

## SISTEM VERIFIKASI CITRA TANDATANGAN DENGAN METODE POLA BUSUR TERLOKALISASI

A.A. K. Oka Sudana

Staf Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

### ABSTRACT

Signature is used as a proof of one's ratification. This important purpose cause attempts of falsifying the signature. Falsifying signature is relatively simple, because most verification was done manually only by comparing the form of each signature with the originals. It's even worse since most verification examiner are tired of the boring verification continuously, that's why the manual signature verification result is found less satisfying.

To overcome the weaknesses of this manual verification, this thesis proposes a computerized verification system for Latin signature, which feature of signature extracted by Localized Arc Pattern Methods according to model pattern of Indonesian signature, which seeks appearance frequency the model pattern of inputted signature image. This feature achieved than compared to the previous reference signature. This comparison yields the dissimilarity value, which is used to define whether the signature is accepted or rejected through a critical value comparison. The experiment achieved an error rate of 9.696%.

**Keywords:** Falsifying, image signature verification, Localized Arc Pattern, Model pattern, feature extraction.

### 1. PENDAHULUAN

Tandatangan merupakan suatu bukti pengesahan dari seseorang sehingga tandatangan ini mempunyai arti yang sangat penting. Seringnya terjadi pemalsuan tandatangan, antara lain disebabkan oleh sistem verifikasi yang kurang baik. Verifikasi tandatangan kebanyakan dilakukan dengan cara manual, yaitu dengan membandingkan secara langsung dengan menggunakan mata manusia sendiri yang mana mempunyai banyak kelemahan terutama jika melakukan cukup banyak verifikasi, bisa menyebabkan kebosanan orang yang melakukannya, sehingga ketelitian dan ketepatan hasil yang diinginkan seringkali kurang memuaskan.

Sistem verifikasi yang diusulkan yaitu verifikasi citra tandatangan dalam artian pengambilan data dilakukan secara statis. Ketertarikan pemilihan metode statis adalah karena di dalam masalah verifikasi tandatangan pada masa sekarang ini jauh lebih banyak penggunaannya dibandingkan dengan metode dinamis, meskipun verifikasi tandatangan dengan menggunakan metode input dinamis ini lebih mudah dan memberikan hasil yang lebih baik, hal tersebut disebabkan karena informasi ciri dinamis dari sebuah tandatangan masih bisa didapatkan di samping informasi statisnya seperti koordinat titik, akan tetapi penggunaan metode input statis lebih banyak digunakan karena masyarakat sudah terbiasa menuliskan tandatangannya pada obyek yang tersedia lalu dipayar (*scan*), dibandingkan dengan langsung menuliskannya pada sebuah alat seperti *digitizer*.

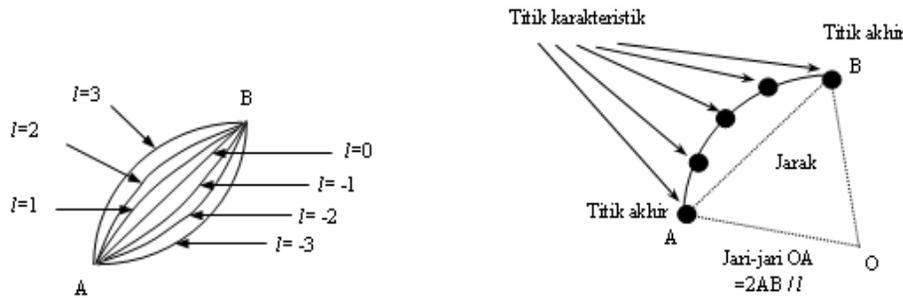
Ekstraksi ciri dengan menggunakan Metode Pola Busur Terlokalisasi, yang disesuaikan dengan Model Tandatangan Indonesia dengan alasan karena metode ini mengambil karakteristik tandatangan yang

tidak mudah terlihat oleh pemalsu biasa sehingga diharapkan dapat memberikan hasil verifikasi yang lebih baik. Di samping itu hasil penelitian terhadap identifikasi tulisan tangan terutama Tulisan Jepang dengan metode ini dilaporkan memberikan hasil yang relatif lebih baik dibandingkan dengan metode-metode lainnya.

Penelitian terhadap tulisan tangan khususnya verifikasi tandatangan sudah banyak dilakukan baik dengan metode masukan statis maupun dinamis, tetapi dari penelitian-penelitian tersebut belum ada yang menggunakan Metode Pola Busur Terlokalisasi khususnya yang disesuaikan dengan model tandatangan orang Indonesia, untuk verifikasi terhadap Tandatangan Latin.

