



## **IDENTIFIKASI BIOMETRIKA MENGGUNAKAN EKSTRAKSI MINUTIAE PADA CITRA SIDIK JARI**

**Boldson Herdianto Situmorang<sup>1)</sup>, Gustian Rama Putra<sup>2)</sup>, Syarif Hidayatullah<sup>3)</sup>**

<sup>1,2,3</sup>*Ilmu Komputer; Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas  
<sup>1,2,3</sup>Jl. Pakuan, Tegallega, Kota Bogor, Jawa Barat 16129*

Email: <sup>1</sup>[boldson.situmorang@unpak.ac.id](mailto:boldson.situmorang@unpak.ac.id), <sup>2</sup>[gustian.rama@unpak.ac.id](mailto:gustian.rama@unpak.ac.id), <sup>3</sup>[syarif.hidayatullah@unpak.ac.id](mailto:syarif.hidayatullah@unpak.ac.id)

### **Abstract**

*Biometrics based on fingerprint images is a self-recognition technique using fingerprint to represent a person's identity. Fingerprint is characteristic of someone's identity precisely and safely because there are no similarities and cannot be falsified. The purpose of this research is to develop a biometrics identification system based on fingerprint images by utilizing a cell phone camera for the acquisition of fingerprint images. This is based on its simplicity because almost everyone has a cell phone so that a person's identification system based on fingerprint can be used anytime and anywhere. The research was conducted using images generated from cell phone cameras with camera specifications of 2, 5 and 8 mega pixels. The method used in image processing consists of the minutiae crossing number method for the feature extraction process and the minutiae based matching method for the similarity measurement process. The results of the research concluded that cell phone cameras with specifications of 5 and 8 mega pixels can be used for the process of image acquisition in biometrics systems based on fingerprint. The feature extraction process of image results using the minutiae crossing number method and the match measurement process using the minutiae based matching method resulted in an accuracy value of 92.8% on a 5 mega pixel camera and 95.3% on an 8 mega pixel camera. The accuracy value depends on the results of the image acquisition stage, pre-processing, the threshold value in the identification process, and the number of images used in the training data in the database.*

**Keyword:** *biometrics, cell phone, fingerprint, identification, minutiae.*

### **Abstrak**

Biometrik berbasis citra sidik jari merupakan teknik pengenalan diri dengan menggunakan sidik jari untuk mewakili identitas seseorang. Sidik jari merupakan ciri identitas seseorang secara tepat dan aman karena tidak ada kesamaan dan tidak dapat dipalsukan. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan sistem identifikasi biometrik berbasis citra sidik jari dengan memanfaatkan kamera ponsel untuk akuisisi citra sidik jari. Hal ini didasari oleh kemudahannya karena hampir setiap orang memiliki telepon genggam sehingga sistem identifikasi seseorang berdasarkan sidik jari dapat digunakan kapanpun dan dimanapun. Penelitian dilakukan dengan menggunakan gambar yang dihasilkan dari kamera ponsel dengan spesifikasi kamera 2, 5 dan 8 mega piksel. Metode yang digunakan dalam pengolahan citra terdiri dari metode *minutiae crossing number* untuk proses ekstraksi ciri dan metode *minutiae based matching* untuk proses pengukuran kemiripan. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa kamera ponsel dengan spesifikasi 5 dan 8 mega piksel dapat digunakan untuk proses akuisisi citra pada sistem biometrik berbasis sidik jari. Proses ekstraksi ciri hasil citra menggunakan metode *minutiae crossing number* dan proses pengukuran kecocokan menggunakan metode *minutiae based matching* menghasilkan nilai akurasi sebesar 92,8% pada kamera 5 mega piksel dan 95,3% pada kamera 8 mega piksel. Nilai akurasi tergantung dari hasil tahap akuisisi citra, *pre-processing*, nilai *threshold* pada proses identifikasi dan jumlah citra yang digunakan pada data training di *database*.

**Kata Kunci:** biometrik, identifikasi, minutiae, ponsel, sidik jari.

## **1. PENDAHULUAN**

Teknologi biometrika merupakan suatu teknik pengenalan diri menggunakan bagian tubuh atau perilaku manusia. Teknologi ini memenuhi dua fungsi penting yaitu identifikasi dan verifikasi. Sistem identifikasi bertujuan untuk memecahkan identitas seseorang. Sedangkan sistem verifikasi bertujuan untuk menolak atau menerima identitas yang diklaim oleh seseorang (Putra D. A., 2009).

Salah satu teknologi biometrika yang cukup berkembang adalah biometrika sidik jari, yaitu sistem pengenalan diri dengan memanfaatkan sidik jari untuk merepresentasikan identitas seseorang. Penggunaan sidik jari dalam sistem biometrika disebabkan karena sidik jari memiliki sifat universal, unik, permanen dan kolektabilitas. Artinya, setiap orang pasti memiliki sidik jari dengan karakteristik yang berbeda-beda, tidak berubah dalam periode waktu yang lama dan



karakteristiknya mudah diperoleh serta dapat diukur secara kuantitatif. Sidik jari pun sulit dilakukan proses duplikasi atau pemalsuan, tidak dapat digunakan secara bersama-sama dan juga tidak mungkin terlupakan layaknya seperti penggunaan password atau PIN dalam sistem pengenalan diri yang mengharuskan pengguna untuk menghafalnya. Maka tidak heran sidik jari banyak digunakan dalam teknologi biometrika untuk membuat sistem yang mampu mengenali identitas seseorang dengan tepat dan aman karena sistem tidak mudah dikelabui (Putra D. , 2011).

Penerapan biometrika sidik jari sudah cukup berkembang diberbagai bidang, misalnya dalam bidang perkantoran, biometrika sidik jari diimplementasikan dalam bentuk sistem presensi berbasis sidik jari guna meningkatkan manajemen kehadiran karyawan. Dalam bidang kepolisian, biometrika sidik jari digunakan untuk mengidentifikasi pelaku tindak kriminal atau mengidentifikasi korban meninggal. Adapun dalam bidang kependudukan, biometrika sidik jari digunakan dalam pembuatan e-ktip dan paspor. Banyaknya penerapan biometrika sidik jari tersebut membuat penelitian harus terus dilakukan agar tercipta inovasi baru sehingga teknologi biometrika sidik jari dapat menjadi lebih baik dari sebelumnya.

Untuk mengidentifikasi sidik jari, komputer membutuhkan data digital berupa citra atau gambar sidik jari untuk diolah dengan beberapa tahapan. Secara umum, pada saat ini citra yang digunakan dalam identifikasi sidik jari masih mengandalkan alat scanner untuk proses akuisisi data citra sidik jari. Namun, penggunaan scanner harganya cukup mahal dan terdapat batasan kapasitas yang berbeda-beda pada setiap alatnya. Sehingga, diperlukan penelitian untuk mencari alternatif penggunaan alat lain yang dapat digunakan dalam proses akuisisi data citra sidik jari tanpa mengurangi kemampuannya dalam mengidentifikasi sidik jari. Terlebih apabila pengembangan teknologi biometrika sidik jari hanya dicukupkan dengan penggunaan scanner sebagai alat satu-satunya dalam proses akuisisi data sidik jari akan membuat perkembangan teknologi biometrika sidik jari menjadi stagnan dan tidak ada kebaruan. Terlepas masih banyak cara lain yang dapat dilakukan untuk proses akuisisi data citra sidik jari. Salah satunya adalah dengan memanfaatkan fitur kamera pada telepon seluler.

