

## PENGARUH PENYEKALAN PADA EKSTRAKSI CIRI PENGABURAN DAN PERATAAN BLOK YANG MENGGUNAKAN TAPIS GAUSSIAN 2D

Linggo Sumarno

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Sanata Dharma  
Kampus III, Paingan, Maguwoharjo, Yogyakarta 55282  
Telp. (0274)883037 Faks. (0274)886529  
E-mail: lingsum@usd.ac.id

### ABSTRAK

Ekstraksi ciri mempunyai peran yang penting dalam bidang pengenalan karakter, terutama untuk mengurangi jumlah data citra yang akan diproses. Pengaburan dan perataan blok adalah satu dari beberapa metode ekstraksi ciri yang menggunakan pendekatan multiresolusi. Untuk melakukan pengaburan suatu citra, diperlukan adanya tapis pelewat rendah 2D. Tapis Gaussian 2D merupakan salah satu tapis pelewat rendah yang dapat digunakan untuk keperluan tersebut. Berdasarkan hasil percobaan, terlihat bahwa penyekalaan pada ekstraksi ciri pengaburan dan perataan blok mempunyai sedikit pengaruh dalam meningkatkan kinerja tingkat pengenalan. Penyekalaan tersebut dapat sedikit meningkatkan kinerja tingkat pengenalan hingga sekitar 0,5%, bila dibandingkan dengan tanpa penyekalaan.

*Kata Kunci: penyekalaan, ekstraksi ciri, pengaburan dan perataan blok*

### 1. PENDAHULUAN

Dalam suatu sistem pengenalan pola, ekstraksi ciri merupakan suatu hal yang penting. Bila pola yang akan dikenali ujudnya adalah citra, maka dalam kasus yang paling sederhana, citra biner atau pun aras-keabuan (*graylevel*) dapat langsung dimasukkan dalam sistem pengenalan pola. Namun, umumnya dalam suatu sistem pengenalan pola, untuk menghindari kompleksitas ekstra dan juga untuk meningkatkan akurasi algoritma, diperlukan adanya representasi citra yang lebih kompak (Arica, 2001). Untuk mendapatkan representasi yang lebih kompak ini, maka diekstraklah sehimpunan ciri dari suatu citra.

Pendekatan multiresolusi merupakan suatu pendekatan untuk mendapatkan representasi yang kompak. Salah satu metode dalam pendekatan ini adalah dengan transformasi *wavelet*. Transformasi *wavelet* merupakan suatu bentuk transformasi untuk merepresentasikan citra pada berbagai tingkat resolusi yang berbeda. Koefisien representasi, yang disebut sebagai koefisien *wavelet*, merupakan ciri citra tersebut (Lee, 1995; Shioyama, 1998; Mozaffari, 2004; Mozaffari, 2005).

Suatu metode lain dalam pendekatan multiresolusi adalah dengan dengan pengaburan (*blurring*) dan perataan blok (*block averaging*), sebagaimana diidekan oleh Ethem (1998). Namun demikian, Ethem tidak merumuskan bagaimana perataan blok tersebut dilakukan. Sumarno (2009) mengeksplorasi lebih lanjut ide tersebut dengan menggunakan tapis Gaussian 2D, dengan mengevaluasi ukuran blok yang sesuai dengan ukuran citra 64x64 piksel yang akan dicari ekstraksi cirinya.

Pada penelitian ini, dieksplorasi lebih lanjut pengaruh penyekalaan pada ekstraksi ciri pengaburan dan perataan blok yang sebelumnya telah dieksplorasi oleh Sumarno (2009). Dalam hal ini secara khusus yang akan dieksplorasi adalah pengaruh penyekalaan tersebut terhadap kinerja tingkat pengenalan huruf pada suatu sistem pengenalan huruf tulisan tangan.