### 2. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian tentang tulisan tangan dengan masukan secara statis banyak dilakukan oleh Isao Yoshimura, Mitsu Yoshimura serta peneliti lainnya, yang lebih banyak difokuskan pada tulisan Jepang. Jurnal "A Zip Code Recognition System using the Localized Arc Pattern Method" (Yoshimura M., dkk., 1993) memaparkan penekanan suatu sistem pengenalan tulisan dengan penggabungan dua tahap proses sebagai bagian utama, yaitu tingkat prapemrosesan dan tingkat pengenalan. Dalam jurnal "Structural Interpretation of Handwritten Signature Images" (Sabourin R. dkk., 1994), peneliti melakukan analisis struktur citra tandatangan, lalu diinterpretasikan dalam bentuk graph. Rata-rata kesalahannya relatif kecil (1,43%), tapi kerumitan komputasinya cukup tinggi.



Gambar 1. Pola busur dalam bentuk asli

Jurnal “Arc Pattern Method for Writer Recognition as an Aid for Person Identification”, tahun 1992 dan “Off-Line Verification of Japanese Signature After Elimination of Background Pattern”, Tahun 1994, oleh Isao Yoshimura dan Mitsu Yoshimura, menuliskan hasil penelitian tentang penggunaan metode Pola Busur Terlokalisasi pada identifikasi seseorang (pada jurnal pertama) serta verifikasi tandatangan pada tulisan kedua. Sedangkan pada jurnal “Writer Identification Based on the Arc Pattern Transformation” Tahun 1988, mereka menjelaskan tentang implementasi Metode Transformasi Pola Busur untuk mengidentifikasi seseorang berdasarkan tulisan tangan yang pernah dibuatnya. Penelitian-penelitian yang dilakukan oleh Isao Yoshimura dan Mitsu Yoshimura, sebagian besar menggunakan dan mengembangkan Metode Pola Busur baik dalam bentuk asli, transformasi, maupun melakukan lokalisasi terhadap Pola Busur tersebut.

### 2.1. Metode Pola Busur Terlokalisasi

Metode Pola Busur Terlokalisasi ini dikembangkan dari Metode Pola Busur (*Arc Pattern Method*). Prinsip metode ini adalah sebagai berikut : dua buah titik akhir (*end point*) masing-masing A dan B dihubungkan oleh busur-busur (Gambar1). Pada gambar tersebut juga dapat dilihat lima buah titik yang berjarak sama ditempatkan di atas busur yang disebut dengan titik karakteristik.

Dari Metode Pola Busur tersebut disusun model yang terdiri atas satu atau dua buah titik akhir (*end point*) dan beberapa titik di antara dua titik akhir. Kombinasi itu menghasilkan model yang banyak sekali, tapi untuk sistem aktual, tidak semua pola model digunakan, karena sangat memperlambat kerja sistem. Masalah ini ditanggulangi dengan mengurangi sebagian pola model yang ada, yaitu dengan melakukan pembatasan pandangan (lokalisasi permasalahan) pada pola model yang didefinisikan di dalam sebuah bujur sangkar kecil berukuran  $5 \times 5$  kotak. Hanya model-model yang dibentuk oleh titik

karakteristik dalam bujur sangkar ini dipergunakan sebagai pedoman untuk membentuk pola model. Metode Pola Busur dengan pembatasan ini disebut dengan Metode Pola Busur Terlokalisasi. Dengan menggunakan sampel tandatangan Indonesia, dari metode ini didapatkan 52 buah pola model yang dikelompokkan menjadi 42 pola model, seperti terlihat pada Gambar 2. Ada beberapa model yang mirip dikelompokkan menjadi satu model, contohnya seperti nomor 33, 34 dan 35 dikelompokkan menjadi satu yaitu model 31. Angka di sebelah kiri atas pola menunjukkan nomor urut pola, sedangkan angka di sebelah kanan atas pola adalah nomor model.

### 2.2. Tahapan Proses Verifikasi

Tahapan dalam proses verifikasi tandatangan, khususnya citra tandatangan menggunakan Metode Pola Busur Terlokalisasi adalah :

#### Akuisisi data (*data acquisition*)

Diawali pengambilan sampel tandatangan yang akan dipakai dalam sistem verifikasi, baik tandatangan acuan, palsu maupun uji.

