

# Pengenalan Citra Sidik Jari Berbasis Transformasi Wavelet dan Jaringan Syaraf Tiruan

I Gede Pasek Suta Wijaya, Bulkis Kanata

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Mataram

E-Mail : gdepasek@yahoo.com

## Abstrak

Pengenalan citra merupakan suatu mekanisme untuk mengenali kembali citra yang secara signifikan oleh mata tidak dapat dikenali lagi, namun dengan metode dan teknik tertentu citra tersebut masih dapat dikenali. Penelitian ini merupakan pengenalan citra sidik jari berbasis transformasi wavelet sebagai pengolah awal (*pre-processing*) dan jaringan syaraf tiruan sebagai elemen pengenalan (*metrika*). Tujuan dari penelitian ini untuk menentukan wavelet yang terbaik untuk pengenalan citra sidik jari dan mengetahui performance dari metode pengenalan ini. Algoritma pengenalan citra sidik jari dimulai dengan mengekstrak citra menjadi ciri-ciri citra dengan cara memilih sejumlah kecil ( $m$ ) koefisien hasil transformasi wavelet yang memiliki magnitudo terbesar dan dilanjutkan dengan menghitung tingkat kemiripan antara ciri-ciri citra *query* dengan citra pustaka digunakan metode jaringan syaraf tiruan jenis *backpropagation*.

Pengujian dilakukan pada 3 jenis wavelet, yaitu Coiflet 6, Daubechies 6, dan Symlet 6; dan 5 tipe citra *query* yaitu asli, blur, berderau, sketsa pencil, dan tepi sisi dengan setiap tipe *query* memiliki 30 buah sampel. Untuk mengetahui tingkat kesuksesan pengenalan, digunakan nilai ambang 1% x ukuran basis data citra.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengenalan citra sidik jari menggunakan transformasi wavelet dan jaringan syaraf tiruan memberikan hasil yang baik, hal ini ditunjukkan dengan tingkat kesuksesan pengenalan diatas 90% dan waktu pengenalan yang singkat. Dari ketiga jenis wavelet yang diuji ternyata ketiga-tiganya memberikan hasil yang baik. Namun jenis wavelet Symlet 6 merupakan wavelet yang terbaik untuk pengenalan citra sidik jari, dengan tingkat kesuksesan pengenalan 96,36%. Sistem pengenalan ini memerlukan waktu pengenalan relatif kecil, yaitu sekitar 0,11 detik untuk ukuran basis data 1500 rekord.

**Kata kunci:** Citra sidik jari, pengenalan citra, transformasi wavelet, jaringan syaraf tiruan dan citra pustaka dan *query*.

## Abstract

*Image recognition is a mechanism to recognize an image that is not recognized by eyes, using certain method. This research was fingerprint recognition based on wavelet transforms and neural network. The aims of this research are to find the best wavelet and to know what the performance of this method is. Fingerprint recognition algorithms start from extracting an image to find image signature by choosing a little wavelet transforms coefficients that have the biggest magnitude value and neural network was used to select the best match (likeness) to original images in the collection.*

*The test were carried out in three kind of wavelets viz Coiflet 6, Daubechies 8, dan Symlet 8 and 5 types of query images (pure, blur, noise, pencil sketch, and edge) and each query image has 30 samples. Query's success rates were determined by using one percent threshold value times size of databases.*

*The result show that this method has good performance, which the average of success rate over 90% and need a little time query. The Symlet 6 can be considered to be the best wavelet for fingerprint image recognition, with success rate 96.36%. With respect to the elapsed query time, of about 0.11 second, the above method is sufficiently efficient for the database size of 1500 records.*

**Key words:** *Fingerprint image, image recognition, wavelet transforms, neural network, and library image, and query image.*

## 1. Pendahuluan

Penerapan komputer untuk pengenalan pola telah banyak dilakukan, seperti pengenalan karakter, pengenalan suara, namun untuk pengenalan citra

sidik jari belum banyak dilakukan karena karakteristik citra sidik jari yang memiliki kemiripan yang sangat tinggi. Pengenalan pola merupakan pengenalan suatu objek dengan menggunakan berbagai metode dimana dalam proses pengenalannya memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Memiliki tingkat akurasi yang tinggi mengandung pengertian bahwa suatu objek yang