### 2. LANDASAN TEORI

#### 2.1 Ekstraksi ciri pengaburan dan perataan blok

Tujuan dari ekstraksi ciri suatu citra adalah untuk mendapatkan representasi yang lebih kompak atas citra tersebut. Karena jumlah parameter representasi ciri citra pada hakekatnya tidak banyak, maka jumlah data yang ada pada suatu citra sebenarnya sangat berlebihan. Suatu cara yang sederhana untuk mendapatkan representasi yang tidak banyak tersebut (yang kompak) adalah dengan pengaburan dan perataan blok.

Sumarno (2009) menggunakan tapis Gaussian 2D untuk keperluan pengaburan dan blok-blok partisi berukuran 8x8 piksel untuk mempartisi citra 64x64 piksel yang akan diekstrak cirinya. Gambar 1 memperlihatkan contoh pengaburan dan perataan blok tersebut.

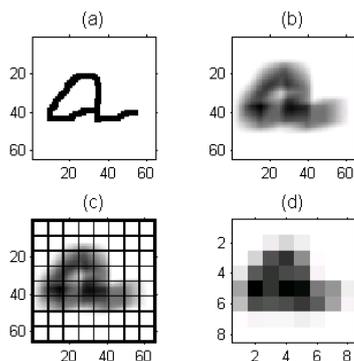
Tapis Gaussian 2D yang digunakan untuk keperluan pengaburan pada Gambar 1, dirumuskan sebagai berikut (The Mathworks (a), 2005).

$$h(x, y) = \frac{e^{-(x^2 + y^2) / 2\sigma^2}}{s_{xy}} \quad (1)$$

dengan

$$s_{xy} = \sum_x \sum_y e^{-(x^2+y^2)/2\sigma^2} \quad (2)$$

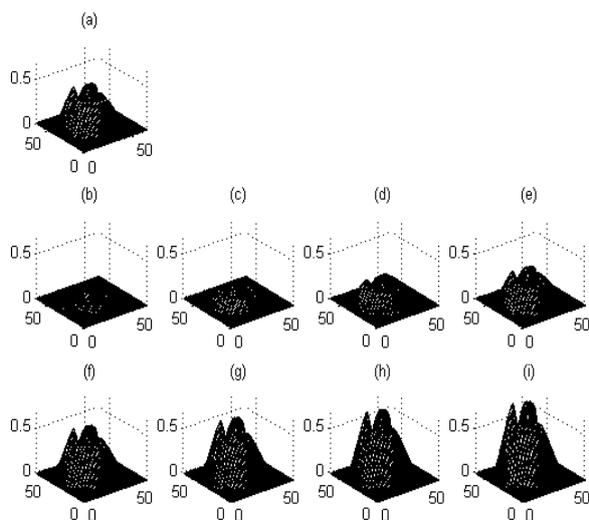
dan  $\sigma$  adalah deviasi standar. Sedangkan  $x = y = \left(-\frac{N-1}{2}, \dots, \frac{N-1}{2}\right)$ , dengan  $N$  adalah orde tapis.



Gambar 1. Contoh pengaburan dan perataan blok. (a) Citra asli 64x64 piksel; (b) Pengaburan dengan tapis Gaussian 2D 14x14 yang deviasi standarnya 10; (c) Partisi dengan blok partisi 8x8 piksel; (d) Hasil perataan atas setiap blok partisi menghasilkan citra 8x8 piksel.

## 2.2 Penyekalaan pada ekstraksi ciri pengaburan dan perataan blok

Penyekalaan pada ekstraksi ciri pengaburan dan perataan blok dilaksanakan dengan memberikan penyekalaan pada Gambar 1(d) di atas. Gambaran 3D atas hasil penyekalaan ini diperlihatkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Contoh penggambaran 3D untuk hasil penyekalaan pada ekstraksi ciri pengaburan dan perataan blok. (a) – (i) Masing-masing penyekalaan 1,0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8.

Secara algoritma, untuk melaksanakan penyekalaan pada ekstraksi ciri pengaburan dan perataan blok, diperlihatkan dalam algoritma di Gambar 3. Algoritma tersebut merupakan pengembangan algoritma sebelumnya yang berasal dari Sumarno (2009).