#### Prapemrosesan (*preprocessing*)

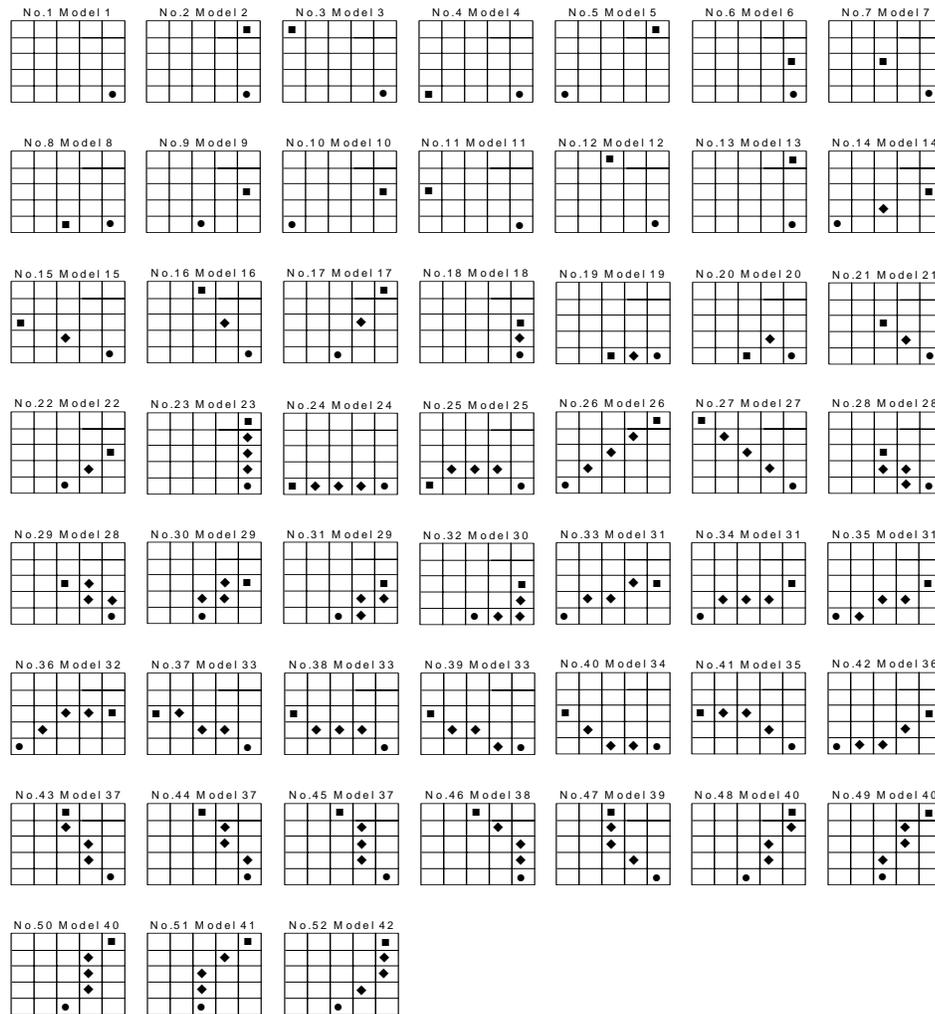
Pada tahap ini terdapat proses untuk membuat tandatangan yang telah diakuisisi menjadi file citra tandatangan biner yang siap untuk diekstraksi cirinya.

#### Ekstraksi ciri (*feature extraction*)

Ekstraksi ciri adalah tahap untuk mendapatkan frekuensi kemunculan dari masing-masing pola. Pola yang memiliki model yang sama tetapi dengan nomor urut berbeda, frekuensi kemunculannya dijumlahkan. Penghitungannya adalah dengan menggerakkan setiap pola model di atas pola biner citra tandatangan, dengan patokan titik berbentuk lingkaran penuh. Titik ini digeser secara teratur satu grid ke arah horisontal atau vertikal, sampai semua titik terlewati. Pada setiap pergeseran dilakukan perbandingan terhadap ruang yang dilingkupi oleh model tersebut, jika sama maka frekuensi pola model tersebut ditambahkan. Misalkan

citra tandatangan dilambangkan dengan  $f$  dan terdapat  $p$  pola model maka citra tandatangan tersebut dapat

diekspresikan sebagai vektor kolom  $x$  berdimensi  $p$ .



