adalah metode *class-specific linear* dimana dapat melakukan transformasi pereduksian dimensi dari elemen-elemen yang merupakan anggota sebuah klas dikelompokkan bersama di dalam ruang dimensi rendah [5].

Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah sistem dapat mengenali pola sidik jari *whorl*, *radial loop*, dan *ulnar loop* berdasarkan ekstraksi ciri (*minutiae*).

II. STUDI LITERATUR

A. *Thresholding Otsu*

Thresholding merupakan metode yang mudah dan efektif untuk memisahkan objek dari latar belakang. Metode ini digunakan di berbagai aplikasi *computer vision* termasuk segmentasi citra digital dan teknik deteksi tepi. Teknik *thresholding* dapat dikategorikan pada metode *thresholding* global dan lokal. Pada metode *thresholding* global, sebuah *single threshold* dipilih untuk seluruh citra, dimana lokal *threshold* dapat menghitung setiap piksel pada citra berdasarkan karakteristik lokal citra di sekitar tetangga piksel. Metode global *thresholding* kurang sensitif pada *noise* citra daripada metode lokal *thresholding* dan umumnya digunakan untuk kemudahan dan kompleksitas komputasi rendah. [6]

Diantara teknik global *thresholding*, metode *thresholding Otsu* adalah salah satu metode atraktif untuk segmentasi citra asli karena ini memilih nilai *threshold* maksimal diantara variasi klas. Berdasarkan piksel pada citra yang direpresentasikan *L* (*gray level*) dengan kisaran [0, L-1], jumlah piksel dengan *gray level* *i* sampai *n_i* dan jumlah piksel citra skala abu-abu adalah *n*.

Metode *Otsu* melakukan pendekatan dengan analisis diskriminan yaitu menentukan suatu variabel yang dapat membedakan antara dua atau lebih kelompok yang muncul. Pendekatan analisis diskriminan tersebut akan memaksimalkan variabel tersebut agar dapat membagi objek *foreground* dan *background*. [7]

B. *Filter Thinning*

Fingerprint image thinning merupakan tahap penting pada algoritma pengenalan sidik jari. Pada tahap ini, garis *ridge* dari gambar sidik jari ditransformasikan menjadi satu piksel tipis [3]. Pada penelitian ini menggunakan metode *thinning Zhang-Suen* dan *Stentiford*. Penjelasan mengenai metode *thinning Zhang-Suen* dan *Stentiford* akan dijelaskan di bawah ini:

1) Metode *Thinning Zhang-Suen*

Algoritma ini merupakan algoritma iteratif dan menghapus semua titik luar gambar kecuali ini menjadi kerangka [3]. Metode ini digunakan untuk ekstraksi kerangka citra terdiri dari menghapus semua poin kontur gambar kecuali poin milik kerangka. Untuk mempertahankan kerangka citra maka T. Zhang dan C. Suen menyatakan bahwa

proses ini akan membagi setiap iterasi menjadi dua-subiterasi [8]. Pada subiterasi pertama, poin kontur *P₁* dihapus dari pola jika memenuhi kondisi : [8]

- a. $2 \leq B(P_1) \leq 6$
- b. $A(P_1) = 1$
- c. $P_2 \times P_4 \times P_6 = 0$
- d. $P_4 \times P_6 \times P_8 = 0$

Dimana $A(P_1)$ adalah nomer dari pola 01 kemudian menentukan P_2, P_3, \dots, P_8 merupakan 8 tetangga dari P_1 seperti pada Gambar 1.

Nilai $B(P_1)$ merupakan jumlah tetangga tidak nol dari P_1 , adalah : [8]

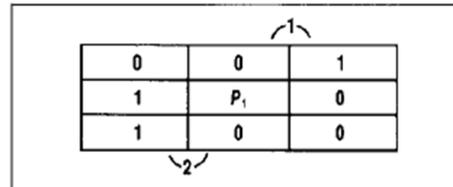
$$B(P_1) = P_2 + P_3 + P_4 + \dots + P_8 + P_9 \tag{1}$$

Jika semua kondisi tidak terpenuhi maka nilai $P_2, P_3, P_4, \dots, P_9$ adalah $A(P_1) = 2$, dan P_1 tidak dihapus dari citra.

