

IMPLEMENTASI METODE *BACKPROPAGATION* DALAM KLASTERISASI OBJEK

Diaz D. Santika¹; Betsy Susanti²; Willy Anderson³; Kanisius Wongso⁴

^{1, 2, 3, 4}Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Bina Nusantara,
Jl. K.H. Syahdan No. 9, Kemanggisan/Palmerah, Jakarta Barat 11480
¹ddsantika@yahoo.com

ABSTRACT

Aim of the research was to prove that backpropagation method could be implemented for image recognition while doing object classification. Observational method done was to do library research by reading and searching for information from various sources, then conduct analysis upon data, and last, design the application from analysis results. From the evaluation that has been done, the result for accuracy and speed are high enough (above 95%). After analyzing evaluation result, it is concluded that backpropagation method could be implemented for object classification.

Keywords: *object clasification, backpropagation, neural network*

ABSTRAK

Tujuan penelitian untuk membuktikan bahwa metode backpropagation dapat diterapkan dalam pengenalan citra ketika hendak melakukan klasifikasi objek. Metode penelitian yang dilakukan adalah studi pustaka dengan membaca dan mencari informasi dari sumber yang ada kemudian melakukan tahap analisis terhadap data yang didapat dan terakhir melakukan perancangan aplikasi hasil analisis. Dari hasil evaluasi yang dilakukan didapatkan tingkat akurasi dan kecepatan yang cukup tinggi (di atas 95 %). Setelah menganalisis hasil evaluasi, dapat disimpulkan bahwa metode backpropagation dapat diterapkan dalam klasterisasi objek.

Kata kunci: *klasifikasi objek, backpropagation, neural network*

PENDAHULUAN

Pengidentifikasian objek merupakan permasalahan penting saat ini yang seiring dengan perkembangan zaman, kebutuhan manusia terhadap teknologi identifikasi semakin tinggi. Manusia memiliki kemampuan alami dalam mengidentifikasikan suatu objek namun manusia memiliki banyak keterbatasan dalam hal ketelitian, konsistensi, dan daya tahan tubuh. Pada bidang kedokteran contohnya, identifikasi diperlukan dalam pencarian lokasi *protein subcellular* dan pada awalnya hanya dapat dilakukan oleh pakar manusia dengan memeriksa *image* yang dihasilkan oleh mikroskop *fluorescence*. Pendekatan subjektif itu memiliki sejumlah batasan, seperti ketelitian tinggi yang sukar dilakukan oleh manusia untuk jangka waktu yang lama. Contoh, akan lebih sulit dan berbahaya bagi seorang prajurit dalam mengenali apakah suatu pasukan itu musuh atau teman, jika

harus mendekati pasukan itu dan melihat dengan mata sendiri.

Dengan pendekatan yang dikenal dengan nama Pengenalan Pola (*Pattern Recognition*), komputer dapat membantu mengenali objek yang terdapat pada suatu gambar atau citra. Proses pengenalan itu dilakukan dengan memberi *input* kepada komputer berupa citra atau gambar objek yang ingin dikenali kemudian objek tersebut dikenali cirinya dan diklasifikasikan sesuai kelas yang ada berdasarkan ciri yang serupa. Akan tetapi pada pelaksanaannya, terdapat beberapa permasalahan. Salah satu permasalahan yang dominan adalah kesulitan komputer untuk mengidentifikasi objek yang memiliki ciri yang serupa. Penelitian ini berusaha untuk menerapkan metode *backpropagation* sebagai salah satu cara untuk membantu proses pengklasifikasian objek.

Metode *backpropagation* merupakan salah satu metode pada jaringan syaraf tiruan (*Artificial Neural Network*) yang secara struktural biasanya

terbagi menjadi tiga, yaitu lapisan masukan (*input layer*), lapisan tengah (*hidden layer*), dan lapisan keluar (*output layer*) dan antara tiap layer terhubung melalui bobot (*weight*). Nilai masukan pada lapisan masukan menggunakan parameter suatu objek (parameter ini dapat berupa warna, luas, berat, dan sebagainya). Nilai *weight* yang tepat didapat melalui proses *training* berdasarkan data yang sudah ada dan nilai *output* didapatkan setelah nilai *input* dikalkulasikan dengan nilai *weight*. Oleh karena itu, judul penelitian ini adalah implementasi metode *back propagation* dalam klasterisasi objek.

