

(titik koma), ‘,’ (koma), ‘:’ (titik dua), ‘”’ (tanda petik), ‘-’ (tanda kurang), ‘+’ (tanda tambah), ‘*’ (tanda kali), dan ‘/’ (tanda bagi).

Tabel 1. Contoh variasi pola karakter angka dan tanda baca tulisan tangan.

Kelas Pola	Karakter Angka	Karakter Tanda Baca
1	0 0 0 0	? ? ? ?
2	1 1 1 1	! ! ! !
3	2 2 2 2
4	3 3 3 3	; ; ; ;
5	4 4 4 4	> > , ,
6	5 5 5 5	: : : :
7	6 6 6 6	” ” ” ”
8	7 7 7 7	- - - -
9	8 8 8 8	+ + + +
10	9 9 9 9	* * * *
11		/ / / /

Dari segi jumlah kelas karakternya, jumlah kelas karakter angka lebih sedikit dari pada jumlah kelas karakter tanda baca, maka secara umum jaringan syaraf tiruan akan menghasilkan tingkat pengenalan karakter angka yang lebih tinggi dibandingkan dengan tingkat pengenalan karakter tanda baca. Di sisi yang lain karakter tanda baca mempunyai pola karakter yang lebih sederhana dibandingkan pola karakter angka. Menganalisis hubungan antara tingkat pengenalan jaringan syaraf tiruan dengan banyaknya jumlah kelas karakter yang dikenali dan tingkat kerumitan pola karakter inilah yang menjadi tujuan utama penelitian ini.

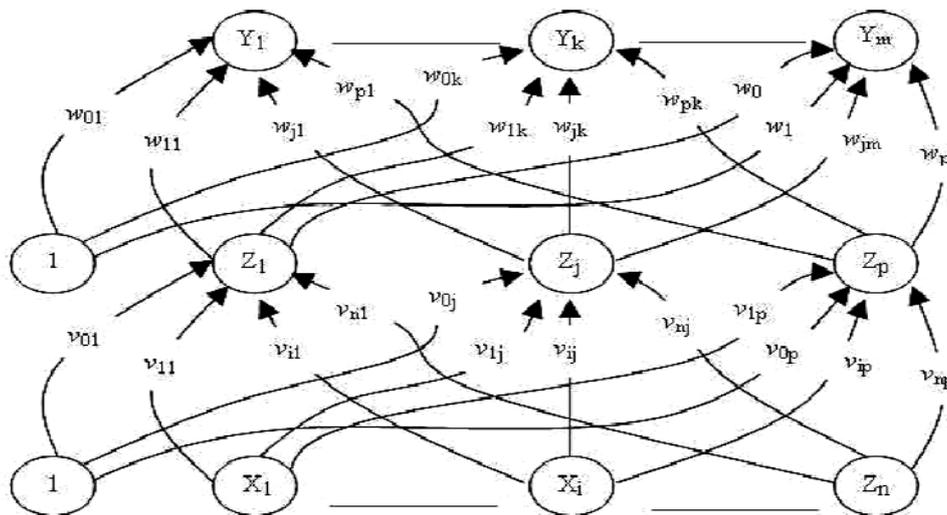
2. JARINGAN SYARAF TIRUAN PERAMBATAN-BALIK

Jaringan syaraf lapis-jamak (*multilayer*) sudah terbukti handal dipakai untuk aplikasi umum. Yang termasuk jaringan lapis-jamak dengan pelatihan terbimbing (*supervised*) antara lain jaringan perambatan-balik (*backpropagation*). Metode pelatihan perambatan-balik secara sederhana adalah metode *gradient descent* (penurunan gradien) untuk meminimalkan total

galat kuadrat keluaran. Aplikasi jaringan ini melibatkan pemetaan sekumpulan masukan terhadap sekumpulan target keluaran, jadi termasuk kategori jaringan dengan pelatihan terbimbing.

