

# Pengenalan Huruf Tulisan Tangan menggunakan Ekstraksi Ciri Berbasis Fuzzy dan Jaringan Syaraf Tiruan

Benyamin Kusumoputro dan Emanuel Philipus

Laboratorium Kecerdasan Komputasional  
Fakultas Ilmu Komputer Universitas Indonesia, Jakarta.  
e-mail: kusumo@cs.ui.ac.id

**Abstrak** – Dalam makalah ini akan dibahas sistem pengenalan huruf tulisan tangan (SPHTT) yang terdiri dari sub-sistem pra-pengolahan citra, sub-sistem ekstraksi ciri dan sub-sistem klasifikasi. Sub-sistem ekstraksi ciri menggunakan proses aproksimasi kerangka setiap huruf, dan memecah kerangka tersebut menjadi beberapa segmen dengan menentukan sejumlah titik penting dalam kerangka. Dalam sistem ini jaringan syaraf tiruan propagasi balik digunakan sebagai sub-sistem klasifikasi. Setiap segmen huruf tulisan tangan tersebut kemudian direpresentasikan sebagai loop, garis dan kurva dengan beberapa sifat yang berkaitan. Dalam makalah ini dijelaskan pula penggunaan sub-sistem ekstraksi ciri berlogika fuzzy untuk mendapatkan representasi segmen huruf yang lebih mampu berkompromi terhadap bentuk yang telah ditetapkan sebelumnya. Eksperimen dilakukan dengan mengujikan data yang dilatihkan dan tidak dilatihkan. Untuk data yang dilatihkan, sistem mempunyai akurasi pengenalan sampai dengan 97.69%, sementara untuk data yang tidak dilatihkan akurasi pengenalan yang dicapai adalah 84.6%.

**Kata kunci** : huruf tulisan tangan, logika fuzzy dan jaringan syaraf tiruan

Makalah diterima [20 Februari 2001]. Revisi akhir [15 April 2001]

## 1. PENDAHULUAN

Penelitian mengenai pengenalan huruf tulisan tangan terus dikembangkan akhir-akhir ini, terutama untuk dapat meningkatkan kinerja komunikasi antara manusia dan komputer. Hal ini menjadi topik yang penting belakangan ini, karena kemungkinan penggunaannya dalam sistem transaksi melalui piranti elektronik (*electronic commerce*). Metode yang sering digunakan dalam SPHTT pada umumnya adalah metode pencocokan citra dan

pendekatan statistik [1]. Akan tetapi, penggunaan dari metode ini akan berhasil baik jika hanya digunakan untuk mengenali huruf cetak dengan tipe dan ukuran tertentu saja. Penggunaan untuk dapat mengenali huruf tulisan tangan dengan tipe dan ukuran yang bisa berbeda tidak dapat dilakukan, berkaitan dengan kelemahan sistem pencocokan pola dalam proses penskalaan, rotasi dan jumlah sample citra. Penelitian untuk mengenal huruf tulisan tangan ini biasanya ditekankan pada pengenalan huruf saja, dengan asumsi bahwa proses pemisahan kata menjadi huruf telah dilakukan sebelumnya.

Kompleksitas pengenalan huruf tulisan tangan akan menjadi bertambah besar, karena adanya variasi penulisan dari setiap penulis dan suasana hati penulis tersebut. Karena keterbatasan penggunaan metode pencocokan citra dan pendekatan statistik, maka diperlukan metode lain yang memungkinkan sistem pengenalan huruf ini akan mampu memberikan hasil yang lebih baik. Dalam metode yang akan dibahas secara lengkap dalam makalah ini, setiap huruf tulisan tangan dipecah menjadi beberapa segmen graph berarah (*directed graph*) yang mempunyai himpunan titik seperti: titik awal, titik cabang, dan titik akhir, dan himpunan garis-tepi (*edge*) yang menghubungkan titik-titik pada segmen graph tersebut. Jenis segmen graph berarah ini akan diklasifikasikan sebagai garis lurus, kurva atau loop dengan menggunakan logika fuzzy [2], dan hubungan antar garis tepi ini juga merupakan ciri penting dalam proses klasifikasinya.

