

PENGEMBANGAN MODEL MATEMATIKA UNTUK ANALISIS SISTEM IDENTIFIKASI SIDIK JARI OTOMATIS

M. Syamsa Ardisasmita *

ABSTRAK

PENGEMBANGAN MODEL MATEMATIKA UNTUK ANALISIS SISTEM IDENTIFIKASI SIDIK JARI OTOMATIS. Sidik jari memiliki suatu orientasi dan struktur periodik berupa komposisi dari garis-garis gelap dari kulit yang naik (*ridges*) dan garis-garis terang dari kulit yang turun (*furrows*) yang berliku-liku membentuk suatu pola yang berbeda-beda. Walaupun garis-garis alur tangan terbentuk berbeda-beda, tetapi sifat-sifat khusus dari sidik jari yang disebut dengan *minutiae* adalah unik untuk setiap individu. Ciri-ciri ini membentuk pola khusus yang terdiri dari terminasi atau percabangan dari alur. Untuk memeriksa apakah dua sidik jari berasal dari jari yang sama atau bukan, para ahli mendeteksi *minutiae* tersebut. Sistem Identifikasi Sidik Jari Otomatis (AFIS) akan mengambil dan membandingkan ciri-ciri tersebut untuk menentukan suatu kecocokan. Metode klasik pengenalan sidik jari sekarang ini tidak terlampaui sesuai untuk implementasi langsung dalam bentuk algoritma komputer. Pembuatan suatu model sidik jari diperlukan dalam pengembangan algoritma analisis baru yang lebih baik. Dalam makalah ini dikembangkan metode numerik baru untuk pengenalan sidik jari yang berdasarkan pada penggambaran model matematik dari *dermatoglyphics* dan pembuatan *minutiae*. Dalam makalah ini digambarkan juga rancangan dan penerapan suatu sistem identifikasi sidik jari otomatis yang beroperasi dalam dua tahap: ekstraksi *minutiae* dan pencocokan *minutiae*.

ABSTRACT

THE DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL FOR AUTOMATED FINGERPRINT IDENTIFICATION SYSTEMS ANALYSIS. Fingerprint has a strong oriented and periodic structure composed of dark lines of raised skin (*ridges*) and clear lines of lowered skin (*furrows*) that twist to form a distinct pattern. Although the manner in which the ridges flow is distinctive, other characteristics of the fingerprint called “*minutiae*” are what are most unique to the individual. These features are particular patterns consisting of terminations or bifurcations of the ridges. To assert if two fingerprints are from the same finger or not, experts detect those *minutiae*. AFIS (Automated Fingerprint Identification Systems) extract and compare these features for determining a match. The classic methods of fingerprints recognition are not suitable for direct implementation in form of computer algorithms. The creation of a finger's model was however the necessity of development of new, better algorithms of analysis. This paper presents a new numerical methods of fingerprints' simulation based on mathematical model of arrangement of *dermatoglyphics* and creation of *minutiae*. This paper describes also the design and implementation of an automated fingerprint identification systems which operates in two stages: *minutiae* extraction and *minutiae* matching.

Kata kunci: biometrics, fingerprint identification, *minutiae* extraction.

* Pusat Pengembangan Teknologi Informatika dan Komputasi - BATAN

PEDAHULUAN

Klasifikasi kategori sidik jari merupakan bagian penting dalam sistem pengidentifikasian individu di bagian kriminologi atau forensik. Pemanfaatan identifikasi sidik jari sudah semakin meluas sebagai bagian dari biometri. Biometri adalah cabang ilmu untuk mengidentifikasi individu berdasarkan sifat-sifat fisiknya. Sifat fisik harus bersifat unik yaitu dapat berupa pola garis-garis alur sidik jari, bentuk geometri tangan, kunci frekuensi suara, rincian ciri wajah, pola iris dan retina mata yang umumnya untuk setiap individu tidak sama. Jadi pola sidik jari merupakan salah satu identifikasi perorangan yang bersifat unik yang sudah lama digunakan dalam penyidikan kepolisian, sistem keamanan (*forensics & security*) dan sekarang untuk kontrol akses dan pemeriksaan kartu ATM. Sir Francis Galton (1892) adalah yang melakukan penelitian pertama mengenai keunikan sidik jari (*minutiae*).

