

# Penggunaan Graf dalam Pengklasifikasian Sidik Jari

Jessica Andjani / 13513086  
Program Magister Informatika  
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika  
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia  
13513086@std.stei.itb.ac.id

**Abstract**—Penggunaan arah dari gambar sidik jari dapat menjadi salah satu metode untuk mengklasifikasi sidik jari seseorang. Arah dari gambar sidik jari yang sama akan dikelompokkan dan dijadikan satu wilayah/blok. Setelah membagi wilayah pada sidik jari, graf terhubung akan terbentuk. Fungsi *cost* akan digunakan untuk menentukan model graf mana yang dapat merepresentasikan graf ini. Algoritma  $A^*$  pun menentukan perubahan apa pada graf yang membuat fungsi *cost* minimum.

**Index Terms**—Sidik Jari, Graf Terhubung, Fungsi *Cost*,  $A^*$ .

## I. PENDAHULUAN

Dalam era globalisasi perkembangan teknologi berkembang semakin pesat. Hampir seluruh manusia di dunia ini memanfaatkan kemajuan teknologi. Pemanfaatan teknologi ini sangat membantu mereka dalam menyelesaikan suatu persoalan yang ada secara efisien dan efektif.

Penggunaan benda – benda elektronik pada era globalisasi ini bukanlah menjadi suatu hal yang aneh. Bahkan penggunaan benda – benda elektronik inilah yang akan membantu manusia untuk menyelesaikan suatu permasalahan yang ada dengan waktu yang lebih singkat.

Dalam mengidentifikasi sidik jari seseorang pun sudah dapat dilakukan dengan menggunakan sistem secara otomatis. Sistem ini akan mempermudah pihak-pihak tertentu dalam melakukan pengidentifikasian sidik jari seorang. Sebelum melakukan tahap pengidentifikasian pada sidik jari seseorang dibutuhkan pengklasifikasian sidik jari terlebih dahulu. Pada awalnya pengklasifikasian sidik jari memakan waktu yang lama, namun dengan adanya teori graf ini, pengklasifikasian dapat berjalan lebih optimum dibandingkan sebelumnya.

## II. LANDASAN TEORI

### 2.1 Graf

Graf digunakan untuk merepresentasikan objek-objek diskrit dan hubungan antara objek-objek tersebut. Representasi dari objek-objek tersebut berupa titik atau node, sedangkan hubungan antara objek-objek tersebut berupa garis atau dapat dikatakan sebagai sisi. Sejarah teori graf terjadi saat muncul suatu permasalahan jembatan Konigsberg pada tahun 1736. Tokoh yang

berjasa dalam teori graf ini adalah Leonhard Euler. Beliau mengubah masalah jembatan Konigsberg ini ke dalam bentuk graf (simpul menandakan daratan dan sisi menandakan ruas jembatan).

#### 2.1.1 Definisi Graf

Graf  $G$  didefinisikan sebagai suatu graf yang terdiri atas himpunan vertices ( $V$ ) dan edges ( $E$ ). Vertices merupakan suatu himpunan tidak kosong dari simpul-simpul  $\{v_1, v_2, v_3, \dots\}$ . Edges merupakan suatu himpunan yang menghubungkan sepasang simpul  $\{e_1, e_2, e_3, \dots\}$ .

Berdasarkan penjelasan di atas dapat dikatakan bahwa suatu graf dimungkinkan tidak memiliki sisi, tetapi minimal mempunyai satu simpul. Jadi, suatu graf  $G$  dapat dituliskan  $G = (V, E)$ .

Graf dapat dikelompokkan menjadi beberapa kategori. Kategori ini dikelompokkan berdasarkan ada tidaknya gelang atau sisi ganda pada suatu graf dan orientasi arah pada sisi.

Berdasarkan ada tidaknya gelang atau sisi ganda pada suatu graf, maka graf dibagi menjadi dua :

1. Graf Sederhana

Graf yang tidak mengandung gelang maupun sisi ganda.

2. Graf tak-Sederhana

Graf yang mengandung sisi ganda atau gelang.

Berdasarkan orientasi arah pada sisi, maka graf

dibagi menjadi dua :

1. Graf tak-berarah

Graf yang sisinya tidak mempunyai orientasi arah. Pada graf tak-berarah, urutan pasangan simpul yang dihubungkan oleh sisi tidak diperhatikan. Sehingga  $(v_1, v_2)$  sama dengan  $(v_2, v_1)$ .