---

**Catatan:** Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juni 2004. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Elektro volume 4, nomor 2, September 2004.

secara manual (oleh manusia) tidak dapat dikenali tetapi bila menggunakan salah satu metode pengenalan pola yang disebutkan diatas yang diaplikasikan pada komputer masih dapat dikenali<sup>[1]</sup>. Konsep pengenalan pola menurunkan konsep pengenalan citra yang merupakan suatu proses pencocokan antara ciri-ciri citra yang dicari (citra *query*) dengan ciri-ciri citra yang ada dalam basisdata (citra pustaka). Faktor yang menyebabkan proses pencocokan/pengenalan citra menjadi lebih sulit/rumit adalah citra *query* sudah mengalami perubahan atau distorsi, antara lain citra *query* dapat mengalami pergeseran warna, resolusi yang rendah, berderau atau registrasi yang kurang sempurna.

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya, yaitu pencarian citra dengan menggunakan metode dekomposisi wavelet<sup>[2]</sup> dan oleh Dharma Putra<sup>[3]</sup>, serta perbandingan beberapa transformasi *wavelet* untuk pencarian citra pada basis data citra<sup>[4]</sup>, dimana pada penelitian sebelumnya digunakan dekomposisi wavelet jenis Haar, dan penentuan dekomposisi wavelet jenis tertentu yang cocok digunakan dalam proses pencarian citra. Pengembangannya terletak pada penggabungan transformasi wavelet dengan jaringan syaraf tiruan untuk pengenalan citra sidik jari, dengan harapan hasil pengenalan semakin akurat dan waktu pengenalan yang pendek.

Penelitian ini dilakukan dengan tiga jenis transformasi wavelet ortogonal, yaitu Coiflet, Daubechies, dan Symlet, sistem ruang warna YIQ, dan jaringan syaraf tiruan jenis *backpropagation* sebagai elemen pengenalan. Perangkat-lunak pencarian citra pada penelitian ini dibuat dengan menggunakan bahasa pemrograman *Borland Delphi 5.0*.

## 2. Tinjauan Pustaka

Penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan pengenalan dan pencarian citra antara lain pencarian citra berbasis histogram warna Swain dalam Dharma Putra<sup>[3]</sup>, pencarian citra dengan teknik multiresolusi dengan memanfaatkan ciri-ciri tepi suatu citra oleh Hirata dan Kato dalam Dharma Putra<sup>[3]</sup>, pencarian citra dengan memanfaatkan warna, tekstur, dan bentuk citra yang dikenal dengan metode QBIC (*Query By Image Content*)<sup>[5]</sup>, pencarian citra berbasis pada rupa (*appearance*) oleh Ravela dkk. dalam Dharma Putra<sup>[3]</sup>, pencarian citra berbasis metode dekomposisi wavelet<sup>[2][3]</sup>, dan telah juga

dilakukan penelitian tentang perbandingan beberapa transformasi wavelet untuk pencarian citra pada basis data citra, pencarian citra berbasis metode *Discrete Cosine Transform (DCT)*, dan pengenalan citra sidik jari berbasis transformasi wavelet<sup>[4]</sup>.

## 3. Landasan Teori

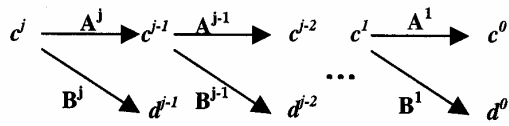
### 3.1 Pengenalan pola

Pengenalan pola (*pattern recognition*) sesungguhnya telah lama ada dan telah mengalami perkembangan terus menerus dimulai dari pengenalan pola tradisional kemudian menjadi pengenalan pola modern. Pada mulanya pengenalan pola berbasis pada kemampuan alat indera manusia, dimana manusia mampu mengingat suatu informasi pola secara menyeluruh hanya berdasarkan sebagian informasi pola yang tersimpan di dalam ingatannya. Misalnya sebuah nada pendek yang dibunyikan dapat membuat kita mengingat sebuah lagu secara keseluruhan.

Inti dari pengenalan pola adalah proses pengenalan suatu objek dengan menggunakan berbagai metode dimana dalam proses pengenalanannya memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Memiliki tingkat akurasi yang tinggi mengandung pengertian bahwa suatu objek yang secara manual (oleh manusia) tidak dapat dikenali tetapi bila menggunakan salah satu metode pengenalan yang diaplikasikan pada komputer masih dapat dikenali.