Pola pada tangan dan sidik jari merupakan bagian dari cabang ilmu yang disebut *dermatoglyphics*. Kata *dermatoglyphics* berasal dari kata Yunani yaitu *derma* yang berarti kulit dan *glyphe* berarti ukiran. Disiplin ilmu ini mengacu kepada formasi garis-garis alur bubungan (*ridge*) yang terdapat pada telapak tangan dan tapak kaki manusia. Selama ini klasifikasi pola sidik jari dilakukan secara manual oleh pakar manusia yang diambil dari cap jari-jari tangan pada kartu. Kini telah dibuat teknik klasifikasi sidik jari otomatis secara digital, tetapi belum ada algoritma pendekatan yang dapat diandalkan. Biasanya sebelum diklasifikasi dilakukan terlebih dahulu pra-klasifikasi yang tujuannya adalah untuk meningkatkan keandalan pencarian pada basis data yang besar. Adanya klasifikasi dapat membantu mempercepat proses identifikasi dan pencarian pada basis data sidik jari yang umumnya berjumlah besar.

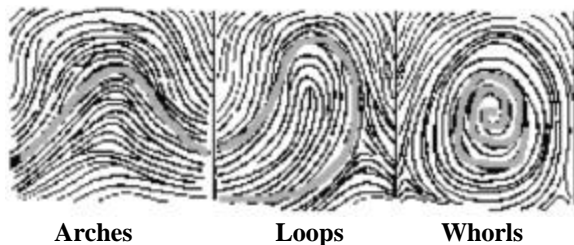
Penempatan sidik jari kedalam beberapa kelompok kelas yang mempunyai pola dasar yang serupa memungkinkan pengisian, penelusuran dan pencocokan data sidik jari dengan penyitiran yang cepat. Klasifikasi seperti ini dapat mengurangi ukuran dari ruang pencarian yaitu membatasi pencarian hanya pada sidik jari dalam kelas yang sama untuk identifikasi. Klasifikasi sidik jari yang digunakan secara luas adalah sistem Henry dan variasi-variasinya yang diperkenalkan oleh Edward Henry (1899). Metode klasik identifikasi sidik jari yang selama ini digunakan, ternyata kurang sesuai untuk implementasi langsung dalam bentuk algoritma komputer. Oleh karena itu perlu dikembangkan model matematika untuk analisis sistem identifikasi sidik jari otomatis (*AFIS - Automatic fingerprint identification systems*).

Sebagian besar sistem untuk identifikasi sidik jari didasarkan pada pencocokan *minutiae* yaitu akhir atau percabangan garis alur sidik jari. Deteksi dari *minutiae* secara otomatis merupakan suatu proses kritis, terutama jika citra sidik jari berkualitas rendah dengan pola garis alur tidak jelas. Akibat *noise* dan kurangnya kontras

menyebabkan adanya konfigurasi titik-titik gambar yang menyerupai *minutiae* (*minutiae* palsu) atau menutupi *minutiae* sebenarnya. Maka tujuan dari pemodelan sidik jari ini pertama adalah untuk memahami penggambaran matematika untuk membuat pola sidik jari tiruan. Kedua dalam mengembangkan algoritma baru yang lebih baik untuk sistem identifikasi sidik jari secara otomatis.

KLASIFIKASI SIDIK JARI

Klasifikasi sidik jari adalah membagi data pola garis alur sidik jari kedalam kelompok-kelompok kelas ciri yang menjadi karakteristik sidik jari tersebut yaitu untuk mempercepat proses identifikasi. Ada dua jenis kategori sidik jari yaitu kategori bersifat umum (global) dan kategori yang bersifat khusus (lokal) yaitu untuk menggambarkan ciri-ciri khusus individual, seperti jumlah *minutiae*, jumlah dan posisi inti (*core*), dan jumlah dan posisi delta.