2. Graf berarah

Graf yang setiap sisinya diberikan orientasi arah. Pada graf berarah, urutan pasangan simpul yang dihubungkan oleh sisi harus diperhatikan. Pada simpul  $(v_1, v_2)$ ,  $v_1$  merupakan simpul asal sedangkan  $v_2$  merupakan simpul yang dituju.

#### 2.1.2 Graf Terhubung

Simpul 1 terhubung dengan simpul 2 jika terdapat lintasan dari  $v_1$  ke  $v_2$ .  $G$  adalah sebuah graf terhubung jika terdapat lintasan dari simpul 1 ( $v_1$ ) ke simpul 2 ( $v_2$ ).

#### 2.1.3 Graf Berbobot (*Weighted Graph*)

Graf berbobot adalah graf yang setiap sisinya diberi suatu harga.

### 2.1.4 Graf Lengkap

Graf lengkap adalah graf yang setiap simpulnya mempunyai sisi ke semua simpulnya. Graf lengkap dengan  $n$  buah simpul dilambangkan dengan  $K_n$ .

### 2.2 Sidik Jari

Sidik jari adalah guratan garis pada jari tangan. Sidik jari memiliki beberapa karakteristik. Pertama, sidik jari merupakan salah satu bagian dari tubuh manusia yang unik. Setiap manusia di dunia ini memiliki sidik jari yang berbeda – beda antar satu manusia dengan manusia lainnya. Fleksibilitas dari gelombang kulit yang menyebabkan tidak ada sidik jari yang memiliki detil yang persis.

Kedua, sidik jari pada setiap manusi bersifat permanen. Sifat permanen ini menandakan bahwa sidik jari tidak dapat berubah-ubah dengan seiring berjalannya waktu. Kedua karakteristik ini menyebabkan manusia menggunakan sidik jari sebagai salah satu cara untuk melakukan pengidentifikasian. Dalam kehidupan sehari-hari sidik jari dapat digunakan untuk mencari pelaku kejahatan, membuka pintu untuk masuk ke sebuah ruangan, mencari identitas seorang korban yang tidak diketahui identitasnya, dan masih banyak kegunaan dari sidik jari sebagai salah satu cara untuk pengidentifikasian.

#### 2.1.1 Pola Garis Sidik Jari

Sidik jari memiliki beberapa pola garis. Pertama, terdapat pola lengkungan (*ridge*) pada sidik jari. Pola ini yang akan membantu dalam pembagian daerah sidik jari dan biasanya berbentuk paralel. Kedua, pola inti (*core*) merupakan pola lengkungan paling dalam pada sidik jari. Ketiga, pola *delta*, pola ini berbentuk seperti segitiga. Pola inti (*core*) dan *delta* dapat dilihat pada gambar 1.

#### 2.2.2 Sistem Sir Edward Henry

Proses mengidentifikasi sidik jari seseorang dilakukan dengan mencocokkan sidik jari orang tersebut dengan data yang ada. Data yang disimpan tidaklah sedikit, hal ini menyebabkan pengidentifikasian memakan waktu yang cukup panjang. Untuk meminimalisir waktu pencocokan maka sidik jari dikelompokkan menjadi lima kelas.

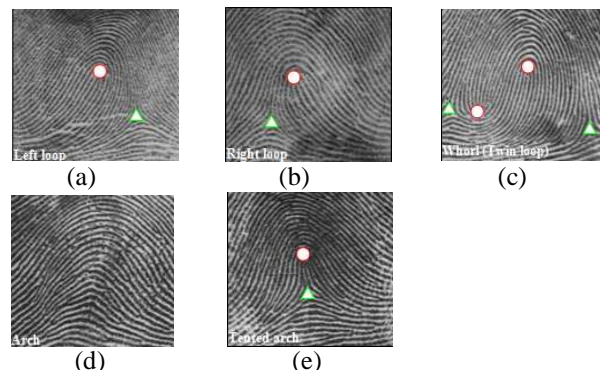
Sir Edward Henry adalah seorang tokoh yang berjasa dalam pembagian kelas-kelas sidik jari manusia pada tahun 1900. Beliau membagi sidik jari manusia kedalam lima kelas. Pembagian kelas ini berdasarkan perbedaan pola pada sidik jari.

Pembagian kelas berdasarkan Edward Henry dibagi menjadi lima kelas, yaitu sebagai berikut :

1. Left Loop  
Left Loop terdiri atas dua bagian, yaitu *core* dan *delta*.
2. Right Loop  
Right Loop terdiri atas dua bagian, yaitu *core* dan *delta*.
3. Whrol

Whrol terdiri atas empat bagian, yaitu dua buah *core* dan dua buah *delta*.