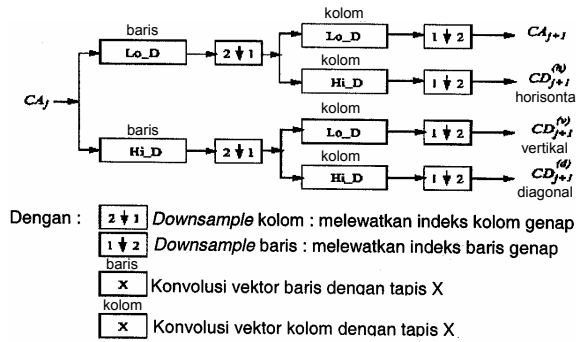
### 3.2 Transformasi wavelet

Transformasi merupakan suatu proses pengubahan data kedalam bentuk lain agar mudah dianalisis, sebagai misal transformasi *fourier* merupakan suatu proses pengubahan data (sinyal) kedalam beberapa gelombang kosinus yang berfrekuensi berbeda, sedangkan transformasi wavelet merupakan proses pengubahan sinyal kedalam berbagai wavelet basis (*mother wavelet*) dengan berbagai fungsi pergeseran dan penyekalaan. Proses transformasi wavelet dilakukan dengan mengkonvolusi sinyal dengan data tapis atau dengan proses perata-rataan dan pengurangan secara berulang, yang sering disebut dengan metode *filter bank*. Gambar 1 berikut menyajikan proses transformasi wavelet dengan cara *filter bank*.



Gambar 1. Transformasi wavelet secara filter bank<sup>[6]</sup>

Langkah-langkah Dekomposisi



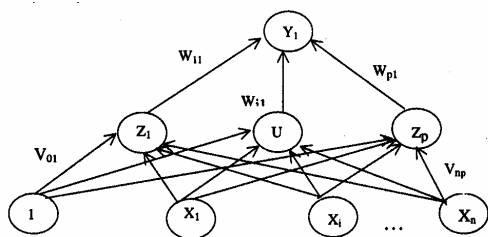
Gambar 2. Algoritma transformasi wavelet diskret dua-dimensi<sup>[7]</sup>

$Lo\_D$  merupakan tapis lolos-rendah untuk proses dekomposisi,  $Hi\_D$  merupakan tapis lolos-tinggi untuk dekomposisi,  $CA$  merupakan koefisien aproksimasi,  $CD_h$  koefisien detil horisontal,  $CD_v$  koefisien detil vertikal, dan  $CD_d$  koefisien detil diagonal.

3.3 Jaringan Syaraf Tiruan

Tingkat kemiripan antara citra query dengan citra pustaka dihitung dengan menggunakan metrika model jaringan syaraf tiruan jenis back propagation.

Konsep dasar Jaringan Syaraf Tiruan adalah dengan menirukan sel-sel otak manusia. Pada dasarnya cara kerja JST tersebut dengan cara menjumlahkan hasil kali dari nilai masukan dengan nilai bobotnya. Pada Gambar 3 diperlihatkan serangkaian masukan  $X_1 \dots X_n$ . Setiap masukan akan dikalikan berturut-turut dengan bobot  $W_1 \dots W_n$  dengan demikian hasil kali keluaran akan sama dengan:  
 $Y = X_1 \cdot W_1 + X_2 \cdot W_2 + \dots + X_n \cdot W_n$

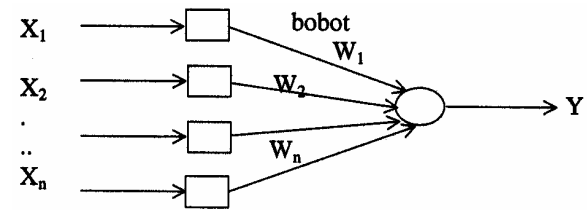


Gambar 3. Skema JST<sup>[8]</sup>

JST yang digunakan adalah “Backpropagation” dengan metode pelatihan perambatan balik galat (*generalized delta rule*) yang merupakan metode penurunan gradien untuk meminimasi galat kuadrat total pada output yang dihitung dari jaringan<sup>[9][10]</sup>. Pelatihan jaringan dengan perambatan-balik melibatkan proses tiga tingkat, yaitu:

- umpan maju
- perhitungan dan perambatan balik galat terkait dan
- pengaturan bobot

Arsitektur JST multilapis dengan satu lapis unit tersembunyi:



Gambar 4. JST dengan 1 lapis unit tersembunyi<sup>[8]</sup>

Unit tersembunyi mempunyai bias yang berlaku sebagai bobot koneksi dari unit yang outputnya selalu 1. Selama fase belajar perambatan-balik: sinyal dikirim dalam arah balik.