Gbr.1 - Klasifikasi global sidik jari menurut Galton

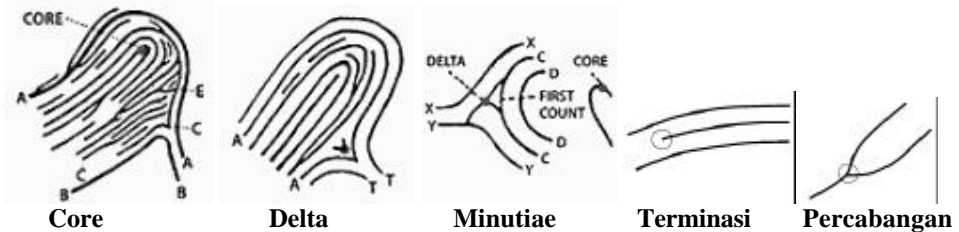
Karakteristik sidik jari yang bersifat global terlihat sebagai pola garis-garis alur dan orientasi dari garis alur tersebut pada kulit. Sir Francis Galton (1982) mengklasifikasi ciri-ciri global sidik jari dalam tiga kategori bentuk:

- (1) *Arches* adalah pola garis alur sidik jari berbentuk suatu kurva terbuka yang mencakup 5% dari populasi.
- (2) *Loops* adalah jenis paling umum yaitu kurva melingkar yang meliputi 60% sampai dengan 65 % dari populasi.
- (3) *Whorls* adalah berbentuk lingkaran penuh yang mencakup 30% sampai 35% dari populasi.

Kurva terbuka (*Arches*) dibagi lagi atas *arch* dan *tented arch*. Sedangkan *loops* dibagi dua menjadi kurva melingkar condong ke kiri (*left loop*) dan melingkar condong ke kanan (*right loop*).

Ciri-ciri lokal sidik jari ditentukan oleh jumlah dan posisi garis alur dan banyaknya percabangan dari garis-garis alur yang terdiri dari:

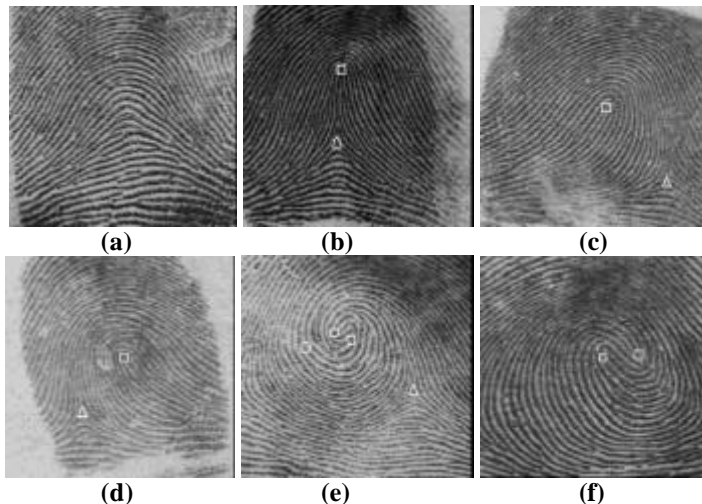
- **Inti (core)** didefinisikan sebagai titik yang didekatnya terdapat alur-alur yang membentuk susunan semi-melingkar. Inti ini digunakan sebagai titik pusat lingkaran balik garis alur yang menjadi titik acuan pembacaan dan pengklasifikasian sidik jari.



Gbr.2 – Karakteristik lokal sidik jari

- **Delta** didefinisikan sebagai suatu titik yang terdapat pada suatu daerah yang dibatasi oleh tiga sektor yang masing-masing memiliki bentuk hiperbolik. Titik ini merupakan pertemuan curam atau titik divergensi dari pertemuan dua garis alur.
- **Minutiae** didefinisikan sebagai titik-titik terminasi (*ending*) dan titik-titik awal percabangan (*bifurcation*) dari garis-garis alur yang memberikan informasi yang unik dari suatu sidik jari.

Selain itu dikenal juga jenis garis alur (*type lines*) yaitu dua garis alur paralel yang mengelilingi atau cenderung mengelilingi daerah pola, dan cacah garis alur (*ridge count*) atau kerapatan (*density*) yaitu jumlah dari garis-garis alur dalam daerah pola.