Pada beberapa penelitian terdahulu, upaya untuk menciptakan inovasi baru dalam rangka mengembangkan teknologi biometrika sidik jari sudah dilakukan. Penelitian tersebut ada yang berkaitan dengan pengembangan metode ekstraksi minutiae dan adapula yang berkaitan dengan upaya pencarian alat alternatif untuk proses akuisisi data citra sidik jari. Salah satu penelitian tersebut dilakukan oleh (Okta Hadi Saputra, 2011) dengan judul “Teknik Ekstraksi Minutiae Untuk Verifikasi Sidik Jari”. Penelitian tersebut menguji keakuratan hasil ekstraksi minutiae menggunakan konsep Crossing Number dengan hasil ekstraksi secara manual. Hasilnya rata-rata keakuratan validasi minutiae citra sidik jari pada database FVC 2002 adalah 37.79 %. Hal tersebut berarti lebih dari 60% validasi minutiae secara manual tidak bisa digunakan untuk verifikasi keaslian sidik jari.

Penelitian lainnya dilakukan oleh (Sandri Titik Wulandari, 2017) dengan judul “Aplikasi Biometrika Pengenalan Sidik Jari Dengan Metode Minutiae dan *Artificial Neural Network Backpropagation*”. Penelitian tersebut berhasil membuat aplikasi identifikasi sidik jari dengan nilai akurasi sebesar 67%. Dimana hasil tersebut dipengaruhi oleh jarak dan posisi citra sidik jari yang digunakan saat pengujian.

Adapun penelitian lainnya dilakukan oleh (Haruno Sajati, 2017) dengan judul “Pencocokan Gambar Sidik Jari Dengan Kamera *Handphone* Menggunakan Metode RANSAC dan *Transformasi Affine* Berbasis Android”. Penelitian tersebut dilakukan untuk menguji coba kemampuan identifikasi sidik jari dengan menggunakan citra yang berasal dari stempel secara manual sidik jari dengan tinta hitam yang ditempelkan pada selembar kertas. Kemudian sidik jari yang terlihat pada kertas difoto satu persatu sesuai kelompok dan pemilik citra sidik jari dengan menggunakan kamera telepon seluler (Juhara, 2016).

Berdasarkan uraian diatas identitas seseorang dapat dikenali berdasarkan citra sidik jari yang diolah dalam beberapa tahapan. Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan penelitian untuk menguji coba keakuratan identifikasi citra sidik jari yang berasal dari kamera telepon seluler dengan menggunakan metode minutiae (Gunawan, 2016). Metode ini dipilih karena sidik jari memiliki ciri yang unik berupa titik-titik minutiae yang terbentuk oleh guratan-guratan pada sidik jari dan ciri tersebut hanya dapat diekstraksi dan dihitung kecocokannya dengan menggunakan metode minutiae (Li, 2017). Maka dengan itu dibangunlah aplikasi untuk identifikasi biometrika sidik jari berbasis *image processing* menggunakan metode minutiae.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode ekstraksi minutiae dalam kategori *Thinned Binarized Images* adalah *Crossing Number Based*. Metode ini melibatkan kerangka gambar dimana aliran pola ridge terdapat 8 hubungan. Minutiae yang terekstraksi akan tersimpan dalam piksel ridge pada gambar menggunakan jendela 3x3 (Putra, 2009). Nilai CN selanjutnya dihitung mengikuti persamaan berikut ini :

$$CN = 0.5 \sum_{i=1}^8 |P_i - P_{i+1}|(1)$$



Dimana  $P_9 = P_1$ . Ini didefinisikan sebagai setengah dari jumlah dari perbedaan antara piksel yang sama dengan piksel di kelas tersebut. Penggunaan properti dari CN sebagaimana yang terlihat pada tabel, piksel ridge dapat diklasifikasi sebagai *ridge ending*, *bifurcation* atau *non-minutiae*.

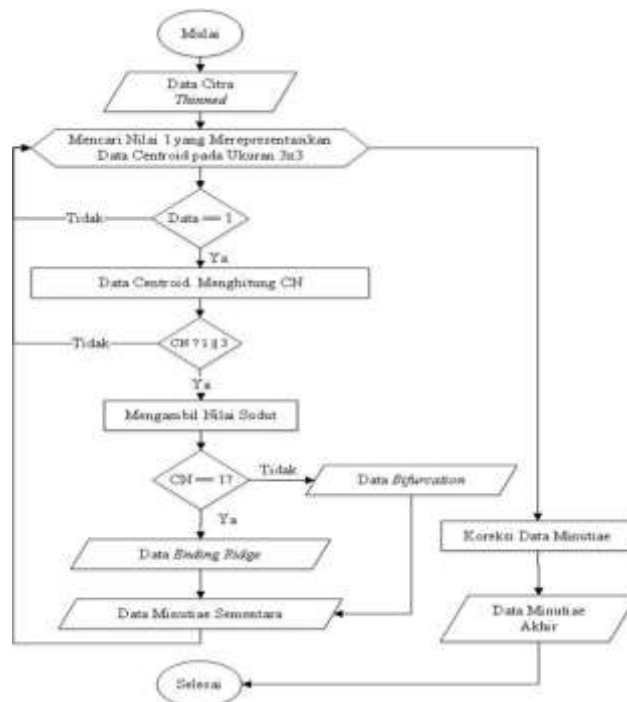
**Tabel 1.** Properti dari *Crossing Number*

| CN | Properti                      |
|----|-------------------------------|
| 0  | <i>Isolated point</i>         |
| 1  | <i>Ridge ending point</i>     |
| 2  | <i>Continuing ridge point</i> |
| 3  | <i>Bifurcation point</i>      |
| 4  | <i>Crossing point</i>         |

Sebagai contoh, sebuah piksel *ridge* dengan nilai CN 0 akan menggambarkan *isolated point* dan nilai CN 4 menggambarkan sebuah *crossing point*. Untuk validasi hasil ekstraksi fitur minutiae, algoritma dari metode ini juga dapat membatalkan nilai minutiae yang salah dengan konfigurasi dari piksel ridge yang terhubung dengan poin minutiae. (Roli Bansal, 2011).

Pencarian titik minutiae menggunakan metode *crossing number* akan menghasilkan data titik minutiae yang terdiri dari 2 tipe titik minutiae, yakni *ridge ending* dan *bifurcation*. Hasil tersebut kemudian diproses untuk menghilangkan titik-titik minutiae yang dianggap salah dengan mengikuti beberapa aturan sebagai berikut:

1. Apabila sebuah percabangan memiliki lebih dari 2 cabang dan panjangnya kurang dari batasan (*threshold*) yang ditentukan maka pixel tersebut tidak ditandai sebagai bifurcation.
2. Apabila terdapat patahan yang pendek (jarak antara patahan dengan tetangga lainnya tidak lebih dari 1 pixel) maka pixel tersebut tidak ditandai sebagai *ridge ending*.
3. Apabila banyak minutiae (*bifurcation* atau *ridge ending*) ditemukan dalam satu daerah (cluster) yang berdekatan, maka hapus semua minutiae tersebut, tapi sisakan satu minutiae yang terdekat dengan titik pusat dari daerah tersebut.
4. Apabila sebuah minutiae ditemukan berhadapan dan tidak ada guratan (*ridge*) yang membatasinya, maka hapus minutiae tersebut.