Perlu dikemukakan disini bahwa setiap huruf perlu dipecah-pecah terlebih dahulu menjadi beberapa segmen garis, dan kemudian setiap segmen tersebut digolongkan ke dalam suatu tipe garis, yaitu garis-lurus, kurva atau loop dengan menggunakan teori fuzzy. Keseluruhan proses ini merupakan bagian dari sub-sistim ekstraksi ciri, yang akan menghasilkan sekumpulan ciri-ciri penting sebagai data masukan bagi pengklasifikasi huruf menggunakan jaringan syaraf tiruan (JST). JST adalah metode komputasi yang berusaha meniru cara kerja sistem syaraf otak manusia. Keunggulan metode ini dibandingkan dengan metode lain terletak dalam kemampuannya untuk dapat memetakan hubungan yang sangat rumit, hanya dengan mempelajari kaitan antara data masukan dengan data keluarannya. Hal ini dimungkinkan karena pengetahuan yang ada pada JNB tidak diprogram, namun dilatih berdasarkan informasi yang diterimanya [3].

## 2. REPRESENTASI TULISAN TANGAN

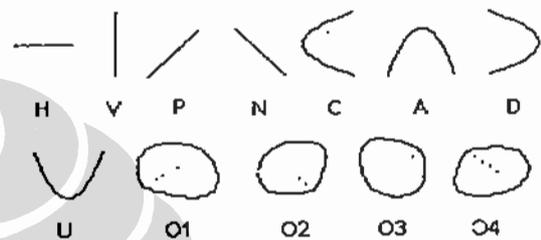
Seperti telah dikemukakan pada bagian pendahuluan, sebuah huruf yang akan dikenali akan dipecah-pecah menjadi beberapa segmen garis-tepi (kemudian ditulis sebagai segmen saja) yang menghubungkan titik-titik penting dalam huruf tersebut. Ada tiga elemen dasar beserta beberapa variasinya, yang dianggap cukup untuk dapat merepresentasikan sebuah segmen huruf [2], yaitu:

1. Garis lurus, yang mempunyai variasi berupa: garis horisontal (*H*), garis vertikal (*V*), garis miring dengan gradien positif (*P*), garis miring dengan gradien negatif (*N*).
2. Bentuk kurva, yang terdiri dari: kurva C (*C*), kurva D (*D*), kurva A (*A*), kurva U (*U*).
3. Bentuk loop, yang terdiri dari: loop 45 (*O1*), loop 135 (*O2*), loop 225 (*O3*), loop 315 (*O4*).

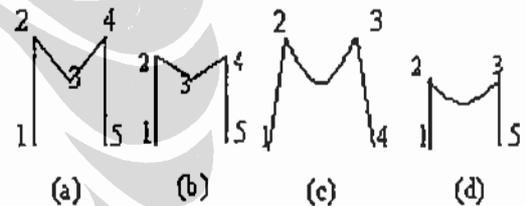
Gambar 1 memperlihatkan bentuk dari masing masing elemen dasar beserta variasinya yang

akan digunakan untuk merepresentasikan sebuah segmen huruf.

Kumpulan elemen-elemen garis dasar ini kemudian digunakan untuk dapat merepresentasikan sebuah huruf yang akan dikenali. Kumpulan elemen dasar ini dinamakan sebagai fungsi deskripsi sebuah huruf. Sebagai ilustrasi dari pembahasan fungsi deskripsi sebuah huruf ini, dapat diperhatikan pada Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 1. Tipe garis, kurva dan loop



Gambar 2. Contoh huruf M

Huruf tulisan tangan *M* pada Gambar 2 ini terdiri dari beberapa variasi penulisan yang berbeda, sehingga masing masing akan mempunyai fungsi deskripsi yang bisa berbeda pula. Perhatikan bahwa pada Gambar 2(a) dan Gambar 2(b), huruf *M* ini mempunyai fungsi deskripsi yang sama walau bentuk tulisannya tidak tepat sama. Fungsi deskripsi yang dimaksud adalah:  $F(Ma) = F(Mb) = V(1,2) \cdot N(2,3) \cdot P(3,4) \cdot V(4,5)$ . Fungsi deskripsi ini menyatakan bahwa huruf *M* dalam kedua gambar tersebut terdiri dari *segmen 1-2* yang merupakan garis lurus vertikal  $V(1,2)$ , 'dan' berhubungan dengan *segmen 2-3* berupa garis miring dengan gradien negatif  $N(2,3)$ , 'dan' berhubungan dengan *segmen 3-4* berupa garis miring dengan gradien positif  $P(3,4)$ , 'dan'