Masalah yang umum terjadi pada metode *backpropagation* ini adalah sulitnya mendapatkan fitur yang unik. Selain itu dalam mendapatkan fitur dari data gambar, sering ditemukannya *noise* (derau) yang terdapat pada citra masukan, citra masukan tidak memenuhi syarat, terjadinya perubahan sudut pandang (*rotational variance*), perubahan ukuran (*size variance*), perubahan posisi (*translational variance*), dan sulitnya menemukan fitur yang tepat untuk digunakan.

Ruang lingkup penelitian yang akan dilakukan adalah objek yang akan digunakan untuk proses pengenalan dan klasifikasi adalah buah apel, tomat, dan pear. Objek tersebut dipilih karena tidak cocok jika diidentifikasi dengan metoda pengenalan citra selama ini dan ingin dibuktikan bahwa objek dapat diidentifikasi dengan metode *backpropagation*. Citra yang diambil tidak memiliki banyak *noise* dan berada pada jarak yang konstan.

METODE PENELITIAN

Sebagai pertimbangan dalam penyusunan penelitian ini, digunakan beberapa metode sebagai berikut. Pertama, Studi Kepustakaan (*Library Research*), yaitu mencari informasi mengenai pemrosesan citra (*image processing*), jaringan saraf tiruan (*artificial neural networks*), dan juga metode *back propagation* dari buku atau nara sumber tertulis lainnya. Kedua, analisis dan eksperimen. Analisis yang dilakukan oleh penulis adalah sebagai berikut: Menganalisis dan membangun algoritma pemrosesan citra dan pengenalan pola; Pengembangan dan implementasi metode *Backpropagation*; Mengadakan eksperimen percobaan. Ketiga, metode perancangan. Dilakukan dengan pembuatan spesifikasi modul, bagan alir, perancangan interface, seperti STD dan pembuatan aplikasi.

TINJAUAN PUSTAKA

Teori Pengenalan Objek

Ada beberapa teori pengenalan objek, masing-masing dengan cara pengenalan yang berbeda, diantaranya PFT (*Particulate Feature Theory*) dan RBC (*Recognition by Component*). PFT merupakan teori pengenalan objek, yaitu objek hanya dilihat secara lokal saja tanpa mempertimbangkan hubungan antara komponen lokal yang seharusnya dipenuhi. Sebagai ilustrasinya, suatu objek tetap dikenali sebagai manusia jika ada kepala, badan, dan kaki, walaupun kepala di bawah, kaki di tengah, dan badan di atas.

RBC merupakan penerapan pengenalan PFT tetapi dengan mempertimbangkan hubungan komponen lokal yang harus dipenuhi agar suatu objek dapat dikenali secara tepat sehingga tidak dikenal sebagai manusia jika memiliki kaki di atas, kepala di bawah, dan kepala. RBC tidak akan mengenali objek seperti itu sebagai manusia karena selain melakukan pengenalan lokal, juga pengenalan secara global.

Artificial Neural Network (Jaringan Saraf Tiruan)

Jaringan saraf neural merupakan landasan teori utama dalam penelitian ini. Berdasarkan pendapat Rao (1995:2), *Neural Network* atau yang biasa disebut juga *Artificial neural network* merupakan jaringan saraf tiruan dari otak manusia sehingga memiliki prinsip kerja yang sama dengan otak manusia. *Neural network* memiliki sifat seperti otak manusia dalam dua macam bentuk, yaitu *knowledge* diperoleh dari jaringan setelah melalui proses pembelajaran (*learning process*) dan hubungan antar-neuron yang juga dikenal sebagai *synaptic weight* digunakan untuk menyimpan *knowledge* yang sudah diperoleh sebelumnya.

Jaringan saraf tiruan digunakan jika terdapat kondisi yang memerlukan: Ketidaklinearan (*nonlinearity*); *Input-output mapping*; *Neurobiological Analogy*; *Adaptivity*; *Evidential response* (respon yang jelas); *Fault tolerance* (toleransi kesalahan). Sebuah jaringan saraf buatan terdiri dari sejumlah elemen pemrosesan (*processing element/PE*) sederhana, yaitu sel/neuron yang terhubungkan satu sama lain dengan *weight* yang akan digunakan untuk menyelesaikan masalah dalam jaringan. Elemen pemrosesan ini menerima masukan berupa sinyal elektrik yang direpresentasikan dalam nilai numerik (angka). Berbeda dengan cara kerja

otak manusia, pada jaringan saraf tiruan total sinyal yang diterima akan dihitung oleh fungsi aktivasi untuk menentukan besarnya kekuatan sinyal keluaran sebuah elemen pemrosesan.