Gambar 2. Pola model tandatangan Indonesia

### Ekstraksi ciri (*feature extraction*)

Ekstraksi ciri adalah tahap untuk mendapatkan frekuensi kemunculan dari masing-masing pola. Pola yang memiliki model yang sama tetapi dengan nomor urut berbeda, frekuensi kemunculannya dijumlahkan. Penghitungannya adalah dengan menggerakkan setiap pola model di atas pola biner citra tandatangan, dengan patokan titik berbentuk lingkaran penuh. Titik ini digeser secara teratur satu grid ke arah horisontal atau vertikal, sampai semua titik terlewati. Pada setiap pergeseran dilakukan perbandingan terhadap ruang yang dilingkupi oleh model tersebut, jika sama maka frekuensi pola model tersebut ditambahkan. Misalkan citra tandatangan dilambangkan dengan  $f$  dan terdapat  $p$  pola model maka citra tandatangan tersebut dapat diekspresikan sebagai vektor kolom  $x$  berdimensi  $p$ .

### Pendaftaran (*enrollment*)

Tahapan pendaftaran dilakukan dengan mengekstraksi ciri dari beberapa tandatangan acuan dan hasil yang diperoleh disimpan pada sebuah file basisdata acuan dengan kata kunci nomor identitas pengguna. Misalkan masing-masing partisipan ke  $i$  disebut dengan  $P_i$ , menuliskan tandatangannya sebagai acuan sebanyak  $m$ , maka dari  $m$  buah tandatangan autentik ini diekstraksi ciri menghasilkan  $m$  buah vektor kolom  $x$  berdimensi  $p$ , hasil ini dijadikan satu matriks vektor berukuran  $p \times m$ .

### Pembandingan (*comparison*)

Tahap pembandingan merupakan inti proses verifikasi. Dari basisdata acuan dibaca satu *record*

data partisipan. Acuan yang berbentuk matriks  $p \times m$  ini selanjutnya dihitung rata-rata kemunculan setiap pola model dengan cara :

$$x_{i /} = \sum_{k=1}^m x_{ik} / m$$

Nilai-nilai yang dihasilkan yaitu  $x_{1/}, x_{2/}, \dots, x_{p/}$ , ditempatkan sebagai elemen vektor kolom  $x_{/}$  berdimensi  $p$ , yang merupakan rata-rata acuan. Lalu dicari matriks varians  $V$  berdimensi  $p \times p$  dari acuan dengan persamaan :

$$V = \sum_{j=1}^m (x_j - x_{/})(x_j - x_{/})' / m$$

Mencari frekuensi kemunculan pola model pada citra tandatangan yang dibandingkan sama halnya dengan mencari frekuensi pola model acuan. Misalkan tandatangan yang dibandingkan disebut  $Q$  maka vektor kolom hasilnya adalah  $x_Q$ .

Varians  $V$ , rata-rata acuan  $x_{/}$  dan vektor kolom  $x_Q$ , digunakan menghitung nilai beda (Yoshimura I. dkk, 1994, hal.61) dengan persamaan sebagai berikut:

$$D(P_i, Q) = \sum_{k=1}^q \frac{(Z_Q^k - Z_{/}^k)^2}{\lambda_k} + \sum_{k=q+1}^p \frac{(Z_Q^k - Z_{/}^k)^2}{\lambda_k}$$

$$Z_{/}^k = l_k^t x_{/} \quad , \quad Z_Q^k = l_k^t x_Q$$

dengan ketentuan :

- $D(P_i, Q)$  : nilai ketidaksamaan antara acuan  $P_i$  dengan pembanding  $Q$ .
- $\square$  : vektor kolom yang berisi nilai eigen dengan urutan menurun (*descending order*) yaitu  $(\square_1, \square_2, \dots, \square_p)$
- $l_k$  : vektor eigen yang berbentuk vektor kolom terurut sesuai dengan nilai eigen yang berhubungan.
- $x_Q$  : vektor kolom yang berisi frekuensi munculnya pola model pada citra tandatangan pembanding.
- $x_{/}$  : vektor kolom rata-rata acuan.
- $t$  : transpose.
- $p$  : dimensi vektor kolom
- $q$  : suatu integer dengan syarat  $1 \leq q \leq p$ . Konstanta  $q$  merupakan nomor pemotongan dari nilai eigen.