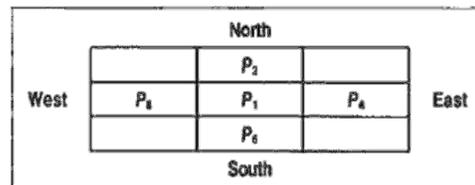
Pada iterasi kedua hanya kondisi (c) dan (d) yang berubah seperti pada Gambar 2 berdasarkan : [8]

- c. $P_2 \times P_4 \times P_8 = 0$
- d. $P_2 \times P_6 \times P_8 = 0$

Proses ini dilakukan berulang hingga tidak ada lagi poin yang akan dihapus. Berdasarkan kondisi (c) dan (d) pada subiterasi pertama hanya menunjukkan bahwa hanya menghilangkan poin bagian titik batas selatan-timur dan sudut utara-barat poin yang bukan kerangka ideal.



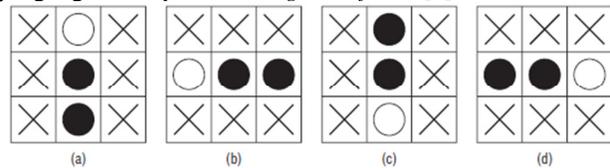
Gambar 1. Hitung pola 01 untuk menentukan P_2, P_3, \dots, P_9 . [8]



Gambar 2. Poin yang akan dipertimbangkan dan lokasi. [8]

2) Metode *Thinning Stentiford*

Algoritma ini dijelaskan oleh Stentiford pada tahun 1983. Algoritma ini menggunakan *template* 3x3, dimana *template* yang sesuai pada gambar maka dihapus (menjadi putih) pada tengah piksel. Gambar 3 di bawah ini menunjukkan *template* yang digunakan pada *thinning Stentiford* : [9]



Gambar 3. *Template* untuk identifikasi piksel yang dapat dihapus pada algoritma *thinning Stentiford*. Penentuan piksel hitam dan putih pada *template* harus sesuai dengan piksel yang identik dengan warna pada gambar.

Berikut penjelasan tentang dasar algoritma *thinning Stentiford* seperti di bawah ini : [9]

- Temukan lokasi piksel (i,j) dimana piksel pada Gambar 4 sesuai dengan *template M₁*. (Gambar 5)
- Jika piksel tengah bukan titik akhir, dan *connectivity number* = 1 maka tandai piksel ini untuk selanjutnya dihapus
- Ulangi langkah 1 dan 2 untuk semua lokasi piksel yang sesuai dengan *template M₁*
- Ulangi langkah 1 sampai 3 untuk *template M₂*, *M₃* dan *M₄*
- Jika ada piksel yang sudah ditandai untuk dihapus, kemudian hapus piksel tersebut dengan menentukan piksel tersebut menjadi putih
- Jika ada piksel yang telah dihapus pada langkah 5, kemudian ulangi proses sebelumnya dari langkah 1; sampai berhenti.

Citra sidik jari harus dibaca (*scan*) untuk tiap *template match* pada urutan tertentu untuk tiap *template*. Tujuan *template M₁* adalah untuk menemukan piksel yang dihapus di sekitar tepi atas objek. *M₂* akan mencocokkan piksel dari sisi kiri objek, *template* ini bergerak dari bawah ke atas gambar, kiri ke kanan. *M₃* akan menempatkan piksel di sekitar tepian bawah, dan bergerak dari kanan ke kiri, bawah ke atas. Akhirnya, untuk menemukan piksel di sisi kanan objek, mencocokkan *template M₄* dari atas ke bawah, kanan ke kiri. [9]

C. Ekstraksi Minutiae menggunakan Crossing Number

Metode ekstraksi *minutiae* pada sidik jari biasanya menggunakan citra skala abu-abu kemudian dikonversi ke citra biner, lalu dilakukan proses *thinning* untuk mendapatkan garis *ridge* pada sidik jari menjadi *skeleton*. Diantara semua ciri sidik jari, *minutiae point* memiliki posisi orientasi yang unik untuk membedakan sidik jari, representasi ciri *minutiae* dapat mengurangi masalah pencocokan pola sidik jari. Untuk mendapatkan tingkat akurasi yang baik pada *minutiae* dengan menggunakan bermacam kualitas citra sidik jari. Maka algoritma deteksi *minutiae* digunakan untuk mengetahui lokasi titik *minutiae* secara efektif dan akurat.