Jaringan saraf tiruan telah dikembangkan sebagai hasil generalisasi dari model matematika yang berasal dari saraf manusia dengan dasar asumsi sebagai berikut (Fausett, 1994:3): Pemrosesan informasi terjadi pada banyak elemen sederhana (neuron); Sinyal dikirim antar-neuro melalui *connection link*; Setiap *connection link* mempunyai *weight* yang saling berhubungan; Setiap neuron mempunyai sebuah fungsi aktivasi dalam masukkan jaringan untuk menentukan sinyal keluaran. Karakteristik jaringan saraf tiruan (Fausett, 1994:3) adalah pola koneksi antara *neuron* atau arsitektur; Kemampuan untuk menentukan *weight* pada koneksi (*training, learning, atau algoritma*); Fungsi aktivasinya.

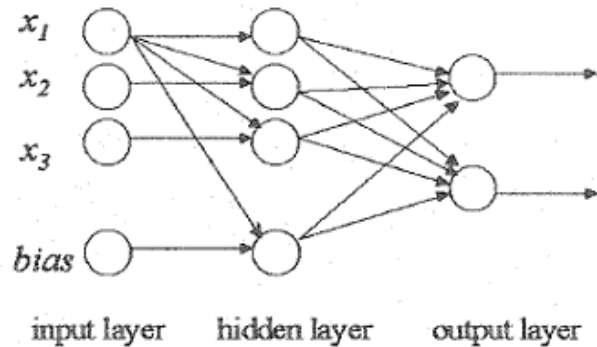
Neuron biasanya dioperasikan secara paralel atau dikonfigurasi pada arsitektur yang regular. Neuron juga sering dihubungkan secara *layer* (lapisan). Setiap koneksi diwakilkan dengan angka yang disebut *weight* (bobot) yang berubah-ubah sesuai dengan *input* yang diberikan. Jaringan saraf tiruan terdiri dari tiga proses, yaitu *learning, networks storing, dan recalling*. Setelah semua citra diproses dan fitur diekstrak, data akan dipelajari oleh jaringan saraf tiruan melalui proses *learning* yang akan menghasilkan data yang direpresentasikan dalam bentuk nilai *weight*. Kemudian *weight* hasil *learning* yang mengandung data identitas buah dan karakteristik buah akan disimpan ke dalam sebuah *file* melalui proses *network storing* yang dapat digunakan untuk proses *recalling* pada saat pengujian.

Backpropagation (Propagasi Balik)

Backpropagation merupakan metode pelatihan yang menggunakan *multilayer perceptron* untuk memecahkan masalah yang rumit dengan metode pelatihan terawasi, yaitu pelatihan yang menggunakan pasangan masukan-keluaran dan yang akan dihitung adalah bobot, disesuaikan berdasarkan proses pelatihan yang dilakukan hingga mencapai target keluaran yang diinginkan. *Backpropagation* menggunakan *memory* yang lebih sedikit daripada algoritma yang lainnya dan dapat memberikan hasil dengan tingkat kesalahan yang masih dapat diterima dengan kecepatan pemrosesan yang cukup cepat. Selain itu, metode ini menjadi pilihan karena kemampuannya untuk mengenali pola masukan yang tidak lengkap atau kurang bagus dan kestabilan

pemanggilan pada setiap kali *recall* untuk mengenali pola citra.

Pada metode ini, jaringan tidak memiliki koneksi khusus untuk melakukan perhitungan mundur dari satu *layer* menuju *layer* sebelumnya. Namun, error pada *output layer* akan dipropagasikan ke belakang menuju *input layer*.



Gambar 1 Lapisan *Neural Network*

Backpropagasi memiliki metode pembelajaran *supervised learning* dan lapisan masukan akan menerima pola masukan dan melakukan proses komputasi berdasarkan bobot awal yang diperoleh secara acak (random). Jika keluaran dari jaringan berbeda dengan target yang diharapkan maka jaringan melakukan penyesuaian terhadap bobot yang ada. Proses itu akan terus berlanjut hingga keluaran dari jaringan dan target yang diharapkan menjadi sama. Proses pembelajaran membutuhkan waktu yang lama hingga mencapai nilai tersebut. Oleh karena itu, proses *learning* dibatasi dan akan berhenti jika perbedaan antara *output* dan target sudah mencapai nilai yang lebih kecil dari nilai toleransi (*error rate*). Besarnya penyesuaian bobot pada setiap siklus pembelajaran ditentukan oleh parameter yang disebut *learning rate*.