- misal  $X_1 \dots X_n$  adalah data dari input pelatihan
- bobot dari  $X_1$  ke  $Z_1$  adalah  $V_{11}$
- bobot dari  $X_1$  ke  $Z_j$  adalah  $V_{1j}$
- bobot dari  $Z_1$  ke  $Y_1$  adalah  $W_{11}$  dst

4. Metodologi Penelitian

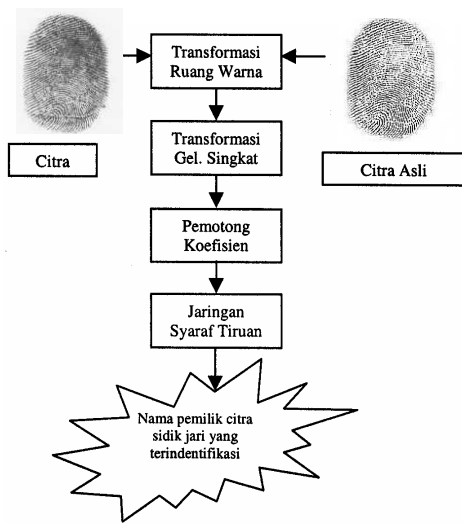
4.1 Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan seperangkat PC, yaitu komputer dengan spesifikasi prosesor pentium II 400 MHz, RAM 32 MB, lengkap dengan CDROM, Mouse, Monitor GTC, citra wajah, dan scanner. Perangkat-lunak yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah Microsoft Windows 98 sebagai sistem operasi, Perangkat-lunak Paint Shop Pro 5 sebagai pengolah/pengeditan citra, dan Bahasa pemrograman Borland Delphi 5.0 untuk membuat aplikasi pengenalan.

4.2 Model Sistem Pengenalan

Parameter yang akan dihitung dalam sistem pengenalan ini adalah tingkat kesuksesan pengenalan dan waktu pengenalan. Parameter-parameter tersebut dihitung dengan meng-

gunakan sistem pengenalan citra sidik jari berbasis transformasi wavelet dan jaringan syaraf tiruan. Secara sederhana sistem pengenalan dapat diilustrasikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Blok diagram sistem pengenalan.

Masukan pada sistem pengenalan ini berupa sebuah citra sidik jari yang akan dikenali (citra *query*), dan keluarannya adalah satu atau beberapa citra hasil pengenalan yang memiliki kemiripan/kesamaan dengan citra *query*. Mula-mula citra (baik citra *query* maupun pustaka) ditransformasikan ke sistem ruang warna *gray scale* untuk mendapatkan matriks intensitas warna penyusun citra. Setiap matriks intensitas warna penyusun citra dikenakan transformasi wavelet dua-dimensi, kemudian dipilih nilai koefisien hasil transformasi yang bermagnitudo terbesar. Koefisien hasil pemotongan biasanya disebut dengan ciri-ciri citra (*image signature*). Proses ini dilakukan baik pada citra *query* maupun pada citra pustaka, hanya saja untuk citra pustaka, proses ini dilakukan hanya sekali ketika proses membangun ciri-ciri citra yang disimpan ke dalam basis data citra. Setelah diperoleh ciri-ciri citra *query* maupun pustaka, dilakukan proses pengenalan dengan metode jaringan syaraf tiruan. Metode jaringan syaraf tiruan diberikan pelatihan-pelatihan sebelum melakukan pengenalan.