4. Arch  
Arch tidak memiliki *core* maupun *delta*.
5. Tented Arch  
Tented Arch terdiri atas dua bagian, yaitu *core* dan *delta*.



**Gambar 1 (a) Left Loop (b) Right Loop (c) Whrol (d) Arch (e) Tented Arc. Lingkaran menandakan core dan segitiga menandakan delta.**

Namun, saat ini sistem Edward Henry sudah tidak digunakan lagi karena pembagian sidik jari kedalam lima kelas ini memiliki kelemahan.

Dalam mengklasifikasikan sidik jari dengan kelas left loop, right loop, dan tented arch akan sulit untuk dibedakan karena bentuk graf terhubung yang terbentuk serupa. Dalam kasus sidik jari dengan kelas arch dan whrol saja yang akan mudah dibedakan. Kedua graf ini jelas terlihat berbeda sehingga mudah untuk diklasifikasikan.

### 2.3 Algoritma A\*

Prinsip dari algoritma ini adalah mencari jalur terpendek dari sebuah simpul awal hingga simpul akhir dengan memperhatikan *cost* terendah. Algoritma A\* menggabungkan *cost* path dan heuristic search. Algoritma ini dikembangkan oleh Hart, Nilson, dan Raphael. Algoritma Dijkstra merupakan bagian dari dari algoritma A\*.

Fungsi *cost* bergantung pada  $g(n)$  dan  $h(n)$ .

Fungsi heuristic merupakan fungsi untuk memperkirakan nilai yang diberikan.

Fungsi heuristic :

$$c(n) = g(n) + h(n)$$

$c(n)$  merupakan *cost* untuk simpul  $n$ ,  $g(n)$  merupakan *cost* dari akar samapai simpul  $n$ , dan  $h(n)$  merupakan *cost* untuk dari simpul  $n$  hingga mencapai simpul tujuan.

Perkiraan fungsi heuristic ini tidak mungkin bernilai negatif karena *cost* dari suatu graf tidak mungkin negatif. Fungsi *cost* bergantung pada fungsi heuristicnya. Dengan strategi fungsi heuristic yang tepat maka akan didapatkan A\* yang optimum. Sebaliknya, jika fungsi heuristic tidak tepat, maka algoritma akan berjalan lebih buruk dibandingkan Dijkstra.

Langkah-langkah algoritma ini adalah memproses simpul yang sedang ditempati, *node list*, menghitung jarak sementara untuk *open* dan *closed nodes*, mengakhiri algoritma, dan menentukan jalur. A\*

akan berakhir pada saat simpul tujuannya merupakan simpul terkecil pada open list. *Node list* menyimpan data dari *open node* yang sudah dikunjungi tetapi belum diproses dan *close node* yang sudah diproses. Simpul akan dipindahkan ke dalam *open list* saat simpul sudah mencapai pada titik akhir koneksi. *Open list* merupakan tempat penyimpanan data simpul yang sudah dikunjungi dari posisi awal maupun simpul yang sedang diproses. Selain open list terdapat pula closed list yang digunakan untuk menyimpan data simpul sebelum simpul yang sedang diproses telah berhasil didapatkan. Algoritma A\* biasanya digunakan pada permasalahan *travelling salesperson problem*.

### 2.4 Fungsi Cost

Fungsi *Cost* digunakan untuk mengukur berapa jarak antara graf masukan (graf yang diperoleh) dengan model graf lainnya. Perbandingan jarak antara graf-graf ini yang akan menentukan fungsi *cost* tersebut. Semakin dekat jaraknya semakin optimum hasilnya, sehingga akan dipilih dan digunakan untuk mengklasifikasikan sidik jari tersebut.

Perbedaan jarak antara graf tersebut disebabkan oleh banyaknya perbedaan (transformasi yang terjadi) antara graf yang diperoleh dengan model graf-graf yang ada. Semakin banyak perbedaannya semakin jauh jarak antar graf tersebut.

Fungsi *Cost* :

$$C_e = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_f} (C_i(f_i(v) - f_i(w))^2)} \quad (1)$$

Keterangan :

$f_i(v)$  digunakan untuk mendefinisikan *cost* dari simpul atau sisi dari graf yang diperoleh.

$f_i(w)$  digunakan untuk mendefinisikan *cost* dari simpul atau sisi dari model graf.

