

Implementasi *Adaptive Neural Fuzzy Inference System* (ANFIS) untuk Menguji Kualitas *Printed Circuit Board* (PCB)

Tatang Rohana
Teknik Informatika
Universitas Buana Perjuangan Karawang
tatang.rohana@ubpkarawang.ac.id

Abstrak - Pengujian kualitas menggunakan teknik pengolahan citra dan kecerdasan tiruan banyak diterapkan dalam berbagai industri, misalnya industri tekstil, perakitan kendaraan, makanan, minuman, perakitan elektronik, dan lain – lain. Pengujian model ini sering disebut dengan istilah *Automated Visual Inspection System* (AVIS) atau dalam bahasa Indonesia Sistem Inspeksi Visual Otomatis (SIVO). Penelitian ini mengacu pada model sistem inspeksi, di mana objek pengujiannya adalah keping *Printed Circuit Board* (PCB). Banyak penelitian tentang pengujian PCB yang sudah dilakukan, tetapi masih banyak yang belum memberikan hasil yang optimum, diantaranya waktu akses yang masih lambat, keakuratan data masih rendah, dan tingkat kesalahan yang masih tinggi. Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang sudah dilakukan, model ANFIS sangat layak dijadikan sebagai model inferensi kecerdasan buatan dalam sistem yang berbasis inspeksi otomatis khususnya menguji kualitas keping PCB, karena terbukti model ANFIS dengan model hybrid trapesium *mf* memiliki tingkat kesalahan yang sangat kecil yaitu $4.0186e-007$ dan untuk tingkat akurasi pengujian datanya mencapai 99%.

Keyword : Sistem Inspeksi Visual Otomatis (SIVO), Pengolahan Citra, ANFIS, PCB, Fuzzy Logic.

Abstract - Testing quality using image processing techniques and artificial intelligence are widely applied in various industries, such as textiles, vehicle assembly, food, beverage, electronics assembly, and the others. The test model is often referred to as *Automated Visual Inspection System* (AVIS). This study refers to the inspection system model, in which the test object is a piece of *Printed Circuit Board* (PCB). Much research on PCB testing that has been done, but there are still many have not give optimum results, disadvantages such as access times are slow, the accuracy of the data is still low, and the error rate is still high. The results obtained from this study can provide quality pieces of PCB test results are more accurate than a kind of research that has been done. Based on the results of research and testing that has been done, very decent ANFIS models serve as a model inference in artificial intelligence-based automated inspection system specifically test quality of the PCB, as shown ANFIS models with trapezoidal *mf* hybrid models have a very small error rate is $4.0186e-007$ and for the data accuracy at 99%.

Keyword : Automated Visual Inspection System (AVIS), Image Processing, ANFIS, PCB, Fuzzy Logic.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi berdampak kepada membaurnya keilmuan atau keahlian tertentu. Bidang pengolahan citra tidak menjadi satu – satunya metode dalam pemecahan suatu masalah, tetapi saat ini pengolahan citra dikombinasikan dengan kecerdasan tiruan untuk meneliti ataupun mencari suatu solusi dalam berbagai aplikasi [12] Hal ini terbukti dengan semakin banyaknya penyelesaian masalah yang menggunakan kedua teknik ini, dan salah satunya adalah dalam penggunaan sistem deteksi suatu objek yang sekarang lebih populer dengan istilah Sistem Inspeksi Visual Otomatis (SIVO) atau *Automated Vision Inspection Systems* (AVIS). [8]

SIVO merupakan suatu bentuk inovasi sistem yang tadinya berpihak kepada satu bidang keilmuan, sekarang menjadi bentuk kolaborasi. SIVO dapat digunakan sebagai suatu metode analisis, klasifikasi, dan deteksi cacat dalam bidang industri suatu produk[20]. SIVO memanfaatkan teknik pengolahan citra dan kecerdasan buatan yang dapat menerjemahkan / mendeskripsikan informasi yang telah diperoleh menjadi informasi lain yang lebih berguna untuk mengambil keputusan.[13] Pengolahan citra merupakan proses pengolahan dan analisis citra yang banyak melibatkan persepsi visual. [16].

Banyak penelitian dengan objek PCB yang menggunakan Sistem Inspeksi Visual Otomatis (SIVO) yang telah dilakukan[1],[4],[39],[14], tetapi dari penelitian – penelitian yang sudah dilakukan ada beberapa yang sudah memberikan hasil yang optimal dan ada juga yang belum optimal. Misalnya ada penelitian yang dari presentasi keakuratannya kecil [1],

waktu akses yang masih lama[4], teknik pengolahan citra yang kurang tepat, Beberapa penelitian juga hanya mengandalkan teknik pengolahan citra belum dibantu dengan teknik kecerdasan buatan [2],[39], sehingga berdampak pada keakuratan data yang diperoleh.