Tingkat kesuksesan hasil pengenalan dihitung menggunakan nilai ambang (*threshold value*) sebesar 1% kali ukuran basis data citra sidik jari, artinya jika ukuran basis data adalah N rekord, maka  $(0,01 \times N)$  citra pertama memiliki tingkat kesuksesan pengenalan 100%,  $(0,01 \times N)$  citra kedua memiliki tingkat pengenalan 99%, dan demikian seterusnya. Sebagai misal, suatu basis data berisi 600 data sidik jari, jika dilakukan

query citra yang dicari muncul pada urutan ke 2 maka tingkat kesuksesan pengenalan adalah 100% karena urutan kemunculan citra ada pada rentang 1 dan 6 ( $0,01 \times 600 = 6$  citra pertama). Namun jika kemunculannya terletak pada urutan 10 maka tingkat kesuksesannya sebesar 99% karena ada pada 6 citra kedua yaitu citra ke 7 – 12, dan jika kemunculannya terletak pada urutan 15 maka tingkat kesuksesannya sebesar 98% karena ada pada 6 citra ketiga yaitu citra ke 13 – 18, demikian seterusnya<sup>[3]</sup>. Waktu pengenalan dihitung dari waktu yang diperlukan dalam mengenali suatu citra, yaitu waktu yang diperlukan dari citra masukkan diterapkan sampai hasil identifikasi dikeluarkan.

## 5. Hasil Penelitian Dan Pembahasan

Hasil penelitian diperoleh dengan melakukan serangkaian pengujian, yaitu Pengujian untuk mengetahui pengaruh transformasi wavelet terhadap tingkat kesuksesan pengenalan, Pengujian pengaruh tipe citra query terhadap tingkat kesuksesan pengenalan, dan pengujian pengaruh ukuran basis data terhadap waktu pengenalan. Pengujian menggunakan 5-tipe citra *query* yang masing-masing tipe citra *query* memiliki 30 sampel yang diambil dari 30 individu, jumlah data yang dilatihkan sebanyak 100 sampel, dan jumlah data yang diteskan sebanyak 150 sampel (5 tipe citra query kali 30 sampel).

Nilai-nilai parameter-parameter JST yang digunakan dalam pengujian ini adalah *Learning Rate* ( $\beta$ ) = 0,001, *Momentum* ( $\alpha$ ) = 0.01, dan Jumlah Layer 3<sup>[8]</sup>.

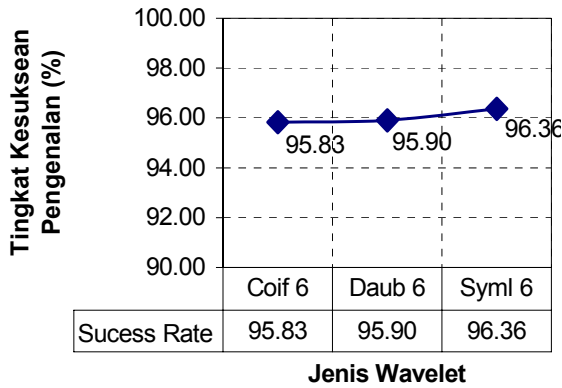
Sebelum menyajikan hasil-hasil pengujian, berikut ini disajikan tampilan aplikasi pengenalan citra sidik jari.



Gambar 6. Tampilan aplikasi pengenalan citra sidik jari menggunakan transformasi wavelet dan jaringan syaraf tiruan

### 5.1 Uji Pengaruh jenis Wavelet terhadap Tingkat Kesuksesan Pengenalan

Dari hasil pengujian diperoleh data yang dapat disajikan seperti Gambar 7. berikut.



Gambar 7. Pengaruh jenis wavelet terhadap tingkat kesuksesan pengenalan

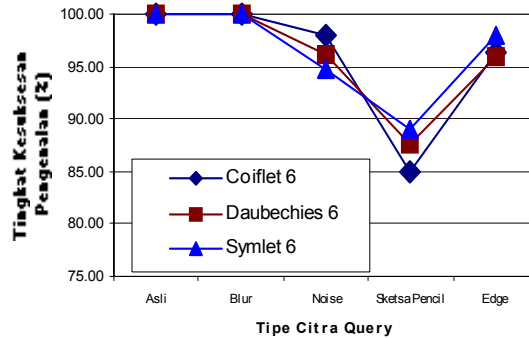
Dari gambar di atas dapat dinyatakan bahwa, secara umum ketiga jenis wavelet baik digunakan sebagai pengolahan awal (*pre-processing*) dari proses pengenalan citra sidik jari. Hal ini dibuktikan dengan tingkat kesuksesan pengenalan yang bernilai diatas 90%. Ada tiga alasan transformasi wavelet sangat baik digunakan sebagai pengolahan awal citra sidik jari untuk proses pengenalan citra sidik jari, yaitu:

