

# Pengenalan *Hand Gesture* Dinamis Menggunakan JST Metode Pembelajaran Backpropagation

Yuan Lukito, Agus Harjoko

**Abstract**— Utilization of hand gestures to interact with a computer has multiple advantages over conventional input devices such as mouse or keyboard. Thus, it is necessary to develop a system that can recognize hand gestures and translated into a command to be executed by a computer. Many researches for recognizing hand gestures in real time still face challenges from hand position tracking problem and discoveries of optimum recognition method is needed. The developed system consists of acquisition, training and recognition process. Acquisition process is achieved using steps in digital image processing such as segmentation, dilation and erosion, convex hull and convexity defect to continuously estimate hand position and acquire hand movement path. Hand position coordinates is processed and normalized into image for training and identification. Recognition result acquired from output of trained artificial neural network and interpreted into command for computer. In the experiments, the developed system has 96.97% success rate on hand gesture acquisition process. Highest recognition rate acquired is 95.24% with 30x30 pixel normalized image size. Normalized image with 30x30 pixel size gives higher recognition rate than other size. Increasing training data from 330 to 550 improves overall average recognition rate from 78.04% to 88.96%.

**Keywords**—hand gesture, pattern recognition, neural networks, backpropagation

## 1. PENDAHULUAN

Penelitian mengenai *Human Computer Interaction* (HCI) terus mengalami perkembangan, terutama untuk permasalahan perangkat masukan (*input device*) yang digunakan untuk berinteraksi dengan komputer. Perangkat mekanis seperti *mouse*, *keyboard* dan *joystick* masih dominan dan umum digunakan. Walaupun banyak digunakan, sebenarnya perangkat masukan tersebut memiliki beberapa kelemahan, salah satu diantaranya adalah tidak alami bagi manusia. Hal ini disebabkan karena manusia sudah terbiasa berkomunikasi dengan sesama manusia menggunakan media komunikasi suara disertai bentuk posisi tubuh (*body pose*) dan gerakan tangan (*hand gesture*).

Penggunaan *hand gesture* memiliki beberapa kelebihan dibanding perangkat masukan konven-

sional seperti *mouse* atau *keyboard*, yaitu dalam hal banyaknya variasi masukan yang dapat dilakukan, lebih mudah dilakukan, lebih alami, lebih interaktif dan membutuhkan proses pembelajaran yang relatif lebih singkat [1]. Dari beberapa kelebihan *hand gesture* tersebut, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaannya sebagai pelengkap atau pengganti alat input konvensional. Penelitian mengenai penggunaan *hand gesture* dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu *hand gesture* statis dan *hand gesture* dinamis.

Penelitian-penelitian mengenai penggunaan *hand gesture* dinamis umumnya dilakukan untuk keperluan yang bersifat khusus, seperti pada penelitian [2] yang menerapkan *hand gesture* sebagai pengontrol untuk *videogame*. Penggunaan *hand gesture* dapat menggantikan perangkat mekanis *mouse* atau *keyboard*, seperti yang dilakukan pada penelitian [3]. Perangkat elektronik di dalam mobil juga dapat dikontrol menggunakan beberapa *hand gesture* sederhana [4]. [5] melakukan penelitian mengenai penggunaan *hand gesture* bagi dokter untuk melihat kumpulan gambar-gambar medis pada lingkungan steril. Penggunaan *hand gesture* untuk sistem Smart TV diteliti oleh [6] yang difokuskan pada pengenalan angka yang diberikan melalui *hand gesture*. [7] melakukan penelitian penggunaan *hand gesture* untuk mengendalikan robot jarak jauh.

Sebuah sistem pengenalan *hand gesture* dapat dibagi menjadi dua tahap, yaitu tahap akuisisi *hand gesture* dan tahap pengenalan (*recognition*). Tahap akuisisi merupakan proses untuk mendapatkan pola *hand gesture* yang dilakukan oleh pengguna sistem tersebut. Untuk *hand gesture* dinamis tahapannya terdiri dari *hand detection*, *hand segmentation* dan *hand tracking*. Untuk proses *hand tracking* dapat dibagi menjadi dua macam, yaitu dalam bidang dua dimensi atau dalam bidang tiga dimensi. Pada tahap pengenalan dilakukan proses identifikasi atau proses pengelompokan (*clustering*) untuk menginterpretasikan *hand gesture* yang didapatkan dari tahap akuisisi.