berhubungan dengan *segmen4-5* berupa garis vertikal  $V(4,5)$ . Pada fungsi deskripsi ini diperkenalkan karakter '.' yang merupakan operator logika 'dan'. Fungsi deskripsi ini juga dapat dipakai untuk membedakan suatu huruf yang sama dengan bentuk yang berbeda-beda. Huruf *M* pada Gambar 2(c) dan Gambar 2(d) memiliki fungsi deskripsi yang berbeda dengan 2 huruf *M* sebelumnya. Fungsi deskripsi dari huruf *M* pada Gambar 2(c) adalah:  $F(Mc) = P(1,2).U(2,3).N(3,4)$ , sedangkan huruf *M* pada Gambar 2(d) adalah  $F(Md) = V(1,2).U(2,3).V(3,4)$ . Ketiga buah fungsi deskripsi dari huruf *M* ini kemudian dapat digabungkan dengan menggunakan operator logika 'atau' yang disimbolkan dengan karakter '+', menjadi:  $F(M) = F(Ma)+F(Mb)+F(Mc)+F(Md) = V(1,2).N(2,3).P(3,4).V(4,5) + P(1,2).U(2,3).N(3,4) + V(1,2).U(2,3).V(3,4)$

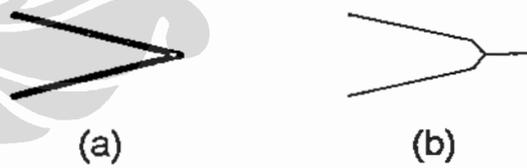
### 3. SISTIM PENGENAL HURUF TULISAN TANGAN (SPHTT)

Tahapan proses dalam SPHTT ini terdiri dari proses akuisisi citra, proses pra-pengolahan, proses ekstraksi ciri dan proses klasifikasi. Dalam proses akuisisi citra, semua citra yang digunakan dirubah menjadi citra digital menggunakan pemindaian (*scanning*) dengan kemampuan 100 dpi, dengan format bitmap monokrom (1 bit). Piksel yang berada dalam huruf bernilai 1 (hitam) dan piksel yang berada diluar huruf (latar-balakang) bernilai 0 (putih).

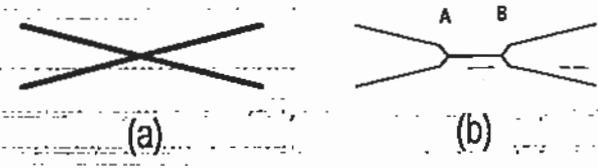
Proses pra-pengolahan citra terdiri dari 4 tahapan, yaitu tahap penghalusan, tahap perhitungan '*distance transform*', tahap penipisan dan tahap aproksimasi kerangka citra. Tahap penghalusan citra dilakukan untuk mengurangi distorsi yang mungkin terjadi pada saat proses akuisisi citra. Tahap ini dilakukan dengan menggunakan aturan matriks 3x3, dengan aturan bahwa setiap piksel akan tetap bernilai 1 (hitam) jika dan hanya jika apabila jumlah dari piksel tetangga yang bernilai 1 (hitam) lebih besar dari 2 [4].

Proses perhitungan '*distance transform*' [5] digunakan untuk mendapatkan informasi ketebalan dari citra huruf masukan. Informasi ketebalan citra huruf ini sangat diperlukan untuk dapat membuat kerangka dasar dari huruf tersebut. Ide dasar dari algoritma '*distance transform*' ini adalah dengan memberikan sebuah angka untuk setiap piksel bernilai 1 (hitam), yang menyatakan jarak antara piksel tersebut terhadap piksel bernilai 0 terdekat (latar-belakang).