**Pengambilan keputusan (decision making)**

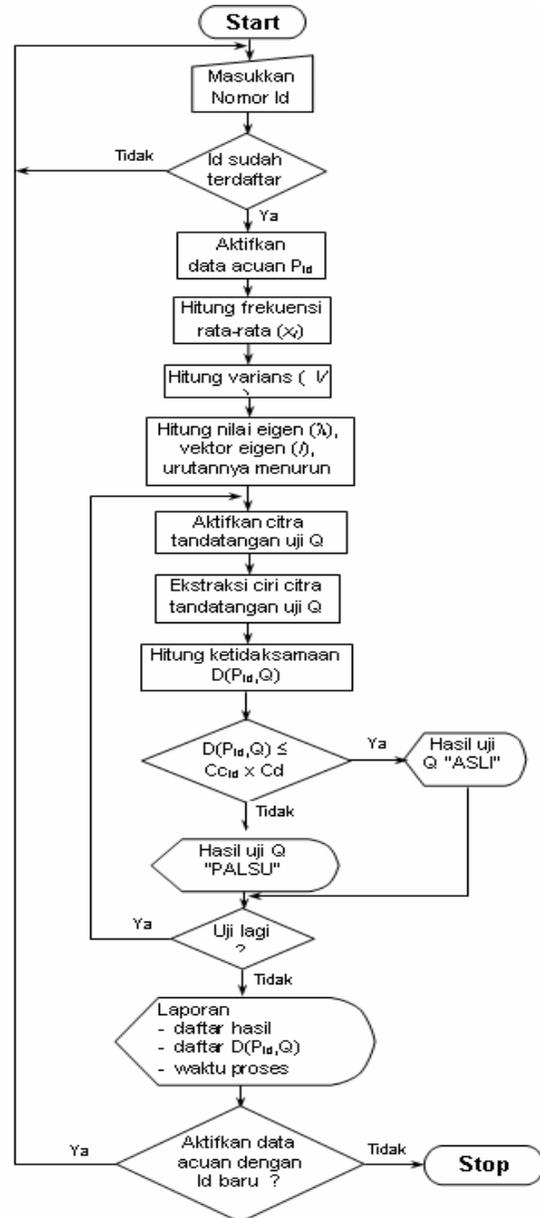
Tahap ini didasarkan pada perhitungan nilai beda tandatangan uji dengan acuan, yaitu dibandingkan

dengan nilai ambang yang tersimpan pada basis data acuan ( $C_c$ ) dan dikalikan dengan konstanta pengali nilai kritis ( $C_d$ ).

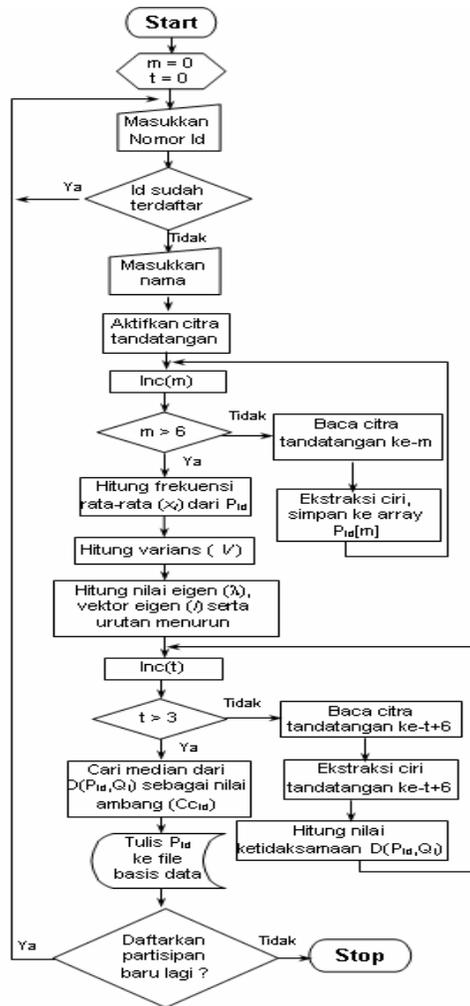
**Jika  $d(P_i, Q_i) \leq C_c \times C_d$   
maka keputusannya 'ASLI'**  
**Selain itu keputusannya 'PALSU'**

**4. PERANCANGAN & PEMBUATAN**

Rancangan sistem verifikasi adalah seperti yang terlihat pada Gambar 5, sedangkan bagan alir prosesnya terlihat pada Gambar 4 dan Gambar 3.