Berdasarkan permasalahan di atas, penulis tertarik untuk melakukan penelitian dalam bidang pengujian kualitas *PCB* dengan teknik dan model yang berbeda. Penelitian ini menggunakan teknik pengolahan citra dan model *ANFIS*.

II. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini digunakan metode eksperimen. Eksperimen adalah metode penelitian yang bertujuan untuk meneliti hubungan (bisa berupa hubungan sebab akibat atau bentuk hubungan lainnya) antar dua variabel atau lebih pada satu atau lebih kelompok eksperimental, serta membandingkan hasilnya dengan kelompok yang tidak mengalami manipulasi yakni yang disebut dengan kelompok kontrol

A. Metode Pemilihan Sampel

Metode pemilihan sampel yang digunakan adalah metode yang didasarkan pada sumbernya yaitu data primer/asli/baru yang dikumpulkan langsung dengan survei di lapangan dengan menggunakan metode pengumpulan data original dan data sekunder yang telah dikumpulkan oleh lembaga pengumpul data dan dipublikasikan kepada masyarakat pengguna data, serta bisa diperoleh dari kepustakaan ataupun laporan-laporan peneliti yang dijadikan rujukan oleh penulis. Sedangkan untuk pengambilan sampelnya menggunakan prosedur Random Sampling.

B. Metode Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini untuk mendapatkan data-data yang diperlukan penulis menggunakan beberapa metode pengumpulan data sebagai berikut :

1. Studi Pustaka

Merupakan teknik pengumpulan data dengan cara mempelajari referensi berupa dokumen/berkas dan mengumpulkan data yang berkaitan dengan makanan sehat dan tidak sehat serta pengaruhnya terhadap kesehatan.

2. Observasi

Teknik pengumpulan data dengan melakukan pengamatan langsung di PT. We Tech Bekasi

C. Instrumentasi

Dalam penelitian ini instrumen yang digunakan untuk mendukung proses penelitian, terdiri dari dua bagian, yaitu :
Perangkat keras :

1. Kamera digital 5 mega pixel
2. Keping *PCB* untuk *audio* sebagai objek citra

Perangkat Lunak

1. Sistem Operasi Windows Vista Basic Edition
2. Matlab versi 2010 b.

D. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan adalah teknik *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS). Alasan digunakan teknik atau model ini karena teknik *ANFIS* merupakan jaringan adaptif yang berbasis pada sistem kesimpulan fuzzy (*fuzzy inference system*). Dengan penggunaan suatu prosedur *hybrid learning*, ANFIS dapat membangun suatu mapping *input-output* yang keduanya berdasarkan pada pengetahuan manusia (pada bentuk aturan *fuzzy if-then*) dengan fungsi keanggotaan yang tepat.

Analisa data dilakukan dengan melakukan training terhadap data yang akan diuji. Teknik yang digunakan dalam menganalisa data uji *PCB* adalah teknik hybrid dan backpropagation, yang masing –masing menggunakan *mf gaussian* dan *mf trapesium*. Hasil analisa data dari model yang digunakan dibandingkan untuk mencari model mana yang paling baik dari sisi waktu proses, tingkat kesalahan, dan akurasi data.

E. Langkah – Langkah Penelitian

Langkah – langkah penelitian yang dilakukan oleh penulis dalam rangka melaksanakan pola pikir pemecahan masalah, dapat dituliskan sebagai berikut :

1. Penentuan Masalah

Penulis mengambil topik pengolahan citra dan model *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* untuk menguji kualitas keping *PCB* secara offline.

2. Pendekatan Komputasi Untuk Pemecahan Masalah

Model pendekatan komputasi yang dilakukan oleh penulis adalah dengan membuat model sistem inspeksi visual otomatis (SIVO), dimana proses awalnya adalah operasi pengolahan citra. Hasil operasi citra menjadi bahan input untuk tahap inferensi, dimana model yang digunakan adalah model Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) yang memanfaatkan toolbox Matlab.

3. Analisa dan Perancangan Sistem

Dalam fase ini penulis melakukan analisa kebutuhan sistem, yang sekaligus merancang antarmuka antara sistem dan user.

4. Implementasi Sistem

Pada tahapan ini, penulis menggunakan perangkat lunak Matlab R-2010b, yang sekaligus memanfaatkan FIS-nya yang tersedia pada toolbok ANFIS.

5. Pengujian dan Analisa Hasil

Pada tahapan ini, penulis memaparkan tentang proses komputasi, baik secara manual maupun otomatis menggunakan Matlab. Pengujian terhadap citra PCB sebagai objek penelitian dilakukan dengan berbagai tahap pengujian, baik dengan pengolahan citra maupun analisa fungsi keanggotaan yang disediakan oleh Matlab seperti fungsi Gaussian dan Trapesium.