- 1) Transformasi wavelet memiliki sifat *unconditional* basis yang berarti koefisien hasil transformasi akan menurun secara drastis dari koefisien aproksimasi ke koefisien detilnya atau koefisien hasil transformasi kebanyakan bernilai sangat kecil atau nol, sehingga ciri-ciri suatu citra dapat diwakili oleh sebagian kecil koefisien hasil transformasi atau suatu sinyal dapat direpresentasikan kembali secara efektif dengan menggunakan sebagian kecil koefisien hasil transformasi.
- 2) Transformasi wavelet memiliki karakteristik pelokalisasi sinyal, sehingga dapat memisahkan komponen sinyal yang tumpang tindih pada kawasan waktu dan frekuensi dengan baik.
- 3) Transformasi wavelet memiliki proses transformasi cepat, sehingga waktu komputasi yang diperlukan pendek dan sangat cocok diterapkan dalam komputer digital.

### 5.2 Pengaruh Tipe Citra Query terhadap Tingkat Kesuksesan Pengenalan

Pengaruh jenis citra query dan wavelet terhadap tingkat kesuksesan pengenalan dapat disajikan pada Gambar 8 berikut.

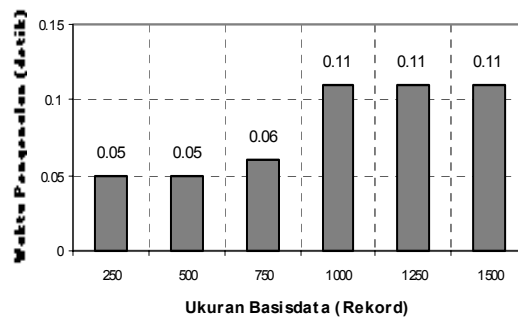
Hasil ini memberikan informasi bahwa untuk tipe citra sidik jari asli dan blur semua jenis wavelet baik digunakan, sedangkan untuk tipe query berderau, sketsa pencil, dan sisi (*edge*) berturut-turut wavelet yang baik digunakan adalah Coiflet, Symlet, Symlet. Hal ini membuktikan wavelet yang satu baik untuk pengenalan jenis citra tertentu, belum tentu baik untuk pengenalan citra yang lainnya. Disamping itu hasil ini juga membuktikan bahwa wavelet baik digunakan sebagai pemrosesan awal suatu citra sidik jari untuk pengenalan citra sidik jari yang menggunakan jaringan syaraf tiruan.



Gambar 8. Pengaruh tipe citra query terhadap tingkat kesuksesan pengenalan untuk ketiga jenis wavelet yang diujikan

### 5.3 Pengaruh Ukuran Basis Data terhadap Waktu Pengenalan

Uji ini bertujuan untuk mengetahui apakah transformasi wavelet sebagai pemrosesan awal dan jaringan syaraf tiruan sebagai elemen pengenal efektif dalam melakukan pengenalan. Hasil pengujian dapat disajikan pada grafik berikut.

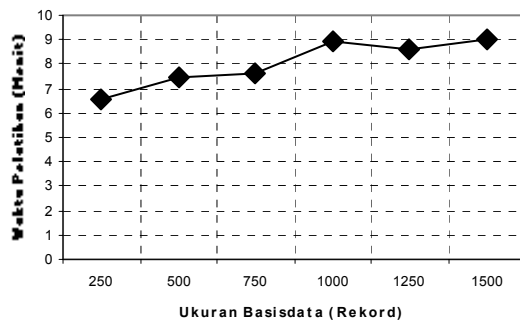


Gambar 9. Pengaruh ukuran basis data terhadap waktu pengenalan

Perbedaan waktu pengenalan untuk ukuran basis data 250 rekord dengan 1500 rekord hanya sebesar 0.05 detik (sangat kecil). Hasil ini menunjukkan bahwa metode ini baik digunakan untuk pengenalan. Waktu pengenalan yang pendek disebabkan oleh:

- Transformasi wavelet dapat dilakukan dengan sempurna dengan waktu yang bersifat linear (Dharma Putra, 2000).
- Informasi yang digunakan sebagai basis pengenalan sangat kecil yaitu sejumlah 64 data dari 16384 data (0.33%)
- Pada saat proses pengenalan pengenalan jaringan syaraf tiruan hanya melakukan operasi langkah maju untuk menghitung keluaran yang akan dibandingkan dengan nilai keluaran yang telah dimiliki saat pelatihan.