1. Untuk citra  $p(m,n)$  dengan ukuran  $2^k \times 2^k$  piksel (dengan  $k=1, 2, 3, \dots$ ), tentukan dahulu ukuran blok partisi  $s(u,v)$  yang ukurannya  $2^\ell \times 2^\ell$  piksel (dengan  $\ell=0, 1, 2, \dots, 2^{k-1}$ ).
2. Partisilah citra dengan blok partisi  $q(u,v)$  tersebut.
3. Hitung nilai perataan di setiap blok partisi.

$$q_{avg}(u,v) = \frac{1}{2^\ell \times 2^\ell} \sum_{u=1}^{2^\ell} \sum_{v=1}^{2^\ell} q(u,v) \quad (3)$$

4. Hitung nilai penyekalaan dari  $q_{avg}$  di atas dengan faktor skala  $r$

$$q_r(u,v) = r \times q_{avg}(u,v) \quad (4)$$

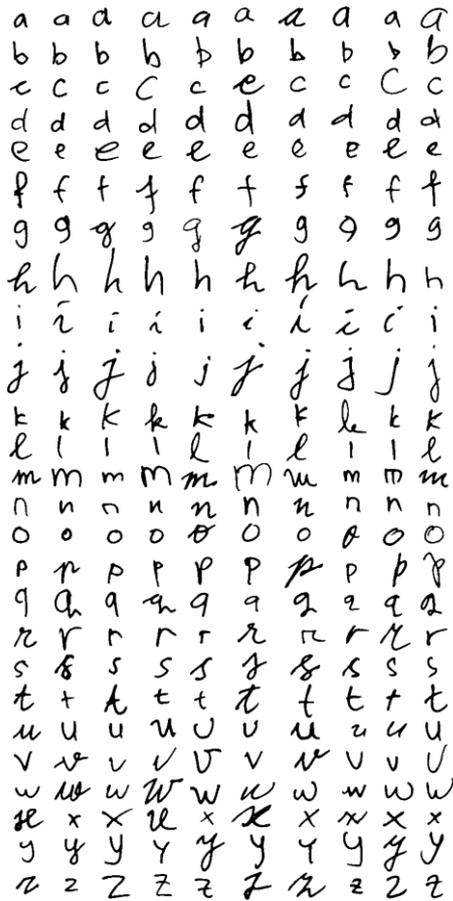
5. Himpunan nilai dari hasil penyekalaan  $q_r(u,v)$  adalah ekstraksi ciri citra  $p(m,n)$ .

Gambar 3. Algoritma pengaburan dan perataan blok yang melibatkan penyekalaan.

## 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Bahan dan Alat Penelitian

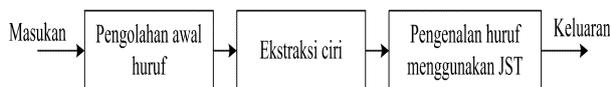
Bahan penelitian berupa citra huruf tulisan-tangan yang terisolasi dengan format biner, yang merupakan hasil *scanning* lembar pengambilan data dengan resolusi 300 dpi. Pengambilan data dilakukan untuk 100 responden, dari berbagai tingkatan umur (10-70 tahun) dan jenis kelamin. Pada waktu pengambilan data, setiap responden masing-masing menuliskan sejumlah tiga kali (yang selanjutnya dimasukkan dalam tiga kelompok) 26 huruf 'a'-'z'. Dalam melakukan penulisan huruf, setiap responden menuliskannya sesuai dengan gaya penulisan masing-masing, yaitu ada yang dengan gaya cetak (*handprinted*) dan ada juga yang dengan gaya latin (*cursive*). Gambar 4 memperlihatkan contoh-contoh huruf yang digunakan dalam penelitian ini. Alat penelitian berupa perangkat keras yang berupa komputer berbasis prosesor Intel Core2Duo 7500 (2,93 GHz) dan RAM 4 GB, yang dilengkapi dengan perangkat lunak MATLAB.