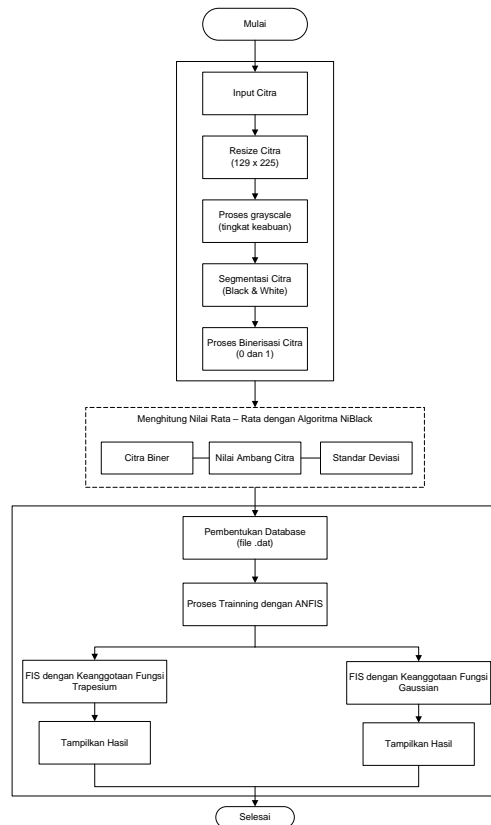
6. Pemeliharaan / Maintenance

Tahapan ini dilakukan pada saat sistem dimplementasikan pada lingkungan objek penelitian yang sebenarnya, yaitu di PT. We Tech Indonesia.

III. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Preoses Pengolahan Citra PCB

Sistem inspeksi yang mengambil topik teknik pengolahan citra dan *Adaptive Neuro Fuzzy System* (ANFIS) untuk mendeteksi cacat keping PCB, dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 1. Kerangka Pengembangan Sistem

Dari gambar di atas, proses sistem terdiri dari dua tahapan, yaitu tahapan preprocessing yaitu pengolahan citra dan tahapan postprocessing proses inferensi dengan ANFIS. Dari gambar kerangka pengembangan sistem, proses diawali dengan

pembacaan data citra input berupa keping *PCB* yang sudah disimpan dalam folder data citra hasil pengambilan citra statis menggunakan kamera digital. Proses selanjutnya ada operasi *resize* ukuran citra yang dilanjutkan dengan operasi keabuan citra (*grayscale*). Pengolahan citra berikutnya adalah segmentasi citra dengan konversi citra ke black and white (*thresholding*), dan selanjutnya melakukan operasi binerisasi. Tahap selanjutnya adalah mengolah hasil pengolahan citra, proses ini bertujuan untuk mendapatkan nilai ciri citra yang akan diolah, dimana nilai ciri citra ini diperoleh dengan mencari nilai rata – rata biner, nilai ambang, dan standar deviasi dengan menggunakan algoritma Niblack.

a) Input Citra

Input citra dari sistem ini adalah citra statis keping *PCB* yang diambil menggunakan kamera digital 8 megapixel. Penggunaan kamera digital ini dimaksudkan untuk memperoleh citra objek yang maksimal, baik kualitas citra, maupun pixel yang dihasilkan. Citra input berukuran 129 x 225 dengan format *.jpg*. Proses input citra ini dihasilkan dengan memberikan perintah pada matlab sebagai berikut :

```
function pushbutton1_Callback(hObject,  
eventdata, handles)  
proyek=guidata(gcbo);  
[namafilename,direktori]=uigetfile({'*.jpg';  
 '*.bmp'; '*.png'; '*.tif'}, 'Akuisisi Citra  
Digital')  
if isequal(namafilename,0)  
    return;  
end  
eval(['cd ' directory '']);  
I=imread(namafilename); ;  
%wait_Callback(hObject, eventdata,  
handles) %waitbar
```

b) Resize Citra

Proses selanjutnya adalah penyeragaman ukuran citra. Hal ini dilakukan karena jika ukuran citra terlalu besar, maka akan berakibat pada lambatnya proses pengolahan citra yang dikarenakan pixel yang terlalu besar walaupun sebenarnya pixel yang besar akan menghasilkan hasil analisa yang lebih baik dibandingkan dengan pixel yang kecil. Matlab sendiri menyediakan fungsi untuk proses *resize* ini, yaitu perintah :

```
img=imresize(imread(file),[129 225]);
```

Perintah di atas menyeragamkan ukuran file citra menjadi ukuran 129 x 225 pixel.