**Gambar 1.** Flowchart Metode Minutiae Crossing Number



Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk menguji tingkat kemampuan penggunaan citra sidik jari yang berasal dari kamera telepon seluler untuk identifikasi biometrika sidik jari. Target dari penelitian ini adalah tersedianya aplikasi identifikasi biometrika sidik jari berbasis *image processing* menggunakan metode minutiae (Verawati, 2014) yang dapat digunakan pada perangkat desktop dengan penggunaan gambar yang berasal dari kamera telepon seluler sebagai data citranya. Sehingga tujuan dari penelitian dapat direpresentasikan hasilnya dalam bentuk data kuantitatif beserta penjelasan deskriptif bagaimana tingkat kemampuan dari aplikasi identifikasi biometrika sidik jari ini (Mulyanata, 2008). Dalam kegiatan pengumpulan data citra sidik jari, proses akuisisi dilakukan dengan menggunakan kamera telepon seluler dengan spesifikasi kamera belakang berukuran 2, 5 dan 8 mega pixel. Proses akuisisi citra sidik jari dilakukan dengan cara mendekatkan jari telunjuk ke depan kamera telepon seluler dengan jarak antara sidik jari dengan kamera kurang lebih sejauh 6cm sampai 8cm dan di foto menggunakan *flash*.



**Gambar 2.** Contoh Hasil Foto saat Kondisi Cahaya Terang



**Gambar 3.** Contoh Hasil Foto saat Kondisi Cahaya Redup

Gambar 2 dan 3 merupakan contoh gambar sidik jari yang didapat dari hasil foto telepon seluler dengan kamera berukuran 8 *mega pixel* dan proses pemototan menggunakan flash. Flash digunakan agar foto yang didapat memiliki *contrast* yang tinggi sehingga terlihat seperti warna *background* berbeda dengan warna pada area sidik jari. Hasil ini akan mempermudah pekerjaan pada tahap prapemrosesan.



**Gambar 4.** Contoh Hasil Foto Menggunakan Flash



**Gambar 5.** Contoh Hasil Foto Tidak Menggunakan Flash

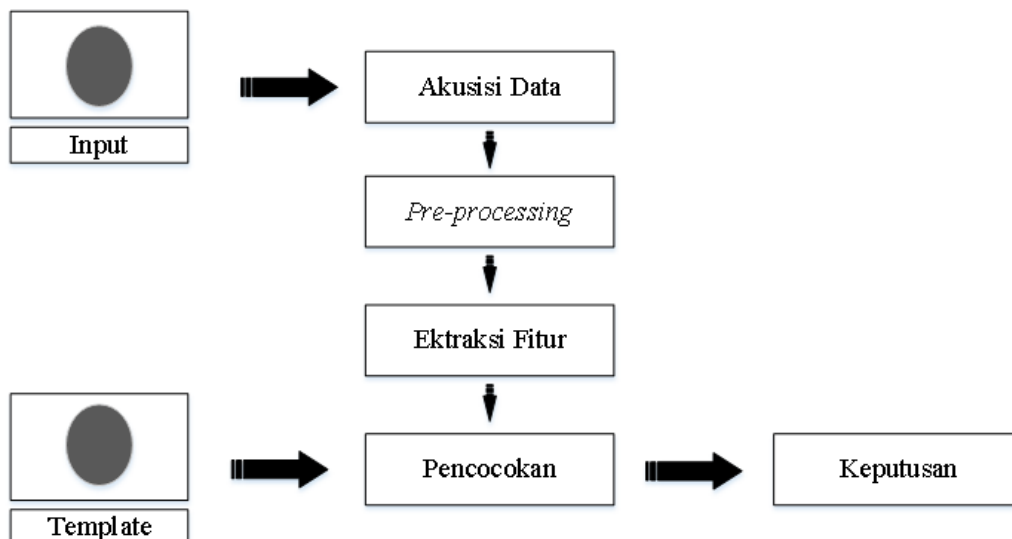
Gambar 4 dan 5 merupakan gambar yang didapat dari proses pemototan sidik jari didalam ruangan dengan kondisi pencahayaan yang cukup baik dan dilakukan pada waktu yang sama. Penyebab hasil gambar yang berbeda diantara kedua gambar tersebut adalah karena proses pengambilan gambar yang berbeda. Gambar 4 adalah contoh gambar yang dihasilkan dari proses pemototan menggunakan *flash* sedangkan gambar 5 adalah contoh gambar yang dihasilkan dari



proses pemotongan tanpa menggunakan *flash*. Pada kedua gambar tersebut, terlihat gambar 4 memiliki kontras yang lebih jelas dan memiliki background yang lebih gelap dibandingkan dengan gambar 5. Sehingga pada penelitian ini proses akuisisi gambar sidik jari dilakukan dengan menggunakan *flash* agar didapat data sidik jari dengan kualitas yang baik. Dalam tahap persiapan ini banyak gambar yang dikumpulkan adalah sebanyak 750 gambar. Gambar tersebut terbagi menjadi 2 kelompok gambar yaitu kelompok uji coba pembangunan sistem yang digunakan sebagai bahan percobaan-percobaan pengaruh tingkat kemampuan sistem dan kelompok uji coba akurasi sistem yang digunakan untuk menghitung tingkat akurasi penggunaan gambar yang berasal dari kamera berukuran 5 dan 8 mega pixel (Pradana, 2015). Kelompok uji coba pembangunan sistem berjumlah 200 gambar yang didapat dari 15 orang berbeda dengan komposisi 5 orang masing-masing 10 gambar perorang untuk data uji citra negatif dan 10 orang masing-masing 15 gambar perorang untuk data latih dan data uji citra positif. Keterangan citra negatif adalah citra yang berasal dari subjek atau orang yang berbeda dengan salah satu gambar yang ada pada data latih sedangkan citra positif adalah citra yang berasal dari subjek atau orang yang berbeda dengan salah satu gambar yang ada pada data latih. Adapun kelompok uji coba akurasi sistem memiliki jumlah total 550 gambar yang didapat dari hasil proses akuisisi citra menggunakan kamera berukuran 5 dan 8 mega pixel terhadap 15 orang dengan komposisi gambar yang sama yaitu masing-masing berjumlah 275 gambar. Komposisi gambar tersebut terdiri dari 75 gambar sebagai data uji citra negatif yang berasal dari 5 orang dengan masing-masing 15 gambar perorang dan 200 gambar sebagai data latih dan data uji citra positif yang berasal dari 10 orang dengan masing-masing 20 gambar perorang.

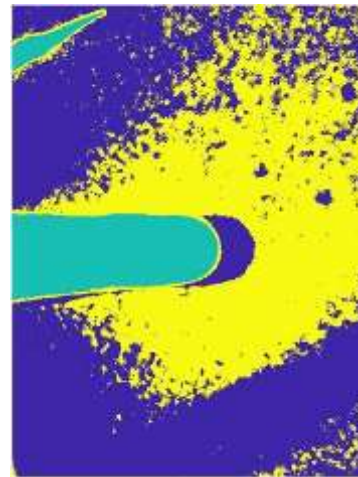
## 2.1 Sistem Biometrika

Tahap analisis merupakan tahap untuk mengumpulkan informasi tentang pengolahan citra dan biometrika sidik jari. Sehingga dalam tahap ini, dapat diketahui gambaran umum mengenai bagaimana komputer dapat melakukan identifikasi biometrika sidik jari sesuai dengan tujuan dari penelitian ini. Secara garis besar, proses identifikasi biometrika sidik jari terdiri dari tahap akuisisi data, tahap *preprocessing*, tahap ekstraksi fitur dan tahap pencocokan (Sajati Haruno, 2017). Alur kerja sistem biometrika sidik jari dapat dilihat pada gambar 6.