Proses penipisan dilakukan untuk mendapatkan kerangka dasar dari citra huruf tulisan tangan tersebut. Algoritma yang digunakan mengacu pada algoritma dalam [6], yang mempunyai ide dasar bahwa sebagian piksel bernilai 1 (hitam) dapat dibuang sedemikian rupa tanpa mempengaruhi keterhubungan antar piksel sesuai dengan kriteria yang ditetapkan oleh algoritma ini. Akan tetapi proses penipisan ini, mempunyai kelemahan yang dapat menyebabkan penyimpangan kerangka dasar huruf dari yang seharusnya. Kelemahan tahap ini akan menghasilkan 2 jenis '*artifact*' yaitu: *elongation artifact* seperti tertera dalam Gambar 3, dan *bifurcation artifact* seperti tertera dalam Gambar 4.



Gambar 3. Proses penipisan yang menghasilkan '*elongation artifact*'. (a) Keluaran tahap '*distance transform*' dan (b) Hasil tahap penipisan

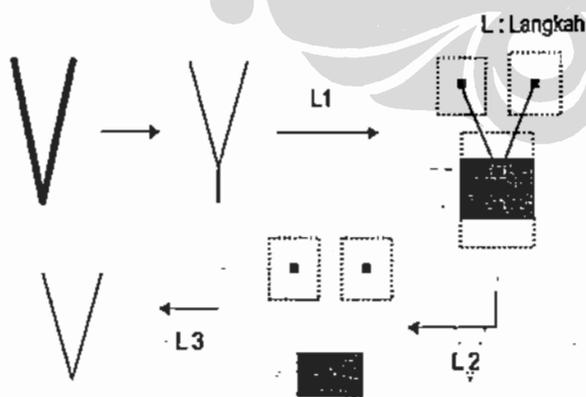


Gambar 4. Proses penipisan yang menghasilkan '*bifurcation artifact*'. (a) Keluaran tahap '*distance transform*' dan (b) Hasil tahap penipisan

Untuk menghindari kelemahan akibat proses penipisan tersebut diatas, maka perlu dilakukan tahap aproksimasi kerangka dasar huruf [5]. Pada prinsipnya, algoritma aproksimasi kerangka ini dapat dilakukan dengan langkah seperti berikut:

- Langkah 1 : Mencari titik dominan pada kerangka dan tentukan domain bujursangkarnya dengan panjang sisi  $2 \times d - 1$  dan berpusat pada titik dominan tersebut.
- Langkah 2 : Membuat matriks sementara T. Pada matriks ini, berisi titik dominan dan domain bujursangkarnya. Pada langkah ini dapat ditentukan daerah dominan. Masing-masing daerah dominan akan menghasilkan titik baru untuk aproksimasi kerangka.
- Langkah 3 : Hapus daerah dominan dari matriks T dan yang tersisa adalah titik pusat dari masing-masing daerah dominan. Titik pusat dihubungkan dengan titik yang tidak berada didalam daerah dominan pada kerangka, tetapi merupakan titik disekitar daerah dominan.

Gambar skematik algoritma ini dapat diilustrasikan dalam Gambar 5.



Gambar 5. Urutan langkah dalam algoritma aproksimasi kerangka dan hasilnya.

#### 4. EKSTRAKSI CIRI BERBASIS FUZZY

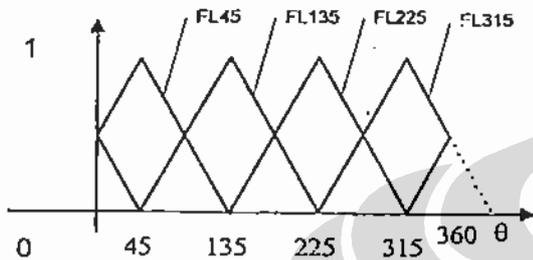
Proses ekstraksi ciri ini merupakan suatu proses untuk menghasilkan sekumpulan ciri-ciri penting yang merepresentasikan sebuah huruf. Berdasarkan fungsi deskripsi sebuah huruf, maka sebuah huruf dapat terdiri dari beberapa segmen. Segmen-segmen tersebut mempunyai ciri-penting berupa elemen dasar pembentuk huruf, yaitu garis, kurva dan loop. Maka dalam proses ekstraksi ciri ini, tahapan yang perlu dilakukan adalah *tahap segmentasi* sebuah huruf, *tahap penentuan elemen dasar* pembentuk huruf dari setiap segmen tersebut, dan *tahap penggolongan elemen dasar* tersebut dengan teori fuzzy. Tahap penggolongan elemen dasar ini dilakukan karena setiap huruf yang akan diproses mempunyai variasi penulisan yang sangat banyak, berkaitan dengan karakteristik dan keadaan (mood) penulisnya.