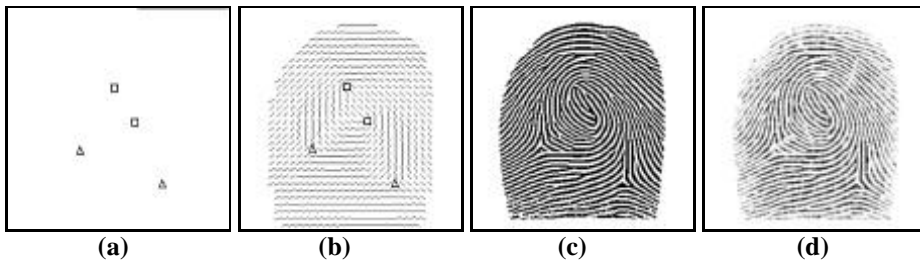
Gbr.3 - Enam kategori klasifikasi sidik jari berdasarkan delta dan inti

Berdasarkan jumlah serta posisi inti dan delta dapat dikembangkan model matematika untuk mensimulasi enam kategori klasifikasi sidik jari, yaitu: *arch*, *tented arch*, *right loop*, *left loop*, dan *whorl* berdasarkan jumlah dan posisi inti (δ) dan delta (Δ). Gambar 3a memperlihatkan kategori *Arch* yang tidak memiliki delta dan inti. Gambar 3b adalah *Tented Arch* dengan satu delta (Δ) dan satu inti (δ). Gambar 3c adalah *Right Loop* dengan satu delta dan satu inti. Gambar 3d adalah *Left Loop* dengan satu delta dan satu inti. Gambar 4e *Whorl* dengan satu delta dan dua inti. Terakhir 3f adalah *Twin Loop* dengan dua inti yang tidak tercitra. Hasil pengembangan ini dapat digunakan untuk menyempurnakan proses identifikasi sidik jari secara otomatis.

PEMBUATAN SIDIK JARI TIRUAN

Ada empat tahapan dalam pembuatan sidik jari tiruan, yaitu: (1) Pembentukan peta orientasi medan; (2) Pembentukan peta kerapatan; (3) Pembentukan pola garis alur; (4) Pembangkitan derau dan pencahayaan. Suatu model sidik jari dibangun dengan masukannya adalah jumlah dan posisi dari inti dan delta. Model dibangun dengan menempatkan inti dan delta, kemudian menerapkan model aliran dari segmen-segmen garis alur menurut kategori kelas yang telah ditentukan sebelumnya. Untuk mendapatkan orientasi kemiringan medan ruas-ruas garis pada setiap segmen, digunakan pengaturan *mask* untuk menghitung total pergeseran pada arah sumbu x ($\sum \Delta x$) dan total pergeseran pada arah sumbu y ($\sum \Delta y$). Kemiringan global (rotasi) segmen-segmen garis alur pada suatu partisi merupakan hasil penggabungan dari sejumlah vektor-vektor kecil yang arahnya didefinisikan dalam suatu sudut θ yaitu:

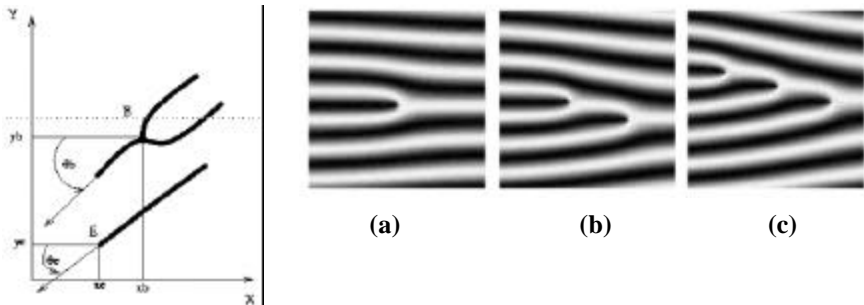
$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{\sum \nabla y}{\sum \nabla x} \right]$$



Gbr.4 – Tahap-tahap simulasi pembuatan sidik jari tiruan

Model dimulai dengan menempatkan inti dan delta, kemudian menerapkan model alir matematika untuk pemetaan orientasi yang berhubungan dengan arah medan. Titik-titik tetap tersebut (inti atau delta) digunakan sebagai acuan posisi x dan

posisi y dari minutiae secara absolut maupun relatif (Gambar 5a). Yang dijadikan sebagai parameter sintesis adalah : (1) Jenis kelas kategori sidik jari (*whorl*, *arch*, *right loop*, *left loop*); (2) Kerapatan yaitu jumlah dari garis-garis alur dalam daerah pola; (3) Jumlah minutiae (0 sampai 40); (4) Ketebalan dari garis (0,2 sampai 0,8 cm); (5) Perbandingan antara ketebalan garis dengan ruang kosong; (6) Pergeseran terhadap sumbu x dan pergeseran terhadap sumbu y; (7) Rotasi pola sidik jari.