**Gambar 4.** Bagan alir proses verifikasi

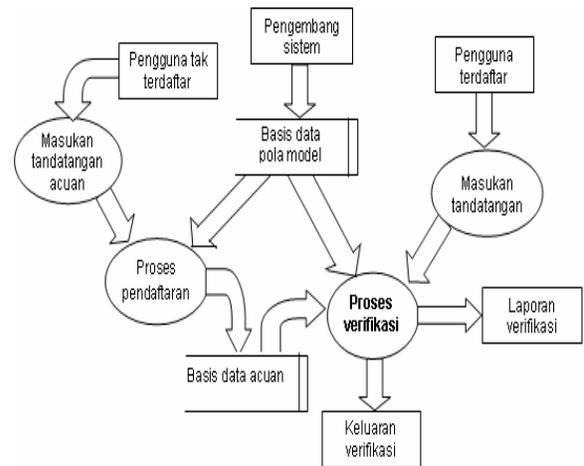


Gambar 5. Bagan alir tahap pendaftaran

## 5. PENGUJIAN DAN ANALISIS HASIL

### 5.1 Pengujian

Pengujian terhadap sistem verifikasi dilakukan setelah mengumpulkan tandatangan sampel yang dilaksanakan dalam beberapa waktu. Pertama diambil tandatangan acuan dari para partisipan masing-masing sebanyak 9 buah. Setelah itu dicarikan pemalsunya. Seorang pemalsu terlebih dulu dijadikan pemalsu sederhana, yaitu orang tersebut langsung menirukan tandatangan acuan tanpa belajar, setelah itu baru diberi kesempatan untuk belajar sampai orang tersebut menyatakan siap untuk memalsukan tandatangan acuan sebagai pemalsu terlatih. Setiap partisipan, tandatangan acuannya dicarikan 12 tandatangan dari pemalsu sederhana dan 12 tandatangan dari pemalsu terlatih. Untuk tandatangan uji juga diambil sebanyak 12 tandatangan, dengan syarat waktu pengambilannya bertahap, serta partisipan tidak boleh melihat tandatangan acuan sebelumnya.



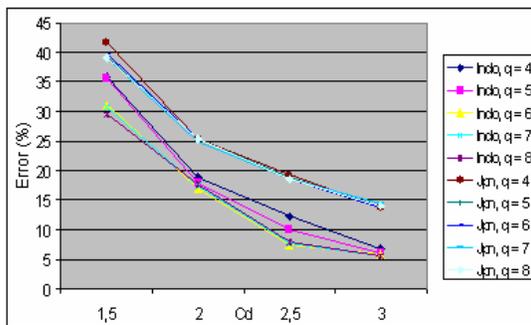
Gambar 5. Gambaran Umum Sistem

Dalam pengujian ini dicari 26 orang partisipan. Pengujian dilakukan dengan mengatur variasi dari konstanta pemotongan nilai eigen ( $q$ ) serta konstanta pengali nilai ambang ( $Cd$ ). Nilai  $q$  yang dipakai adalah 4, 5, 6, 7 dan 8. Pada nilai  $q = 9$ , sudah terjadi pembagian dengan nol dalam prosesnya, sehingga pengujian dengan  $q = 9$  tidak diteruskan nilai  $Cd$  adalah 1,5; 2; 2,5 dan 3.

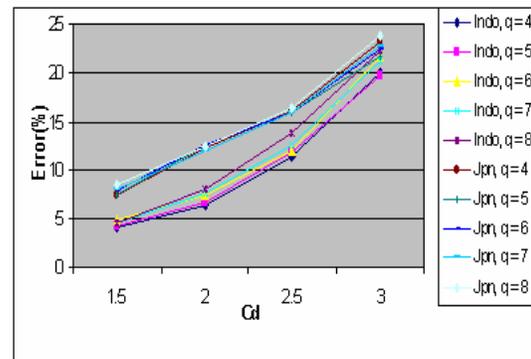
Dari hasil pengujian, unjuk kerja sistem diukur berdasarkan dua macam tipe kesalahan, yaitu : Kesalahan Tipe I (kesalahan penolakan terhadap tandatangan yang ditulis oleh penulis asli) yang dihitung dari prosentase kesalahan tandatangan uji, serta Kesalahan Tipe II (kesalahan penerimaan terhadap tandatangan dari pemalsu) yang dihitung dari prosentase kesalahan dari pemalsu sederhana ditambah kesalahan dari pemalsu terlatih lalu dibagi 2. Prosentase kesalahan dari Tipe I dan Tipe II dijumlahkan, lalu dibagi 2 untuk mendapatkan kesalahan rata-rata pada masing-masing kombinasi nilai konstanta. Prosentase kesalahan hasil pengujian terlihat pada Tabel 1, sedangkan presentasinya dalam bentuk grafik terlihat pada Gambar 6, 7 dan 8. Pengujian juga dilakukan untuk verifikasi dengan menggunakan pola model tandatangan orang Jepang sebagai bahan perbandingan. Gambar 9 menunjukkan grafik perbandingan waktu rata-rata proses verifikasi tandatangan antara pola Model Indonesia dengan Model Jepang.