c) Proses Grayscale

Karena citra input dalam format RGB, maka proses pengolahan citra selanjutnya adalah mengkonversi citra RGB menjadi format Grayscale (tingkat keabuan) citra. Grayscale adalah *citra* yang nilai pixel-nya merepresentasikan derajat keabuan atau intensitas warna putih. Intruksi yang diberikan dalam tahapan ini adalah :

```
function pushbutton3_Callback(hObject,  
eventdata, handles)  
proyek=guidata(gcbo);  
%[namafilename,direktori]=uigetfile({'*.jpg'  
'; '*.bmp'; '*.png'; '*.tif'}, 'Simpan  
Gambar');  
Iti=get(proyek.axes1, 'UserData');  
%if isequal(I,0)  
%    msgbox('Citra Belum  
Ada!', 'Perhatian', 'Peringatan');  
% return;  
%end  
Igray = rgb2gray(Iti);  
set(proyek.figure1, 'CurrentAxes', proyek  
.axes2);
```

d) Segmentasi Citra (Thresholding)

Thresholding adalah proses mengubah citra berderajat keabuan menjadi citra biner atau hitam putih sehingga dapat diketahui daerah mana yang termasuk obyek dan *background* dari citra secara jelas. Citra hasil *thresholding* ini digunakan lebih lanjut untuk proses pengenalan obyek serta ekstraksi fitur dari keping *PCB*. Hasil *thresholding* dapat didefinisikan dalam bentuk persamaan :

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

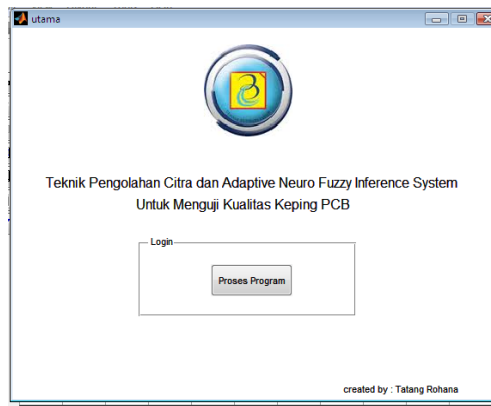
Untuk memperoleh citra hasil *thresholding* dapat menggunakan coding dalam matlab seperti di bawah ini :

Proses Binerisasi

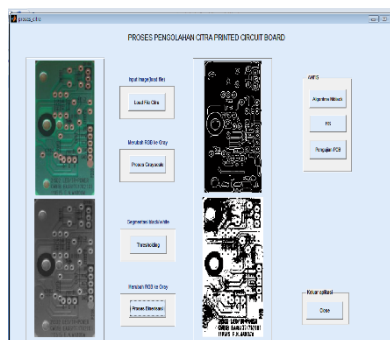
Citra biner adalah citra yang memiliki dua nilai tingkat keabuan yaitu hitam dan putih. Dalam proses binerisasi ini, algoritma yang digunakan adalah algoritma Niblack. Secara umum proses binerisasi citra gray scale untuk menghasilkan citra biner adalah sebagai berikut :

B. Proses Training

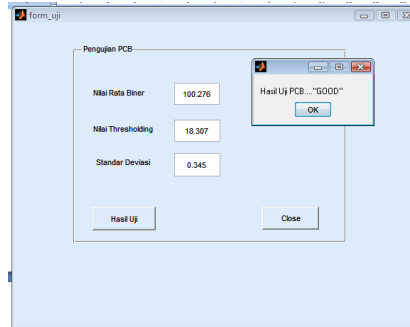
Proses training data dilakukan dalam prototype sistem pengujian *PCB* yang sudah diimplementasikan dengan menggunakan matlab versi 2010b dapat dilihat di bawah ini :



Gambar 2. Form Utama Sistem Yang Diimplementasikan



Gambar 3. Form Proses Pengolahan Citra dan ANFIS



Gambar 4. Form Pengujian PCB

Proses Training ANFIS

Pada proses ini training ini dipilih model Takagi-Sugeno dalam inferensinya, dimana output sistem tidak berupa himpunan fuzzy, melainkan berupa konstanta atau persamaan linier. *Fuzzy inference system* merupakan proses pemetaan dari suatu input ke output dengan menggunakan logika fuzzy yang dapat menyediakan dasar pengambilan keputusan atau pola yang diperoleh. *Fuzzy inference system* memiliki beberapa proses, yaitu proses *Membership Function*, *Fuzzy Logic Operator*, dan *If Then Rule*. Perancangan sistem fuzzy terdiri dari beberapatahapan yaitu :

- a. Identifikasi karakteristik model secara fungsional dan operasional

Pada tahapan ini menjelaskan karakteristik apa saja yang dimiliki oleh sistem yang ada serta merumuskan karakteristik operasi – operasi yang akan digunakan dalam model *fuzzy*. Pada sistem pengujian PCB ini terdapat 3 input mf dan 1 mf output. Input diperoleh dari rata – rata citra biner, nilai rata – rata grayscale, dan standar deviasi, sedangkan output yang terdapat dari sistem *fuzzy* adalah kualitas PCB hasil identifikasi.