Tahap segmentasi sebuah huruf dilakukan dengan menentukan titik-titik penting dalam huruf tersebut. Titik penting ini merupakan sebuah pixel dalam kerangka yang mempunyai jumlah perubahan (transisi) tetangga bernilai 1 (hitam) ke tetangga lain yang bernilai 0 (putih) tidak sama dengan 2. Apabila jumlah transisi ini lebih kecil dari 2, maka titik ini didefinisikan sebagai Titik-Akhir, sedangkan apabila jumlah transisi ini lebih besar dari 2, titik ini didefinisikan sebagai Titik-Cabang.

Tahapan selanjutnya adalah tahap penentuan elemen dasar setiap segmen huruf. Hal ini dilakukan dengan menggunakan teknik-teknik pengolahan citra [6][1]. Sedangkan tahap penggolongan jenis elemen dasar pembentuk huruf dilakukan dengan penggunaan logika fuzzy yang akan dijelaskan disini.

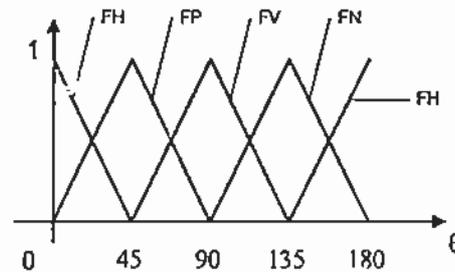
Klasifikasi loop dilakukan dengan pengukuran berdasarkan sudut kemiringan garis dari titik pusat dan titik penting loop tersebut. Sudut kemiringan dicari dengan menggunakan persamaan  $\theta = \tan^{-1} m$  dengan  $m$  adalah gradien dari garis tersebut. Dengan

menggunakan sudut kemiringan ( $\theta$ ) dan fungsi keanggotaan fuzzynya, sekarang jenis elemen dasar dari loop tersebut dapat ditentukan. Jenis elemen dasar loop diklasifikasikan ke dalam salah satu himpunan *loop 45*, *loop 135*, *loop 225* dan *loop 315* dengan tingkat keanggotaan tertinggi (lihat Gambar 6).



Gambar 6. Fungsi keanggotaan untuk mendeteksi jenis loop

Penggolongan suatu garis ke dalam salah satu elemen dasar jenis garis dilakukan berdasarkan sudut kemiringan ( $\theta$ ) dari garis tersebut dengan menggunakan persamaan  $\theta = \tan^{-1} m$ , dengan  $m$  adalah gradien dari garis tersebut. Jenis garis tersebut kemudian digolongkan ke dalam salah satu himpunan  $H$ ,  $V$ ,  $P$  atau  $N$  dengan tingkat keanggotaan tertinggi (lihat Gambar 7). Sedangkan penggolongan suatu kurva ke dalam salah satu elemen dasar jenis kurva, dilakukan dengan mendeteksi jenis garis yang menghubungkan titik awal dan titik akhir dari kurva tersebut. Kemudian *fungsi keanggotaan* untuk jenis garis, seperti tertera dalam Gambar 7, digunakan untuk menentukan jenis garis tersebut. Apabila hasil yang didapat menyatakan bahwa garis tersebut adalah garis miring positif ( $H$ ) maupun miring negatif ( $N$ ), maka dalam segmen ini akan dilakukan pencarian titik potong sebagai salah satu pembantu penggolongan. Pencarian titik potong ini dilakukan mulai dari salah satu titik awal atau akhir, sehingga mendapatkan garis horisontal atau vertikal saja. Titik potong ini akan merupakan titik-awal atau titik-akhir dari kurva tersebut.