Setelah tahap pembelajaran, jaringan saraf tiruan siap untuk memasuki tahap *recalling/searching* yang merupakan proses ketika jaringan saraf tiruan menerima masukan dari dunia luar melalui lapisan masukan dan melalui komputasi pada masing-masing neuron yang terdapat di dalam lapisan akan dihasilkan keluaran pada lapisan keluaran. Analogi pada otak manusia, seperti menerima masukan berupa gambar buah kemudian otak manusia akan melakukan komputasi sehingga mengenali nama buah tersebut.

Pada pelatihan *backpropagation* terdapat dua fase, yaitu proses propagasi nilai aktivasi atau masukan dan proses penyesuaian dengan keluaran yang diharapkan (Fausett, 1994:290). Proses

propagasi nilai aktivasi tersebut adalah proses perubahan nilai bobot koneksi antar-neuron yang menghubungkan lapisan jaringan, baik itu antara lapisan masukan dengan lapisan tersembunyi, lapisan tersembunyi yang satu dengan yang lainnya, maupun bobot koneksi lapisan tersembunyi dengan lapisan keluaran.

Nilai neuron dari setiap keluaran merupakan hasil dari fungsi aktivasi. Fungsi itu biasanya digunakan untuk menurunkan nilai aktivasi dan mengubahnya menjadi suatu nilai keluaran yang berarti. Kadang-kadang fungsi itu juga digunakan untuk menambahkan nilai bias. Fungsi sigmoid merupakan fungsi aktivasi yang digunakan dalam penelitian ini.

PEMBAHASAN

Analisis Sistem

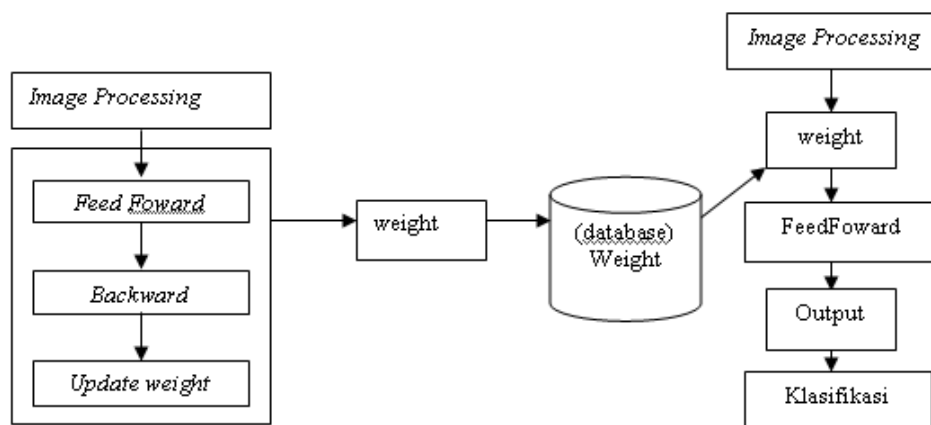
Sistem pengenalan buah merupakan suatu sistem yang mampu melakukan pengenalan dengan objek berupa buah, seperti halnya kemampuan manusia dalam mengenali buah yang telah dikenalnya. Sistem pengenalan objek ini telah ada dengan berbagai metode yang berbeda-beda, antara lain *k-nearest neighbour*, *fuzzy clasification*, *bayesian clasifier*, dan jaringan saraf tiruan, pada kesempatan ini, metode yang digunakan adalah pendekatan *Back-propagation* pada jaringan saraf tiruan (*Artificialle Neural Network*).

Secara garis besar, proses yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pemrosesan citra untuk mendapatkan citra objek yang hitam putih (*preprocessing*), dilakukan serangkaian algoritma, seperti perhitungan tingkat keabuan, *thresholding*, dan *filtering*; Proses ekstraksi fitur untuk

mendapatkan nilai masukan bagi jaringan saraf tiruan; Proses validasi, untuk memvalidasikan nilai masukan yang nantinya digunakan sebagai *input*-an awal dalam penelitian bagi jaringan saraf tiruan; Proses pelatihan, untuk memperkenalkan karakteristik dari masing-masing pola yang terdapat pada objek, meng-*update weight* pada jaringan saraf tiruan agar *weight* tersebut dapat mengenali nilai masukan yang ada di *database*; Proses pengujian, untuk mengetahui seberapa besar tingkat pengenalan jaringan saraf tiruan terhadap masing-masing pola sidik jari yang ada; Penyimpanan *weight*, data yang digunakan untuk menyimpan karakteristik pola citra; Hasil didapatkan.