- b. Membentuk *membership function*

Fuzzifikasi merupakan proses membuat suatu nilai *crisp* menjadi bersifat *fuzzy*.

- c. Membuat aturan *fuzzy*

Aturan ini menunjukkan bagaimana suatu sistem beroperasi. Sebagai contoh pembentukan aturan pada sistem *inferensi fuzzy*, akan dijelaskan cara pembentukan rule untuk kualitas PCB yang baik (*good*). Aturan ini mempunyai tiga jenis masukan, yaitu rata – rata biner (*r*), ambang, dan standar deviasi. Bila fungsi keanggotaan kualitas PCB berada pada himpunan yang sama maka rule yang digunakan untuk membentuk daerah fuzzy yang berhubungan dengan variabel solusi kualitas PCB dapat diilustrasikan seperti *if then rule* seperti di bawah ini :

If(input1 is no_good) and (input2 is good) and (input3 is cukup) then (output is no_good)

Berikut adalah tabel kelompok input untuk kualitas PCB berdasarkan input yang diberikan :

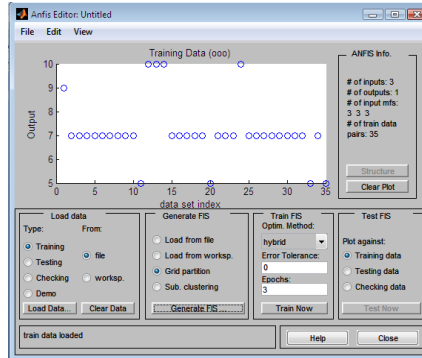
Tabel 1. Kelompok Input dalam Kualitas PCB :

No	Nama Input	Variabel Input
1	Input 1	Rata – rata citra biner
2	Input 2	Nilai keabuan (threshold)
3	Input 3	Standar deviasi (ambang)

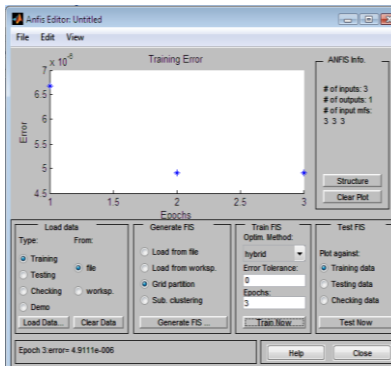
- d. Menentukan metode *defuzzyfikasi*

Input dari *defuzzyfikasi* adalah suatu himpunan fuzzy yang diperoleh dari komposisi aturan – aturan fuzzy, sedangkan output yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan *fuzzy* tersebut. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode centroid.

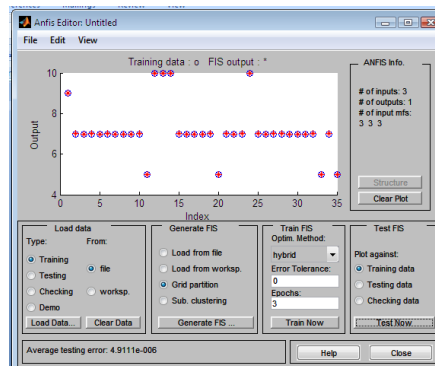
Pada sistem yang dibuat ini dipilih dua jenis tipe training, yaitu model *hybrid* dan *backpropagation*. Dimana pada masing – masing dari dua model ini akan menggunakan dua model mf, yaitu Gaussian dan Trapesium. Dua membership ini akan ditraining sebanyak 50 kali. Berikut cara pengaturan training dengan fungsi keanggotaan (mf) trapesium.