Tujuan pelatihan jaringan ini adalah mendapatkan keseimbangan antara kemampuan tanggapan yang benar terhadap pola masukan yang dipakai untuk pelatihan jaringan (*memorization*) dan kemampuan memberikan tanggapan yang layak untuk masukan yang sejenis namun tidak identis dengan yang dipakai pada pelatihan (*generalization*). Pelatihan jaringan perambatan balik melibatkan tiga tahap yaitu umpan-maju pelatihan pola masukan, komputasi dan perambatan-balik galat, serta perubahan bobot. Setelah pelatihan, aplikasi jaringan hanya melibatkan tahap komputasi umpan-maju. Walaupun proses pelatihan jaringan berlangsung relatif lambat, namun jaringan yang telah dilatih dapat menghasilkan keluaran dengan sangat cepat.

Jaringan syaraf lapis-jamak dengan satu lapisan tersembunyi (unit Z) diperlihatkan pada Gambar 1. Unit keluaran (unit Y) dan unit-unit tersembunyi serta bias diperlihatkan. Bias pada unit keluaran Y_k dilambangkan dengan w_{0k} , bias pada unit tersembunyi Z_j dilambangkan dengan v_{0j} . Istilah bias-bias ini berlaku sebagai bobot pada hubungan unit-unit dengan keluaran selalu satu. Hanya aliran informasi umpan-maju yang diperlihatkan pada gambar. Selama fase pelatihan perambatan-balik, sinyal dikirim pada arah yang berlawanan. Langkah-langkah pelatihan dan pengujian jaringan perambatan balik secara terperinci dapat dilihat pada pustaka [3], sedangkan diagram alirnya terdapat pada Gambar 2.