Gambar 4. Contoh-contoh huruf yang digunakan dalam penelitian.

### 3.2 Pengembangan Sistem

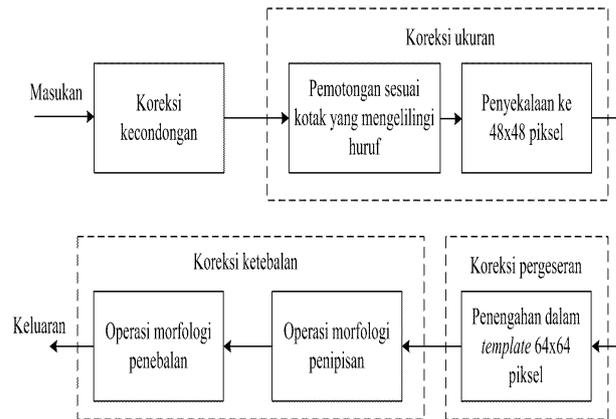
Dengan menggunakan bahan dan alat di atas, suatu sistem pengenalan huruf telah dikembangkan (lihat Gambar 5). Pada sistem tersebut, masukannya berupa citra huruf terisolasi berformat biner, sedangkan keluarannya adalah huruf berbentuk teks.



Gambar 5. Sistem pengenalan huruf yang digunakan.

#### 3.2.1 Pengolahan awal huruf

Pengolahan awal huruf dalam Gambar 5 dilaksanakan untuk mengoreksi persoalan-persoalan kecondongan (*slant*), ukuran, dan ketebalan. Dalam penelitian ini, model pengolahan awal huruf dari Sumarno (2009) yang digunakan. Gambar 6 memperlihatkan langkah-langkah pengolahan awal ini.

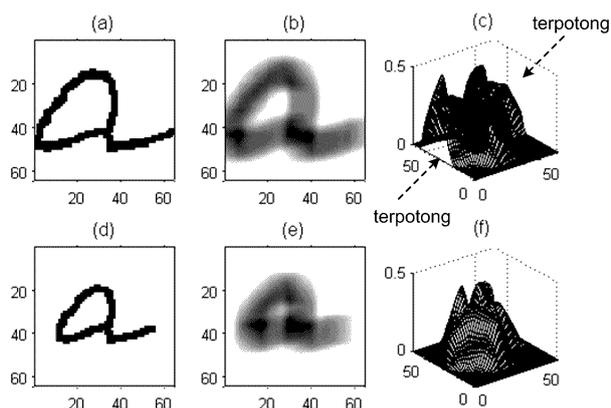


Gambar 6. Langkah-langkah pengolahan awal huruf.

Pada Gambar 6, masukan berupa citra huruf tulisan tangan terisolasi dalam format biner, sedangkan keluaran berupa citra huruf terkoreksi dalam format biner, yang ukurannya 64x64 piksel.

- Koreksi kecondongan dilaksanakan menggunakan evaluasi histogram proyeksi vertikal dari huruf tulisan tangan yang telah mengalami operasi *shearing* (yang berbasiskan transformasi linear). Operasi *shearing* ini menggunakan koefisien-koefisien *shearing*  $\{-0.4, -0.35, \dots, 0.4\}$ , dengan asumsi bahwa kecondongan huruf-huruf yang ada adalah dalam jangkauan koefisien *shearing*  $-0.4$  hingga  $0.4$ . Dalam evaluasi ini, huruf yang tegak terkait dengan koefisien *shearing* yang memberikan nilai varians tertinggi.
- Penyekalaan huruf diset ke 48x48 piksel. Penyekalaan dimaksudkan untuk menghindari pemotongan data pada tepi huruf yang tertapis. Berdasarkan percobaan (pada penggunaan tapis Gaussian 2D 14x14 yang deviasi standarnya 10), pemberian 8 piksel tambahan disekitar kotak yang mengelilingi (*bounding-box*) huruf, sudah "pas" untuk menghindari pemotongan di tepi huruf yang tertapis. Lihat Gambar 7.
- Ukuran *template* diset ke 64x64 piksel. Ukuran *template* ini mengacu pada ukuran yang digunakan oleh peneliti-peneliti lain, baik dari tesis, disertasi, maupun tulisan-tulisan yang telah dipublikasikan di jurnal atau pun konferensi internasional. Ukuran minimum yang umum untuk *template* adalah 16x16 piksel (Paterson, 1996), sedangkan untuk yang maksimum adalah 64x64 piksel (Mozaffari, 2005). Pada penelitian ini digunakan 64x64 piksel.
- Operasi morfologi penipisan menggunakan algoritma penipisan Zhang-Suen (1984).
- Operasi morfologi penebalan (*dilation*) menggunakan struktur elemen bujur sangkar 3x3. Berdasarkan alasan kesederhanaan, operasi