Manusia memulai proses pengenalan objeknya dengan melihat menggunakan mata, dan pada sistem, proses ini melakukan pengambilan citra objek dengan bantuan *hardware* seperti kamera. Citra disimpan dalam resolusi 640 x 480 piksel. Ukuran atau dimensi 640 x 480 piksel dipilih untuk memaksimalkan kualitas citra tetapi tidak menghabiskan *memory* yang terlalu banyak

Citra masukan tersebut kemudian diolah terlebih dahulu dengan beberapa proses, seperti perhitungan tingkat keabuan, binerisasi deteksi (*thresholding*), *edge detection* sehingga didapatkan pola masukan. Setelah data citra melalui proses pengolahan citra (*preprocessing*), sistem berarti sudah siap untuk masuk ke tahap berikutnya, yaitu tahap ekstraksi fitur (*fiture extraction*). Ekstraksi fitur bertujuan untuk mendapatkan nilai yang akan digunakan pada *input layer*. Dalam aplikasi ini ada 6 buah fitur yang akan diekstrak, yaitu luas, keliling, nilai sebaran warna merah, nilai sebaran warna hijau, nilai sebaran warna biru, dan nilai sebaran nilai *i* dan $i = (\text{nilai warna merah} + \text{nilai warna hijau} + \text{nilai warna biru})/3$ (Lihat gambar 2).



Gambar 2 Bagan Alir Cara Kerja Program

Setelah mendapatkan fitur, program siap melakukan pelatihan. Jaringan saraf tiruan yang digunakan adalah *backpropagation* dengan 3 layer, yaitu *input layer* yang memiliki 6 *node* sesuai dengan jumlah fitur yang digunakan, *hidden layer* yang dapat memiliki 3 *node*, dan terakhir *output layer* yang juga memiliki 1 *node*. Proses dalam jaringan saraf tiruan ini meliputi inisialisasi *backpropagation* yaitu dengan menginisialisasi *input* dan target *output* yang diinginkan, selanjutnya dilakukan proses *feedforward backpropagation* sampai menemukan hasil, dan menyimpan *weight*.