$C_i$  merupakan suatu koefisien yang digunakan untuk membedakan tingkat kepentingan setiap bagian.

Apabila terjadi operasi pembatalan atau penyisipan, maka fungsi *cost* akan jauh lebih sederhana, yaitu sebagai berikut :

$$C_e = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_f} (C_i f_i^2(v))} \quad (2)$$

Setiap terjadi perubahan operasi pada simpul atau sisi, maka fungsi *cost* pun akan berubah. Contoh-contoh perubahan operasi adalah pertukaran antar simpul, pembatalan simpul, atau penyisipan simpul. Untuk menentukan perubahan apa yang menyebabkan fungsi *cost* minimum dapat dilakukan dengan menggunakan algoritma yang serupa dengan algoritma A\*.

### III. ISI

Pengklasifikasian sidik jari berdasarkan pendekatan struktural dapat menggunakan teori graf. Representasi graf terhubung digunakan untuk membagi

wilayah sidik jari menjadi beberapa bagian.

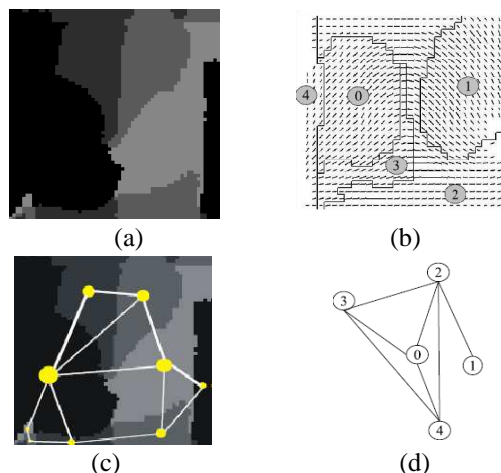
Setelah pembagian wilayah sidik jari berhasil dilakukan, muncullah suatu permasalahan baru. Permasalahan ini terkait dengan cara merepresentasikan struktur dari sidik jari tersebut ke dalam sebuah data. Solusi dari permasalahan ini adalah dengan merepresentasikan graf terhubung sebagai model graf. Namun, dibutuhkan representasi graf terhubung yang baik untuk setiap kelas sidik jari. Hal ini dilakukan agar terbentuk model graf sidik jari yang tepat saat pencocokan anatara sidik jari seseorang dengan model sidik jari yang ada.

### Pembagian Wilayah Sidik Jari

Pembagian wilayah pada sidik jari dilakukan dengan melihat arah dari sidik jari yang telah diproses. Arah pada gambar sidik jari merupakan sebuah matriks diskrit yang setiap elemennya menandakan arah dari sidik jari tersebut. Pembagian wilayah ini pada awalnya membetuk delapan blok dengan arah yang berbeda. Pembagian wilayah yang terlalu besar ini meperlambat proses pengklasifikasian. Hal ini dikarenakan banyaknya proses pencocokkan status yang akan diproses. Untuk mempercepat waktu pengklasifikasian, pembagian wilayah sidik jari dibagi menjadi empat blok berdasarkan arah sidik jari. Arah yang sama pada sidik jari akan menjadi satu blok yang sama. Pembagian wilayah pun dilakukan dengan memperhitungkan jarak antar satu simpul dengan simpul lainnya. Perhitungan jarak ini menggunakan fungsi *cost*. Fungsi *cost* yang terendah akan menghasilkan wilayah-wilayah sidik jari. Untuk menghiung *cost* ini, sisi dan simpul pada graf memiliki bobot, sehingga perhitungan dapat diterapkan berdasarkan bobot simpul dan sisi tersebut.

### Pembentukan Graf Tehubung

Setelah pembagian daerah, setiap bagian pusat pada blok/wilayah merepresentasikan simpul pada graf. Garis yang menghubungkan simpul suatu wilayah dengan wilayah lainnya merepresentasikan sisi pada graf.



