

Pengenalan Citra Tulisan Tangan Dengan Metode *Backpropagation*

Alphien Andana¹, Ratna Widyati², Med Irzal³

Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta
Jl. Rawamangun Muka Jakarta Timur 13320

E-mail: alphien55@gmail.com

ABSTRAK

Backpropagation merupakan salah satu metode pada jaringan syaraf tiruan yang sangat baik dalam menangani masalah pengenalan pola-pola kompleks, salah satunya adalah pengenalan citra tulisan tangan. Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah pembuatan sistem dengan menggunakan jaringan metode *backpropagation* untuk pengenalan citra tulisan tangan, proses analisis masalah yang dilakukan adalah dengan menentukan masalah, studi pustaka, mengumpulkan data-data penelitian, merancang sistem, membuat sistem dan menguji sistem. Dari hasil pengujian sistem diperoleh tingkat akurasi sistem dalam mengenali citra tulisan tangan dengan metode *Backpropagation* adalah sebesar 96%. Arsitektur jaringan yang digunakan adalah dengan variasi jumlah iterasi 22, *learning rate* 0,05 dan jumlah *neuron hidden layer* 40. Untuk kasus yang dibahas, arsitektur jaringan tersebut menghasilkan *Mean Square Error* (MSE) sebesar $4:48e-14$ dengan waktu training 123 detik.

Kata kunci : *backpropagation*, jaringan syaraf tiruan, kecerdasan buatan, citra tulisan tangan, pengenalan citra, GUI matlab, aplikasi pengenalan citra.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Salah satu objek pengembangan teknologi yang cukup pesat saat ini adalah pengembangan teknologi komputer. Pengembangan teknologi komputer ini dilakukan pada perangkat keras (*hardware*) serta perangkat lunak (*software*) yang dapat menirukan kecerdasan manusia (kecerdasan buatan). Salah satu teknik menirukan kecerdasan manusia adalah teknik pengenalan pola dengan metode jaringan syaraf tiruan.

Backpropagation merupakan metode pada jaringan syaraf tiruan yang sangat baik dalam menangani masalah pengenalan pola-pola kompleks. *Backpropagation* melatih jaringan untuk mendapatkan keseimbangan antara kemampuan jaringan untuk mengenali pola yang digunakan selama pelatihan serta kemampuan jaringan untuk memberikan respon yang benar terhadap pola masukan yang serupa (tetapi tidak sama) dengan pola yang dipakai selama pelatihan (Siang, 2005:97).

B. Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang akan dibahas pada skripsi ini adalah meliputi bagaimana proses pengolahan data input berupa citra tulisan tangan; bagaimana cara membuat sistem agar dapat mengenali citra tulisan tangan dengan menggunakan metode *backpropagation* pada *software* matlab; Arsitektur seperti apa yang baik digunakan pada kasus yang dibahas; angka berapa saja yang paling mudah dan paling sulit dikenali oleh sistem.

C. Tujuan Penulisan

Tujuan yang ingin dicapai dalam skripsi ini adalah untuk dapat membuat sebuah perangkat lunak yang dapat mengenali citra tulisan tangan khususnya untuk angka sembilan (9) sampai nol (0) dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan dengan metode *Backpropagation*.

D. Manfaat Penulisan

Diharapkan skripsi ini dapat menjawab keinginan tahanan penulis mengenai jaringan syaraf tiruan metode *backpropagation* serta menambah wawasan dan pengetahuan bagi penulis dan pembaca. Diharapkan pula skripsi ini dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya.

E. Metode Penelitian

Skripsi ini merupakan rekayasa produk dalam bidang matematika yang didasarkan pada buku-buku dan jurnal-jurnal tentang teori permasalahan dibidang matematika komputasi khususnya jaringan syaraf tiruan metode Backpropagation.

II. LANDASAN TEORI

A. Matriks

Sebuah Matriks adalah susunan segi empat siku-siku dari bilangan-bilangan (Anton, 1987:22-23). Notasi nama matriks biasanya menggunakan huruf kapital. Jika F adalah sebuah matriks, maka digunakan fxy untuk menyatakan entri atau elemen yang terdapat didalam baris x dan kolom y dari.