Pada kenyataannya piksel yang sesuai dengan *minutiae* berdasarkan beda *crossing number* dari 2. *Crossing number* (cn(p)) dari piksel p pada citra biner adalah setengah penjumlahan dari beda antara bagian piksel pada 8-tetangga dari p :

$$cn(p) = \frac{1}{2} \sum_{i=1..8} |val(p_i) - val(p_{i+1})| \tag{2}$$

dimana :

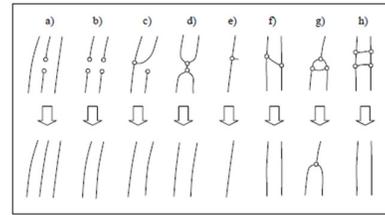
p_0, p_1, \dots, p_7 : piksel yang mendefinisikan 8-tetangga dari p

$Val(p) \in \{0,1\}$: nilai piksel

Dari Gambar 4 diperoleh bahwa piksel p dengan $val(p) = 1$: [10]

- Titik *ridge* menengah jika $cn(p) = 2$
- Sesuai dengan *minutiae ridge ending* jika $cn(p) = 1$
- Sesuai dengan *minutiae bifurcation* jika $cn(p) = 3$

d. Mendefinisikan *minutiae* kompleks jika $cn(p) > 3$



Gambar 4. Struktur umum *false minutiae* (baris atas) dan struktur *minutiae* setelah dihapus (baris bawah) [9]

TABEL I. Nilai Crossing Number [11]

Crossing Number (CN)	Properti
0	Isolated Point
1	Ridge Ending Point
2	Countiuing Ridge Point
3	Bifurcation Point
4	Crossing Point

Gambar 5 di bawah ini merupakan contoh jendela 3x3 yang digunakan oleh Jain *et. al.* : [11]

P ₄	P ₃	P ₂
P ₅	P	P ₁
P ₆	P ₇	P ₈

Gambar 5. Jendela piksel 3x3 tetangga [2]

D. Klasifikasi Linear Discriminant Analysis (LDA)

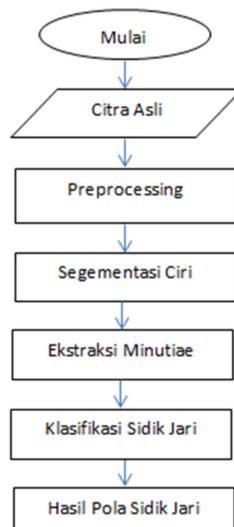
Secara umum, LDA merupakan *supervised learning* dimana membutuhkan informasi label. Walaupun metode *supervised* secara umum lebih baik daripada *unsupervised*, sebagian besar sampel membutuhkan label untuk mencapai hasil yang memuaskan. Tetapi di beberapa kasus, pemberian label pada sebagian sampel membutuhkan waktu lama [12]. Klasifikasi adalah proses untuk menempatkan objek untuk satu set yang berbeda klas atau kategori. Metode ini membutuhkan training set dimana kategori harus diketahui terlebih dahulu. [13]

Salah satu metode analisis diskriminan tertua adalah analisis linear diskriminan (LDA) yang diusulkan oleh Fisher pada tahun 1936 [13]. LDA digunakan untuk menangani kasus dimana frekuensi klas tidak sama dan performa diuji dengan data uji secara acak. Metode ini memaksimalkan rasio antara varian klas pada data tertentu yang ditetapkan sehingga terpisah dengan maksimal. LDA juga dapat digunakan untuk membantu proses distribusi data *feature*. [14]