**Tabel 1.** Prosentase kesalahan hasil pengujian sistem verifikasi

POLA MODEL	q	Cd = 1,5		Cd = 2,0		Cd = 2,5		Cd = 3,0	
		tipe II	tipe I	tipe II	tipe I	tipe II	tipe I	tipe II	tipe I
Indonesia (p = 42)	4	4,17	35,90	6,41	18,91	11,38	12,18	20,03	6,73
		20,032		12,660		11,779		13,381	
	5	4,33	35,58	6,73	17,95	11,86	9,94	19,71	6,09
		19,952		12,340		10,897		12,901	
	6	4,81	31,09	7,53	16,99	<b>12,02</b>	<b>7,37</b>	21,63	5,77
17,949		12,260		<b>9,696</b>		13,702			
7	4,65	30,77	7,69	17,31	12,66	7,69	21,15	5,45	
	17,708		12,500		10,176		13,301		
8	4,65	29,49	8,01	17,63	13,94	8,01	22,28	5,45	
	17,067		12,821		10,978		13,862		
Jepang (p = 67)	4	7,53	41,67	12,34	25,32	16,19	19,23	23,24	13,78
		24,599		18,830		17,708		18,510	
	5	7,53	39,42	12,66	25,32	16,03	18,91	21,63	14,10
		23,478		18,990		17,468		17,867	
	6	7,85	39,74	12,66	25,32	16,03	18,59	22,44	13,78
23,798		18,990		17,308		18,109			
7	8,01	39,10	12,02	25,00	16,03	18,59	22,76	14,42	
	23,558		18,510		17,308		18,580		
8	8,49	39,10	12,50	25,32	16,51	18,59	23,72	14,10	
	23,798		18,910		17,548		18,910		



Gambar 6. Grafik prosentase kesalahan Tipe I



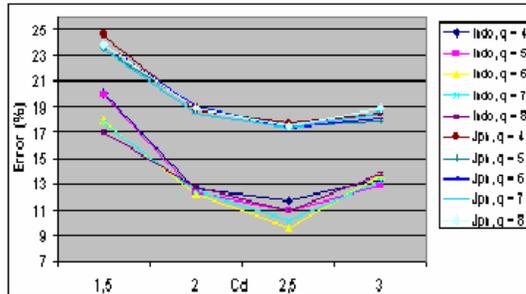
Gambar 7. Grafik prosentase kesalahan Tipe II

## 5.2 Analisis Hasil

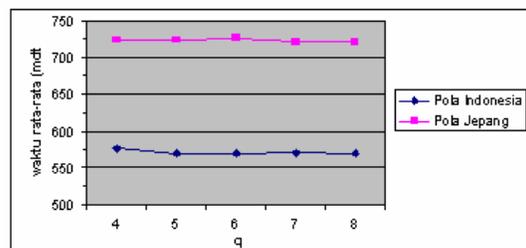
Grafik prosentase kesalahan Tipe I pada Gambar 6 terlihat bahwa semakin besar konstanta pengali nilai ambang ( $Cd$ ) maka prosentase kesalahan yang terjadi akan semakin kecil, karena rentang penerimaan semakin besar sehingga sistem akan semakin toleran menerima variasi tandatangan dengan beda yang lebih besar. Sedangkan grafik prosentase kesalahan Tipe II pada Gambar 7 menunjukkan bahwa semakin besar nilai  $Cd$  maka prosentase kesalahan semakin besar pula. Kedua hal ini berlaku untuk semua variasi lingkungan sistem baik variasi konstanta  $q$  maupun pola model.

Gambar 8 merupakan grafik prosentase kesalahan rata-rata yang terjadi pada sistem verifikasi ini dan Tabel I menunjukkan bahwa ada titik minimum prosentase kesalahan yang didapat dari kombinasi lingkungan sistem, yaitu menggunakan pola model Tandatangan Orang Indonesia dengan konstanta pemotongan nilai eigen  $q = 6$  dan  $Cd = 2,5$ . Kombinasi lingkungan sistem ini memberikan prosentase kesalahan terkecil yaitu sebesar 9,696%, dengan rincian kesalahan Tipe I sebesar 7,37% dan kesalahan Tipe II sebesar 12,02%.

Grafik pada Gambar 9 menunjukkan bahwa rata-rata waktu proses verifikasi setiap tandatangan dengan variasi nilai  $q$  untuk masing-masing pola model adalah relatif tetap.