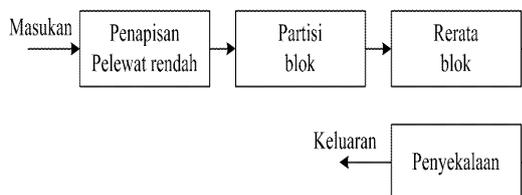
penebalan tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan tabel pencari (*look-up table*). Dengan demikian, penggunaan elemen-struktur bujur-sangkar 2x2, 3x3, dan 4x4, masing-masing akan memerlukan  $2^4 = 16$ ,  $2^9 = 512$ , dan  $2^{16} = 65.536$  elemen. Oleh karena itu, penebalan yang optimal (yang jumlah elemennya tidak terlalu banyak) adalah dengan menggunakan elemen-struktur bujur-sangkar 3x3.



Gambar 7. Contoh pengaruh penyekalaan huruf dalam *template* 64x64 piksel. (a) dan (d) penyekalaan huruf ke 64x64 dan 48x48 piksel; (b) dan (e) masing-masing adalah hasil penapisan (a) dan (d), dengan tapis Gaussian 14x14 yang deviasi standarnya 10; (c) dan (f) masing-masing adalah gambaran jaring (*mesh*) (b) dan (e).

### 3.2.2 Ekstraksi Ciri

Ekstraksi ciri pengaburan dan perataan blok yang menggunakan penyekalaan diperlihatkan langkah-langkahnya pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8. Langkah-langkah ekstraksi ciri.

Pada Gambar 8 di atas, masukannya adalah citra huruf terkoreksi dalam format biner yang berukuran 64x64 piksel. Keluarannya adalah sehimpunan bilangan yang merepresentasikan citra masukan, yang jumlahnya ada 64 elemen. Dalam penelitian ini, digunakan parameter-parameter berikut yang berasal dari Sumarno (2009).

- a. Penapisan pelewat bawah menggunakan tapis Gaussian 2D 14x14 dengan deviasi standar 10.

- b. Partisi blok menggunakan ukuran blok 8x8 piksel.

### 3.2.3 Jaringan Syaraf Tiruan

#### Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan

Jaringan syaraf tiruan (JST) yang digunakan dalam pengenalan huruf adalah JST perambatan balik. JST ini dijelaskan secara detil sebagai berikut (Sumarno, 2009).

- a. JST yang digunakan adalah perambatan-balik dengan 2 lapisan tersembunyi. JST ini dipilih, setelah berdasarkan hasil evaluasi untuk JST dengan 1 dan 2 lapisan tersembunyi ternyata, JST dengan 2 lapisan tersembunyi memberikan tingkat pengenalan yang lebih tinggi daripada JST dengan 1 lapisan tersembunyi.
- b. Lapisan masukan mempunyai 64 neuron masukan, yang disesuaikan dengan jumlah elemen ekstraksi ciri.
- c. Lapisan keluaran mempunyai 26 neuron keluaran, yang disesuaikan dengan jumlah alfabet 'a' - 'z'. Fungsi alih pada lapisan ini adalah sigmoid unipolar, yang disesuaikan dengan data keluaran JST dalam rentang 0...1.
- d. Lapisan tersembunyi 1 dan 2 masing-masing mempunyai 64 dan 312 neuron, yang berdasarkan cara evaluasi menghasilkan tingkat pengenalan tertinggi. Fungsi alih pada masing-masing lapisan ini adalah sigmoid bipolar, yang disesuaikan dengan data internal JST dalam rentang -1 ... 1.