B. Rekayasa Citra Digital

1. Citra Digital

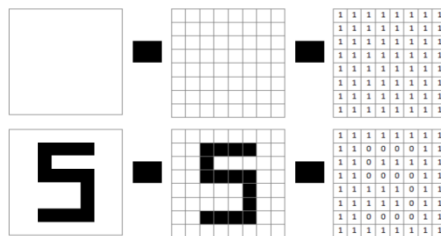
Sensor optik yang terdapat di dalam sistem pencitraan disusun sedemikian rupa sehingga membentuk bidang dua dimensi (x, y). Besar intensitas yang diterima sensor di setiap titik (x, y) disimbolkan oleh f(x, y) dan besarnya tergantung pada intensitas yang dipantulkan oleh objek. Besar f(x, y) merupakan kombinasi perkalian dari Jumlah cahaya yang berasal dari sumbernya (i(x, y)) dan Derajat kemampuan objek memantulkan cahaya (r(x, y)) $\rightarrow f(x, y) = i(x, y).r(x, y)$

2. Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra digital bertujuan untuk Memperbaiki kualitas citra serta mengekstrasi informasi ciri yang menonjol pada suatu citra . proses ini meliputi *image enhancement* (perbaikan kontras gelap/terang, perbaikan tepi objek, penajaman, dll); *image restoration* (penghilangan kesamaran (debluring)); *Image segmentation* (pendeteksian tepi objek); *Image compression* (Memperkecil ukuran citra).

3. Pengenalan Citra

Pengenalan pola merupakan mengelompokkan data numerik dan simbolik (termasuk citra) secara otomatis oleh mesin (komputer). Komputer memiliki cara pandang tersendiri terhadap suatu citra, biasa disebut sebagai computer vision.



Gambar.1 Komputer Vision (Digitalisasi Spasial)

4. Pengolahan Warna

Pengolahan warna citra merupakan salah satu bagian penting sebelum dilakukannya pengenalan pada citra. pengolahan warna ini nantinya dapat digunakan untuk mengekstrasi ciri citra guna memisahkan objek citra dengan backgroundnya .



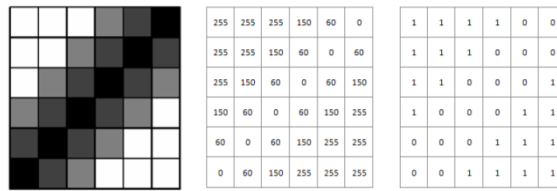
Gambar 2 : Citra RGB; Citra Gray; Citra Biner

5. Feature Extraction (Ekstraksi Ciri)

Satu cara yang jelas untuk mengekstrak obyek dari background adalah dengan memilih threshold T yang membagi mode-mode ini. Sembarang titik (x, y) untuk dimana $f(x, y) \leq T$ disebut object point, sedangkan yang lain disebut background point.

$$g(x, y) = \begin{cases} 0, & \text{jika } f(x, y) \leq T \\ 1, & \text{jika } f(x, y) > T \end{cases}$$

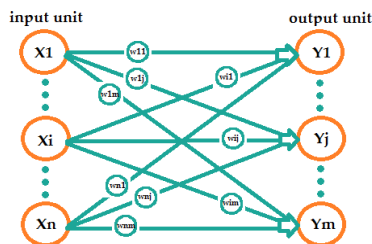
Berikut adalah contoh proses ekstraksi ciri dengan nilai $T = 128$



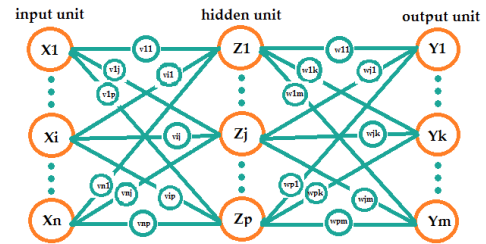
Gambar 3 : Proses Ekstraksi Ciri

C. Jaringan Syaraf Tiruan

Jaringan Syaraf Tiruan (JST) didenisikan sebagai suatu sistem pemrosesan informasi yang mempunyai karakteristik menyerupai jaringan syaraf manusia (Hermawan, 2006). Terdapat beberapa arsitektur jaringan syaraf tiruan, diantaranya adalah arsitektur layar tunggal dan layar jamak.