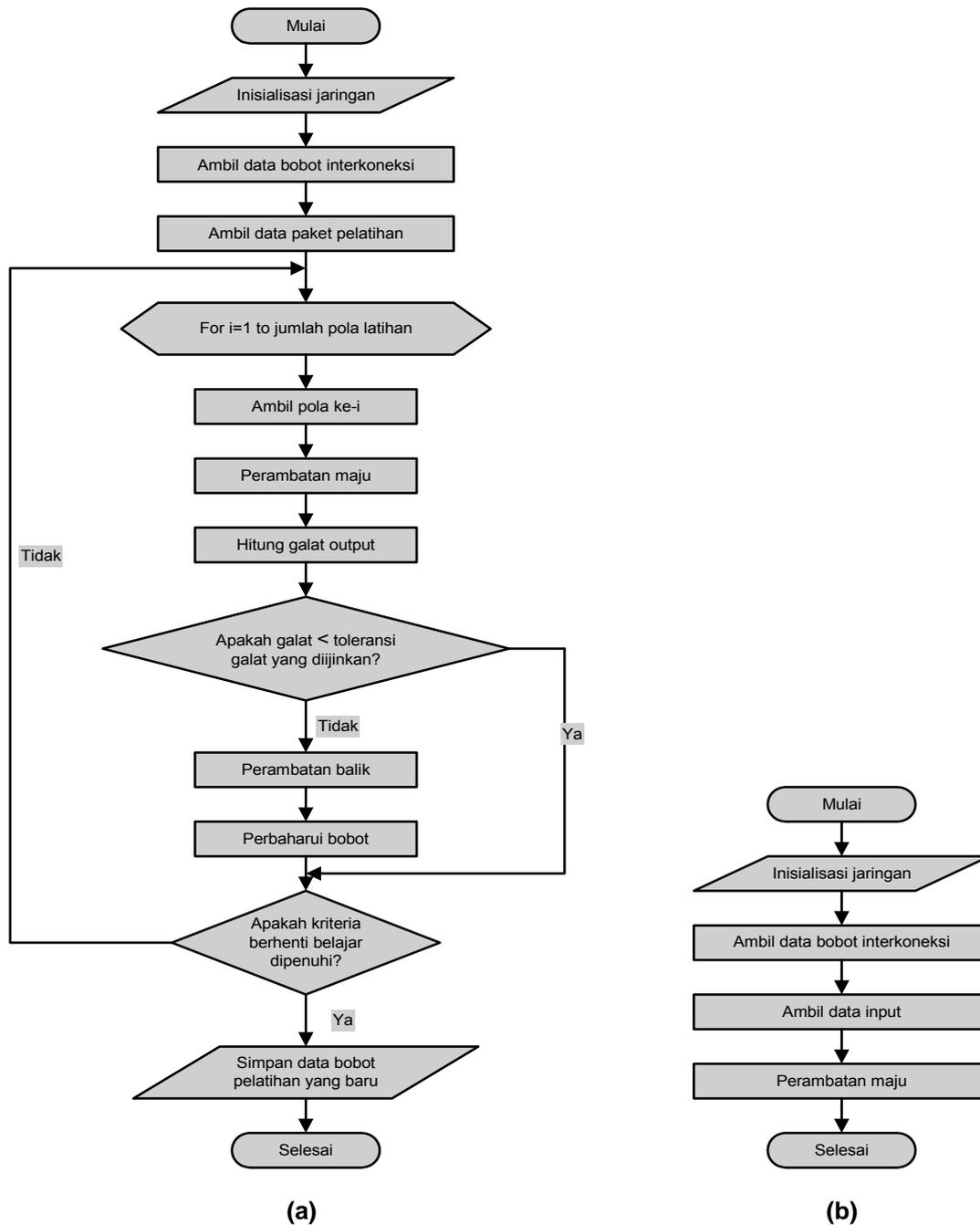


Gambar 1. Jaringan syaraf perambatan-balik dengan satu lapisan tersembunyi.

Sebelum diumpangkan ke jaringan syaraf tiruan, data-data karakter yang akan dianalisis dilakukan proses pengolahan awal. Langkah-langkah praproses pengenalan karakter melibatkan proses normalisasi ukuran karakter yang kemudian didekomposisi dengan menggunakan filter gelombang singkat Haar [5]. Normalisasi ukuran karakter dilakukan karena tidak samanya ukuran karakter penulis yang satu dengan lainnya. Praproses tahap kedua melibatkan dekomposisi filter gelombang singkat pola 16x16 piksel hasil normalisasi. Proses dekomposisi menggunakan filter gelombang singkat *Haar* dua-dimensi. Dekomposisi level pertama menghasilkan empat *subband* yang masing-masing berukuran 8x8 piksel yaitu *subband* yang membawa informasi pola aproksimasi, *subband* yang membawa informasi horisontal, *subband* yang membawa informasi vertikal dan *subband* yang membawa informasi diagonal. Pada dekomposisi berikutnya yaitu level 2 dihasilkan *subband-subband* dengan ukuran 4x4 piksel.

Dari hasil dekomposisi, terlihat bahwa semakin tinggi level dekomposisinya akan membuat semakin 'kehilangan' cirinya. Oleh karena itu, sebagai pola masukan jaringan neural

digunakan dekomposisi level 2 yaitu *subband* informasi aproksimasi sehingga jumlah neuron pada lapisan masukan ada 4x4 buah (Gambar 4 (d)).

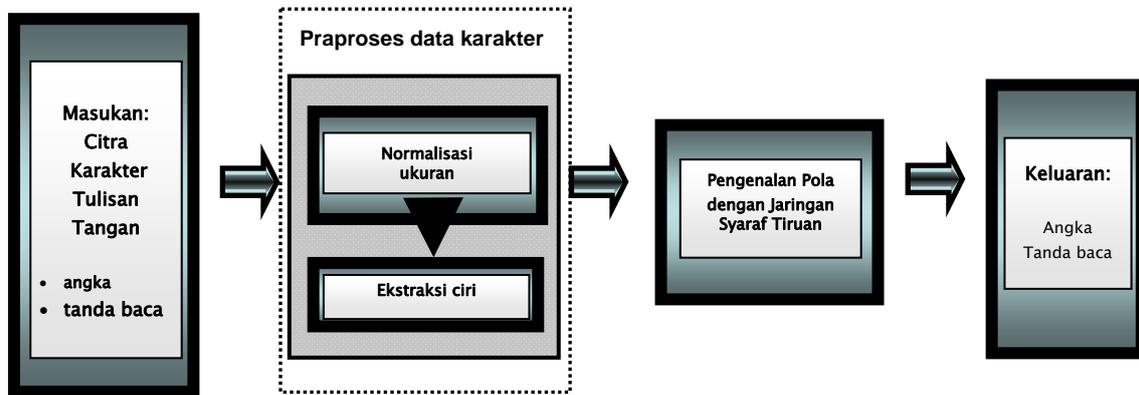


Gambar 2. (a). Diagram alir program pelatihan jaringan syaraf tiruan
(b). Diagram alir program pengujian jaringan syaraf tiruan