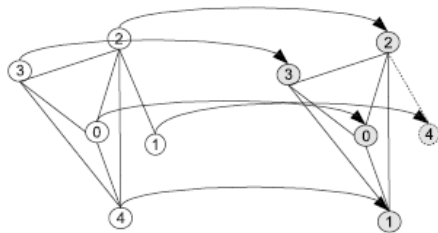
**Gambar 2 (a)(b) pembagian wilayah pada sidik jari (c)(d) graf terhubung antar wilayah/blok pada sidik jari**

Pada awalnya untuk pembagian wilayah sidik jari digunakan graf terhubung yang sangat sederhana. Tetapi ada beberapa masalah yang masih belum bisa diatasi dengan penggunaan graf terhubung yang sederhana ini. Pada saat pencetakan sidik jari, terkadang terdapat gangguan-gangguan yang menyebabkan pembagian arah pada setiap daerah tidak tepat. Hal ini akan mengakibatkan pembagian blok pada gambar pun tidak tepat. Pembagian blok/wilayah yang tidak tepat akan membuat penempatan simpul atau sisi yang berhubungan antar simpul pada graf menjadi tidak tepat. Kasus ini akan mengakibatkan pengklasifikasian sidik jari menjadi tidak akurat. Solusi dari permasalahan ini adalah membuat pengkombinasian antara graf yang diperoleh dengan model graf yang ada.

**Pencocokkan Graf**

Pencocokkan graf dengan data merupakan metode yang digunakan untuk mengklasifikasikan sidik jari. Pencocokkan graf ini dilakukan berdasarkan jarak antara dua graf (graf yang diperoleh dari pengguna dan graf model). Penentuan jarak antara graf masukan dengan graf model menggunakan fungsi *cost* yang telah dituliskan pada persamaan (1). Semakin rendah fungsi *cost* yang dihasilkan, semakin dekat jarak antara kedua graf ini.

Semakin jauh jarak antara graf masukan (graf yang diperoleh dari pengguna) dengan graf model, maka model graf tersebut tidak dapat merepresentasikan graf masukan. Jarak model graf yang paling dekat dengan graf masukan menandakan bahwa model graf tersebut yang paling dapat merepresentasikan graf masukan. Dengan ditemukannya graf model ini, maka graf masukan dapat diklasifikasikan ke dalam kelas-kelas yang sudah ada. Setelah terklasifikasikan sidik jari masukan ini, maka sidik jari pun sudah dapat diidentifikasi.



**Gambar 3 Transformasi Graf**

Pada saat pencocokkan graf, graf terhubung dapat ditransformasikan ke dalam beberapa bentuk. Salah satu contoh proses transformasi graf terhubung dapat dilihat pada gambar 3. Semua simpul pada graf mengalami pertukaran kecuali simpul nol.

**Contoh kasus dari pengklasifikasian sidik jari**

Di era globalisasi ini sudah banyak perusahaan-perusahaan yang menggunakan sidik jari sebagai salah satu kunci untuk masuk ke dalam suatu ruangan. Misalnya A adalah seorang pegawai baru di suatu perusahaan. Sebelum A masuk ke dalam ruangan tersebut, A harus melakukan pengidentifikasian sidik jari pada alat

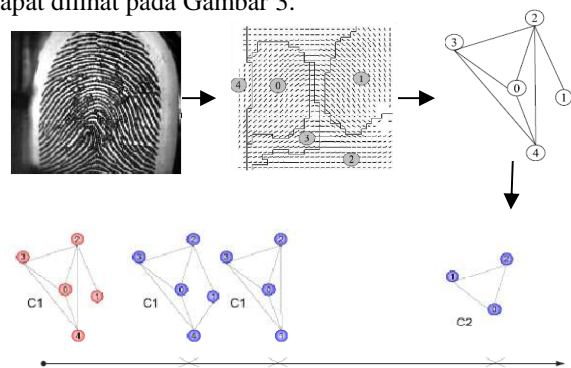
yang sudah disediakan, apabila sidik jari A cocok dengan data yang ada, maka pintu akan terbuka dan A dapat masuk ke ruangan tersebut. Sebaliknya apabila sidik jari A tidak cocok dengan data yang ada, pintu tidak akan terbuka.

Pada hari itu A baru saja menjadi pegawai di perusahaan tersebut sehingga sidik jari A belum terdaftar. Oleh sebab itu, A melakukan pendaftaran sidik jarinya pada alat tersebut. Pada awal pendaftaran, A melakukan pencetakan sidik jari pada alat penguji sidik jari. Pencetakan pun berhasil, sehingga saat ini sidik jari A sudah terdaftar.

Pada saat A melakukan pencetakan akan terbentuk graf terhubung yang merepresentasikan pembagian wilayah pada sidik jarinya. Setelah graf terbentuk, maka akan dilakukan perbandingan antara graf sidik jari A dengan graf model yang ada. Setelah selesai melakukan perbandingan, graf model yang memiliki *cost* terendah akan dipilih dan digunakan untuk pengklasifikasian sidik jari A.