Terdapat berbagai macam metode untuk proses identifikasi seperti metode *Finite State Machine* (FSM), metode statistik seperti metode *Hidden*

*Markov Model* (HMM) atau penggunaan Jaringan Syaraf Tiruan (JST).

Pada sistem pengenalan *hand gesture*, sistem diharapkan dapat bekerja dalam kecepatan tinggi (*real-time*) dan memiliki akurasi pengenalan yang tinggi. Untuk mencapai tujuan tersebut, metode-metode yang digunakan untuk pengenalan adalah metode-metode yang dapat bekerja dalam kecepatan tinggi, tidak membutuhkan waktu lama untuk proses komputasinya. Jaringan syaraf tiruan memiliki kecepatan yang tinggi untuk digunakan dalam proses pengenalan, walaupun memiliki kelemahan pada proses pelatihan yang membutuhkan waktu relatif lama.

Pergerakan tangan dari proses *hand tracking* akan membentuk pola seperti tulisan tangan jika dipetakan dalam bidang dua dimensi. Pola pergerakan tangan dapat dianggap sebagai sebuah pola tulisan tangan. Beberapa penelitian mengenai pengenalan tulisan tangan menggunakan jaringan syaraf tiruan menghasilkan tingkat akurasi yang cukup baik, seperti pada penelitian [8] untuk pengenalan tulisan tangan yang berupa karakter, penelitian [9] untuk pengenalan tulisan tangan yang berupa aksara Jawa Nglenggo, penelitian [10] untuk pengenalan aksara Bali tercetak dan penelitian mengenai pengenalan aksara Lontara Bugis-Makassar oleh [11].

Penelitian ini akan mengkaji dan mengimplementasikan sistem pengenalan *hand gesture* dinamis menggunakan jaringan syaraf tiruan, dengan pendekatan sistem pengenalan tulisan tangan. Diharapkan penelitian ini akan menghasilkan sebuah sistem pengenalan *hand gesture* dinamis yang dapat bekerja secara *real-time* dan memiliki akurasi yang cukup tinggi.

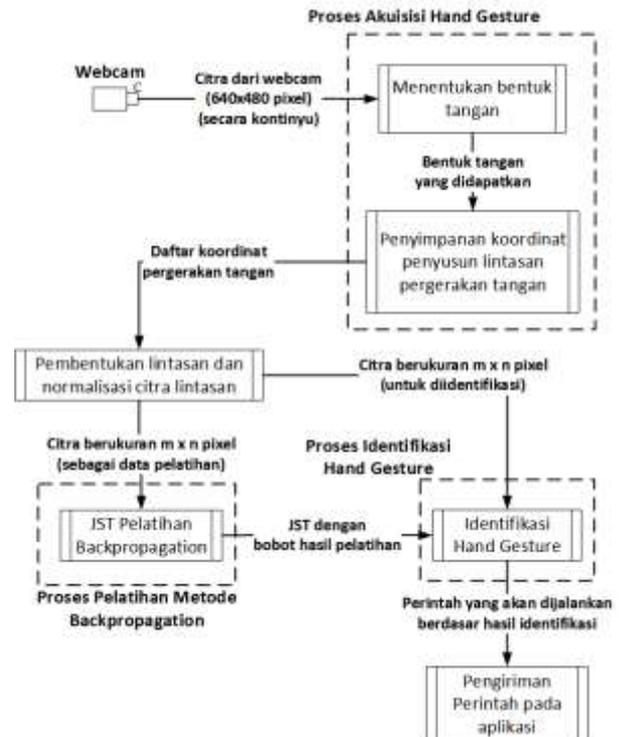
## 2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini sistem pengenalan *hand gesture* dinamis dibagi menjadi tiga proses utama yaitu proses akuisisi, proses pelatihan metode *backpropagation* dan proses identifikasi.

### 2.1 Diagram Alir Sistem

Hubungan antara proses akuisisi *hand gesture*, pelatihan dan identifikasi dapat dilihat pada Gambar 1. Proses akuisisi bertujuan untuk mendapatkan lintasan pergerakan tangan yang dilakukan dalam beberapa tahap yaitu segmentasi tangan berdasarkan warna kulit [2], dilasi [12], erosi [12], perhitungan *contour*, *convex*, *convex hull*, *convexity defect* dan penentuan bentuk dan posisi tangan. Perhitungan bentuk dan posisi tangan dilakukan secara kontinyu untuk mendapatkan lintasan pergerakan tangan. Lintasan pergerakan tangan kemudian diproses menjadi citra dan dinormalisasi menjadi citra hitam-putih berukuran  $30 \times 30$  pixel,  $36 \times 25$  pixel dan  $25 \times 36$  pixel untuk dicari ukuran dengan hasil tingkat akurasi terbaik.

