

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 6, No. 2, Agustus 2018



Publikasi Resmi
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu bulan April, Agustus dan Desember, dan mulai tahun ini berisi 15 naskah untuk setiap nomornya. Peningkatan jumlah naskah pada setiap nomornya ini dimaksudkan untuk mengurangi masa tunggu dengan tidak menurunkan kualitas naskah yang dipublikasikan. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Jurnal ini diterbitkan dua kali setahun baik dalam edisi cetak maupun edisi online. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota PERTETA tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain meliputi teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam invited paper yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, review perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, technical paper hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta research methodology berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (online submission) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Scopus ID: 6602716827, Institut Pertanian Bogor)
Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)
Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, Institut Pertanian Bogor)
Daniel Saputra (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya - Palembang)
Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)
Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, Institut Pertanian Bogor)
Muhammad Faiz Syuaib (Scopus ID: 55368844900, Institut Pertanian Bogor)
Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin - Makassar)
I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana - Bali)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah (Scopus ID: 55782905900, Institut Pertanian Bogor)
Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, Institut Pertanian Bogor)
Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)
Anggota : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, Institut Pertanian Bogor)
Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, Institut Pertanian Bogor)
Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, Institut Pertanian Bogor)
Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, Institut Pertanian Bogor)
Liyantono (Scopus ID: 54906200300, Institut Pertanian Bogor)
Administrasi : Diana Nursolehat (Institut Pertanian Bogor)

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bestari yang telah menelaah (*me-review*) Naskah pada penerbitan Vol. 6 No. 2 Agustus 2018. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. Bambang Purwantana, M.Agr (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Hasbi, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Lilik Sutiarmo, M.Eng (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Daniel Saputra, MS (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Bambang Susilo, M.Sc.,Agr (Jurusan Keteknikan Pertanian, Universitas Brawijaya), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Tineke Mandang, MS (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Slamet Budijanto, M.Agr (Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Institut Pertanian Bogor), Dr. Nauman Khalid (School of Food and Agricultural Sciences, University of Management and Technology (Pakistan)), Dr.Ir. Ridwan Rahmat. M.Agr (Badan Litbang Pertanian), Ir. Joko Pitoyo, M.Si (Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian), Dr.Ir. Rizal Alamsyah, M.Sc (Balai Besar Industri Agro), Dr.Ir. Ratnawati, M.Eng.,Sc (Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Indonesia), Dr.Ir. Desrial, M.Eng (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Budiastara, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Astika, MS (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Leopold Oscar Nelwan, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Usman Ahmad, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Rudiati Evi Masitoh, STP.,MDT (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Gadjah Mada), Dr. Radi, STP.,M.Eng (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Andri Prima Nugroho, STP.,M.Sc (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Nursigit Bintoro, M.Sc (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Gadjah Mada), Taufik Rizaldi, STP.,M.P (Jurusan Keteknikan Pertanian, Universitas Sumatera Utara), Ir. Mimin Muhaemin, M.Eng.,Ph.D (Jurusan Teknologi Agroindustri, Universitas Padjadjaran), Dr. Siswoyo Soekarno, STP.,M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Jember), Dr. Alimuddin, ST.,MM.,MT (Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa), Dr. Dedy Wirawan Soedibyo, STP.,M.Si (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Jember).

Technical Paper

Pemodelan Jaringan Syaraf Tiruan untuk Memprediksi *Color Difference* Tepung Sagu pada *Pneumatic Conveying Recirculated Dryer*

Artificial Neural Network Modeling for Predicting Color Difference of Sago Flour on Pneumatic Conveying Recirculated Dryer

Abadi Jading, Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Papua.
Email: a_jading@yahoo.com

Nursigit Bintoro, Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian,
Universitas Gadjah Mada. Email: bintoro@ugm.ac.id

Lilik Sutiarmo, Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian,
Universitas Gadjah Mada. Email: lilik-soetiarso@ugm.ac.id

Joko Nugroho Wahyu Karyadi, Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem,
Fakultas Teknologi Pertanian. Universitas Gadjah Mada. Email: joko@ugm.ac.id