Gbr.5 – Penarikan garis alur dan percabangan

Akhir garis alur (*ridge ending*) terjadi ketika garis alur berhenti secara mendadak. Sedangkan titik dimana garis alur terbagi menjadi dua atau lebih cabang disebut percabangan alur (*ridge bifurcation*). Ada beberapa jenis percabangan dari alur sidik jari yaitu : percabangan tunggal (Gambar 5a), percabangan ganda (Gambar 5b) dan percabangan tiga (Gambar 5c). Pelebaran alur (*ridge divergence*) terjadi apabila dua garis alur yang tadinya paralel membuka melebar. Dapat juga terjadi alur yang terpecah dua tergabung kembali membentuk pagar tertutup (*enclosure*).

$$V_x(i, j) = \sum_{u=i-\frac{W}{2}}^{i+\frac{W}{2}} \sum_{v=j-\frac{W}{2}}^{j+\frac{W}{2}} 2G_x(u, v)G_y(u, v),$$

$$V_y(i, j) = \sum_{u=i-\frac{W}{2}}^{i+\frac{W}{2}} \sum_{v=j-\frac{W}{2}}^{j+\frac{W}{2}} (G_x^2(u, v) - G_y^2(u, v)),$$

$$\theta(i, j) = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{V_x(i, j)}{V_y(i, j)} \right),$$

Tampilan peta orientasi yang berhubungan dengan arah-arah medan dibuat menggunakan gradien jarak dengan menggunakan parameter-parameter sidik jari yang meliputi posisi inti dan delta yang dihubungkan dengan kelas kategori sidik jari. Pola garis alur kemudian dibuat dengan bantuan filter spasial linier yang tergantung ruang.

Keluarannya berupa pola-pola garis alur dari citra sidik jari yang sangat jelas seperti citra biner (Gambar 4c). Agar lebih realistik maka dilakukan penambahan derau (*noise*) tertentu dan pembayangan (*rendering*) sehingga diperoleh citra sidik jari dalam tingkat keabuan (Gambar 4d).

SISTEM IDENTIFIKASI SIDIK JARI OTOMATIS

Langkah-langkah pengenalan dalam suatu sistem identifikasi sidikjari otomatis adalah meliputi: (1) Akuisisi data untuk pembacaan sidik jari; (2) Ekstraksi minutiae untuk identifikasi; (3) Pencocokan dan pengambilan keputusan. Jadi sistem identifikasi sidik jari otomatis dapat direduksi menjadi masalah pencocokan posisi titik-titik minutiae antara dua pola sidik jari sebesar mungkin. Jika tidak ada deformasi seperti pergeseran, perputaran atau masalah non-linier, maka setiap titik minutiae yang terlokalisasi secara tepat akan dibandingkan antara kedua pola untuk menghasilkan suatu identifikasi. Tetapi kenyataannya terjadi deformasi, adanya sejumlah minutiae palsu dan sejumlah minutiae yang hilang karena tidak terdeteksi. Oleh karena beberapa model simulasi sidik jari digunakan untuk membantu restrukturisasi garis alur pola sidik jari yang mengalami deformasi.

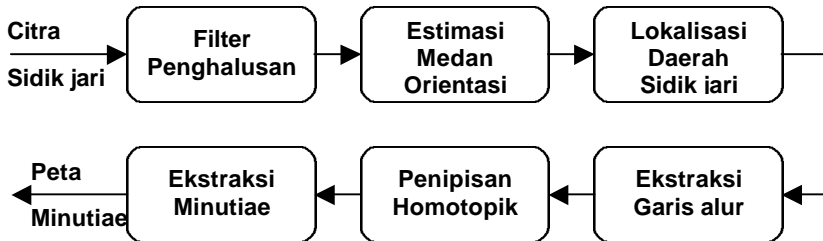
Sidik jari dibaca menggunakan *scanner* sidik jari secara *live-scan* (langsung) atau *off-line* (tinta). Citra sidik jari yang dihasilkan kemudian dilakukan pra-pengolahan yaitu diperiksa dengan suatu orientasi medan untuk estimasi posisi. Setelah dilakukan pra-pengolahan baru dilakukan ekstraksi garis-garis alur pola sidik jari untuk menentukan posisi-posisi minutiae.