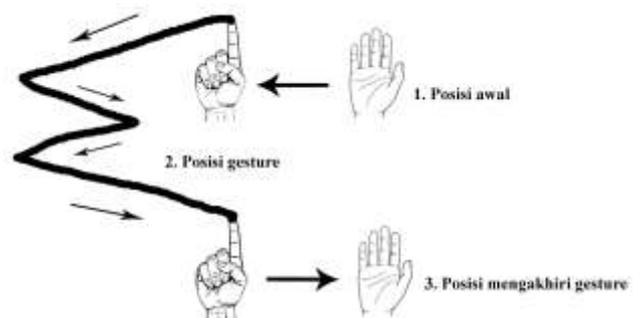
Proses pelatihan dengan metode *backpropagation* dilakukan dengan masukan citra hasil pemrosesan awal dan normalisasi untuk mendapatkan bobot-bobot pada jaringan syaraf tiruan. Proses identifikasi dilakukan dengan menghitung keluaran yang dihasilkan oleh citra masukan untuk kemudian diidentifikasi sebagai perintah yang harus dijalankan oleh komputer.



Gambar 1 Diagram alir sistem

### 2.2 Proses Akuisisi Hand Gesture

Proses akuisisi bertujuan untuk mendapatkan lintasan pergerakan tangan yang disusun dari titik-titik koordinat posisi tangan dalam rentang waktu tertentu. Pada penelitian ini didefinisikan bentuk tangan untuk melakukan *hand gesture* seperti pada Gambar 2.



Gambar 2 Bentuk tangan untuk melakukan *hand gesture*

Proses akuisisi dilakukan dengan pemrosesan citra digital yang didapatkan dari *webcam* secara kontinyu. Diagram alir proses akuisisi dapat dilihat pada Gambar 3.

Citra berukuran  $640 \times 480$  pixel yang didapatkan dari *webcam* disegmentasi dalam ruang warna HSV untuk mendapatkan area tangan. Kemudian

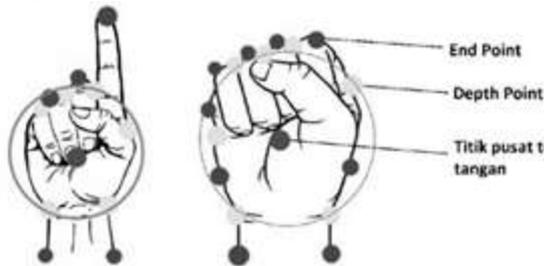
dilanjutkan dengan proses ekstraksi *contour*, *convex hull* dan *convexity defect* untuk melakukan estimasi bentuk dan posisi tangan yang diwakili oleh ujung jari.

Estimasi bentuk tangan didapatkan dari *depth point* pada *convexity defect* dan hubungan antara titik pusat



Gambar 3 Diagram alir proses akuisisi

tangan dengan *end point* sebagai estimasi posisi jari tangan, seperti pada Gambar 4.