Abstract

Pneumatic conveying recirculate dryer (PCRD) is an artificial drying machine which is suitable for flour drying. Previous research has designed PCRD machine to dry the sago flour. The change of sago flour color in PCRD machine is very difficult to be directly measured during the drying process. The aim of this research was to develop an artificial neural network (ANN) model to predict the color difference (ΔE) between wet sago flour before drying and dried sago flour after drying by PCRD machine. The value of ΔE observation was obtained based on the sago color data calculation. The color of sago flour was measured using a color meter (TES 135A). The observation ΔE data were trained and tested on the ANN model using Graphical User Interface (GUI) application, a neural-network-toolbox-based ANN on Matlab R2014a. The training and testing results of the ANN model showed that the best network structure were 12 input neurons, 5 neurons of the first hidden layer, 5 neurons of the second hidden layer, 1 neuron of the third hidden layer, and 1 output neuron (12-5-5-1-1). The value of MSE obtained by the ANN model structure was 0.0005121 with 16 times epoch. The validity test result showed that the coefficient of determination value for the training process (R^2_{train}) equal to 0.987 and for the testing process (R^2_{test}) equal to 0.976. Meanwhile, the optimization analysis result showed that the value of MSE and MRE were quite small, as well as the MSE and MRE value on each parameter variation. It showed that the ANN model is valid to be used to predict the color difference of sago flour drying on PCRD machine.

Keywords: artificial neural network; color difference; modeling; pneumatic conveying recirculated dryer; sago flour

Abstrak

*Pneumatic conveying recirculate dryer (PCRD) adalah salah satu mesin pengering buatan yang cocok digunakan untuk mengeringkan bahan tepung. Pada penelitian terdahulu telah dirancang mesin PCRD untuk mengeringkan tepung sagu. Pengukuran perubahan warna tepung sagu pada mesin PCRD sangat sulit dilakukan secara langsung selama proses pengeringan. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan model jaringan syaraf tiruan (JST) untuk memprediksi perbedaan warna atau *color difference* (ΔE) antara tepung sagu basah sebelum dikeringkan dengan tepung sagu kering setelah dikeringkan dengan mesin PCRD. Nilai ΔE observasi diperoleh berdasarkan hasil perhitungan data warna tepung sagu. Warna tepung sagu diukur menggunakan *color meter* (TES 135A). Data ΔE observasi tersebut dilatih dan diuji pada model JST menggunakan aplikasi *Graphical User Interface* (GUI) JST berbasis *neural network toolbox* pada Matlab R2014a. Hasil pelatihan dan pengujian model JST menunjukkan bahwa struktur jaringan yang terbaik adalah 12 *neuron input*, 5 *neuron* lapisan *hidden layer* 1, 5 *neuron* lapisan *hidden layer* 2, 1 *neuron* lapisan *hidden layer* 3, dan 1 *neuron output* (12-5-5-1-1). Nilai MSE yang dicapai struktur model JST tersebut, sebesar 0,0005121 dengan *epoch* 16 kali. Hasil uji validitas menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi untuk proses pelatihan (R^2_{latih}) sebesar 0.987, dan proses pengujian (R^2_{uji}) sebesar 0.976. Sedangkan hasil analisis optimasi menunjukkan bahwa, nilai MSE dan MRE yang dihasilkan cukup rendah, begitupula nilai MSE dan MRE pada setiap parameter variasi. Hal ini menunjukkan bahwa model JST tersebut valid digunakan untuk memprediksi *color difference* pengeringan tepung sagu pada mesin PCRD.*

Kata Kunci: jaringan syaraf tiruan; *color difference*; pemodelan; *pneumatic conveying recirculated dryer*; tepung sagu

Diterima: 2017-05-09 ; Disetujui: 2017-12-04

Latar Belakang

Pengeringan produk tepung pada industri pangan dan hasil pertanian umumnya menggunakan mesin pengering buatan model *pneumatic*. Salah satu pengembangan mesin buatan model *pneumatic* adalah *pneumatic conveying recirculate dryer* (PCRD). Mesin PCRD adalah salah satu mesin pengering buatan yang cocok digunakan mengeringkan bahan yang mengandung air yang tinggi seperti bahan tepung. Pada penelitian terdahulu telah dirancang mesin PCRD untuk mengeringkan tepung sagu basah secara mekanis. Selama proses pengeringan pada mesin PCRD, tepung sagu mengalami proses resirkulasi sehingga waktu tinggal (*residence time*) tepung sagu lebih lama apabila dibandingkan dengan proses pengeringan pada *pneumatic conveying dryer* (PCD) (Jading et al., 2016).