Gbr.6 – Sistem Identifikasi Sidik Jari Otomatis

Ekstraksi garis-garis alur dilakukan melalui tahap binarisasi dan penipisan homotopik. Binarisasi dari citra tingkat keabuan menjadi citra hitam putih direalisasikan dengan suatu batas ambang. Penipisan homotopik diterapkan ke citra biner dengan suatu filter morfologi keluarga L_6 yaitu penipisan obyek secara simetris yang hasil akhir adalah diperolehnya garis tipis yang menggambarkan bentuk dasar

pola garis alur sidik jari. Operasi penipisan dengan transformasi homotopi yaitu agar tetap menjaga konektivitas atau keterhubungan antara komponen-komponen piksel yang ditipiskan sehingga diperoleh rangka dasar yang mencerminkan garis alur pola sidik jari pada citra.



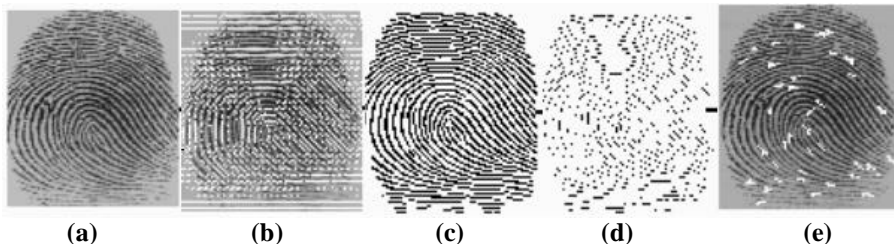
Gbr. 7 – Bagan alur algoritma ekstraksi minutiae

Dalam memperkirakan medan orientasi dilakukan dengan menerapkan algoritma Rao yang terdiri dari tahap-tahap berikut ini:

1. Bagi citra masukan sidik jari kedalam blok-blok dengan ukuran $W \times W$.
2. Hitung gradien G_x dan G_y untuk setiap piksel dalam setiap blok.
3. Perkiraan orientasi lokal setiap blok dengan rumus dibawah ini:

$$\theta_0 = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^W 2G_x(i, j) \cdot G_y(i, j)}{\sum_{i=1}^W \sum_{j=1}^W (G_x^2(i, j) - G_y^2(i, j))} \right)$$

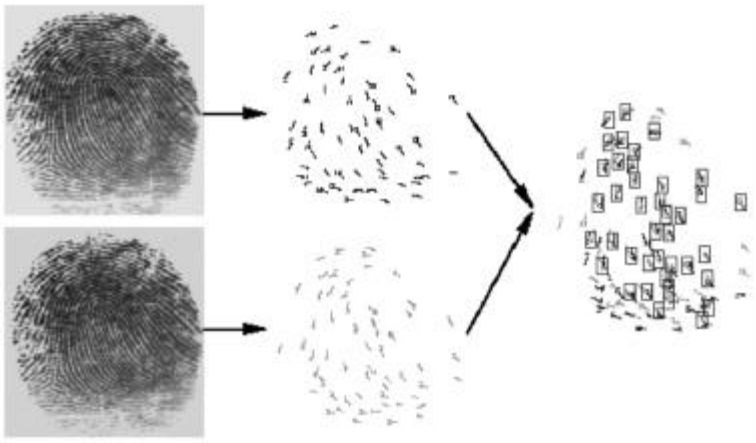
dengan W adalah ukuran blok, G_x dan G_y adalah nilai gradien dalam arah x dan y .



Gbr.8 – Hasil tahapan-tahapan algoritma ekstraksi minutiae

Ekstraksi minutiae diperoleh menggunakan matriks ketetanggaan dan filter bentuk dengan topologinya dirancang untuk mengeksploitasi dua sifat minutiae, yaitu untuk mendeteksi akhir garis alur atau titik-titik percabangan. Citra awal berhubungan dengan arah garis-garis alur pola sidik jari yang kemudian disekat-sekat kedalam daerah-daerah yang terhubung yang homogen. Dari terminasi dan percabangan garis

alur pola sidik jari maka diperoleh titik-titik minutiae. Peta dari titik-titik minutiae disimpan sebagai informasi unik berhubungan dengan sidik jari individual. Maka teknologi algoritma pengidentifikasian sidik jari ini disebut dengan pengolahan berbasis minutiae.