Gambar 4 End point dan depth point untuk estimasi bentuk tangan

### 2.3 Pemrosesan Awal dan Normalisasi

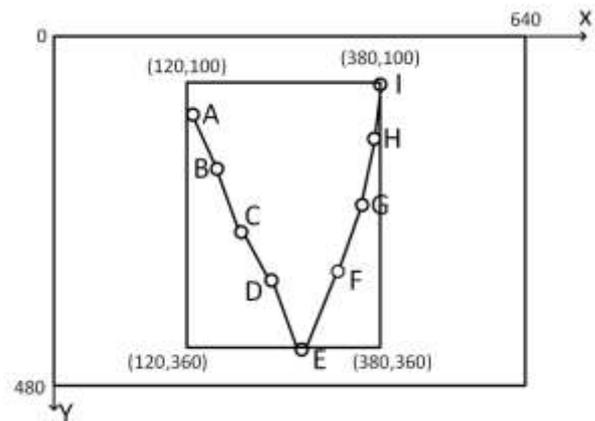
Kumpulan titik posisi tangan dari proses akuisisi kemudian diubah menjadi citra berisi lintasan pergerakan tangan. Pengubahan dilakukan dengan membentuk citra berukuran  $640 \times 480$  pixel, kemudian titik-titik posisi tangan digambar pada citra tersebut dan dihubungkan secara berukuran sehingga membentuk lintasan pergerakan tangan. Langkah berikutnya adalah melakukan pemotongan (*cropping*) sesuai dengan ukuran lintasan yang terbentuk seperti contoh pada Gambar 5. Citra tersebut kemudian diubah ukurannya menjadi  $m \times n$  pixel, dalam penelitian ini ditentukan ukuran  $30 \times 30$  pixel,  $36 \times 25$  pixel dan  $25 \times 36$  pixel yang digunakan dalam pengujian.

### 2.4 Pelatihan Metode Backpropagation

Jaringan syaraf tiruan yang digunakan terdiri dari tiga lapisan yaitu lapisan masukan, lapisan tersembunyi dan lapisan keluaran. Jumlah *neuron* pada lapisan masukan ditetapkan sejumlah 900 *neuron* dan jumlah *neuron* pada lapisan keluaran

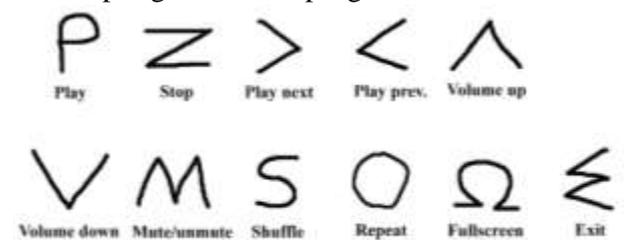
adalah 11 *neuron* sesuai dengan jumlah kelas identifikasi yang digunakan.

Kelas identifikasi berjumlah 11 yang masing-masing diinterpretasikan sebagai sebuah perintah yang harus dijalankan oleh komputer dengan bentuk seperti pada Gambar 6.



Gambar 5 Contoh pembentukan lintasan tangan dari titik-titik koordinat posisi tangan

Jumlah *neuron* pada lapisan tersembunyi dicoba dengan jumlah 20, 40, 60, 80, 100 dan 120 untuk mendapatkan jaringan dengan tingkat akurasi terbaik. Fungsi aktivasi yang digunakan adalah fungsi *sigmoid* yang menghasilkan keluaran pada rentang 0...1. Laju pembelajaran ditetapkan 0,1, nilai momentum 0,9, jumlah *epoch* maksimum 3000 *epoch* dan nilai *error* minimum (MSE) sebesar 0,0001. Pelatihan dilakukan dalam dua tahap, dengan 330 data pelatihan dan 550 data pelatihan untuk melihat pengaruh jumlah data pelatihan terhadap tingkat akurasi pengenalan sistem.



Gambar 6 Pola hand gesture yang digunakan dan interpretasinya

### 2.5 Proses Identifikasi Hand Gesture

Proses identifikasi dilakukan dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan yang telah dilatih sebelumnya dengan metode *backpropagation*. Citra masukan yang akan diidentifikasi dibaca nilai-nilai *pixel*-nya untuk dimasukkan ke dalam lapisan masukan. Langkah berikutnya adalah menghitung keluaran dari jaringan syaraf tiruan tersebut kemudian ditentukan hasil kelas identifikasi berdasarkan indeks nilai keluaran terbesar (*the biggest is the winner*). Hasil dari proses identifikasi ini kemudian diinterpretasikan sebagai sebuah perintah yang harus dijalankan oleh komputer. Perintah dikirimkan menggunakan *event keypress*

pada aplikasi yang dituju. Pada penelitian ini aplikasi yang dikontrol adalah Windows Media Player.

## 2.6 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan dalam dua bagian, yaitu pengujian tingkat keberhasilan proses akuisisi dan pengujian tingkat akurasi pengenalan *hand gesture*.

### 2.6.1 Pengujian akuisisi

Pengujian tingkat keberhasilan proses akuisisi menggunakan parameter uji kondisi cahaya ruangan dan jarak tangan ke *webcam*, seperti pada Tabel 1.