Gambar 7. Fungsi keanggotaan untuk mendeteksi jenis garis

## 5. KLASIFIKASI DENGAN JARINGAN SYARAF TIRUAN

Masukan bagi jaringan syaraf tiruan yang dikembangkan dalam makalah ini berupa kumpulan elemen dasar (garis, kurva dan loop) beserta dengan posisi relatif (keterhubungan) antar elemen tersebut. Masing-masing elemen garis, kurva dan loop diubah bentuknya ke dalam 7 bit, sehingga masing-masing jenis elemen akan diinterpretasikan secara unik. Ketentuan yang digunakan adalah 3 bit pertama untuk jenis elemen (garis, kurva dan loop) dan 4 bit terakhir untuk variasi jenis masing-masing elemen. Pada 3 bit pertama hanya terdapat 1 bit yang bernilai 1 (menunjukkan jenis elemen) dan yang lain bernilai 0, demikian halnya dengan 4 bit berikutnya, yaitu yang menunjukkan variasi jenis elemen.

Hubungan antar elemen akan diinterpretasikan dengan menggunakan matriks *inter-relationship* [1]. Setiap pasangan dalam matriks akan memberikan informasi letak elemen pertama terhadap elemen kedua dan juga informasi apakah kedua elemen tersebut terhubung atau tidak. Jaringan Syaraf Tiruan (JST) merupakan suatu metode pengenalan pola dengan ketelitian tinggi. Selain itu JST mampu mengenali variasi masukan dengan mengenali pola-pola tertentu dari masukan, untuk itu JST memerlukan tahapan pelatihan, dimana pada saat ini jaringan akan mencoba membuat fungsi kelakuan berdasarkan masukan yang dilatihkan. Dalam penelitian ini

digunakan Jaringan Syaraf Buatan Propagasi Balik Standar dengan fungsi kesalahan kuadratis. Arsitektur jaringan ini terdiri dari 520 neuron pada lapis masukan, 17 neuron pada sebuah lapis tersembunyi dan 26 neuron pada lapis keluaran, yang merepresentasikan 26 huruf alfabet.

## 6. HASIL EKSPERIMEN

Huruf tulisan tangan (*huruf besar dan huruf kecil*) yang dilatihkan adalah hasil tulisan dari 3 orang sukarelawan dengan memberikan masing-masing 5 contoh untuk huruf besar (*A sampai Z*) dan 5 contoh untuk huruf kecil (*a sampai z*). Salah satu contoh huruf tulisan tangan ini dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9, sedangkan huruf tulisan tangan yang akan digunakan sebagai data pengujian merupakan data yang tidak dilatihkan, sebanyak 1 kumpulan huruf besar (*A sampai Z*) dan 1 kumpulan huruf kecil (*a sampai z*) untuk masing-masing sukarelawan (5 orang). Kumpulan huruf yang tertera dalam gambar-gambar tersebut merupakan huruf yang secara bebas ditulis oleh para sukarelawan, tanpa adanya pengarahan bentuk. Hal ini sengaja dilakukan untuk dapat memberikan simulasi tulisan tangan yang sebenarnya.

Hasil eksperimen dengan menggunakan sistim ini tertera dalam Tabel 1. Dapat dilihat bahwa untuk pengujian huruf besar dengan data yang telah dilatihkan, kemampuan pengenalan SPHTT ini mencapai 96.54%, sementara untuk data yang tidak dilatihkan kemampuan pengenalanya adalah 76.92%. Sedangkan pada eksperimen dengan huruf kecil, kemampuan pengenalan SPHTT untuk mengenali data yang telah dilatihkan adalah 97.69%, sedangkan untuk data yang tidak dilatihkan kemampuan pengenalan sistim adalah 84.62%.

Melihat hasil percobaan yang dilakukan, sistem mempunyai ketelitian yang sangat tinggi untuk mengenali data yang telah dilatihkan, karena jaringan telah menyimpan informasi mengenai data-data yang dilatihkan. Prosentase

pengenalan untuk data yang belum dilatihkan lebih rendah dari prosentase data yang telah dilatihkan, tetapi sistem telah menunjukkan pengenalan yang cukup tinggi (76.92 % dan 84.62 %). Perl. juga dicatat bahwa kemampuan pengenalan terhadap huruf besar lebih rendah apabila dibandingkan dengan pengenalan untuk huruf kecil. Hal ini disebabkan karena data huruf yang digunakan bersifat 'bebas', sehingga huruf besar mempunyai variasi yang lebih banyak dari pada huruf kecil. Untuk mengatasi hal ini, maka sebaiknya menggunakan 'template' berukuran tertentu untuk mengarahkan penulisan setiap huruf, seperti apa yang menjadi tujuan penggunaan sistim ini, yaitu pada sistim 'sorting' surat secara otomatis. Peningkatan kemampuan jaringan neural ini juga dapat dilakukan, seperti dengan menggunakan jaringan hibrida antara SOM dan back-propagation MLP yang dapat mempertinggi kemampuan pengenalanya [7][8][9].