Gambar 4 : Arsitektur Layar Tunggal

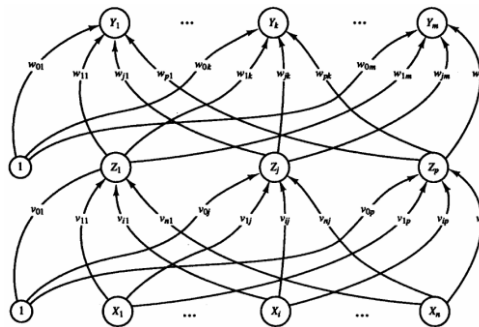


Gambar 5 : Arsitektur Layar Jamak

Jaringan layar tunggal merupakan sekumpulan input neuron dihubungkan langsung dengan sekumpulan outputnya. Sedangkan arsitektur layar jamak terdapat hidden unit diantara input unit dan output unit. Dibandingkan dengan layar tunggal, jaringan layar jamak dapat menyelesaikan masalah yang lebih kompleks, meskipun kadangkala proses pelatihan lebih kompleks dan lama.

D. Backpropagation

Menurut Kusumadewi (2003:116), dalam pelatihan dengan backpropagation sama halnya seperti pelatihan pada jaringan syaraf yang lain. Pada jaringan umpan maju (*feedforward*), pelatihan dilakukan untuk menghitung bobot sehingga pada akhir pelatihan akan diperoleh bobot-bobot yang baik. Selama proses pelatihan, bobot-bobot diatur secara iteratif untuk meminimumkan kesalahan (*error*) yang terjadi. Kesalahan dihitung berdasarkan rata-rata kuadrat kesalahan (MSE). MSE juga dijadikan dasar perhitungan untuk kerja fungsi aktivasi.



Gambar 6 : Arsitektur Backpropagation

Gambar 2.6 adalah arsitektur backpropagation dengan n unit masukan (ditambah sebuah bias), sebuah layar tersembunyi yang terdiri dari p unit (ditambah sebuah bias), serta m unit keluaran.

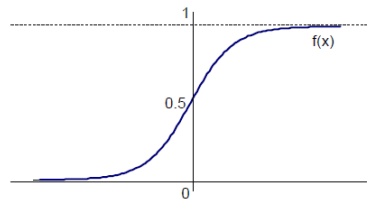
1. Fungsi Aktivasi

Fungsi aktivasi merupakan fungsi umum yang akan digunakan untuk membawa input pada layer input menuju layer di atasnya untuk mendapatkan output yang diinginkan. Fungsi aktivasi inilah yang akan merubah besarnya bobot. Fungsi aktivasi jaringan syaraf tiruan Backpropagation yang dipakai harus memenuhi beberapa syarat yaitu: kontinyu, terdiferensial dengan mudah, dan merupakan fungsi yang tidak turun (Siang, 2005:99). Berikut adalah beberapa fungsi aktivasi :

- **Sigmoid biner**

Fungsi sigmoid biner memiliki nilai antara 0 sampai 1.