III. METODE PENELITIAN

Tahapan ini berisi kerangka solusi masalah yang dilakukan untuk mendapatkan klasifikasi pola sidik jari, antara lain *preprocessing*, *thinning*, ekstraksi *minutiae*, klasifikasi pola sidik jari, identifikasi pola sidik jari yang akan dijelaskan pada Gambar 6 di bawah ini :





Gambar 6. Tahapan Identifikasi Pola Sidik Jari

1) Preprocessing

Langkah yang akan dilakukan pada *preprocessing* citra sidik jari adalah *Unsharp Masking* dan *Thresholding Otsu*.

2) Segmentasi Ciri

Proses segmentasi *thinning* dilakukan menggunakan metode *Zhang-Suen* dan *Stentiford*.

3) Ekstraksi Minutiae

Ekstraksi *minutiae* citra sidik jari menggunakan *crossing number*, dan nilai *crossing number* yang digunakan adalah nilai *bifurcation point* dan *ridge ending point*. Nilai *crossing number bifurcation* adalah 3 dan nilai *crossing number ridge ending* adalah 1.

4) Klasifikasi Pola Sidik Jari

Klasifikasi pola sidik jari menggunakan metode LDA.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Input

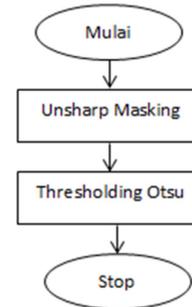
Pada tahap pertama dilakukan *input* citra ke dalam aplikasi program untuk mengawali pemrosesan. Data yang digunakan adalah data primer, dimana data primer adalah data yang diperoleh langsung dari subyek penelitian. Data Sidik jari yang diambil adalah jari tangan sebelah kanan atau kiri seorang manusia dan jari tersebut tidak banyak memiliki luka atau goresan pada sidik jari. Mekanisme pengambilan citra sidik jari dilakukan seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Ilustrasi proses pengambilan citra sidik jari

B. Preprocessing

Pada tahap ini proses *preprocessing* yang digunakan adalah *enhancement* (penajaman kualitas citra). Proses perbaikan kualitas citra dapat dilihat pada Gambar 8.

Gambar 8. Tahapan *preprocessing* citra sidik jari

Berdasarkan Gambar 9 dapat dilihat bahwa hasil *preprocessing thresholding* Otsu digunakan untuk lebih mempertajam *minutiae* pada citra sidik jari. Hasil *preprocessing thresholding* Otsu dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 9. a. Citra Asli, b. Citra Otsu

C. Segmentasi Ciri

Pada tahap ini segmentasi dilakukan untuk mendapatkan citra tipis menggunakan metode *thinning Zhang-Suen* atau *Stentiford*. Langkah yang dilakukan pada proses ini adalah sebagai berikut:

- Citra sidik jari hasil *preprocessing* Otsu dilakukan proses *thinning* menggunakan *Zhang-Suen* atau *Stentiford*.
- Pada tahapan ini merupakan tahapan penting yang dilakukan dalam segmentasi citra sidik jari. *Thinning* dilakukan untuk mengurangi waktu proses sistem dan memudahkan dalam penipisan citra sidik jari.

Hasil proses citra sidik jari menggunakan metode *thinning* akan ditunjukkan pada Gambar 10.

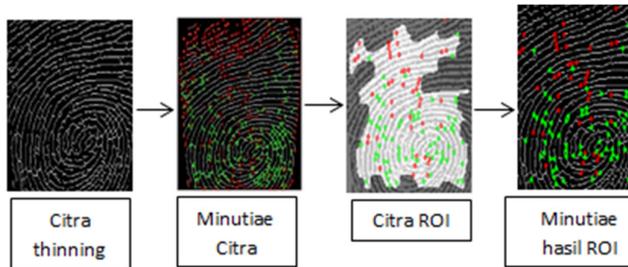
Gambar 10. a. Citra *thinning Stentiford*, b. Citra *thinning Zhang-Suen*