**Tabel 1 Kondisi pengujian tingkat keberhasilan akuisisi**

No.	Kondisi cahaya ruangan	Jarak tangan ke webcam
1	Pencahayaan kurang terang	50-60 cm
2	Pencahayaan kurang terang	100-120 cm
3	Pencahayaan terang	50-60 cm
4	Pencahayaan terang	100-120 cm

Data uji yang digunakan berupa rekaman video berisi 33 *hand gesture*. Tingkat keberhasilan akuisisi akan dihitung berdasarkan perbandingan jumlah *hand gesture* yang terakuisisi dengan benar dan jumlah *hand gesture* keseluruhan yang diujikan, seperti pada persamaan (1).

$$\text{tingkat keberhasilan} = \frac{\text{jumlah hand gesture terakuisisi dengan benar}}{\text{jumlah hand gesture keseluruhan}} \times 100\% \quad (1)$$

### 2.6.2 Pengujian tingkat akurasi pengenalan

Pengujian tingkat akurasi pengenalan dilakukan dalam dua tahap, yaitu dengan 330 data pelatihan dan 550 data pelatihan dengan tujuan untuk melihat pengaruh jumlah data pelatihan terhadap tingkat akurasi pengenalan yang didapatkan. Untuk masing-masing tahap tersebut digunakan tiga macam ukuran citra hasil normalisasi yaitu 30x30, 36x25 dan 25x36 *pixel* untuk melihat pengaruh ukuran citra hasil normalisasi terhadap tingkat akurasi sistem. Jaringan syaraf tiruan yang digunakan akan dicobakan variasi jumlah neuron pada lapisan tersembunyi sebanyak 20, 40, 60, 80, 100 dan 120 untuk mendapatkan jaringan dengan tingkat akurasi terbaik.

Data uji yang digunakan berupa rekaman video berisi 88 *hand gesture* yang harus diidentifikasi dengan benar. Tingkat akurasi pengenalan didapatkan dari perbandingan jumlah *hand gesture* yang teridentifikasi dengan benar dan jumlah *hand gesture* yang diujikan, seperti pada persamaan (2).

$$\text{akurasi} = \frac{\text{teridentifikasi benar}}{\text{jumlah keseluruhan}} \times 100\% \quad (2)$$

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Hasil Pengujian Akuisisi

Dari hasil pengujian didapatkan tingkat keberhasilan akuisisi tertinggi sebesar 96,97% untuk kondisi ruangan dengan pencahayaan terang dan jarak tangan ke *webcam* antara 50-60 cm. Hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2 Hasil pengujian tingkat keberhasilan akuisisi**

No.	Kondisi pencahayaan ruangan dan jarak ke webcam	Tingkat keberhasilan
1	Pencahayaan kurang terang, 50-60cm	63,64%
2	Pencahayaan kurang terang, 100-120cm	39,40%
3	Pencahayaan terang, 50-60cm	96,97%
4	Pencahayaan terang, 100-120cm	84,85%

### 3.2 Hasil Pengujian Tingkat Akurasi Pengenalan

Pengujian tingkat akuisisi dilakukan dengan menggunakan data uji berupa video berisi 88 *hand gesture* yang harus diidentifikasi. Tingkat keberhasilan akuisisi untuk data uji tersebut adalah 95,5% sehingga menghasilkan 84 *hand gesture* yang berhasil diakuisisi dengan benar. Pengujian tingkat akurasi pengenalan dilakukan terhadap 84 *hand gesture* tersebut.

Pelatihan metode backpropagation dilakukan dengan berbagai kombinasi parameter seperti jumlah neuron tersembunyi (6 macam), ukuran citra hasil pemrosesan awal (3 macam) sehingga secara keseluruhan terdapat 18 jaringan syaraf tiruan. Hasil dari pengujian tahap pertama dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3 Hasil pengujian dengan 330 data pelatihan**

Ukuran citra	Neuron pada hidden layer	Nilai error (pelatihan)	Tingkat akurasi (%)
30x30 pixel	20	1,1025E-05	85,71
	40	1,3338E-05	79,76
	60	1,8103E-05	72,62
	80	4,5424E-05	79,76
	100	3,2001E-06	83,33
	120	2,7917E-05	88,10
36x25 pixel	20	1,9444E-05	80,95
	40	3,4387E-07	77,38
	60	2,9426E-05	76,19
	80	4,7522E-05	78,57
	100	3,1119E-06	72,62
	120	1,6466E-05	80,95
25x36 pixel	20	1,9290E-06	75,00
	40	1,9268E-06	77,38
	60	4,7068E-06	77,38
	80	2,1666E-05	71,43
	100	2,2374E-07	72,62
	120	8,2899E-06	75,00