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad \text{Dengan Turunan :} \quad f(x)(1 - f(x))$$

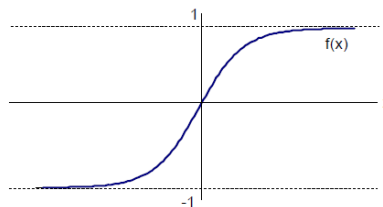


Gambar 7 : Grafik fungsi sigmoid biner

- **Sigmoid bipolar**

Fungsi sigmoid bipolar memiliki ini antara 1 sampai -1.

$$f(x) = \frac{2}{1 + e^{-x}} - 1 \quad \text{Dengan Turunan :} \quad \frac{1}{2}(1 + f(x))(1 - f(x))$$



Gambar 8 : Grafik fungsi sigmoid bipolar

2. Pelatihan Standar *Backpropagation*

Ada 3 fase pelatihan backpropagation menurut Siang (2005:100-104) yaitu sebagai berikut :

- **Fase 1 (Propagasi Maju)**

Setiap sinyal masukan propagasi maju dihitung maju dengan menggunakan fungsi aktivasi yang ditentukan dari layar input ke layar tersembunyi hingga layar keluaran.

- **Fase 2 (Propagasi Mundur)**

Kesalahan (selisih antara keluaran jaringan dengan target yang diinginkan) yang terjadi dipropagasi mundur mulai dari garis yang berhubungan langsung dengan unit-unit di layar keluaran. Untuk menentukan galat antara pola masukan dengan unit keluaran selama pelatihan, maka setiap unit keluaran membandingkan aktivasi dengan target keluaran yang telah ditentukan sebelumnya.

- **Fase 3 (Perubahan Bobot)**

Pada fase ini dilakukan modifikasi bobot guna menurunkan kesalahan yang terjadi. Galat yang diperoleh pada langkah 2 digunakan untuk mengubah bobot antara keluaran dengan lapisan tersembunyi.

III. PEMBAHASAN

A. Akuisisi Citra

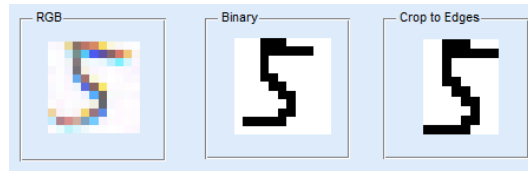
Akuisisi citra (Image Acquisition) merupakan proses pengambilan citra dengan menggunakan sebuah alat bantu pengambil gambar.

B. Study Kasus dan Data

Studi Kasus yang digunakan adalah dengan mengambil citra tulisan tangan berupa angka 9 (Sembilan) sampai 0 (Nol) dari 10 orang yang berbeda. Maka didapat 100 data yang kemudian dibagi menjadi 2 bagian yaitu 50 citra latih dan 50 citra uji. Citra latih akan digunakan untuk pembuatan jaringan serta proses pembelajaran jaringan, sedangkan citra uji digunakan untuk menguji jaringan.

C. Pengolahan Citra

Serangkaian proses pengolahan citra yang dilakukan pada penelitian ini meliputi proses cropping, mengubah citra RGB menjadi citra biner, cropping tepi objek.



Gambar 9 : Hasil Pengolahan Citra

D. Feature Extraction (Ekstraksi Ciri)

Pada proses ini, citra masukan dikodekan menurut pixel-nya. Tujuan dari proses ini adalah untuk memberi kode yang berbeda pada setiap karakter, sehingga karakter yang satu dengan karakter yang lain dapat dipisahkan berdasarkan kode atau karakteristik yang dimilikinya.

1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1
1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Gambar 10 : Matriks Pixel yang Dihasilkan Matlab

E. Perancangan Sistem

Tahap perancangan sistem bertujuan untuk mempersiapkan segala sesuatu yang dibutuhkan dan berhubungan dengan pembuatan sistem. Tahapan perancangan sistem meliputi serangkaian proses sebagai berikut.