3. METODE PENELITIAN

Pemodelan sistem pengenalan karakter pada penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 3. Sebagai masukan adalah vektor yang dihasilkan dari pengolahan citra asli. Citra asli yang berisi data-data karakter tulisan tangan dipayar dengan resolusi 300 dpi. Hasil pemayaran tersebut kemudian dipilah-pilah dan dipotong-potong dan dikelompokkan sesuai dengan kelas polanya. Langkah-langkah praproses pengenalan karakter di sini melibatkan proses normalisasi dan

dekomposisi dengan menggunakan filter gelombang singkat Haar. Normalisasi ukuran karakter dilakukan karena tidak samanya ukuran karakter penulis yang satu dengan lainnya. Pada penelitian ini semua karakter dinormalisasi 16x16 piksel. Pola dari hasil normalisasi selanjutnya didekomposisi sampai level 2 sehingga didapatkan ukuran 4x4 piksel yang dijadikan sebagai masukan jaringan syaraf tiruan. Proses normalisasi dan dekomposisi menggunakan program bantu *Matlab* [5] sedangkan program jaringan syaraf tiruan menggunakan program bantu *C++* [6].



Gambar 3. Diagram blok pengenalan karakter pada penelitian.

Tabel 2. Target pengenalan jaringan pada penelitian

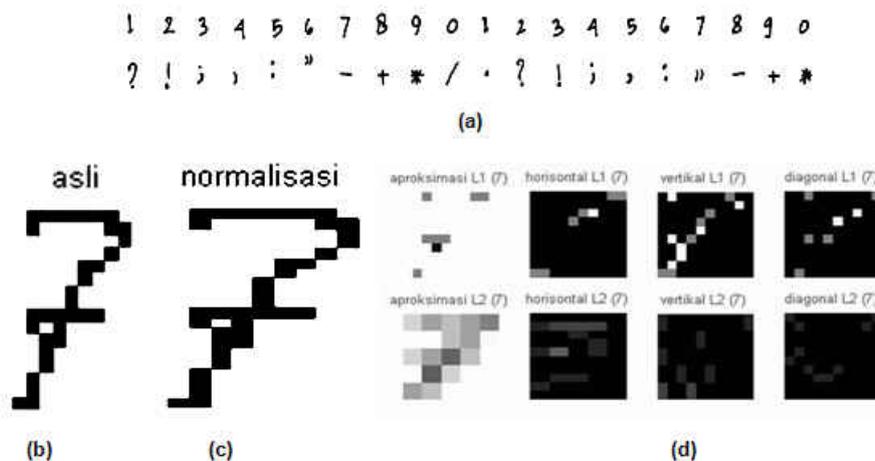
Karakter	ASCII 8 bit	Target Pengenalan
Karakter Angka		
0	00110000	-0.8 -0.8 0.8 0.8 -0.8 -0.8 -0.8 -0.8
1	00110001	-0.8 -0.8 0.8 0.8 -0.8 -0.8 -0.8 0.8
2	00110010	-0.8 -0.8 0.8 0.8 -0.8 -0.8 0.8 -0.8
3	00110011	-0.8 -0.8 0.8 0.8 -0.8 -0.8 0.8 0.8
4	00110100	-0.8 -0.8 0.8 0.8 -0.8 0.8 -0.8 -0.8
5	00110101	-0.8 -0.8 0.8 0.8 -0.8 0.8 -0.8 0.8
6	00110110	-0.8 -0.8 0.8 0.8 -0.8 0.8 0.8 -0.8
7	00110111	-0.8 -0.8 0.8 0.8 -0.8 0.8 0.8 0.8
8	00111000	-0.8 -0.8 0.8 0.8 0.8 -0.8 -0.8 -0.8
9	00111001	-0.8 -0.8 0.8 0.8 0.8 -0.8 -0.8 0.8
Karakter Tanda Baca		
! (seru)	00100001	-0.8 -0.8 0.8 -0.8 -0.8 -0.8 -0.8 0.8
" (petik)	00100010	-0.8 -0.8 0.8 -0.8 -0.8 -0.8 0.8 -0.8
* (kali)	00101010	-0.8 -0.8 0.8 -0.8 0.8 -0.8 0.8 -0.8
+ (tambah)	00101011	-0.8 -0.8 0.8 -0.8 0.8 -0.8 0.8 0.8
. (koma)	00101100	-0.8 -0.8 0.8 -0.8 0.8 0.8 -0.8 -0.8
- (kurang)	00101101	-0.8 -0.8 0.8 -0.8 0.8 0.8 -0.8 0.8
. (titik)	00101110	-0.8 -0.8 0.8 -0.8 0.8 0.8 0.8 -0.8
/ (bagi)	00101111	-0.8 -0.8 0.8 -0.8 0.8 0.8 0.8 0.8
: (titik dua)	00111010	-0.8 -0.8 0.8 0.8 0.8 -0.8 0.8 -0.8
; (titik koma)	00111011	-0.8 -0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8
? (tanya)	00111111	-0.8 -0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8 0.8