Pengujian pada tahap pertama dengan 330 data pelatihan menghasilkan tingkat akurasi tertinggi sebesar 88,10% untuk citra masukan berukuran 30x30 *pixel* dan neuron pada lapisan tersembunyi sebanyak 120 neuron. Dari hasil pengujian

didapatkan jumlah neuron pada lapisan tersembunyi relatif kecil pengaruhnya terhadap tingkat akurasi yang didapatkan.

Pengujian kembali dilakukan pada tahap kedua dengan menggunakan 550 data pelatihan. Hasil pengujian tahap kedua dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4 Hasil pengujian dengan 550 data pelatihan**

Ukuran citra	Neuron pada hidden layer	Nilai error (Pelatihan)	Tingkat akurasi (%)
30x30 pixel	20	9,4396E-06	92,86
	40	1,7897E-05	92,86
	60	7,5839E-06	85,71
	80	7,5606E-06	86,90
	100	6,7440E-06	89,29
	120	1,0027E-06	95,24
36x25 pixel	20	1,2877E-05	82,14
	40	7,9552E-06	92,86
	60	8,9442E-07	86,90
	80	3,8734E-06	86,90
	100	9,5981E-05	85,71
	120	4,8187E-05	88,10
25x36 pixel	20	3,8896E-05	91,67
	40	7,3908E-05	89,29
	60	1,2704E-05	94,05
	80	1,5882E-05	90,48
	100	9,3917E-06	79,76
	120	7,7095E-06	90,48

Pada pengujian tahap kedua ini didapatkan kenaikan tingkat akurasi pengenalan secara keseluruhan. Tingkat akurasi tertinggi didapatkan sebesar 95,24% dengan citra masukan berukuran 30x30 pixel dan 120 neuron pada lapisan tersembunyi. Tingkat akurasi tersebut mengalami kenaikan dibandingkan dengan tingkat akurasi pada percobaan dengan data pelatihan sebanyak 330 data.

Dari hasil pengujian tahap pertama (330 data pelatihan) dan tahap kedua (550 data pelatihan) dapat disimpulkan penambahan data pelatihan dapat meningkatkan tingkat akurasi pengenalan secara keseluruhan. Ukuran citra masukan 30x30 pixel merupakan ukuran yang memberikan tingkat akurasi terbaik dalam dua tahap pelatihan. Rata-rata akurasi sistem secara keseluruhan juga meningkat dari 78,04% dengan 330 data pelatihan menjadi 88,96% untuk 550 data pelatihan. Ringkasan perbandingan hasil pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5 Ringkasan hasil pengujian 330 dan 550 data pelatihan**

Kriteria	Dengan 330 data pelatihan	Dengan 550 data pelatihan
Tingkat akurasi tertinggi	88,10%	95,24%
Tingkat akurasi terendah	71,43%	79,76%
Rata-rata tingkat akurasi (keseluruhan)	78,04%	88,96%

#### 4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini antara lain:

1. Proses akuisisi *hand gesture* mendapatkan hasil terbaik dengan tingkat keberhasilan 96,97% untuk kondisi ruangan dengan cahaya terang dan jarak ke *webcam* antara 50-60 cm. Tingkat keberhasilan terendah, yaitu 39,4% didapatkan pada kondisi ruangan dengan pencahayaan kurang terang dan jarak ke *webcam* antara 100-120 cm.
2. Ukuran citra masukan hasil pemrosesan awal dan normalisasi sebesar 30x30 pixel memberikan hasil tingkat akurasi rata-rata tertinggi dibanding ukuran lainnya. Tingkat akurasi tertinggi didapatkan sebesar 95,24% untuk citra masukan berukuran 30x30 pixel dan jumlah neuron pada lapisan tersembunyi adalah 120 neuron.
3. Penambahan data pelatihan dari 330 menjadi 550 data pelatihan secara keseluruhan meningkatkan tingkat akurasi pengenalan *hand gesture* dinamis. Tingkat akurasi tertinggi adalah 95,24% dengan parameter citra masukan berukuran 30x30 pixel dan 120 neuron pada lapisan tersembunyi untuk proses pelatihan dengan metode *backpropagation*. Tingkat akurasi tersebut mengalami kenaikan dari 88,10% pada pengujian sebelumnya dengan data pelatihan berjumlah 330 data. Tingkat akurasi rata-rata keseluruhan juga meningkat dari 78,04% untuk 330 data pelatihan menjadi 88,96% untuk 550 data pelatihan.