**Gambar 6.** Alur Kerja Sistem Biometrika Sidik Jari

Pemanfaatan segmentasi dengan metode *clustering* menggunakan algoritma k-mean bertujuan agar mempermudah dalam proses pemotongan gambar. Karena citra asli yang digunakan untuk proses pemotongan sidik jari memiliki kemungkinan posisi area sidik jari yang berbeda-beda dan ukuran pixel yang berbeda-beda pula tergantung dari pengaturan kamera telepon saat tahap akuisisi data. Sehingga dengan pemanfaatan segmentasi ini, meskipun posisi sidik jari dan ukuran gambar berbeda, area sidik jari akan tetap berhasil dikelompokkan dan hasilnya akan digunakan untuk proses pemotongan citra dengan ukuran gambar mengikuti persamaan (Setiawan A. F, 2016).

**Gambar 7.** Citra Asli (Proses ke 1)**Gambar 8.** Citra Hasil Segmentasi (Proses ke 2)**Gambar 9.** Citra Hasil Pemotongan Berdasarkan Hasil Segmentasi (Proses ke 3)**Gambar 10.** Citra Hasil Pemotongan Akhir (Proses ke 4)

### **Konversi Grayscale**

Konversi *grayscale* adalah proses konversi citra dengan orientasi warna RGB menjadi citra dengan orientasi warna abu-abu atau *grayscale*. Proses ini dilakukan dengan menggunakan fungsi 'rgb2gray' pada aplikasi matlab atau dengan cara melakukan operasi perhitungan menggunakan persamaan 13.

$$\text{Grayscale} = 0.2989 * R + 0.5870 * G + 0.1140 * B(13)$$

Nilai R, G dan B didapat dari data citra dengan orientasi warna RGB.

### **Perbaikan Citra**

Proses perbaikan citra dilakukan untuk menonjolkan suatu ciri tertentu dalam citra tersebut. Pada penelitian ini proses perbaikan citra menggunakan metode *histogram equalization* (HE) yang dikembangkan oleh Vahid K. Alilou. Metode *histogram equalization* (HE) adalah metode untuk meningkatkan kontras gambar dengan mengubah nilai intensitasnya.

### **Konversi Binary Image**

Konversi *binary image* adalah proses konversi citra dengan orientasi warna *grayscale* menjadi citra biner dengan nilai 0 dan 1. Proses ini dilakukan menggunakan fungsi 'imbinarize' pada aplikasi matlab. Fungsi tersebut akan membuat sebuah gambar biner dari gambar inputnya dengan cara mengganti semua nilai diatas penentuan nilai ambang global dengan 1 dan mengganti nilai lainnya dengan 0. Nilai ambang global didapat dengan menggunakan metode Otsu yang memang secara *default* tersedia pada fungsi 'imbinarize' pada aplikasi matlab.

### **Thinning**

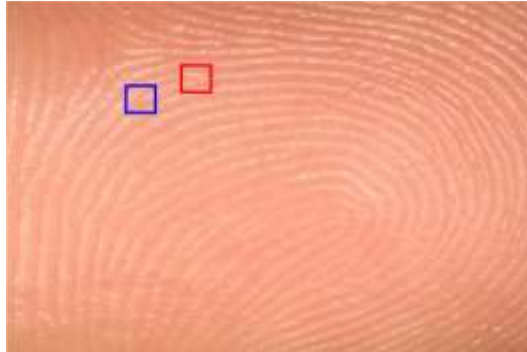
Thinning adalah operasi penghapusan data ganda terhadap data hasil proses konversi binary image. Fungsi proses *thinning* ini adalah untuk mengurangi suatu daerah menjadi grafik atau kurva dengan kerangka (skeleton) dari daerah tersebut. Proses ini dilakukan dengan menggunakan fungsi 'bwmorph' dalam aplikasi matlab dengan parameter operasinya adalah 'thin'.

## **2.2 Tahap Ekstraksi Fitur**

Setelah tahap prapemrosesan selesai, tahap selanjutnya adalah tahap ekstraksi fitur atau ekstraksi ciri. Fitur yang akan diambil dari data citra sidik jari adalah berupa minutiae, yaitu titik-titik yang terbentuk oleh guratan-guratan kulit pada sidik jari. Titik-titik yang terbentuk oleh guratan kulit tersebut memiliki banyak jenisnya. Namun pada



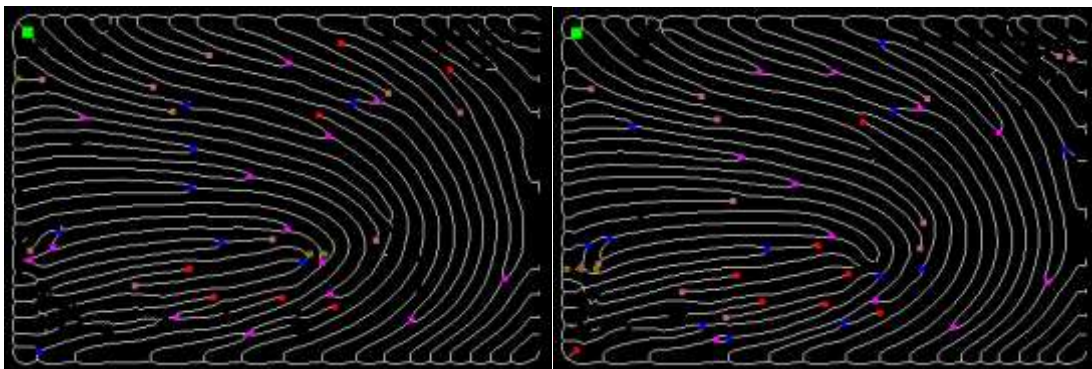
penelitian ini, jenis titik yang akan dijadikan sebagai ciri dari sidik jari adalah *ridge ending* dan *ridge bifurcation*. *Ridge ending* menggambarkan berakhirnya guratan sidik jari dan *ridge bifurcation* menandakan percabangan dari guratan kulit pada sidik jari (Bansal). Fitur ini adalah salah satu yang membuat sidik jari memiliki sifat universal, unik, permanen dan kuantitatif. Contoh kriteria *ridge ending* dan *ridge bifurcation* dapat dilihat pada gambar 11. Oleh karena itu, proses ekstraksi fitur dilakukan dengan menggunakan metode ekstraksi minutiae dengan konsep *crossing number*.



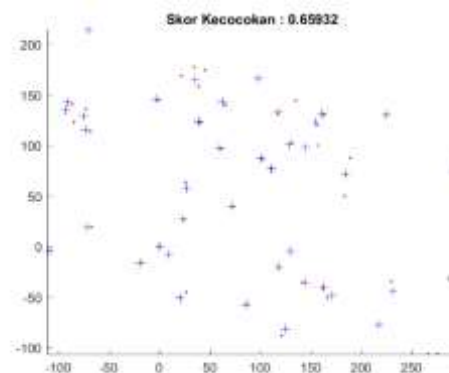
**Gambar 11.** Contoh Kriteria Titik Ridge Bifurcation (kotak biru) dan Ridge Ending (kotak merah)

### 2.3 Tahap Pencocokan

Tahap pencocokan adalah proses identifikasi citra sidik jari dengan menggunakan metode *minutiae based matching*. Proses ini akan menghitung skor kecocokan antara data hasil ekstraksi minutiae pada citra uji dengan hasil ekstraksi minutiae yang tersimpan pada *database*. Untuk mempermudah memahami proses pencocokan silahkan lihat gambar dibawah ini. Gambar 12 adalah gambar hasil ekstraksi ciri menggunakan metode ekstraksi minutiae *crossing number* terhadap input gambar dengan masing-masing file bernama 'agus\_1.jpg' dan 'agus\_2.jpg'. Gambar 13 adalah gambar hasil *overlay* dan hasil pencocokan file 'agus\_1.jpg' dengan 'agus\_2.jpg'.