Gbr.7 – Pencocokan minutiae sidik jari

Toleransi terhadap pergeseran dan perputaran sidik jari dikoreksi dengan transformasi Hough, tetapi menyebabkan pemeriksaan menjadi lambat. Dalam satu sidik jari biasanya diperoleh 30 sampai 40 minutiae. Dari pengamatan diperoleh kenyataan bahwa dari dua individu paling banyak hanya ditemukan kurang dari delapan titik-titik minutiae yang mempunyai posisi yang sama yaitu hanya 5 sampai 7 minutiae yang sama. Umumnya sidik jari dari tangan yang sama memberikan 20 sampai 40 minutiae yang sama. Kecepatan pencocokan sidik jari sekitar 0,2 sampai 0,5 detik dimana algoritma dapat mencocokkan 5000 sidik jari per detiknya.

KESIMPULAN

Sistem identifikasi sidik jari otomatis telah dapat bekerja dengan baik, walaupun berbagai permasalahan seperti deformasi citra dan terutama kualitas citra menyebabkan terjadinya kesalahan dalam menentukan minutiae. Usaha mengurangi gangguan *noise* dan toleransi terhadap pergeseran, perputaran dan deformasi non-linier pada saat pencocokan merupakan permasalahan cukup sulit. Algoritma bekerja dalam dua tahap, pertama adalah ekstraksi minutiae, dan kedua dilanjutkan dengan

pencocokan minutiae. Pada saat sama algoritma memberikan waktu pengolahan dan pencocokan yang cukup cepat untuk pemakaian dalam jumlah besar data sidik jari.

Walaupun algoritma identifikasi sidik jari tidak membutuhkan titik-titik inti dan delta untuk pengenalan suatu sidik jari. Tetapi penggunaan kedua titik-titik tersebut akan memberikan keandalan pengenalan yang lebih baik. Selain itu adanya model matematika sidik jari memungkinkan diciptakannya metode baru untuk pengolahan dan analisis citra sidik jari, khususnya dalam mengatasi deformasi dan kualitas citra yang buruk. Pengembangan model matematika sidik jari memberikan metode efektif untuk filterisasi bentuk dalam memperbaiki kerusakan pola dermatoglyphics akibat distorsi citra

Selain pencocokan minutiae, metoda lain yang digunakan untuk identifikasi sidik jari adalah dengan menghitung jumlah garis-garis alur antara titik-titik (densitas) atau dengan pengolahan citra sidik jari merekam gelombang-gelombang suara penyidikan. Keberhasilan identifikasi sidik jari secara otomatis akan mengganti penggunaan kunci, *pass cards* dan *passwords* yang mudah untuk dipalsukan yang selama ini digunakan dalam kontrol akses, verifikasi kartu ATM dan E-commerce.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] MEHTRE B.M., "Fingerprint Image Analysis for Automatic Identification", *Machine Vision and Application*, 6, pp. 124-139, 1993.
- [2] JAIN A., BOLLE R. and PANKANTI S., *Biometrics - Personal Identification in Networked Society*, Kluwer Academic Publisher, 1999.
- [3] WAYMAN J.L., "Technical Testing and Evaluation of Biometric Devices", in A. Jain, et. al, *Biometrics - Personal Identification in Networked Society*, Kluwer Academic Publisher, 1999.
- [4] CAPPELLI R., EROL A., MAIO D. and MALTONI D. , "Synthetic Fingerprint-image Generation", *Proceedings International Conference on Pattern Recognition (ICPR2000)*, Barcelona, September 2000.
- [5] JAIN A. K. and PANKANTI S., *Automated Fingerprint Identification and Imaging Systems*, *Advances in Fingerprint Technology*, 2nd Ed. (H. C. Lee and R. E. Gaensslen), Elsevier Science, New York, 2001.
- [6] JAIN A.K, HONG L., BOLLE R. and PANKANTI S., "Determining A Point Correspondence Between Two Points in Two Respective (Fingerprint) Images", U.S. Patent Number 6, 049,621, April 11, 2000.

- [7] JAIN A.K., HONG L., BOLLE R. and PANKANTI S., "System and Method for Matching (Fingerprint) Images Using an Aligned String-Based Representation", U.S. Patent 6,185,318, Feb. 6, 2001.