D. Ekstraksi Minutiae

Tahap ekstraksi *minutiae* digunakan untuk mendapatkan titik *minutiae* pada citra sidik jari, yaitu *ridge ending* dan *bifurcation*. Langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut:

- a. Menemukan titik *minutiae* pada citra sidik jari dengan menggunakan nilai *crossing number termination* dan *bifurcation*
- b. Menghapus titik *minutiae* yang salah dengan menghitung *euclidian distance* antar *termination* dan menghitung *distance euclidian* antar *bifurcation*
- c. Menentukan *Region of Interest* dari citra sidik jari yang akan digunakan
- d. Menentukan nilai orientasi setiap titik *minutiae termination* dan *bifurcation*
- e. Mengkonversi titik *minutiae termination* dan *bifurcation* dalam file bertipe *.txt*.

Hasil proses ekstraksi *minutiae* dapat dilihat pada penjelasan Gambar 11 di bawah ini:



Gambar 11. Tahapan ekstraksi *minutiae* citra sidik jari

E. Klasifikasi Pola Sidik Jari

Tahap ekstraksi *minutiae* digunakan untuk mendapatkan titik *minutiae* pada citra sidik jari, yaitu *ridge ending* dan *bifurcation*. Langkah-langkah yang dilakukan sebagai berikut:

- a. Mengelompokkan citra sidik jari sesuai dengan pola sidik jari
- b. Mencari nilai *minutiae termination* dan *bifurcation* di setiap pola citra sidik jari
- c. Kelompokkan nilai *minutiae* yang telah diperoleh sesuai dengan pola sidik jari
- d. Klasifikasikan nilai *minutiae* menggunakan metode LDA untuk melihat persebaran data *minutiae* sidik jari

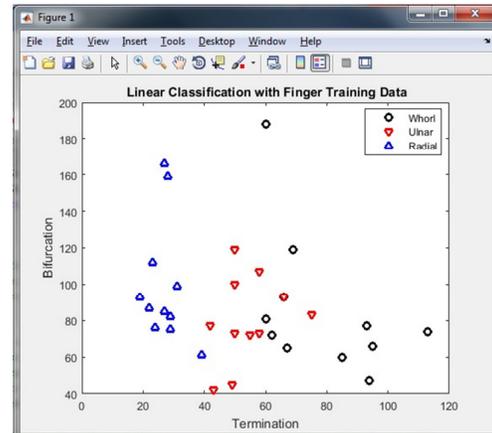
Pada Gambar 12 dijelaskan pengelompokkan citra sidik jari sesuai pola sidik jari sebagai berikut:



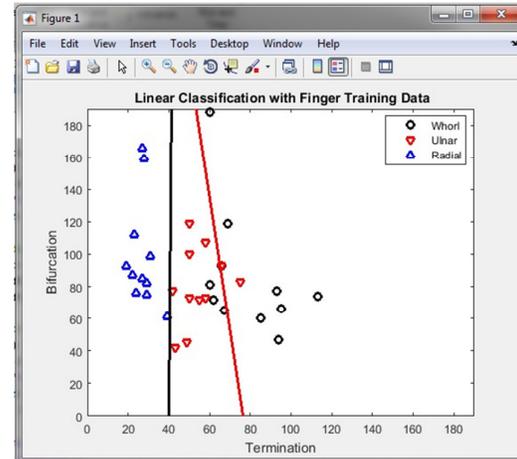
Gambar 12. Pengelompokkan citra sidik jari berdasarkan pola sidik jari

Data *minutiae* yang digunakan pada klasifikasi LDA diperoleh hasil proses ekstraksi *minutiae*. Citra sidik jari hasil ekstraksi *minutiae* menghasilkan jumlah nilai *bifurcation* dan *termination* setiap citra sidik jari. Pola sidik jari yang digunakan penelitian adalah pola *whorl*, pola *radial loop*, dan pola *ulnar loop*. Citra sidik jari yang telah diperoleh sebelumnya kemudian dilakukan proses klasifikasi menggunakan LDA. Hasil yang diperoleh dari klasifikasi LDA adalah pengelompokkan data *minutiae* antara pola sidik jari *radial loop* dan *ulnar loop*, antara pola sidik jari *whorl* dan *radial loop*.