#### Catatan:

- a. Fungsi sigmoid adalah fungsi yang umum digunakan pada JST perambatan-balik (Fausett, 1994).
- b. Pelatihan JST dapat lebih efektif, dengan pengolahan data secara bipolar dalam rentang -1...1 (Suhardi, 2003).

#### Pelatihan dan Pengujian Jaringan Syaraf Tiruan

Pelatihan JST menggunakan algoritma *resilient backpropagation* (Riedmiller, 1993). Algoritma ini adalah algoritma yang paling cepat untuk pengenalan pola (The Mathworks (b), 2005). Kriteria berhenti dalam pelatihan tersebut menggunakan metode validasi, yang tujuannya adalah untuk menghindari adanya *under-training* maupun *over-training*.

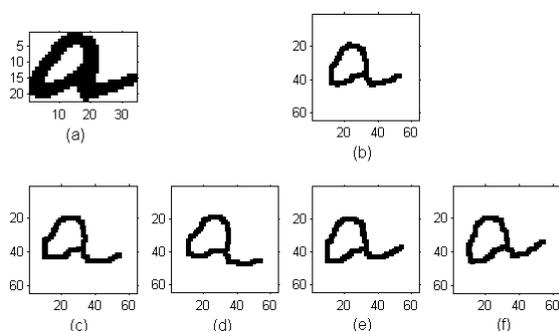
Pola-pola yang digunakan dalam pelatihan dan pengujian merupakan data citra huruf tulisan-tangan yang berasal 100 responden, yang diolah lebih lanjut menjadi tiga set citra berikut (Sumarno, 2009).

(1) Set citra pelatihan

Digunakan untuk pelatihan (dalam hal pembaruan bobot) JST. Set citra ini terdiri atas 13.000 citra sebagai berikut.

- a. Sejumlah 2.600 citra terkoreksi kelompok 1.
- b. Sejumlah 5.200 citra turunan kelompok 2, yang merupakan rotasi  $-5^\circ$  dan  $5^\circ$  dari citra terkoreksi kelompok 2.
- c. Sejumlah 5.200 citra turunan kelompok 3, yang merupakan rotasi  $-10^\circ$  dan  $10^\circ$  dari citra terkoreksi kelompok 3.

Gambar 9 memperlihatkan contoh-contoh citra pelatihan di atas. Sebagai catatan, koreksi citra menggunakan langkah-langkah koreksi yang diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 9. Contoh citra asli, terkoreksi, dan turunannya. (a) Citra asli. (b) Citra terkoreksi yang merupakan citra asli yang telah dikoreksi dalam hal skala, ketebalan, dan pergeseran. (c) – (f) Citra terkoreksi yang masing-masing telah dirotasi dengan sudut  $-5^\circ$ ,  $-10^\circ$ ,  $5^\circ$ , dan  $10^\circ$ .

Catatan:

- a. Citra terkoreksi adalah citra asli yang telah dikoreksi dalam hal kecondongan, ukuran, pergeseran, dan ketebalan. Koreksi ini diperlukan karena ekstraksi ciri yang digunakan kurang toleran terhadap kecondongan, ukuran, pergeseran dan ketebalan (Sumarno, 2009).
- b. Nilai-nilai rotasi pada citra turunan di atas adalah dengan mengasumsikan rotasi citra masukan ada dalam rentang  $-10^\circ \dots 10^\circ$ .