Proses pengeringan pada mesin PCRD mungkin akan menyebabkan perubahan mutu tepung sagu, oleh karena waktu kontak udara panas dengan tepung sagu lebih lama. Selain itu, perubahan mutu tepung sagu dapat dipengaruhi oleh parameter-parameter lainnya yang digunakan pada mesin PCRD. Perubahan kandungan tepung pada proses pengeringan *pneumatic* telah dikaji menggunakan tepung *cassava* dengan melibatkan parameter suhu udara pengering, kecepatan udara pengering, dan kadar air bahan *input*. Hasil kajian tersebut menunjukkan bahwa parameter-parameter yang digunakan sangat berpengaruh secara signifikan terhadap perubahan kandungan pati *cassava* selama proses pengeringan (Aichayawanich et al., 2012).

Salah satu faktor yang mungkin terjadi selama proses pengeringan tepung sagu pada mesin PCRD adalah perubahan warna. Perubahan warna yaitu perbedaan warna atau *color difference* antara tepung sagu basah sebelum dan sesudah dikeringkan. Oleh karena itu, warna adalah salah satu faktor yang dapat menentukan berhasilnya proses pengeringan tepung sagu pada mesin PCRD.

Warna adalah salah satu parameter yang digunakan untuk menentukan standar mutu tepung sagu kering (BSN, 2008). Warna sangat mempengaruhi tampilan tepung sagu kering. Warna adalah salah satu faktor penting dalam menentukan mutu produk industri pengolahan dan produk pertanian (Shen et al., 2010). Parameter warna dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk produk tepung seperti sagu, dinyatakan secara kualitatif, idealnya persyaratan tersebut dapat diukur secara kuantitatif dengan alat ukur warna. Di luar negeri seperti Malaysia telah mencantumkan standar warna tepung sagu dengan nilai tingkat kecerahan warna (L) mendekati putih ($L > 90$) (Widaningrum et al., 2005).

Pengukuran perubahan warna tepung sagu

selama proses pengeringan pada mesin PCRD sangat sulit dilakukan secara langsung, sehingga diperlukan model untuk memprediksi *color difference* dengan jaringan syaraf tiruan (JST). Penelitian tentang model JST untuk memprediksi *color difference* bahan telah dilakukan menggunakan parameter suhu dan kecepatan udara pengering pada *fluidized bed dryer* (Scala et al., 2013). Selain itu, juga telah dilakukan pengembangan model JST untuk memprediksi *color difference* bahan menggunakan parameter suhu, massa umpan bahan, dan diameter bahan pada proses pengeringan *vegetal pear* dengan *tray drier* (Rosas et al., 2011). Pada penelitian ini, beberapa parameter pengeringan digunakan untuk memprediksi *color difference* dengan model JST seperti kadar air awal (*input*) tepung sagu basah, suhu dan kecepatan udara pengering, kapasitas *input* tepung sagu basah, dan dimensi-dimensi pada mesin PCRD (panjang pipa resirkulasi dan dimensi siklon resirkulasi). Dengan melakukan variasi parameter-parameter tersebut, maka dapat diprediksi adanya perubahan warna tepung sagu yang dikeringkan pada mesin PCRD. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan model jaringan syaraf tiruan (JST) untuk memprediksi perbedaan warna atau *color difference* (ΔE) antara tepung sagu basah sebelum dikeringkan dengan tepung sagu kering setelah dikeringkan berdasarkan variasi parameter-parameter pengeringan pada mesin PCRD.

Bahan dan Metode

Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah pati sagu basah atau lebih dikenal dengan sebutan tepung sagu basah yang diperoleh dari daerah Tulung, Klaten, Jawa Tengah. Tepung sagu basah tersebut berwarna putih dengan tingkat kecerahan (L) rata-rata sebesar 92%. Tepung sagu basah umumnya berwarna putih. Namun demikian, perlu diperhatikan bahwa ada beberapa varietas sagu yang menghasilkan pati secara genetik tidak berwarna putih (berwarna merah) dengan nilai $L > 90\%$ (Widaningrum et al., 2005). Selain warna putih, pati sagu basah biasanya berwarna kemerahan, merah muda, dan putih kekuningan (Limbongan, 2007). Namun demikian, warna tepung sagu basah yang digunakan sebagai sampel pada proses pengeringan dengan mesin PCRD, memiliki nilai L berkisar antara 74-84%. Hal ini disebabkan oleh karena sampel tepung sagu basah tersebut mengalami perubahan warna selama proses pengempaan saat variasi kadar air awal bahan *input* (M_{ib}).