**Gambar 12.** Contoh Gambar Hasil Ekstraksi Minutiae (1 dan 2)



**Gambar 13.** Hasil *Overlay* dan Pencocokan File 'agus\_1.jpg' dan 'agus\_2.jpg'



**2.4 Pengaruh Ukuran Dimensi Gambar**

Percobaan untuk mengetahui pengaruh ukuran dimensi gambar terhadap akurasi dan kecepatan aplikasi dilakukan dengan menggunakan 15 gambar yang berasal dari 2 orang yaitu Agus sebanyak 3 gambar dan Ali sebanyak 2 gambar. Masing-masing gambar tersebut selanjutnya diedit menggunakan aplikasi Paint untuk mengubah ukuran dimensi gambar. Dimensi gambar yang digunakan pada percobaan ini adalah 250x167, 350x232 dan 450x302. Percobaan dilakukan untuk menguji pengaruh ukuran dimensi gambar terhadap jumlah titik minutiae yang berhasil diekstraksi, pengaruh terhadap hasil pencocokan, dan pengaruh terhadap lama proses. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 4 sampai tabel 7.

**Tabel 2.** Pengaruh Ukuran Dimensi Gambar Terhadap Hasil Ekstraksi Minutiae

| Nama Pemilik | Ukuran Dimensi Gambar |                   |                   |
|--------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
|              | 250 x 167             | 350 x 232         | 450 x 302         |
| Agus 1       | 34 titik minutiae     | 40 titik minutiae | 43 titik minutiae |
| Agus 2       | 30 titik minutiae     | 40 titik minutiae | 47 titik minutiae |
| Agus 3       | 32 titik minutiae     | 43 titik minutiae | 51 titik minutiae |
| Ali 1        | 36 titik minutiae     | 37 titik minutiae | 40 titik minutiae |
| Ali 2        | 36 titik minutiae     | 38 titik minutiae | 34 titik minutiae |

Pada tabel 2 percobaan dilakukan untuk mengukur pengaruh ukuran dimensi gambar dalam proses ekstraksi ciri. Percobaan dilakukan dengan menggunakan 15 gambar yang diambil dari 2 orang. Keterangan nama pemilik Agus 1 sampai 3 maksudnya adalah gambar tersebut terdiri dari 3 gambar yang diambil dari subjek agus. Berdasarkan hasil tabel di atas dapat dilihat bahwa ukuran dimensi gambar berpengaruh pada hasil ekstraksi titik minutiae.

**Tabel 3.** Pengaruh Ukuran Dimensi Gambar Terhadap Hasil Pencocokan Menggunakan Citra Positif

| Ukuran Dimensi Gambar | Agus 1 == Agus 2 | Agus 1 == Agus 3 | Rata-rata |
|-----------------------|------------------|------------------|-----------|
| 250 x 167             | 0.7519           | 0.7935           | 0.7727    |
| 350 x 232             | 0.7777           | 0.7739           | 0.7758    |
| 450 x 302             | 0.6593           | 0.6773           | 0.6683    |

Tabel 3 menunjukkan hasil percobaan pengaruh dimensi gambar terhadap pencocokan sidik jari. Gambar yang digunakan pada tabel 3 adalah citra positif yaitu citra yang berasal dari orang yang sama. Dapat dilihat pada tabel di atas bahwa ukuran dimensi gambar berpengaruh pada besaran nilai kecocokan gambar sidik jari. Semakin besar ukuran dimensi gambar maka besar nilai skor kecocokan semakin kecil dan begitu sebaliknya.

**Tabel 4.** Pengaruh Ukuran Dimensi Gambar Terhadap Hasil Pencocokan Menggunakan Citra Negatif

| Ukuran Dimensi Gambar | Agus 1 == Ali 1 | Agus 1 == Ali 2 | Rata-rata |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------|
| 250 x 167             | 0.3550          | 0.3872          | 0.3711    |
| 350 x 232             | 0.2031          | 0.2001          | 0.2016    |
| 450 x 302             | 0.1601          | 0.2046          | 0.1824    |

Tabel 4 menunjukkan hasil percobaan pengaruh dimensi gambar terhadap pencocokan sidik jari dengan menggunakan citra negatif yaitu gambar yang dibandingkan bukan berasal dari subjek yang sama. Dapat dilihat pada





tabel di atas bahwa ukuran dimensi gambar berpengaruh pada besaran nilai kecocokan gambar sidik jari. Semakin besar ukuran dimensi gambar maka besar nilai skor kecocokan semakin kecil dan begitu sebaliknya.

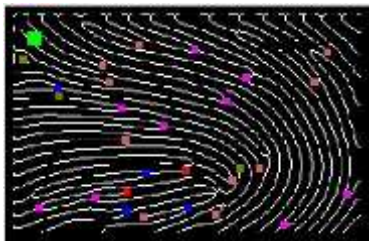
**Tabel 5.** Pengaruh Ukuran Dimensi Gambar Terhadap Kecepatan Proses

| Ukuran Dimensi Gambar | Agus 1 == Ali 1 | Agus 1 == Ali 2 | Rata-rata   |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-------------|
| 250 x 167             | 29.96 detik     | 27.92 detik     | 28,94 detik |
| 350 x 232             | 31.15 detik     | 31.32 detik     | 31,24 detik |
| 450 x 302             | 58.81 detik     | 56.62 detik     | 57,72 detik |

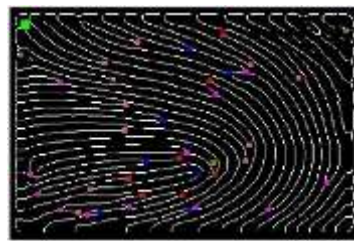
Tabel 5 menunjukkan hasil percobaan pengaruh dimensi gambar terhadap lama proses pencocokan sidik jari. Contoh kasus yang diambil pada percobaan ini adalah kasus pencocokan pada citra negatif seperti pada tabel 4. Dapat dilihat pada tabel 5, ternyata besaran gambar berpengaruh pada hasil ekstraksi titik minutiae yang berdampak pula pada waktu yang dibutuhkan dalam proses identifikasi. Karena proses identifikasi dilakukan dengan cara membandingkan titik minutiae pada citra uji dengan masing-masing titik minutiae yang berhasil diekstraksi pada citra latih.

Berdasarkan hasil percobaan-percobaan di atas dapat disimpulkan bahwa ukuran dimensi gambar terbukti mempengaruhi kecepatan dan akurasi aplikasi. Pengaruhnya terhadap kecepatan, semakin kecil ukuran dimensi gambar maka kecepatan aplikasi akan semakin cepat. Semakin besar ukuran dimensi gambar maka kecepatan aplikasi akan semakin lambat. Hal tersebut terjadi karena dimensi gambar akan mempengaruhi jumlah pixel pada gambar. Semakin gambar diperkecil maka jumlah pixel pun akan menjadi kecil. Sehingga pada saat proses ekstraksi minutiae jumlah iterasi untuk mencari data centroid menjadi lebih sedikit dan hasil titik minutiae yang berhasil diekstraksi pun menjadi sedikit. Kemudian pada saat proses pencocokan pun, proses akan lebih singkat karena jumlah titik minutiae yang berhasil diekstraksi berjumlah sedikit.