Gambar 8. Grafik prosentase kesalahan rata-rata



Gambar 9. Grafik waktu rata-rata proses satu tandatangan

Kebutuhan waktu proses jika menggunakan pola model Tandatangan Indonesia lebih sedikit dibandingkan dengan menggunakan pola model tandatangan Jepang, karena jumlah pola model tandatangan Indonesia adalah sebanyak 52 pola yang dikelompokkan menjadi 42 pola model lebih sedikit dibandingkan dengan pola model Tandatangan Jepang yang berjumlah 77 pola dan dikelompokkan menjadi 67 pola model. Banyak pola berpengaruh pada waktu pencarian frekuensi kemunculan pola yang dibaca dari citra tandatangan, sedangkan banyak pola model yang terwakili oleh dimensi vektor berpengaruh pada waktu perhitungan mencari nilai beda.

## 6. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapat dari pembuatan sistem verifikasi dalam penelitian ini adalah:

- Penggunaan Metode Pola Busur Terlokalisasi yang disesuaikan dengan pola model tandatangan orang Indonesia, untuk verifikasi tandatangan Latin khususnya tandatangan Indonesia terbukti cukup efektif dan menghasilkan unjuk kerja yang lebih baik dibandingkan dengan memakai pola model tandatangan Jepang. Hal ini dilihat dari besarnya prosentase kesalahan serta waktu pemrosesan.
- Unjuk kerja sistem diukur berdasarkan dua macam tipe kesalahan, yaitu: kesalahan penolakan (*false rejection*) dan kesalahan penerimaan (*false acceptance*). Sistem yang

dikembangkan mempunyai prosentase kesalahan minimum pada kombinasi konstanta pengali nilai ambang  $Cd$  bernilai 2,5 dan konstanta pemotongan nilai eigen  $q$  bernilai 6, yaitu prosentase kesalahan penolakan sebesar 7,4 % dan kesalahan penerimaan 12 %, sehingga kesalahan rata-rata sistem adalah 9,7 %.

- Keunggulan sistem verifikasi dengan metode Pola Busur Terlokalisasi adalah kecilnya kapasitas media penyimpanan yang diperlukan, karena hanya menyimpan frekuensi kemunculan pola model tanpa harus menyimpan citra tandatangan secara keseluruhan, yang mana penyimpanan suatu citra biasanya memerlukan kapasitas ruang penyimpan relatif besar

## 7. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Achemilal, M., Mourier, M., Lorette, G. dan Bonnefoy, J.P., 1986, "Dynamic Signature Verification", *Proceedings of 4<sup>th</sup> International Conference Exhibition*, Monte Carlo, p.1-9.
- [2]. Plamondon, R. dan Lorette, G., 1989, "Automatic Signature Verification and Writer Identification – the State of the Art", *Pattern Recognition*, Vol.22, No.2, p.107-131.
- [3]. Sabourin, R., Plamondon, R. dan Beaumier, L., 1994, "Structural Interpretation of Handwritten Signature Images", *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, Vol.8, No.3, p.709-748, World Scientific Publishing Company.
- [4]. Sankar K. Pal dan Dwijesh K.Dutta M., 1986, "Fuzzy, Mathematical Approach to Pattern Recognition", Wiley Eastern Limited.
- [5]. Schalkoff, Robert J., 1992, "Pattern Recognition : Statistical, Structural and Neural Approaches", John Wiley & Sons Inc.
- [6]. Tou T. Julius dan Gonzales Rafael C., 1974, "Pattern Recognition Principles", Addison-Wesley Publishing Company.
- [7]. Yoshimura, I., Shimizu, T. dan Yoshimura, M., 1993, "A Zip Code Recognition System using the Localized Arc Pattern Method", *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Document Analysis and Recognition*, October 20-22, 1993, IEEE Computer Society, p183-186.
- [8]. Yoshimura, I. dan Yoshimura, M., 1992, "On-line Signature Verification Incorporating the Direction of Pen Movement", *Pixels to Features III: Frontiers in Handwriting Recognition*, North-Holland, p.353-361.
- [9]. Yoshimura, I. dan Yoshimura, M., 1994, "Off-Line Verification of Japanese Signatures after Elimination of Background Patterns", *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, Vol.8, No.3, p.693-708, World Scientific Publishing Company.
- [10]. Yoshimura, M. dan Yoshimura, I., 1988, "Writer Identification Based on the Arc Pattern Transformation", *Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Pattern Recognition*, November 14-17, 1993, IEEE Computer Society, Washington, p.183-186.