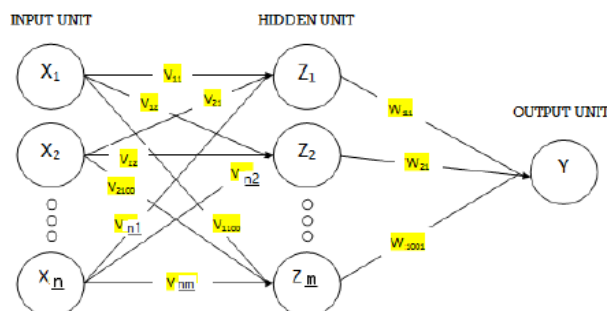
1. Perancangan Sistem Pelatihan

Sistem pelatihan merupakan bagian awal dari sistem pengenalan citra tulisan tangan. Sistem ini berfungsi untuk menyiapkan informasi-informasi yang akan digunakan dalam proses pengenalan citra tulisan tangan. Akan dilakukan beberapa tahap dalam proses ini, diantaranya adalah menentukan arsitektur jaringan syaraf tiruan, pada skripsi ini akan dilakukan beberapa variasi arsitektur seperti tabel berikut :

α	Jumlah Neuron <i>Hidden Layer</i>						
0.05	28	30	32	34	36	38	40
0.1	28	30	32	34	36	38	40

Tabel 1 : Variasi arsitektur JST

Selain itu juga ditentukan arsitektur *backpropagation* yang akan digunakan seperti gambar berikut :



Gambar 11 : Arsitektur *backpropagation*

Jaringan yang dibuat memiliki n buah masukan, tergantung dari ukuran pixel citra. m buah unit neuron hidden layer, tergantung pada variasi arsitektur JST yang digunakan. Serta 1 buah keluaran.

2. Perancangan Sistem Pengenalan

Langkah-langkah yang harus dilakukan pada perancangan sistem pengenalan sama halnya pada perancangan sistem pelatihan, yaitu proses pre processing kemudian dilanjutkan dengan proses

ekstraksi ciri untuk mendapatkan feature dari citra. Setelah feature diperoleh, langkah selanjutnya yaitu melakukan proses pelatihan dilanjutkan proses pengenalan citra.

F. Pembuatan Sistem

Software yang digunakan pada pembuatan sistem ini adalah Matlab R2012b, berikut adalah proses pembuatan sistem

1. Pengambilan Nilai Pixel dari Citra Data Latih

Citra data latih yang digunakan sebanyak 50 tulisan tangan, yang terdiri dari 10 karakter angka yang dituliskan oleh 5 orang berbeda. Pada proses ini akan dilakukan pengambilan pixel dari setiap citra dalam bentuk matriks persegi, ukuran matriks akan tergantung pada ukuran citra yang digunakan. Lalu kemudian matriks persegi tersebut dirubah menjadi vector 1xn agar dapat dioleh oleh sistem.

2. Pembuatan Jaringan

Pada sub bab sebelumnya penulis telah melakukan perancangan variasi learning rate dan jumlah neuron hidden layer pada pembuatan jaringan. Berikut adalah MSE yang dihasilkan, serta waktu pelatihan yang dibutuhkan untuk setiap variasi.

neuron hidden layer	Waktu Pelatihan (detik)	Epoch		MSE	
		$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.1$	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.1$
28	51	25	23	$5.76e - 14$	$1.04e - 09$
30	70	22	20	$5.31e - 14$	$4.07e - 10$
32	75	23	22	$4.99e - 14$	$7.92e - 10$
34	82	23	20	$5.95e - 14$	$2.58e - 09$
36	98	20	20	$5.39e - 14$	$1.84e - 10$
38	101	21	20	$5.88e - 14$	$6.40e - 10$
40	123	22	22	$4.48e - 14$	$8.65e - 10$

Tabel 2 : Nilai MSE yang Diperoleh dari Variasi Jaringan

Arsitektur jaringan yang akan digunakan adalah yang menghasilkan MSE terkecil, berikut adalah arsitektur jaringan yang digunakan : jumlah neuron hidden layer sebanyak 40; maksimal epoch sebanyak 1000; learning rate sebesar 0.05; data input berupa matriks pixel citra tulisan tangan; output target berupa angka 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10.