Tabel 1. Hasil pengenalan SPHTT untuk huruf besar dan huruf kecil

Jenis Huruf	Jenis Data	Jumlah Huruf	Pengenalan		Persentase Pengenalan
			Benar	Salah	
Besar	Dilatihkan	260	251	9	96,54%
	Tidak Dilatihkan	52	40	12	76,92%
Kecil	Dilatihkan	260	254	6	97,69%
	Tidak Dilatihkan	52	44	8	84,62%

## 7. KESIMPULAN

Telah dikembangkan sistem pengenal huruf tulisan tangan yang terdiri atas sub-sistem pra-pengolahan, sub-sistem ekstraksi ciri dan sub-sistem klasifikasi. Pada makalah ini telah dijelaskan penggunaan logika fuzzy untuk melakukan klasifikasi loop, garis dan kurva pada sub-sistem ekstraksi ciri dan penggunaan jaringan syaraf buatan (JST) propagasi balik pada sub-sistem klasifikasi. Eksperimen dilakukan dengan mengujikan sistem untuk mengenali huruf besar dan kecil. Hasil

eksperimen menunjukkan bahwa sistem mempunyai akurasi yang sangat tinggi untuk mengenali huruf yang telah dilatihkan. Sementara untuk huruf yang belum dilatihkan sistem menunjukkan tingkat pengenalan yang cukup baik yaitu mencapai 84.62 %. Untuk meningkatkan kemampuan sistem dalam mengenali data yang belum pernah dilatihkan, pada penelitian selanjutnya Jaringan Sayarf Tiruan yang digunakan akan dimodifikasi sehingga mempunyai generalisasi yang lebih baik.

a b c d e f g  
 h i j k l m n  
 o p q r s t u  
 v w x y z

Gambar 8. Contoh huruf kecil yang diujicobakan

A B C D E F G  
 H I J K L M N  
 O P Q R S T U  
 V W X Y Z

Gambar 9. Contoh huruf besar yang diujicobakan

## REFERENSI

- [1] Amin, A, dkk., "Hand-printed Arabic character recognition system using an artificial neural networks", *Pattern Recognition*, vol.29, no.4, 1996.
- [2] Siy, p. and Chen C.S., "Fuzzy logic for handwritten numeral character recognition", *IEEE Trans. System*, vol.13, no.2, 1974.
- [3] Fausset, L., "Fundamentals of neural network", Prentice-Hall Inc., Massachussets, 1992.
- [4] Wang, J., et.al., "Cursive word reference line detection", *Pattern Recognition*, vol.30, no. 3, 1997.
- [5] Abuhaiba, I.S.I, dkk., "Processing of binary images of handwritten text documents", *Pattern Recognition*, vol.27, no.7, 1996.
- [6] Pavlidis, T., "Algorithm for graphics and image", Addison-Wesley, 1992.
- [7] Kusumoputro, B., "Comparison of FALVQ and modified backpropagation in artiificial odor discrimination system", *IASTED Proc. Int. Conf. on Modelling, Identification and Control*, Innsbruck, Austria, 1999.
- [8] Kusumoputro, B., Rostiviany, L., and Saptawijaya, A., "Self-organized network with a supervised training and its comparison with FALVQ in artificial odor recognition system", in *Chemical and biological sensing, Proc. SPIE Vol. 4036*, 2000.
- [9] Kusumoputro, B., "Development of Self-Organized Network with a Supervised Training in Artificial Odor discrimination System", in *Computational Intelligence for Modelling, Control & Automation*, Masoud Mohammadian (Editor), IOS Press Nctherlands, 1999.