Pada Gambar 13, dan Gambar 14 akan dijelaskan hasil klasifikasi LDA sebagai berikut:



Gambar 13. Sebaran data *minutiae* sebelum klasifikasi LDA



Gambar 14. Sebaran data *minutiae* pola sidik jari hasil klasifikasi LDA

F. Pengenalan Pola Sidik Jari

Berdasarkan hasil pengujian pengenalan pola sidik jari, sistem dapat mengenali pola sidik jari dengan benar sebanyak 20 citra dan sistem tidak dapat mengenali pola sidik jari sebanyak 10 citra. Perolehan nilai tingkat akurasi sistem pengenalan pola sidik jari diperoleh dari :



TABEL II. Hasil Pengenalan Pola Sidik Jari

No.	Nama Citra Sidik Jari	Minutiae		Pola Hasil Uji Sistem	Pola Sebenarnya
		Termination	Bifurcation		
1.	2.jpg	41	87	Ulnar Loop	Ulnar Loop
2.	11.jpg	101	102	Whorl	Whorl
3.	13.jpg	77	71	Whorl	Whorl
4.	15.jpg	27	74	Radial Loop	Radial Loop
5.	16.jpg	24	139	Radial Loop	Radial Loop
6.	18.jpg	77	120	Whorl	Whorl
7.	19.jpg	33	90	Radial Loop	Radial Loop
8.	20.jpg	69	118	Whorl	Whorl
9.	23.jpg	76	114	Whorl	Whorl
10.	27.jpg	48	91	Whorl	Whorl
11.	28.jpg	17	108	Radial Loop	Radial Loop
12.	29.jpg	67	69	Whorl	Whorl
13.	37.jpg	43	69	Ulnar Loop	Ulnar Loop
14.	38.jpg	34	67	Radial Loop	Radial Loop
15.	39.jpg	27	63	Radial Loop	Radial Loop
16.	42.jpg	61	100	Whorl	Whorl
17.	47.jpg	27	89	Radial Loop	Radial Loop
18.	48.jpg	64	48	Whorl	Whorl
19.	49.jpg	26	126	Radial Loop	Radial Loop
20.	50.jpg	82	56	Whorl	Whorl
21.	46.jpg	35	89	Ulnar Loop	Whorl
22.	44.jpg	38	94	Ulnar Loop	Whorl
23.	40.jpg	33	161	Radial Loop	Ulnar Loop
24.	6.jpg	12	116	Pola tidak dikenali	Ulnar Loop
25.	9.jpg	25	134	Ulnar Loop	Whorl
26.	26.jpg	21	103	Ulnar Loop	Whorl
27.	31.jpg	12	23	Pola Tidak Dikenali	Radial Loop
28.	32.jpg	46	90	Radial Loop	Whorl
29.	33.jpg	34	115	Ulnar Loop	Whorl
30.	24.jpg	24	68	Radial Loop	Ulnar Loop

Jumlah citra yang benar = 20 citra

Total jumlah citra uji = 30, maka

Nilai akurasi sistem = $\frac{20}{30} \times 100\% = 66.67\%$

Tingkat akurasi sistem pengenalan pola sidik jari *whorl*, *radial loop*, dan *ulnar loop* sebesar 66.67%, nilai akurasi

tersebut lebih tinggi dari penelitian yang dilakukan oleh Raditiana Patmasari sebesar 60%. [4]

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses segmentasi ciri yang digunakan adalah *thinning Zhang-Suen* dan *Stentiford*, merupakan tahapan yang paling penting dan secara langsung akan menentukan keakuratan sistem dalam proses pengenalan pola sidik jari.
2. Proses klasifikasi pada pengenalan pola sidik jari menggunakan klasifikasi LDA, data yang digunakan adalah nilai *termination* dan *bifurcation* setiap citra sidik jari.
3. Pada tahap pengujian menggunakan data uji sebanyak 30 citra sidik jari diperoleh 20 citra dapat dikenali dengan benar dan 10 citra sidik jari tidak dikenali berdasarkan kesamaan dari pola yang seharusnya dan hasil uji sistem pengenalan pola sidik jari.
4. Tingkat akurasi sistem pengenalan pola sidik jari *whorl*, *radial loop*, dan *ulnar loop* sebesar 66%.