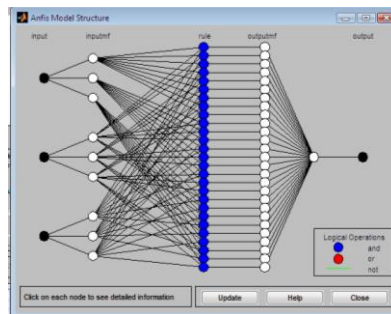
Gambar 5. Hasil Proses Training



Gambar 6. Training Error dengan Hybrid Trapesium

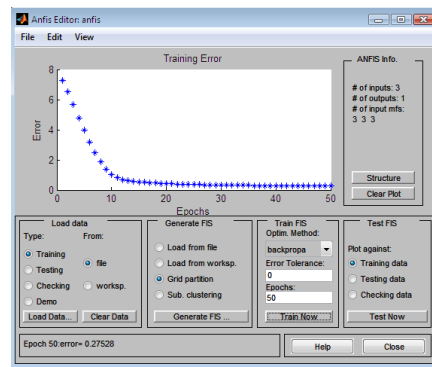


Gambar 7. Tingkat Rata – Rata Kesalahan Training Model Hybrid mf Trapesium

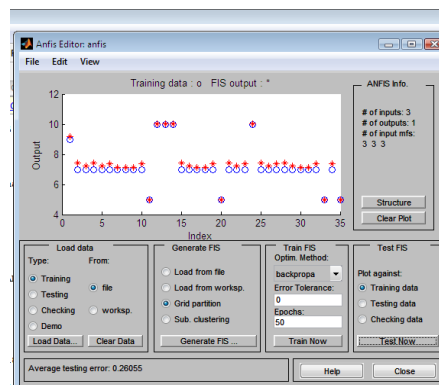


Gambar 8. Struktur ANFIS Yang Dihasilkan

Dalam proses training jumlah epoch mempengaruhi tingkat keakuratan data yang akan ditraining. Hasil proses training ini ditandai dengan diperolehnya nilai *average testing error*, dimana jika nilainya semakin kecil maka akan semakin baik proses pengenalannya terhadap data masukan.

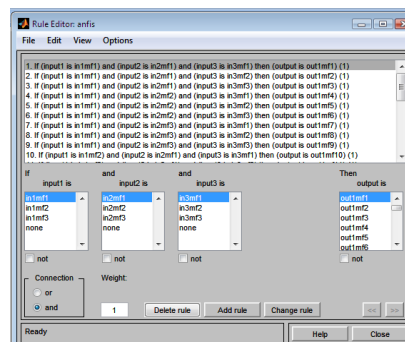


Gambar 9. Proses Training Error Model Backpropagation dengan mf Gaussian



Gambar 10. Tingkat Rata – Rata Kesalahan Pengujian dengan Model Backpropagation mf Gaussian

Berikut adalah hasil pembentukan rule base deteksi kualitas PCB dari database yang terbentuk dengan 3 jumlah input.



Gambar 11. Rule Editor yang Terbentuk dari 3 Input

C. Pengujian Sistem

Proses pengujian hanya dilakukan terhadap model yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Adaptive Neural Fuzzy Inference System*. Hal ini sejalan dengan tujuan dari penelitian yaitu seberapa efektif dan akurat model ini digunakan. Pengujian dilakukan hanya pada proses training data dan pengujian data yang digunakan pada saat menguji keping *PCB*. Pengujian dilakukan pada model hybrid dan backpropagation, sedangkan untuk implementasi sistemnya dibuat berdasarkan pada model yang paling baik tingkat akurasi, yaitu model hybrid trapesium *mf*.

Pengujian sistem dilakukan pada 16 buah citra PCB yang masing – masing sudah mempunyai nilai rata – rata citra biner, nilai standar deviasi, dan nilai ambang. Serta bobot nilai kualitas yang diberikan berdasarkan nilai terbaik dari ketiga variabel input citra. Di bawah ini adalah tabel data PCB yang akan diuji.

Tabel. 2. Data Tabel Citra PCB yang Uji

No	R (Citra)	Nilai		Bobot
		Threshold	Ambang	
1	101.477	18.279	0.349	90
2	100.276	18.307	0.345	100
3	101.645	20.013	0.349	90
4	101.645	20.013	0.349	90
5	101.974	18.927	0.349	90
6	117.230	22.224	0.404	60
7	117.230	22.224	0.404	60
8	116.707	22.376	0.404	60
9	116.707	22.376	0.404	60
10	100.276	18.307	0.345	100
11	101.974	18.927	0.349	90
12	101.477	18.279	0.349	90
13	100.276	18.307	0.345	100
14	116.358	22.468	0.404	60
15	115.628	22.481	0.396	65
16	116.926	22.399	0.404	60

Berikut ini adalah perbandingan hasil proses training dan testing antara model hybrid dan backpropagation dengan masing – masing ditampilkan dengan fungsi keanggotaan mf trapesium dan mf gaussian.

Tabel 3. Perbandingan Nilai Tingkat Kesalahan Pada Proses Training

No	Jml Data Trainer	Variabel Uji	Hybrid		Backpropagation	
			Trap.	Gauss.	Trap.	Gaussian
1	32	Training error	4.0186e-007	2.0362e-006	0.45509	0.27528
2	32	Average Testing error	4.0186e-007	2.0362e-006	0.45396	0.27447

Tabel 4. Perbandingan nilai tingkat kesalahan pada proses testing

No	Jumlah Data Trainer	Variabel Uji	Hybrid		Backpropagation	
			Trap.	Gauss.	Trap.	Gauss.
1	16	Epoch error	4.0186e-007	2.0362e-006	0.45509	0.27528
2	16	Average Testing error	4,0186e-007	2.0362e-006	0.45396	0.27447