Alat

Mesin yang digunakan untuk mengeringkan bahan (tepung sagu basah) pada penelitian

ini adalah mesin PCRD. Mesin PCRD tersebut adalah hasil rancangan dan pengembangan pada penelitian terdahulu (Jading *et al.*, 2016). Parameter-parameter proses pengeringan yang divariasi pada mesin PCRD tersebut adalah kadar air awal (*input*) bahan (M_{ib}), kecepatan udara pengering (v_u), suhu udara pengering (T_{u3}), panjang pipa resirkulasi (L_p), tinggi silinder siklon resirkulasi (L_{scrb}), diameter pipa (D_{Acrb}) dan panjang pipa (L_{Acrb}) *outlet* atas pada siklon resirkulasi, kecepatan udara *blower* pada siklon resirkulasi (v_{ucrb}), dan kapasitas *input* bahan (Q_{ib}). Adapun gambar skematis dan letak titik-titik variasi serta pengukuran parameter-parameter tersebut pada mesin PCRD, dapat dilihat pada Gambar 1. Sedangkan parameter konstan yang digunakan adalah suhu lingkungan (T_{ling}), kelembaban udara relatif lingkungan (RH_{ling}), dan waktu resirkulasi bahan (t_r). Untuk mengukur warna tepung sugu basah sebelum dikeringkan dan tepung sugu kering setelah dikeringkan dengan mesin PCRD, maka digunakan *color meter* (TES 135A). Sedangkan *software* yang digunakan untuk pelatihan dan pengujian model JST adalah aplikasi *Graphical User Interface* (GUI) JST berbasis *neural network toolbox* pada Matlab R2014a yang telah terpasang pada seperangkat laptop dengan CPU *Intel Corei3-4030u*, 1.9 GHz, memori 4 GB, dan *hard disk* 500 GB. Aplikasi GUI JST tersebut, juga merupakan hasil rancangan dan pengembangan pada penelitian ini.

Prosedur penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam tiga tahapan. Tahapan pertama adalah pengeringan sampel tepung sugu basah dengan variasi parameter (M_{ib} , v_u , T_{u3} , L_p , L_{scrb} , D_{Acrb} , L_{Acrb} , v_{ucrb} , dan Q_{ib}) pada mesin PCRD. Letak titik-titik pengukuran suhu dan kecepatan udara, serta variasi setiap parameter mesin PCRD dapat dilihat pada Gambar 1. Waktu pengeringan (t_r), kelembaban relatif lingkungan (RH_{ling}) dan suhu lingkungan (T_{ling}), juga diukur selama proses pengeringan. Parameter-parameter tersebut digunakan sebagai parameter konstan. Sebelum sampel tepung sugu basah tersebut dikeringkan, terlebih dahulu diukur kadar air awal dan warnanya. Setelah sampel tepung sugu basah dikeringkan dengan mesin PCRD, kemudian diukur kadar air akhir dan warnanya.

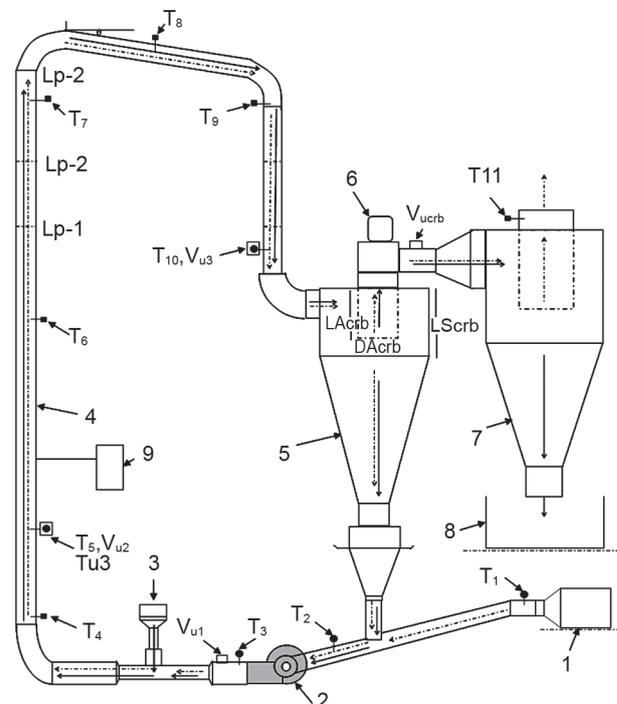
Tahapan kedua adalah pengukuran warna sampel tepung sugu sebelum dan sesudah dikeringkan dengan mesin PCRD berdasarkan variasi parameter. Pengukuran warna sampel pati sugu dilakukan untuk mengetahui nilai derajat kecerahan (L), kemerahan ($-a$) atau kehijauan ($-a$), dan kekuningan atau kebiruan ($-b$). Nilai-nilai tersebut digunakan untuk menentukan perbedaan warna atau *color difference* (ΔE) antara tepung sugu basah sebelum dikeringkan dengan tepung sugu kering sesudah dikeringkan dengan mesin PCRD. *Color difference* (ΔE) sebagai target atau

output pada pelatihan dan pengujian model JST. Sedangkan kadar air akhir tepung sugu yang dihasilkan pada pengujian ini, telah dijadikan target dalam model JST lainnya (Jading *et al.*, 2017).