G. Tampilan Sistem

Tampilan sistem dibuat dengan menggunakan Graphical User Interface (GUI) pada matlab, berikut adalah hasil tampilannya :



Gambar 12 : Tampilan Saat Sistem Djalankan

IV. HASIL

A. Hasil Arsitektur JST

Setelah sistem dijalankan maka akan terlihat apakah sistem mampu mengenali citra tulisan tangan yang telah di-input. Dengan mengamati hasil pengenalan tersebut, maka dapat diketahui berapa

banyak citra yang mampu dikenali oleh sistem. Dari jumlah citra tulisan tangan yang mampu dikenali oleh sistem, dapat dihitung recognition rate nya dengan rumus

$$Recognition Rate = \frac{\text{Jumlah citra yang berhasil dikenali}}{\text{Jumlah semua citra yang diujikan}} * 100\%$$

Analisis hasil dapat dilihat pada Tabel berikut :

α	jumlah neuron hidden layer	epoch	MSE	Waktu Pelatihan Jaringan	citra latih yang dikenali	citra uji yang dikenali	recognition rate
0.05	40	22	$4.48e - 14$	123 detik	50	46	96%

Tabel 3 : Analisis Hasil Variasi Arsitektur JST Backpropagation

B. Hasil Pengenalan Citra Oleh Sistem

Citra yang di-input dalam sistem untuk dikenali merupakan citra yang telah di-training (citra latih) dan citra yang belum di-training (citra uji). Berikut hasil pengenalan oleh sistem:

orang ke -	Citra Angka									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabel 4 : Hasil Pengenalan Citra Latih

orang ke -	Citra Angka									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓
4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	✓	✓	✓	x	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabel 5 : Hasil Pengenalan Citra Latih

	berhasil dikenali	Gagal dikenali
Citra Latih	50	0
Citra Uji	46	4
TOTAL	96	4

Tabel 6 : Total Hasil Pengenalan

Citra Angka	jumlah Citra	Berhasil Dikenali	Recognition Rate
1	10	10	100%
2	10	10	100%
3	10	10	100%
4	10	8	80%
5	10	8	80%
6	10	10	100%
7	10	10	100%
8	10	10	100%
9	10	10	100%
10	10	10	100%

Tabel 7 : Persentase Keberhasilan Sistem Mengenali Angka

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa angka yang paling mudah untuk dikenali sistem adalah angka 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 0 dengan Recognition Rate sebesar 100%. dan angka yang paling sulit dikenali sistem adalah angka 4 dan 5 dengan Recognition Rate sebesar 80%.

C. Analisis Hasil Kerja Sistem

Dari hasil pengujian sistem diperoleh hasil pengenalan tulisan tangan metode backpropagation sebesar 96%. Akan dijelaskan sebab kecenderungan sistem mengalami kesalahan dalam mengenali citra, dengan kata lain sistem mengenali citra tulisan tangan tidak sesuai dengan tulisan tangan yang diujikan. Beberapa penyebab kegagalan sistem dalam mengenali tulisan tangan adalah 1. Tingkat ketajaman dan ketebalan sistem; 2. Ukuran dan bentuk tulisan; 3. Persentasi keutuhan setiap digit citra; 4. Hasil perhitungan bobot.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian, pengolahan citra, perancangan, pembuatan, hingga pengujian sistem menggunakan metode backpropagation pada penelitian ini, didapatkan simpulan sebagai berikut.

1. Proses pengenalan citra tulisan tangan dimulai dengan mengambil nilai pixel dari citra uji dan citra latih yang merupakan input sistem. Kemudian dilakukan pembuatan jaringan serta pembuatan tampilan sistem dengan menggunakan Graphical User Interface (GUI) pada matlab. Setelah jaringan dilatih, maka jaringan dapat digunakan oleh sistem untuk mengenali citra tulisan tangan.
2. Tingkat kecocokan dan akurasi hasil pengenalan dipengaruhi oleh nilai parameter yang digunakan dalam proses pembelajarannya. Pada penelitian ini parameter terbaik yang digunakan learning rate = 0,05 dan jumlah hidden layer = 40 serta 1000 maksimal epoch.
3. Terdapat 96 (96%) hasil pengenalan cocok dengan menggunakan metode backpropagation dari total pengenalan citra sebanyak 50 citra latih dan 50 citra uji. Diperoleh waktu training selama 123 detik dan waktu pengenalan selama 2 detik.
4. Dari hasil pengujian, diperoleh angka yang paling mudah dikenali oleh sistem adalah angka 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 0 dengan Recognition Rate sebesar 100%, dan angka yang paling sulit dikenali sistem adalah angka 4 dan 5 dengan Recognition Rate sebesar 80%.