Dari kedua tabel di atas, dapat dilihat bahwa model Hybrid baik fungsi keanggotaan (*mf*) trapesium maupun gaussian memiliki tingkat kesalahan yang kecil pada saat melakukan training data. Sedangkan dari tabel perbandingan hasil pengujian antara hybrid trapesium dan backpropagation gaussian, bisa dilihat bahwa trapesium *mf* lebih akurat dibandingkan dengan gaussian *mf*.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang dilakukan pada bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan hal sebagai berikut :

1. Sistem Inspeksi Visual Otomatis (SIVO) dapat diterapkan dengan baik dalam mendeteksi kualitas keping *PCB*, hal ini terbukti dengan hasil data yang diperoleh sudah sesuai dengan tujuan penelitian yaitu tingkat akurasi yang tinggi.
2. Kombinasi model yang digunakan antara teknik pengolahan citra dan kecerdasan buatan dalam hal ini model *ANFIS* sudah dapat memberikan hasil data yang diharapkan.
3. Model inferensi yang digunakan dalam hal ini *ANFIS* memiliki tingkat akurasi yang baik, hal ini terbukti bahwa model *ANFIS* khususnya model hybrid memiliki tingkat kesalahan yang kecil yaitu $4.0186e-007$ dan memiliki tingkat akurasi pengujian data sampai 99%.

REFERENSI

- [1] A.M. Arymurthy, **Diktat Kuliah PCD**, Jakarta: Universitas Indonesia. RSI Team. 2004.
- [2] Asfi Marsani, **Algoritma Nblack**, 2012.
- [3] A.M. Arymurthy, Suryana, S, **Pengantar Pengolahan Citra**. Jakarta: PT. Elex Media Komputindo.1992
- [4] A. Fanni, M.Lera, et.al, **Neuro Network Diagnosis for Visual Inspection in Printed Circuit Boards**, DIEE Dipartimento di Ingegneria Elettrica ed Elettronica, Universita' di Cagliari Piazza d'armi 09123 Cagliari, Italy.
- [5] Adhitya Wishnu, Yudi Permana, **Penggunaan Metode Template Matching Untuk Identifikasi Kecacatan Pada PCB**, *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2008 (SNATI 2008) Yogyakarta, 21 Juni 2008*
- [6] Ahmed Nabil Belbachir, **An Automatic Optical Inspection System for the Diagnosis of Printed Circuits Based on Neuro Networks**, IEEE Paper 0 – 7803 – 9208, 2005.
- [7] Ahmad Usman, **Pengolahan Citra Digital dan Teknik Pemrogramannya**. Penerbit Graha Ilmu. 2005.
- [8] Anton Satria Prabuwono, **Automated Optical Inspection in Surface Mount Technology: A Preliminary**, Center for Artificial Intelligence Technology Faculty of Information Science and Technology Universiti Kebangsaan Malaysia. 2012.
- [9] Beant Kaur, et.al, **Compar[31] Ahmed Nabil Belbachir, An Automatic Optical Inspection System for the Diagnosis of Printed Circuits Based on Neuro Networks**, IEEE Paper 0 – 7803 – 9208, 2005.
- [10] Deden. M.F. Shiddiq, Yul Y.Nazaruddin, Farida I. Muchtadi, **Estimation of Rice Milling Degree using Image Processing and Adaptive Network Based Fuzzy Inference System (ANFIS)**, *IEEE Journal*, 4577-1460, 2011.
- [11] Dedy Wirawan Soedibyo, Kudang Boro Seminar, et.al, **The Development of Automatic Coffee Sorting System Based on Image Processing and Artificial Neuro Network**, AFITA 2010 International Conference, The Quality Information for Competitive Agricultural Based Production System and Commerce, 2010
- [12] D. M Tsai, B. T. Lin, **Defect Detection of Gold-Plated Surfaces on PCBs Using Entropy Measures**, Yuan-Ze University, Taiwan.
- [13] Elias Dianta Ginting, **Deteksi Tepi Menggunakan Metode Canny Dengan Matlab Untuk Membedakan Uang Asli Dan Uang Palsu**, Laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Informatika Fakultas Teknologi Industri Universitas Gunadarma, 2010.
- [14] Fernando de Aguiar Faria, et.al, **Machine Vision And Artificial Neuro Networks For Seam Tracking And Weld Inspection**, ABCM Symposium Series in Mechatronics - Vol. 4 - pp.768-775.
- [15] Fabiana R. Leta, et.al, **Computer Vision System For Printed Circuit Board Inspection**, ABCM Symposium Series in Mechatronics - Vol. 3 - pp.623-632. 2008.
- [16] G. Acciani, G. Brunetti, et.al, **Multiple Neuro Network System to Classify Solder Joints on Integrated Circuits**, International Journal of Computational Intelligence Research. ISSN 0973-1873 Vol.2, No.4 (2006), pp. 337-348.
- [17] Ghosh JK, Valtorta Marco. (2000), **Building a Bayesian Network Model of Heart Disease**, South Carolina USA.