(2) Set citra validasi

Digunakan untuk pelatihan (dalam hal menghentikan pelatihan). Terdiri atas 2.600 citra terkoreksi kelompok 2.

(3) Set citra pengujian

Digunakan untuk pengujian JST yang telah selesai dilatih. Set citra ini terdiri atas 2.600 citra terkoreksi kelompok 3.

4. **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dengan menggunakan sistem pengenalan huruf yang telah dideskripsikan di atas, dilakukan pengujian terhadap pengaruh penyekalaan pada ekstraksi ciri pengaburan dan perataan blok. Tabel 1 memperlihatkan hasil pengujian terhadap pengaruh penyekalaan ini.

Tabel 1. Pengaruh penyekalaan pada ekstraksi ciri pengaburan dan perataan blok terhadap tingkat pengenalan.

Faktor skala	Tingkat pengenalan (%)
0,2	83,64
0,4	85,95
0,6	86,26
0,8	<b>87,32</b>
1,0 (tanpa penyekalaan)	86,88
1,2	86,31
1,4	86,26
1,6	86,03
1,8	85,26

Catatan:

Rerata tingkat pengenalan huruf adalah rerata tingkat pengenalan huruf dari 5 JST yang masing-masing diuji dengan 2.600 citra pengujian. Dalam hal ini diperlukan 5 JST karena dalam setiap pelatihan JST selalu didapatkan JST dengan kinerja yang kinerjanya tidak identik. Hal ini disebabkan nilai-nilai acak yang digunakan sebagai nilai-nilai awal pelatihan 5 JST tersebut adalah nilai-nilai yang saling beda.

Secara umum, Tabel 1 memperlihatkan bahwa jika faktor skala makin kecil atau makin besar, tingkat pengenalannya akan makin menurun. Jika dilihat dari sudut pandang ekstraksi ciri, hal ini terkait dengan tingkat diskriminasi ekstraksi ciri sebagai berikut.

- a. Untuk faktor skala yang makin kecil, maka ‘bukit-bukit’ yang terlihat pada Gambar 2 di atas makin rendah, yang mengakibatkan tingkat diskriminasi ekstraksi ciri makin kecil. Hal ini mengakibatkan kemungkinan kesalahan sistem pengenalan hurufnya untuk memisahkan pola-pola yang kelasnya berbeda makin besar, sehingga menyebabkan tingkat pengenalannya menjadi makin kecil.
- b. Untuk faktor skala yang makin besar, maka ‘bukit-bukit’ yang terlihat pada Gambar 2 di atas makin tinggi, yang mengakibatkan tingkat diskriminasi ekstraksi ciri menjadi makin besar. Hal ini mengakibatkan kemungkinan kesalahan sistem pengenalan hurufnya untuk mengelompokkan pola-pola yang kelasnya sama menjadi makin besar, sehingga menyebabkan tingkat pengenalan hurufnya juga menjadi makin kecil.

Faktor skala yang optimal menurut Tabel 1 di atas adalah 0,8. Dengan faktor skala ini, menyebabkan tingkat diskriminasi ekstraksi ciri menjadi optimal, yaitu tidak terlalu besar juga tidak terlalu kecil. Hal ini mengakibatkan sistem pengenalan hurufnya dapat secara optimal (dengan kemungkinan kesalahan yang paling kecil), memisahkan pola-pola yang kelasnya berbeda atau pun mengelompokkan pola-pola yang kelasnya sama.

Selain hal-hal yang telah dideskripsikan di atas, Tabel 1 juga memperlihatkan pengaruh faktor skala terhadap kenaikan tingkat pengenalan. Untuk faktor skala yang optimal (faktor skala 0,8) terlihat sedikit kenaikan tingkat pengenalan hingga sekitar 0,5%, bila dibandingkan dengan tanpa faktor skala (faktor skala 1,0). Adanya kenaikan yang sedikit ini mengindikasikan bahwa, JST yang digunakan untuk mengenali pola, tidak sensitif terhadap adanya penyekalaan yang dilibatkan di tingkat ekstraksi ciri.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian di atas dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut.