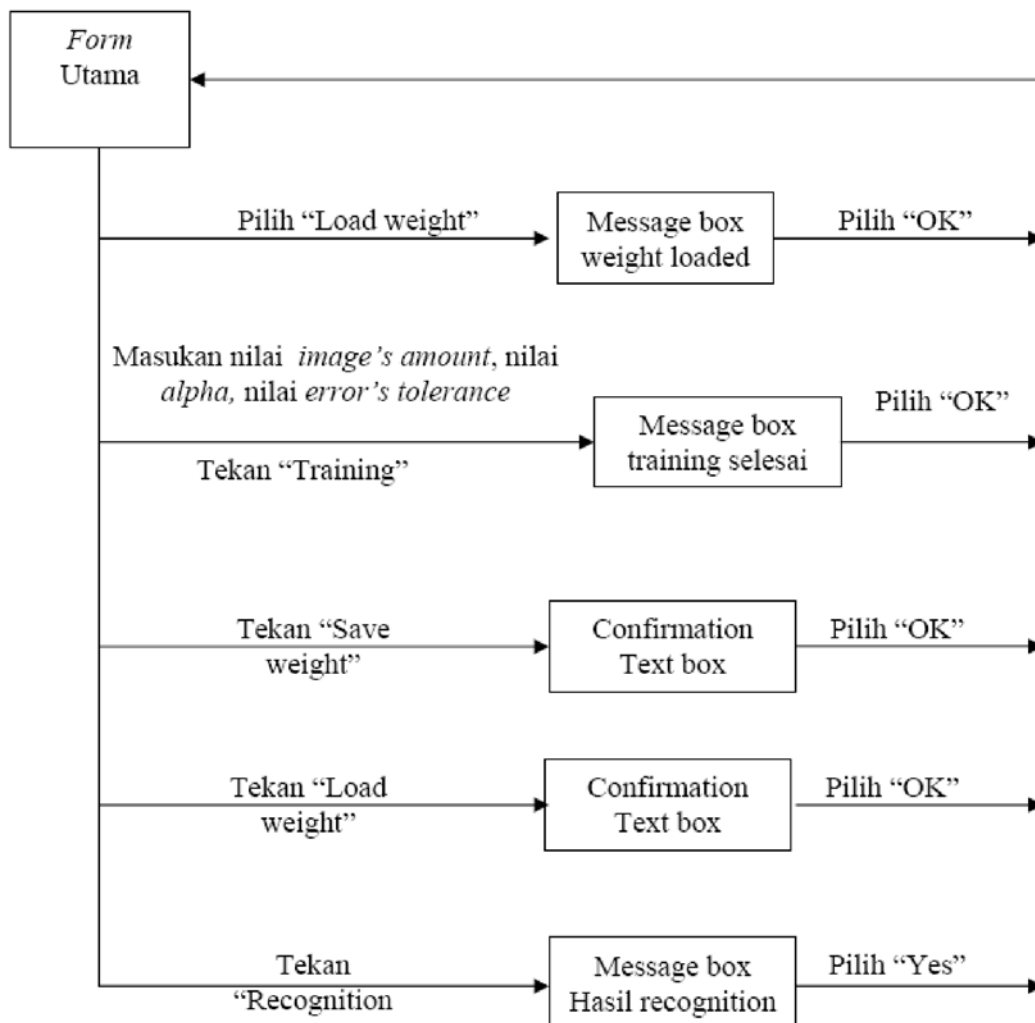
Perancangan Sistem

Pada sistem pengenalan buah yang menggunakan sistem *multilayer* terdapat dua buah *weight*, yaitu V_{ih} dan W_{ho} . Dan V_{ih} adalah nilai *weight* yang menghubungkan *input* layar dan *hidden*

layer sementara W_{ho} adalah nilai *weight* yang menghubungkan *hidden layer* dan *output layer*. Tahap pertama pada *backpropagation* adalah mencari V_{ih} dan W_{ho} , yaitu dengan memberikan nilai acak (*random*) antara -0.5

Pada tahap ini, diperoleh nilai *error output*, koreksi *weight output*, dan koreksi *weight* tengah, serta terjadi perubahan nilai bias *output* dan nilai bias tengah. Setelah mendapatkan *error*, selanjutnya program akan meng-*update weight* menjadi *weight* yang sesuai dari *input* yang dimasukkan menjadi *output* yang diinginkan. Terakhir, program akan menyimpan nilai *weight* yang telah diperoleh setelah dilakukan proses *training*. Untuk pengujian atau verifikasi, sebuah citra objek akan diolah terlebih dahulu melalui proses pengolahan citra dan ekstraksi fitur.