- [18] Hendy Mulyawan, et.al, **Identifikasi Dan Tracking Objek Berbasis Image Processing Secara Real Time**, Jurusan Telekomunikasi - Politeknik Elektronika Negeri Surabaya Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. 2009
- [19] Ismail Ibrahim, et.al, **A Printed Circuit Board Inspection System With Defect Classification Capability**, *International Journal of Innovative Management, Information & Production* Volume 3, Number 1, March 2012.
- [20] Jonathan Killing, **Design And Development Of An Intelligent Neuro-Fuzzy System Automated Visual Inspection**, A thesis submitted to the Department of Mechanical and Materials Engineering, Queen's University Kingston, Canada July 2007.
- [21] Juan Manuel Ramírez-Cortes, et.al, **P-300 Rhythm Detection Using ANFIS Algorithm and Wavelet Feature Extraction in EEG Signals**, Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science 2010 Vol I, WCECS 2010, October 20-22, 2010, San Francisco, USA
- [22] Kris Adhy Nugroho, R. Rizal Isnanto, **Identifikasi Cacat Pada Keping PCB Menggunakan Pencocokan Model (Template Matching)**, Makalah Seminar Tugas Akhir.
- [23] Kusuma Dewi. (2003), **Artificial Intelligence**, Yogyakarta: Graha Ilmu
- [24] K. Sundaraj, **PCB Inspection for Missing or Misaligned Components using Background Subtraction**, University Malaysia Perlis School of Mechatronic Engineering , Perlis Malaysia.2009
- [25] Marzieh Mogharrebi, et.al, **Missing Component Detection on PCB Using Neuro Network**, *Journal Advances in Electrical Engineering & Electrical Machines*, LNEE 134, pp. 387-394.2011
- [26] Moedjiono, **Pedoman Penyusunan Tesis**, Program Pascasarjana Universitas Budi Luhur, Jakarta. 2010.
- [27] Ms. Anuja Bujurge, et.al, **ANFIS Based Color Image Segmentation for Extraction of Salient Features: A Design Approach**, *Int. J. on Recent Trends in Engineering & Technology*, Vol. 05, No. 01, Mar 2011.
- [28] Murtadha Basil Al – Taay, et.al, **Automated Visual Inspection for Surgical Instruments Based on Spatial Feature and K-Nearest Neighbor Algorithm**, IEEA 2012: 17-18 March 2012, Singapore.
- [29] Muhamad Tri Ramdhani, **Pengolahan Citra Dengan Metode Jaringan Syaraf Tiruan Berbasis Mobile Untuk Mengetahui Kualitas Tanaman Padi**, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung 2010.
- [30] Riyanto, Citra-<http://lecturer.eepisits.edu/riyanto/citr>. diakses pada tanggal 8 Agustus 2012.
- [31] Sharat Chandra Bhardwaj, **Machine Vision algorithm for PCB Parameters Inspection**, National Conference on Future Aspects of Artificial intelligence in Industrial Automation (NCFAAIIA 2012) Proceeding published by International Journal of Computer Applications (IJCA). 2012
- [32] Shih Chieh Lin, Chia Hsin Su, **A Visual Inspection System for Surface Mounted Devices on Printed Circuit Board**, IEEE Journal, 2006
- [33] S. Burak Göktürk, et.al, **Automated Inspection of PCB's using a Novel Approach**,
- [34] Sri Huning Arwariningsih, **Perhitungan Luas Dan Keliling Bangun Geometri Menggunakan Pendekatan Morfologi**, Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI 2009).
- [35] Teuku Mumammad Johan, A.S. Prabuwo, **Recognition of Bolt and Nut using Artificial Neuro Network**, IEEE Paper 978-1-61284-406-0, 2011.
- [36] The Math Work. Inc., **ANFIS Toolbox™ User's Guide**, www.mathwork.com, diakses tanggal 9 Agustus 2012.
- [37] Tz-Sheng Peng, Chiou-Shann Fuh, **Color-Based Printed Circuit Board Solder Segmentation**, Dept. of Computer Science and Information Engineering, National Taiwan University. 2009.
- [38] Xin He, et.al, **An Outlier Detection Based Approach for PCB Testing**, IEEE Paper, 978-4244 – 4867, 2009.
- [39] Xin He, **An Outlier Detection Approach For Pcb Testing Based On Principal Component Analysis**, In partial fulfillment of the requirements For the Degree of Master of Science Colorado State University Fort Collins, Colorado Spring 2011.

- [40] Zuwairie Ibrahim, Syed Abdul Rahman, **Wavelet-Based Printed Circuit Board Inspection System**, International Journal of Signal Processing, Spring 2005.