Jaringan syaraf tiruan yang akan dirancang dalam eksperimen ini adalah jaringan perambatan-balik. Arsitektur jaringan yang akan dibangun memiliki dua komponen, komponen pertama melibatkan neuron masukan dan keluaran dengan jumlah tetap yaitu sebanyak 4x4 neuron masukan dan 8 neuron keluaran, dan komponen yang melibatkan neuron pada lapisan tersembunyi yang jumlahnya akan dicari sampai didapatkan hasil yang optimal.

Sebagai target pengenalan karakter-karakter tulisan tangan digunakan format yang setara dengan kode ASCII 8 bit untuk mewakili masing-masing kelas karakter angka dan tanda baca. Berikut ini disajikan Tabel 2 yang menyatakan kesesuaian target pengenalan jaringan dengan format yang setara kode ASCII 8 bit.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Praproses diperlukan untuk mentransformasi citra asli dua-dimensi ke dalam pola vektor yang terdiri atas informasi-informasi yang dimiliki oleh citra asli tersebut. Dalam melakukan eksperimen ini data aslinya berupa pola-pola tulisan tangan, yang dinormalisasi ukurannya dan kemudian didekomposisi dengan filter gelombang singkat *Haar* (Gambar 4). Hasil akhir dari proses dekomposisi inilah yang akan diumpungkan pada jaringan syaraf tiruan.



Gambar 4. (a). Citra sampel yang telah dipayar (angka dan tanda baca)
 (b). Contoh karakter (angka 7) yang telah dipotong-potong
 (c). Contoh hasil proses normalisasi
 (d). Contoh hasil proses dekomposisi

Terkait dengan arsitektur jaringan yang akan memberikan tingkat pengenalan yang terbaik, maka dianalisis pengaruh jumlah lapisan tersembunyi serta banyaknya neuron pada masing-masing lapisannya. Fungsi aktivasi yang digunakan yaitu fungsi aktivasi sigmoid bipolar, sedangkan jumlah lapisan tersembunyi yang dianalisis yaitu satu lapisan dan dua lapisan tersembunyi. Pada proses pelatihan melibatkan 100 pola untuk tiap karakternya, dan proses pengujian melibatkan 20 pola untuk tiap karakternya.

Hasil pelatihan dan pengujian karakter angka dari jaringan syaraf tiruan yang dibangun disajikan pada Tabel 3. Pada jaringan yang menggunakan satu lapisan tersembunyi dicoba dengan menggunakan neuron 30, 40, 50, 60, 70, dan 80. Proses pengujian dilakukan dengan menguji dua macam pola, yaitu pola-pola yang digunakan pada saat pelatihan dan pola-pola yang digunakan khusus untuk pengujian. Dua macam pola tersebut sengaja dibuat tidak sama untuk mengetahui sejauh mana unjukkerja pengenalan jaringan dalam mengenali pola-pola yang belum pernah dilatihkan. Dari hasil pengujian terlihat bahwa unjukkerja pengujian dengan menggunakan satu lapisan tersembunyi memberikan unjukkerja terbaik = 74%.