Pengukuran warna sampel pati sugu menggunakan *color meter* (TES 135A). Adapun prosedur proses pengukuran warna sampel tepung sugu adalah terlebih dahulu menimbang wadah sampel untuk mengetahui berat kosong. Sampel tepung sugu dimasukkan kedalam wadah kemudian ditimbang untuk mengetahui berat wadah dan sampel. Pengukuran warna sampel tepung sugu dilakukan dengan cara meletakkan sensor *color meter* pada permukaan sampel yang ada di dalam wadah setelah ditimbang. Warna sampel tepung sugu yang terukur diekspresikan dengan sistem nilai L , ($+a$) atau ($-a$), dan ($+b$) atau ($-b$). Nilai L menunjukkan derajat kecerahan (hitam = 0; putih = 100), nilai a menunjukkan tingkat warna kemerahan ($+a$) atau kehijauan ($-a$), dan nilai b menunjukkan tingkat warna kekuningan ($+b$) atau kebiruan ($-b$). Berdasarkan hasil pengukuran nilai warna tersebut, maka nilai *color difference* (ΔE) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 1 (Scala *et al.*, 2013).

$$\Delta E = \sqrt{(a^* - a_0)^2 + (b^* - b_0)^2 + (L^* - L_0)^2} \quad (1)$$

dimana ΔE adalah *color difference*, a^* adalah nilai kemerahan ($+a$) atau kehijauan ($-a$) sampel tepung

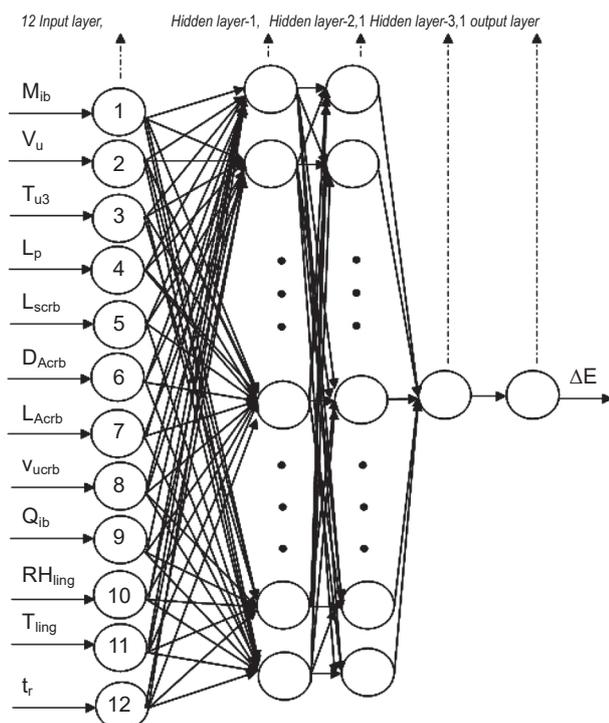


Keterangan: 1) unit tungku, 2) blower disintegrator, 3) unit pengumpan bahan input, 4) pipa resirkulasi, 5) unit siklon resirkulasi, 6) blower manifold (resirkulasi), 7) unit siklon output bahan, 8) unit penampung bahan output, 9) unit kontroler T1-11: titik pengukuran suhu udara pengering, v_{u1-3} : titik pengukuran kecepatan udara pengering, v_{ucrb} : titik pengukuran kecepatan udara blower manifold.

Gambar 1. Skematis mesin PCRD.

sagu kering, b^* adalah nilai kekuningan (+b) atau kebiruan (-b) sampel tepung sagu kering, dan L^* adalah nilai derajat kecerahan sampel tepung sagu kering. Sedangkan a_0 adalah nilai kemerahan (+a) atau kehijauan (-a) sampel tepung sagu basah sebelum dikeringkan, b_0 adalah nilai kekuningan (+b) atau kebiruan (-b) sampel tepung sagu basah sebelum dikeringkan, dan L_0 adalah nilai derajat kecerahan sampel tepung sagu basah sebelum dikeringkan. Nilai a_0 , b_0 , dan L_0 digunakan sebagai nilai kontrol yang diperoleh dari hasil pengukuran warna sampel tepung sagu basah sebelum dikeringkan dengan mesin PCR D.