Rancangan Tampilan Layar



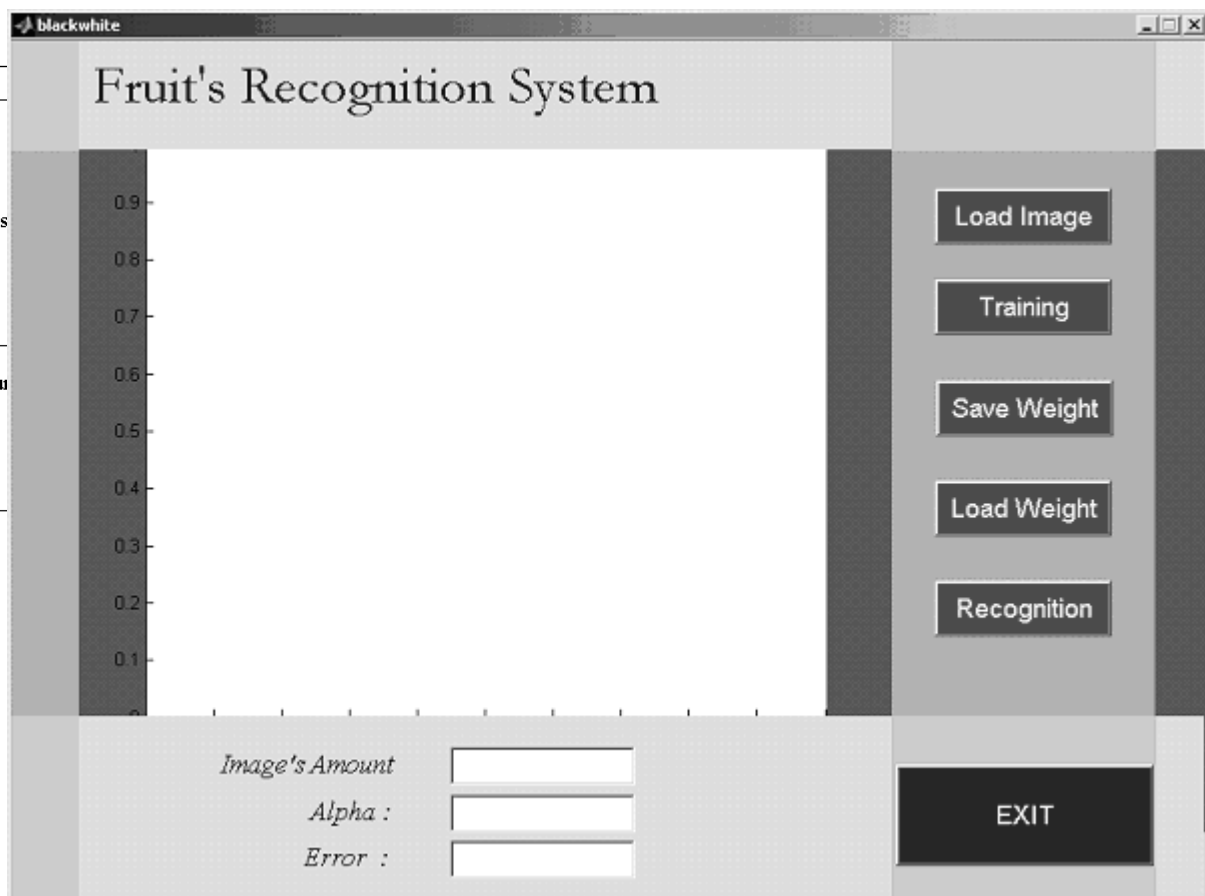
Gambar 3 STD Developer Application

Dengan berpatokkan pada STD tersebut, dapat ditentukan jumlah dan jenis komponen yang perlu untuk digunakan pada rancangan layar, yaitu lima buah tombol, fungsi masing-masing tombol akan dijelaskan di bawah; Tiga buah *edit box*, dengan

fungsi masing-masing akan dijelaskan di bawah; Satu buah axes untuk menampung citra yang akan di proses.

Gambar 4 Layar utama sistem

Evaluasi Sistem



Gambar 5 Tampilan Awal Aplikasi

Langkah untuk menjalankan aplikasi adalah sebagai berikut.

1. Menyalakan PC
2. Membuka perangkat lunak Matlab 7.1
3. Membuka file blackwhite.m
4. Melakukan run dengan cara menekan F5 atau melalui *toolbar*
Debug ->run

Pada evaluasi ini akan dilakukan pengujian untuk membandingkan kecepatan proses pelatihan menggunakan jumlah *node* yang bervariasi. Jumlah *node* yang akan diuji adalah jumlah *node* pada *hidden layer*. Data pengujian didapatkan setelah diuji dengan 6 buah data gambar, yaitu gambar 1.jpg, 2.jpg, 3.jpg, 4.jpg, 5.jpg, 6.jpg. nilai alpha dan nilai error yang digunakan adalah 0.1 dan 0.001

Dari percobaan yang dilakukan, didapatkan sejumlah data yang menyimpulkan bahwa perbedaan jumlah iterasi antar jumlah *hidden node* tidak terlalu besar, mengingat bahwa waktu yang dibutuhkan untuk 20-30 kali iterasi adalah 1-2 detik. Oleh sebab itu, jaringan yang diambil menggunakan 6 *input node*, 3 *hidden node*, dan 1 *output node* guna memudahkan proses debug dan evaluasi

Selanjutnya, dilakukan evaluasi pada proses pengenalan. Pada langkah ini, akan diuji nilai *weight* dari hasil proses pelatihan. Data diuji dengan 90 file gambar yang disediakan dan disimpan dalam *folder image*. Setelah melalui proses pelatihan menggunakan 24 gambar (8 gambar apel, 8 gambar jeruk, dan 8 gambar pear) maka didapatkan tingkat keberhasilan menggunakan *weight* hasil training di atas adalah $(86/90) * 100 \% = 95.56 \%$ dengan persentase kebenaran tertinggi = 99.985% dan persentase kebenaran terkecil = 70.605%

Persentase objek yang berhasil dikenali adalah sebagai berikut:

1. Jeruk : $25/28 * 100 \% = 89.27 \%$
2. Apel : $31/31 * 100\% = 100 \%$
3. Pear : $30/31 * 100\% = 96.77 \%$

Setelah itu, *data weight* yang ada diperbaharui melalui proses pelatihan menggunakan 38 gambar (20 gambar apel, 10 gambar jeruk, dan 8 gambar pear). Dengan nilai *weight* yang baru maka dilakukan proses pengenalan terhadap gambar yang sama dan didapatkan hasil sebagai berikut: Tingkat keberhasilan menggunakan *weight* baru adalah $(81/90) * 100\% = 90\%$ dengan persentase kebenaran tertinggi = 99.986% dan persentase kebenaran terkecil = 73.340%.