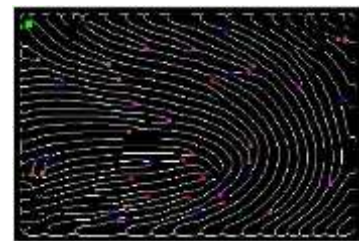
Namun apabila dilihat dari pengaruhnya terhadap akurasi sistem. Semakin kecil ukuran dimensi gambar maka rasio kesalahan penerimaan akan semakin bertambah dan rasio kesalahan penolakan akan semakin berkurang. Semakin besar ukuran dimensi gambar maka rasio kesalahan penerimaan akan semakin berkurang dan rasio kesalahan penolakan akan semakin bertambah. Hal tersebut terjadi karena dimensi gambar akan mempengaruhi posisi titik minutiae yang berhasil diekstraksi. Dimana pada saat proses pencocokan data, titik minutiae yang seharusnya memiliki jarak yang jauh menjadi lebih dekat karena dimensi gambar yang kecil sehingga titik yang seharusnya dianggap tidak cocok menjadi cocok. Dilihat dari hasil percobaan di atas, penulis akhirnya memilih menggunakan ukuran dimensi gambar 450x302 pixel dengan akurasi yang optimal meskipun kecepatannya lebih lambat dibandingkan lainnya.



**Gambar 14.** Contoh Gambar 250 x 167 pixel



**Gambar 15.** Contoh Gambar 350 x 232 pixel



**Gambar 16.** Contoh Gambar 450 x 302 pixel

## 2.5 Pengaruh Nilai Ambang

Nilai ambang merupakan nilai toleransi yang digunakan dalam proses identifikasi atau pencocokan data. Besaran nilai ambang ini biasanya ditentukan dengan cara *trial and error* untuk dipilih besaran nilai yang dianggap optimal. Pada penelitian ini pun, akan dilakukan proses pengujian untuk mencari tahu pengaruh besaran nilai ambang terhadap akurasi dan kecepatan aplikasi dengan besaran nilai ambang 10,12,14 dan 16.

Percobaan dilakukan dengan menggunakan data gambar sidik jari yang sudah memiliki orientasi warna grayscale dan ukuran dimensi gambar 450x302 pixel sehingga proses percobaan tidak lagi melibatkan proses pemotongan gambar dan konversi *grayscale*. Jumlah data latih yang digunakan sebanyak 10 gambar yang berasal dari 10 orang dan jumlah data uji sebanyak 6 gambar yang terdiri dari 3 data positif dan 3 data negatif. Hasil percobaan dapat dilihat pada tabel 6.



**Tabel 6.** Percobaan Pengaruh Nilai Ambang Pada Citra Positif

| Nilai Ambang | Lama Proses   Skor Kecocokan |        |               |        |               |        | Rata-rata |        |
|--------------|------------------------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|-----------|--------|
|              | agusAbu_6.tif                |        | agusAbu_7.tif |        | agusAbu_8.tif |        | Waktu     | Skor   |
|              | Waktu                        | Skor   | Waktu         | Skor   | Waktu         | Skor   |           |        |
| 10           | 121,24                       | 0,6610 | 121,62        | 0,6933 | 112,43        | 0,5902 | 118,43    | 0,6482 |
| 12           | 116,37                       | 0,6846 | 122,68        | 0,6933 | 112,80        | 0,6138 | 117,28    | 0,6639 |
| 14           | 115,85                       | 0,7318 | 121,33        | 0,7164 | 115,11        | 0,6610 | 117,43    | 0,7031 |
| 16           | 115,34                       | 0,7555 | 121,48        | 0,7396 | 113,05        | 0,7082 | 116,62    | 0,7344 |

Tabel 6 menunjukkan hasil percobaan pengaruh nilai ambang terhadap besaran nilai skor kecocokan dan waktu yang diperlukan dalam identifikasi dengan satuan detik. Citra yang digunakan pada percobaan tabel 6 ini adalah citra positif yaitu citra yang dibandingkan (citra uji) berasal dari subjek yang sama dengan salah satu gambar yang ada di *database*.

**Tabel 7.** Percobaan Pengaruh Nilai Ambang Pada Citra Negatif

| Nilai Ambang | Lama Proses   Skor Kecocokan |        |               |        |               |        | Rata-rata |        |
|--------------|------------------------------|--------|---------------|--------|---------------|--------|-----------|--------|
|              | rakaAbu_1.tif                |        | rakaAbu_2.tif |        | rakaAbu_3.tif |        | Waktu     | Skor   |
|              | Waktu                        | Skor   | Waktu         | Skor   | Waktu         | Skor   |           |        |
| 10           | 137,75                       | 0,2019 | 131,98        | 0,1980 | 137,27        | 0,2025 | 135,67    | 0,2008 |
| 12           | 136,71                       | 0,2570 | 130,37        | 0,2178 | 136,60        | 0,2476 | 134,56    | 0,2408 |
| 14           | 139,82                       | 0,2907 | 129,54        | 0,2578 | 154,39        | 0,2802 | 141,25    | 0,2761 |
| 16           | 137,52                       | 0,3205 | 130,18        | 0,2800 | 149,51        | 0,3336 | 139,07    | 0,3114 |

Tabel 7 menunjukkan hasil percobaan pengaruh nilai ambang terhadap besaran nilai skor kecocokan dan waktu yang diperlukan dalam identifikasi dengan satuan detik. Citra yang digunakan pada percobaan tabel 7 adalah citra negatif yaitu citra yang dibandingkan (citra uji) berasal dari subjek yang tidak sama dengan masing-masing gambar yang ada di *database*.

Berdasarkan hasil percobaan di atas dapat disimpulkan bahwa nilai ambang yang digunakan dalam proses pencocokan berpengaruh pada nilai kecocokan gambar dan lama proses aplikasi. Pengaruh besaran nilai kecocokan akan mempengaruhi tingkat akurasi aplikasi dalam menerima atau menolak klaim identitas seseorang. Oleh karena itu semakin tinggi nilai ambang maka rasio kesalahan penerimaan akan bertambah dan rasio kesalahan penolakan akan semakin berkurang. Semakin rendah nilai ambang maka rasio kesalahan penerimaan akan berkurang dan rasio kesalahan penolakan akan semakin bertambah. Sedangkan apabila dinilai berdasarkan kecepatan aplikasi, semakin tinggi nilai ambang maka proses literasi semakin banyak dan peluang penggunaan waktu yang lama akan semakin besar. Dilihat dari hasil percobaan di atas, maka nilai ambang yang direkomendasikan untuk digunakan dalam proses pencocokan dalam aplikasi identifikasi biometrika sidik jari adalah sebesar 10.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji coba dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan *output* yang dihasilkan oleh aplikasi. Uji coba ini akan menghitung tingkat akurasi aplikasi dengan proses perhitungan menggunakan *Confusion Matrix*. Uji coba akan dilakukan untuk menghitung tingkat akurasi aplikasi identifikasi biometrika sidik jari menggunakan gambar sidik yang berasal dari kamera telepon seluler dengan ukuran kamera 5 MP dan 8MP.

Pada uji coba ini, citra yang digunakan berukuran 450x302 pixel dengan orientasi warna abu-abu. Sehingga proses identifikasi yang dilakukan tidak melibatkan proses pemotongan gambar dan konversi *grayscale*. Gambar tersebut didapat dari hasil proses pemotongan gambar dan konversi *grayscale* yang dilakukan secara terpisah. Hasil uji coba dapat dilihat pada tabel 8 sampai tabel 13.