Tahapan ketiga adalah pelatihan dan pengujian model JST menggunakan data nilai variasi parameter-parameter yang digunakan sebagai layar *input* (Tabel 1) dan nilai ΔE sebagai data target. Data tersebut dalam bentuk nilai mutlak yang nantinya dikonversi dalam aplikasi GUI JST. Jumlah data yang digunakan sebanyak 81 set data, sesuai jumlah perlakuan variasi parameter-parameter mesin PCR D. Data tersebut dibagi menjadi dua bagian dengan metode *trial and error*, yaitu 54 set data untuk pelatihan dan 27 set data untuk pengujian. Struktur jaringan yang dipilih untuk memprediksi *color difference* (ΔE) antara tepung sagu basah sebelum dikeringkan dengan tepung sagu kering setelah dikeringkan dengan mesin PCR D adalah jaringan lapisan banyak (*multilayer net*) dengan *multi input single output*. Struktur jaringan JST yang digunakan terdiri dari 12 *neuron* layar *input*, tiga lapisan layar *hidden* dengan variasi (5-5-1, 10-10-1, 15-15-1), dan 1 *neuron* layar *output* menggunakan fungsi transfer *logsig* atau *logsigmoid*. Algoritma pembelajaran yang digunakan adalah perambatan



Gambar 2. Struktur jaringan model JST untuk prediksi ΔE .

Tabel 1. Parameter-parameter *input* untuk memprediksi ΔE .

No.	Parameter	Satuan	Nilai Variasi
1	M_{ib}	% bb	21, 31, 41
2	v_u	m/s	15, 28, 31
3	T_{u3}	°C	75, 100, 125
4	L_p	m	9.38, 11.38, 13.38
5	$L_{scr b}$	m	0.27, 0.54, 0.81
6	$D_{Acr b}$	m	0.1016, 0.17, 0.22
7	$L_{Acr b}$	m	0.2, 0.37, 0.65
8	v_{ucrb}	m/s	10.75, 12.75, 15.75
9	Q_{ib}	kg/s	0.00208, 0.00278, 0.00417
10	RH_{ling}	%	70
11	T_{ling}	°C	32
12	t_r	s	420

galat mundur (*backpropagation*). Adapun struktur jaringan JST yang digunakan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.

Nilai variasi parameter-parameter yang digunakan sebagai layar *input* pada struktur jaringan model JST untuk memprediksi nilai *color difference* (ΔE) antara tepung sagu basah sebelum dikeringkan dengan tepung sagu kering setelah dikeringkan dengan mesin PCR D, dapat dilihat pada Tabel 1.

Optimasi model jaringan syaraf tiruan (JST) dapat ditentukan berdasarkan nilai *mean relative error* (MRE), dan *mean absolute error* (MAE) (Shrivastav dan Kumber, 2009). Nilai-nilai tersebut dapat dihitung menggunakan Persamaan 2 dan 3 (Poonnoy et al., 2007).

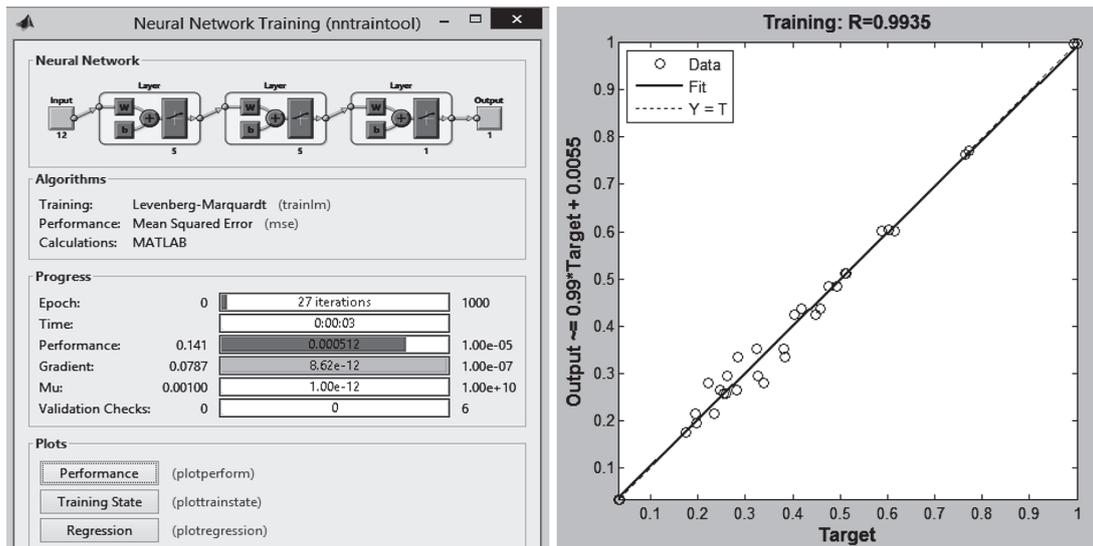
$$MRE = \frac{\sum_{i=1}^N \left| \frac{\Delta E_{prediksi,i} - \Delta E_{observasi,i}}{\Delta E_{observasi,i}} \right|}{N} \times 100 \quad (2)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N \left| \Delta E_{prediksi,i} - \Delta E_{observasi,i} \right|}{N} \quad (3)$$