Persentase objek yang berhasil dikenali adalah sebagai berikut:

1. Jeruk : $24/28 * 100 \% = 85.71\%$
2. Apel : $31/31 * 100\% = 100 \%$
3. Pear : $26/31 * 100\% = 83.87 \%$

Dengan membandingkan hasil pada kedua pengujian tersebut, terlihat bahwa untuk proses pelatihan, keseragaman jumlah gambar tiap objek memberikan keakurasian yang lebih tinggi sedangkan banyaknya gambar yang dipergunakan akan menaikkan persentase kemiripan yang berhasil dikenali. Hal itu patut dipertimbangkan untuk menentukan jenis *training* yang dilakukan sehingga mendapatkan *output* yang diinginkan.

PENUTUP

Berdasarkan hasil evaluasi yang telah dilakukan, dapat diambil simpulan sebagai berikut. Pertama, Metode *BackPropagation* mampu melakukan pengenalan gambar dengan tingkat ketelitian yang tinggi (di atas 90%) setelah melalui proses pelatihan. Kedua, selain ketepatan yang tinggi, metode *BackPropagation* juga dapat dieksekusi dengan kecepatan yang cukup baik (memiliki kecepatan yang sama dengan kecepatan manusia untuk mengenali benda). Ketiga, berdasarkan pada dua simpulan tersebut maka metode *Backpropagation* merupakan salah satu metode yang tepat untuk klusterisasi

Beberapa saran yang diusulkan untuk memperbaiki kinerja aplikasi adalah perlu adanya penambahan jumlah dan jenis fitur untuk meningkatkan keakurasian dan perlu adanya penambahan fitur yang tidak terbatas pada gambar, seperti berat dan kadar air.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. 2001. "Image Processing Fundamentals." Diakses dari <http://www.ph.tn.tudelft.nl/courses/FIP/framesfip.html>
- Bow, Sing-Tze. 1984. *Pattern Recognition: Application to Large Data-Set Problems*. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Duda, Richard O. 1996. "Pattern Recognition for HCL." Diakses dari www.engr.sjsv.edu/~knapp/HCLRODPR/PR_home.html

- Fairhurst, Michael C. 1995. *Visi Komputer untuk Sistem Robotik: Sebuah Pengantar Sardy*. Penerbit Universitas Indonesia.
- Foley, James D., et al. 1996). *Computer Graphics Principles and Practice*. USA: Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Hanbury, Allan. 1998. "A last Introduction to digital Image Processing." Diakses dari www.uct.ac.za/depts/physics/laser/hanbury/intro_ip.html
- Haykin, Simon. 1999. *Neural Network: A Comprehensive Foundation*. 2nd Edition. New Jersey: Prentice Hall, Inc.
- Low, Adrian. 1991. *Introduction Computer Vision and Image Processing*. UK: McGraw-Hill Book, Company.
- May, Luong Chi. 1999. "Introduction to Computer Vision and Image Processing." Diakses dari www.netman.un/unesco/course/computervision/computer.html
- Murni, Aniati. 1992. *Pengantar Penolahan Citra*. Jakarta: PT Elex Komputindo Gramedia.
- Nurminen, Antti. 1996. "Recording, Processing, and Archiving Carbonized Papyri." Diakses dari www.cs.hut.fi/papyrus/index.html
- Oliver, Dick, et. al. 1996. *Trick of the Graphic GURU's*. USA: Prentice Hall.
- Parker, J.R. 1994. *Practical Computer Using C*. United State of America: John Willey & Sons, Inc.
- Pearson, Don. 1991. *Image Processing*. UIC: McGraw-Hill Book, Company.
- Rao, Valluru B. and Hayagriva V. 1993. *C++ Neural Network and Fuzzy Logic*. New York: Henry Holt and Company Inc.
- Wolfray Research, Inc. 2002. "Digital Image Processing." Diakses dari www.wolfram.com/products/applications/degitalimage/quicktour/index.html
- Yi. Ma. 1996. "Basic Image Processing Demos (for EECS20)." Diakses dari www.eecs.berkelley.edu/~mayi/imgpros.html