**Tabel 8.** Hasil Uji Coba Menggunakan Citra Positif dan Ukuran Kamera 5MP

| No                 | Citra Uji | Citra Latih |    |    |    |    |    |    |    |    |   | TT | Benar | Salah |
|--------------------|-----------|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|-------|-------|
|                    |           | A           | B  | C  | D  | E  | F  | G  | H  | I  | J |    |       |       |
| 1.                 | A         | 15          |    |    |    |    |    |    |    |    |   | 0  | 15    | 0     |
| 2.                 | B         |             | 13 |    |    |    |    |    |    |    |   | 2  | 13    | 2     |
| 3.                 | C         |             |    | 15 |    |    |    |    |    |    |   | 0  | 15    | 0     |
| 4.                 | D         |             |    |    | 15 |    |    |    |    |    |   | 0  | 15    | 0     |
| 5.                 | E         |             |    |    |    | 15 |    |    |    |    |   | 0  | 15    | 0     |
| 6.                 | F         |             |    |    |    |    | 15 |    |    |    |   | 0  | 15    | 0     |
| 7.                 | G         |             |    |    |    |    |    | 15 |    |    |   | 0  | 15    | 0     |
| 8.                 | H         |             |    |    |    |    |    |    | 15 |    |   | 0  | 15    | 0     |
| 9.                 | I         |             |    |    |    |    |    |    |    | 15 |   | 0  | 15    | 0     |
| 10.                | J         |             |    |    |    |    |    |    |    |    | 1 | 14 | 1     | 14    |
| Jumlah Keseluruhan |           |             |    |    |    |    |    |    |    |    |   |    | 134   | 16    |

**Tabel 9.** Hasil Uji Coba Menggunakan Citra Negatif dan Ukuran Kamera 5MP

| No                 | Citra Uji | Citra Latih |   |   |   |   |   |   |   |   |   | TT | Benar | Salah |
|--------------------|-----------|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-------|-------|
|                    |           | A           | B | C | D | E | F | G | H | I | J |    |       |       |
| 1.                 | R         |             |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 15 | 15    | 0     |
| 2.                 | S         |             |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 15 | 15    | 0     |
| 3.                 | T         |             |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 15 | 15    | 0     |
| 4.                 | U         |             |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 15 | 15    | 0     |
| 5.                 | V         |             |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 15 | 15    | 0     |
| Jumlah Keseluruhan |           |             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | 75    | 0     |

Keterangan inisial huruf digunakan untuk mempersingkat penulisan pada tabel uji coba. Nama asli subjek dengan inisial A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, R, S, T, U, dan V masing-masing adalah Adi, Andi, Diki Andika, Ilham, Lodi, Nizar, Sandi, Suandi, Zuhri, Zulian, Adesive, Aprea, Dicki Andrea, Reza dan Rizaldi. Serta inisial TT adalah singkatan dari Tidak Teridentifikasi yang berarti bahwa skor kecocokan pada kasus bersangkutan tidak memenuhi nilai batas penerimaan identifikasi.

**Tabel 10.** Rekapitulasi Uji Coba Akurasi Dengan Ukuran Kamera 5 MP

| Rekapitulasi Uji Coba | Nilai Sebenarnya |       |
|-----------------------|------------------|-------|
|                       | BENAR            | SALAH |
| Nilai Prediksi        | BENAR            | 134   |
|                       | SALAH            | 16    |



$$\text{Presisi} = \frac{TP}{TP+FP} * 100 = \frac{134}{134 + 16} * 100 = \frac{134}{150} * 100 = 89 \%$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} * 100 = \frac{134}{96 + 0} * 100 = \frac{134}{150} * 100 = 139 \%$$

$$\begin{aligned} \text{Akurasi} &= \frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN} * 100 \\ &= \frac{134 + 75}{134 + 16 + 75 + 0} * 100 \\ &= \frac{209}{225} * 100 \\ &= 92,8 \% \end{aligned}$$

Hasil uji coba akurasi dengan ukuran kamera 5 megapixel memiliki tingkat keakurasian sebesar 92,8% dimana nilai ini memiliki tingkat keakurasian yang sangat baik, dengan metode *minutiae based matching* yang digunakan dalam proses pencocokan, metode tersebut telah berhasil melakukan pencocokan dengan sangat baik sehingga aplikasi identifikasi biometrika sidik jari yang telah berhasil dibuat ini memiliki tingkat akurasi sebesar 92,8 %.

**Tabel 11.** Hasil Uji Coba Menggunakan Citra Positif dan Ukuran Kamera 8MP

| No                 | Citra Uji | Citra Latih |    |    |    |    |    |    |    |    |    | TT | Benar | Salah |
|--------------------|-----------|-------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------|-------|
|                    |           | A           | B  | C  | D  | E  | F  | G  | H  | I  | J  |    |       |       |
| 1.                 | A         | 15          |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 0  | 15    | 0     |
| 2.                 | B         |             | 15 |    |    |    |    |    |    |    |    | 0  | 15    | 1     |
| 3.                 | C         |             |    | 14 |    |    |    |    |    |    |    | 1  | 15    | 0     |
| 4.                 | D         |             |    |    | 15 |    |    |    |    |    |    | 0  | 15    | 0     |
| 5.                 | E         |             |    |    |    | 15 |    |    |    |    |    | 0  | 15    | 0     |
| 6.                 | F         |             |    |    |    |    | 15 |    |    |    |    | 0  | 15    | 0     |
| 7.                 | G         |             |    |    |    |    |    | 15 |    |    |    | 0  | 15    | 0     |
| 8.                 | H         |             |    |    |    |    |    |    | 15 |    |    | 0  | 15    | 0     |
| 9.                 | I         |             |    |    |    |    |    |    |    | 15 |    | 0  | 15    | 0     |
| 10.                | J         |             |    |    |    |    |    |    |    |    | 15 | 0  | 15    | 0     |
| Jumlah Keseluruhan |           |             |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 149   | 1     |

**Tabel 12.** Hasil Uji Coba Menggunakan Citra Negatif dan Ukuran Kamera 8MP

| No                 | Citra Uji | Citra Latih |   |   |   |   |   |   |   |   |   | TT | Benar | Salah |
|--------------------|-----------|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|-------|-------|
|                    |           | A           | B | C | D | E | F | G | H | I | J |    |       |       |
| 1.                 | R         |             |   |   |   |   | 1 |   |   |   |   | 14 | 15    | 1     |
| 2.                 | S         | 1           |   |   |   |   |   |   |   |   |   | 14 | 15    | 1     |
| 3.                 | T         |             |   |   |   |   |   |   |   |   | 1 | 14 | 15    | 1     |
| 4.                 | U         |             |   |   |   |   |   | 4 |   |   |   | 11 | 15    | 4     |
| 5.                 | V         |             |   |   | 2 |   | 1 |   |   |   |   | 12 | 15    | 3     |
| Jumlah Keseluruhan |           |             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | 65    | 10    |



**Tabel 13.** Rekapitulasi Uji Coba Akurasi Dengan Ukuran Kamera 8 MP

| Rekapitulasi Uji Coba |       | Nilai Sebenarnya |       |
|-----------------------|-------|------------------|-------|
|                       |       | BENAR            | SALAH |
| Nilai Prediksi        | BENAR | 149              | 10    |
|                       | SALAH | 1                | 65    |

$$\text{Presisi} = \frac{TP}{TP+FP} * 100 = \frac{149}{149 + 1} * 100 = \frac{149}{150} * 100 = 99,3 \%$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} * 100 = \frac{149}{149 + 5} * 100 = \frac{149}{150} * 100 = 96,7 \%$$

$$\begin{aligned} \text{Akurasi} &= \frac{TP+TN}{TP+FP+TN+FN} * 100 \\ &= \frac{149 + 65}{149 + 1 + 65 + 10} * 100 \\ &= \frac{214}{225} * 100 \\ &= 95,11 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil uji coba ini dapat disimpulkan bahwa metode minutiae *crossing number* memiliki kemampuan ekstraksi minutiae yang sangat baik karena mampu mengekstraksi minutiae pada setiap gambar dengan baik sehingga setiap gambar memiliki ciri masing-masing. Begitu pula dengan metode *minutiae based matching* yang digunakan dalam proses pencocokan, metode tersebut telah berhasil melakukan pencocokan dengan sangat baik sehingga aplikasi identifikasi biometrika sidik jari yang telah berhasil dibuat ini memiliki tingkat akurasi sebesar 92,8 % untuk penggunaan gambar yang berasal dari kamera dengan ukuran 5 megapixel dan akurasi sistem sebesar 95,11 % untuk penggunaan gambar yang berasal dari kamera dengan ukuran kamera 8 megapixel.