FUTURE WORK

Kelemahan dari penggunaan metode *thinning Zhang-Suen* adalah data citra sidik jari yang digunakan harus bersih dari *noise* (bercak atau titik-titik) sehingga hasil segmentasi yang dihasilkan lebih terlihat jelas guratan *minutiae* sidik jari. Metode *Stentiford* memiliki komputasi waktu yang lebih lama dari metode *Zhang-Suen*.

REFERENSI

- [1] Atul S. Chaudhari, Dr. Girish K. Patnaik, and Sandip S. Patil. "Implementation of minutiae based fingerprint identification system using crossing number concept". International Journal of Computer Trends and Technology, Volume 8 Number 4. February 2014.
- [2] K. Lakshmi Kumari, P.V.S. Vijaya Babu, and S.V. Kumar, "Dermatoglyphics and Its Relation to Intelligence Levels of Young Students", IOSR Journal of Dental and Medical Sciences, vol 13, Issues 5 Ver. II, PP 01-03, 2014.
- [3] Davit Kocharyan, "A modified fingerprint image thinning algorithm", American Journal of Software Engineering and Applications, vol. 2 No. 1, pp. 1-6. doi: 10.11648/j.ajsea.20130201.11, 2013.
- [4] Patmasari Raditiana, Mohamad Ramdhani, dan Achmad Rizal, "Perancangan perangkat lunak rumus sidik jari pada bentuk sidik jari jenis whorl", Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi, Yogyakarta: 2009".
- [5] Hanung Tysa Saksono, Achmad Rizal, dan Koredianto Usman, "Pendeteksian kanker paru-paru dengan menggunakan transformasi wavelet dan metode linear discriminant analysis", Teknologi Elektro, Vol. 9, No. 1, Januari-Juni, 2010.
- [6] Suheir M. Elbayoumi Harb, Nor Ashidi Mat Isa, and Samy A. Salamah, "Improved image magnification algorithm based on otsu thresholding", ELSEVIER Computers and Electrical Engineering, 2015.
- [7] I. K. G. Darma Putra, "Binerisasi citra tangan dengan metode otsu", Teknologi Elektro, Vol. 3, No. 2, Juli-Desember, 2004.
- [8] T. Y. Zhang and C. Y. Suen, "A fast parallel algorithm for thinning digital patterns", Communications of the ACM, Vol. 27, No. 3, March 1984.
- [9] J.R. Parker, *Algorithms for Image Processing and Computer Visions Second Edition*, Indianapolis: Wiley Publishing, 2011.
- [10] Davide Maltoni, Dario Maio, Anil K. Jain, and Salil Prabhakar, *Handbook of Fingerprint Recognition Second Edition*. London: Springer, 2009.

- [11] Roli Bansal, Priti Sehgal, and Punam Bedi, "A modified thinning algorithm for minutiae feature extraction of fingerprint images on FPGA", *International Journal of Computer Science Issues*, vol. 8, Issue 5, No 3, September. 2011.
- [12] Mingbo Zhao, Zhao Zhang, Tommy W.S. Chow, and Bing Li, "Soft label based linear discriminant analysis for image recognition and retrieval", *ELSIVIER Computer Vision and Image Understanding* 121, 88-99, 2014.
- [13] Alessandra Biancolillo, Ingrid Mage, and Tormod Naes, "Combining SO-PLS and discriminant analysis for multi-block classification", *ELSEVIER Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 141, 2014.
- [14] S. Balakrishnama and A. Ganapathiraju, *A Linear Discriminant Analysis-A Brief Tutorial*, Institute for Signal and Information Processing, Mississippi, 1998.