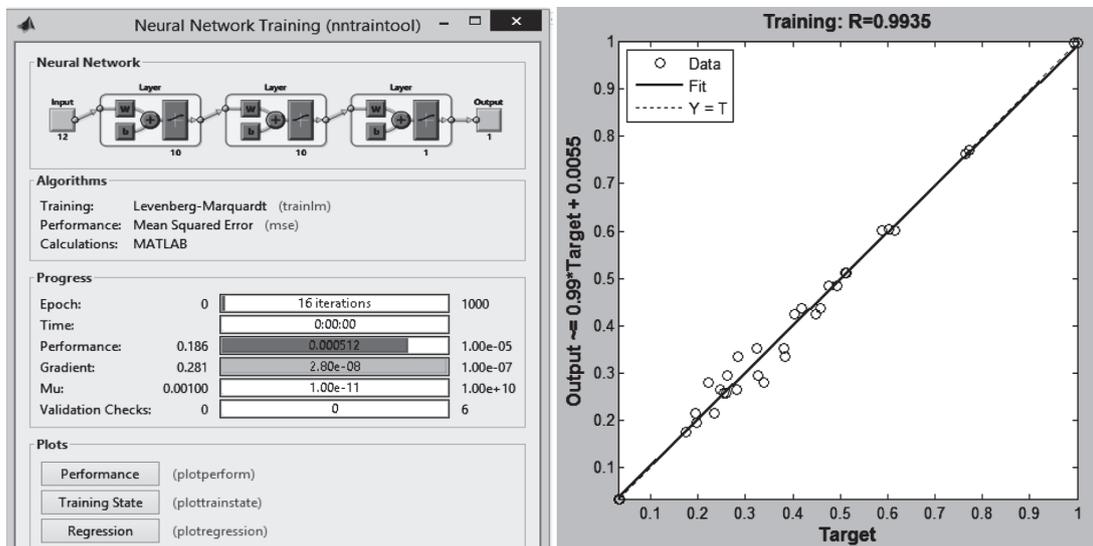
dimana ΔE adalah *color difference* antara tepung sagu basah sebelum dikeringkan dengan tepung sagu kering setelah dikeringkan dengan mesin PCR D. Sedangkan N adalah jumlah data yang digunakan untuk pelatihan dan pengujian model JST.