Pada jaringan yang menggunakan dua lapisan tersembunyi, pada lapisan tersembunyi pertama dicoba dengan menggunakan neuron 40, 50, 60, 70, dan 80, sedangkan pada lapisan tersembunyi kedua dicoba masing-masing dengan neuron 40, 50, 60, 70, dan 80. Jaringan dengan dua lapis tersembunyi ternyata membutuhkan jumlah iterasi yang lebih kecil untuk mencapai galat yang minimal pada proses pelatihannya. Berdasarkan unjukkerja maksimal yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa jaringan dengan dua lapisan tersembunyi dengan neuron 80 pada lapis tersembunyi pertama dan 70 neuron pada lapis tersembunyi kedua memberikan unjukkerja yang terbaik yaitu 90 %.

Tabel 3. Unjukkerja pelatihan dan pengujian karakter angka.

Arsitektur	Unjukkerja Pelatihan	Unjukkerja Pengujian
Satu lapisan tersembunyi		
16 – 30 – 8	95,6 %	67 %
16 – 40 – 8	96,2 %	69 %
16 – 50 – 8	96,8 %	72 %
16 – 60 – 8	95,8 %	68 %
16 – 70 – 8	96,9 %	74 %
16 – 80 – 8	95,2 %	70 %
Dua lapisan tersembunyi		
16 – 40 – 40 – 8	99,5 %	82%
16 – 40 – 50 – 8	99,6 %	82 %
16 – 40 – 60 – 8	99,4 %	84 %
16 – 40 – 70 – 8	99,1 %	82 %
16 – 40 – 80 – 8	99,0 %	80 %
16 – 50 – 40 – 8	99,6 %	82 %
16 – 50 – 50 – 8	99,4 %	87 %
16 – 50 – 60 – 8	99,6 %	81 %
16 – 50 – 70 – 8	99,7 %	86 %
16 – 50 – 80 – 8	99,3 %	81 %
16 – 60 – 40 – 8	99,7 %	79 %
16 – 60 – 50 – 8	99,6 %	81%
16 – 60 – 60 – 8	99,5 %	86%
16 – 60 – 70 – 8	99,7 %	81%
16 – 60 – 80 – 8	99,4 %	85 %
16 – 70 – 40 – 8	99,4 %	83 %
16 – 70 – 50 – 8	99,5 %	83 %
16 – 70 – 60 – 8	99,6 %	85 %
16 – 70 – 70 – 8	99,5 %	81%
16 – 70 – 80 – 8	99,7 %	85 %
16 – 70 – 90 – 8	99,7 %	84 %
16 – 80 – 40 – 8	99,2 %	82 %
16 – 80 – 50 – 8	99,7 %	86 %
16 – 80 – 60 – 8	99,6 %	83 %
16 – 80 – 70 – 8	99,7 %	90 %
16 – 80 – 80 – 8	99,3 %	84 %

Tabel 4. Unjukkerja pelatihan dan pengujian karakter tanda baca.

Arsitektur	Unjukkerja Pelatihan	Unjukkerja Pengujian
Satu lapisan tersembunyi		
16 – 30 – 8	97,5 %	80 %
16 – 40 – 8	98,1 %	82 %
16 – 50 – 8	96,9 %	80 %
16 – 60 – 8	98,2 %	76 %
16 – 70 – 8	97,9 %	77 %
16 – 80 – 8	98,2 %	83 %
Dua lapisan tersembunyi		
16 – 40 – 40 – 8	99,1 %	91 %
16 – 40 – 50 – 8	99,6 %	89 %
16 – 40 – 60 – 8	98,6 %	88 %
16 – 40 – 70 – 8	98,4 %	87 %
16 – 40 – 80 – 8	98,5 %	88 %
16 – 50 – 30 – 8	99,1 %	89 %
16 – 50 – 40 – 8	99,7 %	92 %
16 – 50 – 50 – 8	99,6 %	93 %
16 – 50 – 60 – 8	99,7 %	90 %
16 – 50 – 70 – 8	99,1 %	91 %
16 – 50 – 80 – 8	99,0 %	90 %
16 – 60 – 40 – 8	99,7 %	91 %
16 – 60 – 50 – 8	99,1 %	92 %
16 – 60 – 60 – 8	99,7 %	93 %
16 – 60 – 70 – 8	99,6 %	92 %
16 – 60 – 80 – 8	99,5 %	92 %
16 – 60 – 90 – 8	99,0 %	91 %
16 – 70 – 40 – 8	99,7 %	91 %
16 – 70 – 50 – 8	99,6 %	92 %
16 – 70 – 60 – 8	99,5 %	94 %
16 – 70 – 70 – 8	99,7 %	93 %
16 – 70 – 80 – 8	99,8 %	93 %
16 – 70 – 90 – 8	99,5 %	91 %
16 – 80 – 40 – 8	99,5 %	92 %
16 – 80 – 50 – 8	99,3 %	91 %
16 – 80 – 60 – 8	99,4 %	93 %
16 – 80 – 70 – 8	99,3 %	93 %
16 – 80 – 80 – 8	99,3 %	94 %
16 – 80 – 90 – 8	99,5 %	90 %