B. Saran

Dari hasil penelitian, pengolahan citra, perancangan, pembuatan, hingga pengujian sistem menggunakan metode backpropagation, saran yang dapat ditulis untuk penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Dapat digunakan variasi-variasi arsitektur jaringan lain dalam pembuatan jaringan, dengan mengatur jumlah neuron hidden layer maupun learning rate .
2. Pada penelitian berikutnya dapat dikembangkan dengan membuat sistem untuk mengenali angka lebih dari 1 digit.
3. Pada penelitian berikutnya dapat digunakan metode lain guna dapat dibandingkan dengan metode Backpropagation.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad F.A. 2009. Perangkat Lunak Pengkonversi Teks Tulisan Tangan Menjadi Teks Digital. Skripsi. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Ahmad, A. M., Ismail, S., & Samaon, D. F. 2005. *Recurrent Neural Network with Backpropagation through Time for Speech Recognition. International Symposium on Communications and Information Technologies*. Oktober 26-29.
- Ardhianto, E., Munawaroh, S. & Prihandono, A. 2011. "Pengolahan Citra Digital untuk Identifikasi Ciri Sidik Jari Berbasis Minutiae". *Jurnal Teknologi Informatika DINAMIK*. 16(1): 3.

- Cahyono, G.P. 2006. Sistem Pengenalan Barcode Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Learning Vector Quantization. FMIPA ITS.
- Erico, D.H, Lydia W.S. 2011. "Penerapan Jaringan Syaraf Tiruan Metode Propagasi Balik Dalam Pengenalan Tulisan Tangan Huruf Jepang Jenis Hiragana dan Katakana". Jurnal Informatika, Vol. 7, No.1
- Gonzales, R. C., dkk. 2002. "*Digital Image Processing Using Matlab*". Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ
- Hermawan, A. 2006. Jaringan Syaraf Tiruan: Teori dan Aplikasi. Yogyakarta: ANDI
- Iqbal, M. 2009. "Dasar Pengolahan Citra Menggunakan MATLAB". Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan ITB
- Kusumadewi, S. 2003. "*Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya)*". Yogyakarta: Graha Ilmu
- Prasetyo, E. 2011. "Pengolahan Citra Digital dan Aplikasinya Menggunakan Matlab". Yogyakarta: ANDI
- Pratiarso, A., dkk. 2009. "Perbandingan Metode POC, *Backpropagation*, Coding Pada Pembacaan Plat Nomor Kendaraan Berbasis *Image Processing*". Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.
- Raheja, J.L, dan Kumar, U. 2010. "*Human Facial Expression Detection From Detected In Captured Image Using Propagation Neural Network*". *Internasional journal of Computer science and information technologi (IJCSIT)*. 2 (1): 7
- Saeed Al-Mansoori Int.2015. "*Intelligent Handwritten Digit Recognition using Artificial Neural*". ISSN:2248-9622, Vol. 5, Issue 5, (part 3)
- Sari, Z. W. 2010. "Pengenalan Pola Golongan Darah Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan *Backpropagation*". Skripsi. Malang: Jurusan Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Malang
- Siang, J.J. 2005. "Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya Menggunakan MATLAB". Yogyakarta: ANDI
- Wuryandari, M.D. dan Afrianto, I. 2012. Perbandingan Metode Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* Dan Learning Vector Quantization Pada Pengenalan Wajah. Jurnal Komputer dan Informatika (KOMPUTA). 1(1): 1
- Zakson, A.M, 2013. "Jaringan Syaraf Tiruan Algoritma *Backpropagation* untuk Menentukan Kelulusan Sidang Skripsi". ISSN:2301-9425