Kualitas gambar dan keberhasilan proses pemotongan gambar adalah 2 faktor yang sangat mempengaruhi hasil identifikasi ini. Kualitas gambar tidak hanya berkaitan dengan ketajaman dan pencahayaan gambar saja melainkan juga berkaitan dengan komposisi gambar tersebut. Yaitu apakah gambar tersebut sudah dapat merepresentasikan area sidik jari dengan benar atau belum serta apakah representasi area sidik jari tersebut sudah tersedia pada masing-masing gambar secara konsisten atau tidak.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa gambar sidik jari yang berasal dari hasil proses akuisisi citra menggunakan kamera telepon seluler dengan ukuran kamera sebesar 5MP dan 8MP dapat digunakan untuk bahan input proses identifikasi sidik jari berbasis *image processing*. Keberhasilan proses identifikasi ini pula membuktikan bahwa metode minutiae *crossing number* bekerja dengan sangat baik dalam mengekstraksi minutiae pada gambar sidik jari sehingga setiap gambar memiliki ciri masing-masing. Begitu pula penggunaan metode *minutiae based matching* yang dengan optimal mampu mengidentifikasi gambar sidik jari berdasarkan data hasil ekstraksi minutiae. Sehingga, aplikasi yang berhasil dibuat pada penelitian ini dengan menggunakan metode minutiae *crossing number* dan metode *minutiae based matching* memiliki nilai akurasi sistem sebesar 92,8 % untuk penggunaan gambar sidik jari yang berasal dari kamera telepon seluler berukuran 5 MP dan nilai akurasi sistem sebesar 95,11 % untuk penggunaan gambar sidik jari yang berasal dari kamera telepon seluler berukuran 8 MP. Nilai akurasi sistem tersebut dipengaruhi oleh hasil tahap akuisisi citra, tahap prapemrosesan, besar nilai ambang pada proses identifikasi dan jumlah gambar yang digunakan pada data latih di dalam *database*. Pengaruh tahap akuisisi citra berkaitan dengan bagaimana cara pengambilan gambar sidik jari seperti posisi sidik jari saat pengambilan gambar, jarak antara sidik jari dengan kamera dan penggunaan flash. Pengaruh tahap prapemrosesan berkaitan dengan bagaimana hasil dari proses pemotongan gambar yang akan digunakan untuk tahap ekstraksi ciri.



## UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih disampaikan kepada Universitas Pakuan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang telah mendukung penelitian ini sampai selesai, serta semua rekan-rekan yang terlibat dalam penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Rahim, S. (2018). Pengertian Keamanan Komputer. Retrived from <http://portal.stikom-db.ac.id: http://portal.stikom-db.ac.id/files/a3m-nix/1.pdf>. 3-21.
- Ahmad, U. (2005). *Pengolahan Citra Digital dan Teknik Pemrogramannya*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Bansal, R. P. (n.d.). Minutiae Extraction From Fingerprint Images - a Review. *IJSI International Journal of Computer Science Issue*, Vol. 8, Issue 5. ISSN: 1694-0814.
- D. Maltoni, D. M. (2003). Minutiae-based Method. In *Handbook of Fingerprint Recognition*. New York: Spring Verlag.
- Darma Putra, A. R. (2011). Verifikasi Biometrika Suara Menggunakan Metode MFCC dan DTW. *LONTAR KOMPUTER VOL. 2, NO. 1*.
- Gunawan. (2016). Kamera Handphone atau Smartphone. Retrieved from [haiwiki.info:https://haiwiki.info/teknologi/fitur-istilah-kamera-handphone-smartphone/](http://haiwiki.info:https://haiwiki.info/teknologi/fitur-istilah-kamera-handphone-smartphone/). 09-19.
- Haruno Sajati, D. N. (2017). Pencocokan Gambar Sidik Jari Dengan Kamera Handphone Menggunakan Metode Ransac dan Transformasi Affine Berbasis Android. *ejournal.stta.ac.id*.
- Juhara, Z. P. (2016). *Panduan Lengkap Pemrograman Android*. Yogyakarta: Andi.
- Li, T. (2017). Fingerprint Identification By Improved Method of Minutiae Matching. 20-30.
- Mulyanata, E. S. (2008). *Teknik Modern Fotografi Digital*. Yogyakarta: CV. Andi Offset.
- Okta Hadi Saputra, I. (2011). Teknik Ekstraksi Minutiae Untuk Sistem Verifikasi Keaslian Sidik Jari. *Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS*.
- Pradana, I. H. (2015). Klasifikasi Citra Sidik Jari Berdasarkan Enam Pattern Menggunakan Metode Euclidean Distance. Retrieved from [mahasiswa.dinus.ac.id: http://mahasiswa.dinus.ac.id/docs/skripsi/jurnal/15328.pdf](http://mahasiswa.dinus.ac.id: http://mahasiswa.dinus.ac.id/docs/skripsi/jurnal/15328.pdf).
- Putra, D. (2009). *Sistem Biometrika: Konsep Dasar Teknik Analisis Citra*. Yogyakarta: Andi.
- Putra, D. A. (2009). *Sistem Biometrika: Konsep Dasar Teknik, Analisis Citra dan Tahapan Membangun Aplikasi Sistem Biometrika*. Yogyakarta: Andi.
- Putra, D. e. (2011). Verifikasi Biometrika Suara Menggunakan Metode MFCC dan DTW. *Lontar Komputer Vol. 2 No. 1. ISSN: 2088-1541*.
- Roli Bansal, P. S. (2011). Minutiae Extraction from Fingerprint Images - a Review. *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, Vol. 8, Issue 5.
- Sajati Haruno, D. N. (2017). Pencocokan Gambar Sidik Jari Dengan Kamera Handphone Menggunakan Metode Ransac dan Transformasi Affine Berbasis Android. *ejournal.stta.ac.id*.
- Sandri Titik Wulandari, E. (2017). Aplikasi Biometrika Pengenalan Citra Sidik Jari Dengan Metode Minutiae dan Ar. *Jurnal Rekursif*, Vol. 5 No. 1. ISSN 2303-0755.
- Setiawan A. F, A. A. (2016). Klasifikasi Pola Sidik Jari Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation Untuk Analisa Karakteristik Seseorang. *Journal Antivirus*, Vol. 10 No. 2. ISSN: 1978-5232.
- Verawati, R. (2014). Pengenalan Sidik Jari Berdasarkan Struktur Minutiae Dengan Metode Backpropagation. *Jurnal Pelita Informatika Volume 7, Nomer 1, Nomer 1*.