- a. Penyekalaan berpengaruh terhadap ekstraksi ciri pengaburan dan perataan blok.
- b. Faktor skala 0,8 merupakan faktor skala yang optimal untuk ekstraksi ciri pengaburan dan perataan blok. Faktor skala ini dapat sedikit meningkatkan kinerja tingkat pengenalan hingga sekitar 0,5%.

Untuk makin meningkatkan kinerja sistem pengenalan di atas, berikut ini saran-saran untuk penelitian lebih lanjut.

- a. Kajian penggunaan ekstraksi ciri yang lain selain pengaburan dan perataan blok, seperti *wavelet* atau DCT (*Discrete Cosine Transform*).
- b. Kajian penggunaan kombinasi JST, yang menggunakan sejumlah JST untuk suatu tugas pengenalan pola.

## PUSTAKA

- Arica, N. dan F.T. Yarman-Vural. (2001). An Overview of Character Recognition Focused On Off-line Handwriting. *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics – Part C: Application and Rev.* 31(2), 216-233.
- Ethem, A. (1998). Techniques for Combining Multiple Learners. *Proceedings of Engineering of Intelligent Systems '98 Conference*. Vol.2, 6-12.
- Fausett, L. (1994). *Fundamentals of Neural Networks*. New Jersey: Prentice Hall International, Inc.
- Lee, S. W. dan Y. J. Kim. (1995). Multiresolutional Recognition of Handwritten Numerals with

Wavelet Transform and Multilayer Cluster Neural Network. *Proceedings of 3<sup>rd</sup> International Conference Document Analysis and Recognition*. Montreal, Canada, 1010-1014.

- Mozzafari, S., K. Faez, dan H. R. Kanan. (2004). Feature Comparison between Fractal Codes and Wavelet Transform in Handwritten Alphanumeric Recognition Using SVM Classifier. *Proceedings of 17<sup>th</sup> International Conference on Pattern Recognition*. Cambridge, Inggris, Vol 2, 331-334.
- Mozzafari, S., K. Faez, H. R. Kanan, dan M. Ziyaratban. (2005). Farsi/Arabic Handwritten Digit Recognition Using Fractal, Wavelet Nearest Neighbor Classifiers and Eigenimage Method. *Proceedings of the First International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization*. Sharjah, Uni Emirat Arab.
- Paterson, D. W. (1996). *Artificial Neural Networks*. New Jersey: Prentice Hall International, Inc.
- Riedmiller, M., dan H. Braun. (1993). A Direct Adaptive Method for Faster Backpropagation Learning: The RPROP Algorithm. *Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks*. 586-591.
- Suhardi, I. (2003). *Evaluasi Jaringan Saraf Tiruan untuk Pengenalan Karakter Tulisan Tangan Jenis Cetak*. Tesis S-2, Yogyakarta: Teknik Elektro, Universitas Gadjah Mada.
- Shioyama, T., H. Y. Wua dan T. Nojima. (1998). Recognition Algorithm Based On Wavelet Transform for Handprinted Chinese Characters. *Proceedings of 14<sup>th</sup> International Conference on Pattern Recognition*. Vol. 1, 339-232.
- Sumarno, L.(2009). On The Performance of Blurring and Block Averaging Feature Extraction Based On 2D Gaussian Filter. *Proceeding of 5<sup>th</sup> International Conference on Information and Communication Technology and Systems (ICTS)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 261-266.
- The Mathworks Inc. (a), 2005, *Image Processing Toolbox: For Use with MATLAB, Version 5*, Massachussets: The Mathworks Inc.
- The Mathworks Inc. (b), 2005, *Neural Network Toolbox: For Use with MATLAB, Version 5*, Massachussets: The Mathworks Inc.
- Zhang, T.Y. dan C. Y. Suen. (1984). A Fast Parallel Algorithm for Thinning Digital Patterns. *Communication of the ACM*, 27(3), 236-239.