Saat ini sidik jari A sudah terdaftar pada alat penguji ini, A mencoba untuk membuka pintu tersebut dengan melakukan pencetakan sidik jarinya. Pada saat A melakukan pencetakan maka akan terjadi pencocokkan antara graf sidik jari A dengan data graf sidik jari yang ada. Setelah berhasil melakukan pencocokkan, pintu ruangan tersebut dapat terbuka dan A dapat masuk ke dalam ruangan tersebut.

Kasus di atas menggambarkan prosedur-prosedur pada pengklasifikasian sidik jari seseorang dengan metode pembentukan graf terhubung. Untuk memperjelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 4 Prosedur Pengklasifikasian Sidik Jari**

Pada gambar 4 dapat dilihat setelah terbentuknya graf, maka graf masukan (graf yang berwarna merah) akan dibandingkan dengan model-model graf (graf yang berwarna biru) yang ada. Gambar ini merepresentasikan proses pencocokkan graf. Terlihat jelas pada gambar perbedaan bentuk yang jauh antar graf masukan dengan model graf, menyebabkan jarak antara kedua graf tersebut semakin jauh (graf C<sub>1</sub> yang berwarna merah dengan graf C<sub>2</sub>). Fungsi *cost* pada persamaan (1) dan (2) yang menentukan jarak antara graf-graf tersebut.

#### IV KESIMPULAN

Dapat disimpulkan bahwa teori graf dapat membantu dalam pengklasifikasian sidik jari. Pencocokkan graf dengan model graf pun membantu dalam meningkatkan keakuratan pengklasifikasian. Metode dalam pengklasifikasian sidik jari ini dapat memberikan hasil yang cukup optimum dibandingkan metode-metode sebelumnya. Pengklasifikasian dilakukan dengan melihat jarak antara graf dengan model graf, penentuan jarak ini menggunakan fungsi *cost*. Selain itu Algoritma A\* membantu dalam mencari perubahan pada graf, yang menyebabkan fungsi *cost* menjadi minimum.

#### REFERENSI

- [1]Hassan Ghassemian "A Robust On Line Restoration Algorithm for Fingerprint Segmentation", IEEE Int. Conf. on Image Processing, vol.2, pp.181-184, September 1996.
- [2] Leong Chung Ern, Dr. Ghazali Sulong, "Fingerprint classification approaches", 6 th International, Symposium on Signal Processing and its Applications, vol. 1 , pp. 347 - 350 , Aug. 2001.
- [3] D. Maio, D. Maltoni, "An efficient approach to online fingerprint verification", proc. VIII Int. Symposium on Artificial Intelligence, 1995.
- [4] Jain.A.K, Prabhakar.S, Hong.L, "A Multichannel Approach to Fingerprint Classification", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.21, no.4, pp.348-358,1999.
- [5]M. Skurichina, S. Raudys, and R.P.W. Duin, K- Nearest Neighbors Directed Noise Injection in Multilayer Perceptron Training, IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 11, no. 2, 2000, 504-511
- [6] Wang.S, Zhang .W, "Fingerprint Classification by Directional Fields", Proc. 4th IEEE Int. Conf. Multimodal Interface, Pittsburgh, pp.395-398,2002.
- [7]H. Bunke and G. Allermann, Inexact Graph Matching for Structural Pattern Recognition, Pattern Recognition Letters, 1 245-253, 1983.
- [8] Shen Wei, Chen Xia, Jun Shen, "Robust detection of singular points for fingerprint recognition", 2003. Proceedings. 17th Int. Symposium on Signal Processing and its Applications, vol. 2, pp. 439 - 442, July 2003.
- [9]Serrau, A., Marcialis, G., Bunke, H., Roli, F.: An experimental comparison of fingerprint classification methods using graphs. In: Proc. 5th Int. Workshop on Graph-based Representations in Pattern Recognition. (2005)
- [10]R. Cappelli, D. Maio, and D. Maltoni, A Multi-Classifer Approach to Fingerprint Classification, Pattern Analysis and Applications, 5 (2) 136-144, 2002
- [11]Lumini, D. Maio, and D. Maltoni, Inexact graph matching for Fingerprint Classification, Machine Graphics and Vision, 8 (2) 241-248, 1999
- [12]R. Cappelli, A. Lumini, D. Maio, and D. Maltoni, Fingerprint Classification by Directional Image Partitioning, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 21 (5) 402-421, 1999

#### PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 11 Desember 2014



Jessica Andjani/13513086