#### 5. SARAN

Saran yang dapat diberikan untuk pengembangan lebih lanjut berdasarkan kelemahan-kelemahan yang dimiliki oleh sistem pengenalan *hand gesture* dinamis ini antara lain:

1. Tingkat keberhasilan proses akuisisi sangat mempengaruhi tingkat akurasi pengenalan *hand gesture* dinamis, karena itu perlu dikembangkan lagi metode penentuan posisi tangan yang lebih baik dan lebih akurat
2. Terdapat banyak kombinasi parameter untuk proses pelatihan dengan metode *backpropagation* yang membutuhkan waktu relatif lama untuk dilakukan semuanya. Untuk mempersingkat waktu pelatihan dapat dicoba dengan menggunakan algoritma genetika atau algoritma lainnya
3. Kesalahan pengenalan disebabkan oleh banyak faktor, antara lain karakteristik data pelatihan, pemilihan parameter pelatihan dan dari proses akuisisi. Penelitian berikutnya diharapkan dapat mencoba alternatif metode pelatihan selain

*backpropagation* serta mencoba data pelatihan yang lebih banyak jumlah dan variasinya.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada FTI UKDW yang telah memberi dukungan finansial terhadap penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wu, Y., Huang, T. S., 1999, Vision Based Gesture Recognition: A Review, *Lecture Notes in Computer Science: Gesture-Based Communication in Human-Computer Interaction*, Springer Berlin, Heidelberg.
- [2] Manresa, C., Varona, J., Mas, R. dan Perales, F. J., 1999, Real-Time Hand Tracking and Gesture Recognition for Human-Computer Interaction, *J. Electronic Letters on Computer Vision and Image Analysis*, 2, 1-7.
- [3] Kurata, T., Okuma, T., Kourogi, M. dan Sakaue, K., 2001, The Hand Mouse: GMM Hand-color Classification and Mean Shift Tracking, *Prosiding IEEE ICCV Workshop on RATFG-RTS*, Vancouver.
- [4] Zobl, M., Geiger, M., Schuller, B., Lang, M. dan Rigoll, G., 2003, A Realtime System for Hand Gesture Controlled Operation of In-Car Devices, *Prosiding International Conference on Multimedia and Expo (ICME '03)*, Baltimore.
- [5] Wachs, J., Stern, H., Edan, Y., Gillam, M., Feied, C., Smith, M. dan Handler, J., 2007, Real-Time Hand Gesture Interface for Browsing Medical Images, *J. Intel. Comp. Med.*, 1, 175-185.
- [6] Wu, H., Chen, X. dan Li, G., 2012, Simultaneous Tracking and Recognition of Dynamic Digit Gestures for Smart TV Systems, *Prosiding Fourth International Conference on Digital Home*, Guangzhou.
- [7] Tara, R. Y., Centroid Distance Fourier Description for Shape-Based Hand Gesture Recognition In Mobile Robot Teleoperation, *Tesis*, Magister Teknologi Informasi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [8] Sitorus, S. H., 2003, Pengenalan Karakter Tulisan Tangan Dengan Menggunakan Cell Matriks pada Metode Supervised Learning, *Tesis*, S2 Ilmu Komputer, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [9] Nugraha, A. W., 2009, Pengenalan Pola Tulisan Tangan Aksara Jawa Ngegeno Dengan Multiclass Support Vector Machines (SVM), *Tesis*, S2 Teknik Elektro, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [10] Sunarya, M. G., 2012, Pengenalan Aksara Bali Tercetak Pada Citra Dokumen Menggunakan Multi Layer Perceptron Dengan Pembelajaran Backpropagation, *Tesis*, S2 Ilmu Komputer, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [11] Alwi, A., 2010, Pengenalan Pola Huruf-huruf Lontara Bugis-Makassar Dengan Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Metode Backpropagation, *Tesis*, S2 Ilmu Komputer, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [12] Gonzales, R. C., Woods, R. E., 2008, *Digital Image Processing*, Prentice-Hall, New Jersey.