Namun ada kelemahan dalam hal pelatihan. Karena semakin besar ukuran basis data waktu pelatihan yang diperlukan juga semakin besar. Oleh karena itu perlu dicari suatu metode pelatihan yang baik. Waktu pelatihan ini sangat dipengaruhi oleh nilai random yang dibangkitkan. Kadang-kadang proses pelatihan membutuhkan proses berkali-kali (Trial and error). Rata-rata waktu pelatihan yang diperlukan terhadap ukuran basis data disajikan pada gambar berikut.



Gambar 10. Waktu pelatihan yang diperlukan terhadap ukuran basis data

## 6. Kesimpulan Dan Saran

### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan pembahasan yang dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengenalan citra sidik jari berbasis transformasi wavelet dan jaringan syaraf tiruan memberikan hasil yang baik hal ini terbukti

dengan tingkat kesuksesan pengenalan yang bernilai diatas 90% dan waktu pengenalan yang sangat pendek sekitar 0.11 detik untuk ukuran basis data 1500 rekord.

2. Transformasi wavelet (Coiflet 6, Daubechies 6, dan Symlet 6) sangat baik digunakan untuk pengenalan citra sidik jari, dan yang paling baik adalah Symlet 6 dengan tingkat kesuksesan pengenalan sebesar 96,36 %.
3. Ukuran basis data tidak berpengaruh signifikan terhadap waktu pengenalan citra.
4. Transformasi wavelet sangat baik digunakan sebagai pemrosesan awal (untuk mengekstraksi ciri citra sidik jari) dan jaringan syaraf tiruan sebagai elemen pengenalan dalam sistem pengenalan citra sidik jari, sehingga dapat dikembangkan untuk sistem pengenalan data sidik jari waktu nyata.

### 6.2 Saran

Dari hasil di atas, maka disarankan untuk mengembangkan penelitian ini kearah identifikasi citra sidik jari milik kepolisian yang datanya lebih kompleks, sehingga dapat membantu pihak penegak hukum dalam mengungkap berbagai kasus kejahatan.

### Daftar Pustaka

- [1] Setiawan, Sandi, Artificial Intelligence, Andi Offset, Yogyakarta, 1993.
- [2] Jacob, E. Charles, Finkelstein, Adam, Salesin, David H., Fast Multiresolution Image Querying, Dept. Computer Science dan Engineering, University of Washington.
- [3] Dharma Putra, Ketut, Pencarian Citra pada Sistem Basis Data Citra dengan Metode Dekomposisi Wavelet Multiresolusi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2000.
- [4] Suta Wijaya, Gede Pasek, Perbandingan beberapa Alihragam Wavelet untuk Pencarian Citra pada Basis Data Citra, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2002.
- [5] Ramakrisna, M.V., Nepal, S., Design of the Chitra Content-Based Image retrieval System, Proceeding First International Workshop on Information Integration Web-Based Applications and Services, Yogyakarta Indonesia, 1999.
- [6] Stollnitz, Eric J., DeRose, Tony D., David H. Salesin, Wavelets for Computer Graphics: Theory and Applications, Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1999.

- [7] Misiti, M., Misiti, Y., Oppenheim, G., Poggi, JM., Wavelet Toolbox For Use with MATLAB, The Math Works, Inc., 1997.
- [8] Kanata, Bulkis, Analisis Sinyal Seismik pada Gunung Merapi untuk Estimasi Jenis gempa dengan Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2001.
- [9] Freeman, James A & Skapura, david M, Neural Networks Algorithms, Application, and Programming Techniques, Addison-Wasley Publishing Company, 1992.
- [10] Fausett, Laurene, Fundamental of Neural Networks Architecture, Algorithm, and Application, Prentice Hall, 1994.