Pada Tabel 4 disajikan pula hasil pelatihan dan pengujian karakter tanda baca dari jaringan syaraf tiruan yang dibangun. Berdasarkan unjukkerja pengenalan karakter tanda baca maksimal yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa jaringan dengan dua lapisan tersembunyi dengan neuron 80 pada lapis tersembunyi pertama dan 80 neuron pada lapis tersembunyi kedua memberikan unjukkerja yang terbaik yaitu 94 %.

Dari hasil Tabel 3 dan Tabel 4 dapat dilihat bahwa perbandingan unjukkerja terbaik masing-masing jenis karakter ditunjukkan pada Tabel 5. Dapat dilihat bahwa unjukkerja pengenalan jaringan tidak selalu terkait langsung dengan banyaknya karakter yang dikenali. Ini terbukti dengan unjukkerja pengenalan jenis karakter tanda baca (94 %) lebih tinggi dibandingkan dengan unjukkerja jenis karakter angka (90 %), padahal jumlah karakter tanda baca lebih banyak dari pada karakter angka. Perbedaan unjukkerja tersebut lebih dikarenakan pada adanya faktor kerumitan pola karakter pada jenis karakter itu. Terlihat bahwa karakter tanda baca mempunyai tingkat kerumitan yang kurang dibandingkan dengan jenis karakter angka.

Tabel 5. Perbandingan jumlah karakter terhadap unjukkerja

Jenis Karakter	Jumlah Karakter Tiap Jenis	Tingkat Kerumitan Pola	Unjukkerja Pengenalan
Angka	10	Lebih rumit	90 %
Tanda Baca	11	Kurang rumit	94 %

5. SIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan, dapat ditarik simpulan bahwa semakin sedikit jumlah karakter yang akan dikenali belum tentu menghasilkan unjukkerja pengenalan yang semakin tinggi. Unjukkerja pengenalan dipengaruhi juga tingkat kerumitan pola karakter pada jenis karakter tersebut. Kemampuan pengenalan karakter jaringan syaraf tiruan yang cukup tinggi pada karakter angka (90 %) dan tanda baca (94%) ini sangat mungkin dikembangkan untuk mengenal karakter-karakter lain, misalnya huruf besar, huruf kecil, serta simbol-simbol.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Hendrawan, "OCR and Word Recognition for Document Understanding : Present Status and Development", Telematics Laboratory, Dept. of Electrical Engineering, Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2000.
- [2]. Mori, S.C.Y, and Yamamoto, K., "Historical Review of OCR Research and Development", Proceedings of the IEEE, vol. 80, pp. 1029-1058, 1992.
- [3]. Fausett, L., "Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms, and Applications", Prentice Hall, New Jersey, 1994.
- [4]. Kröse, Ben, and Van der Smagt, Patrick, "Introduction to Neural Networks", ed. 9, University of Amsterdam, 1996.
- [5]. Misiti, M., Oppenheim, G., and Poggi, J., "Wavelet Toolbox", The Math Work. Inc, 1996.
- [6]. Rao, B. Valluru dan Rao, V. Hayagriva, "C++ Neural Networks and Fuzzy Logic", Management Information Source, Inc., New York, 1993.