Hasil dan Pembahasan

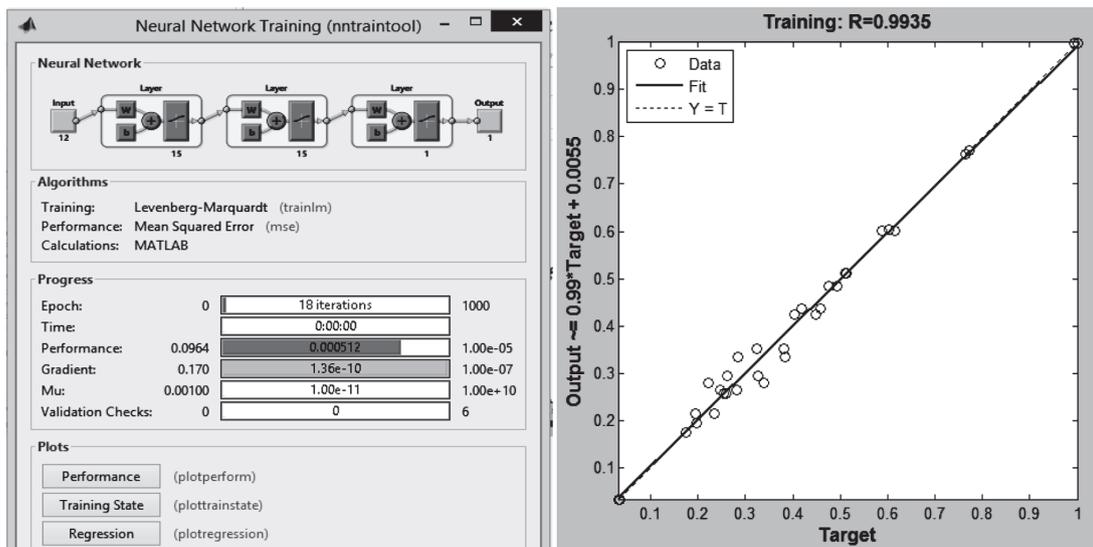
Hasil pelatihan dan pengujian model JST dengan variasi *topology* jaringan dapat dilihat pada Gambar 3. Pelatihan dan pengujian model JST menggunakan 81 set data observasi (54 set data untuk pelatihan, dan 27 set data untuk pengujian).



(a)



(b)



(c)

Gambar 3. Hasil pelatihan model JST berdasarkan variasi *topology* jaringan menggunakan *software* GUI JST: a) *topology* 12-5-5-1-1, b) *topology* 12-10-10-1-1, c) *topology* 12-15-15-1-1.

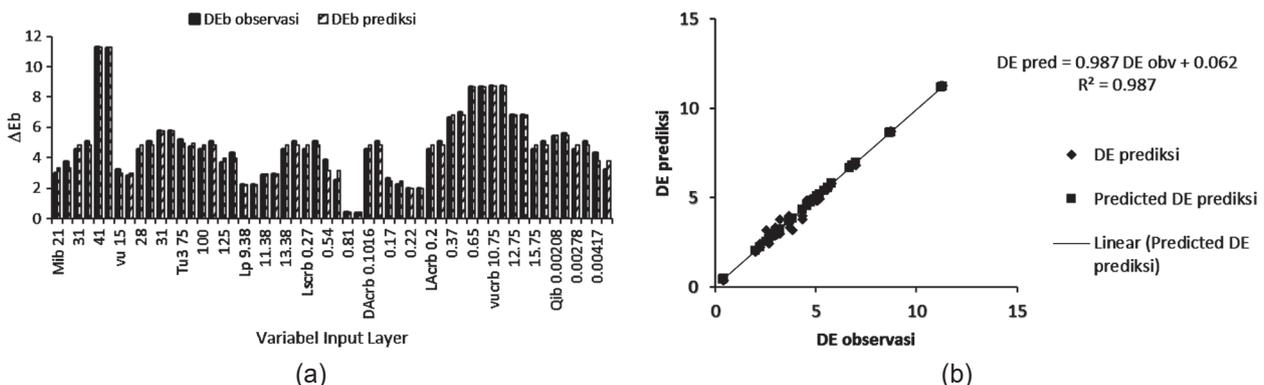
Data dari hasil pelatihan dan pengujian model JST tersebut merupakan nilai mutlak hasil konversi GUI JST. Dari hasil pelatihan menggunakan aplikasi GUI JST berbasis *NEURAL NETWORK TOOL BOX* dalam MATLAB R2014a, diperoleh nilai *mean square error* (MSE) atau nilai *performance index* jaringan model JST sebesar 0.0005121, dan nilai regresi sebesar 0.994. Nilai MSE digunakan untuk menyatakan indeks *performance* suatu jaringan pada model JST (Poonnoy et al., 2007). Sedangkan jumlah iterasi (*epoch*) yang diperlukan untuk mencapai nilai MSE tersebut, adalah 27 kali selama 14 detik untuk *topology* jaringan 12-5-5-1-1, 16 kali untuk *topology* jaringan 12-10-10-1-1, dan 18 kali untuk *topology* jaringan 12-15-15-1-1. Berdasarkan variasi *topology* jaringan model JST tersebut, maka yang paling baik untuk mencapai nilai MSE adalah *topology* dengan struktur jaringan 12-5-5-1-1, sehingga *topology* tersebut yang dipilih untuk proses pengujian model JST. *Topology* struktur jaringan 12-5-5-1-1 terdiri dari 12 *neuron input*, 3 lapisan *hidden layer* (5-5-1), dan 1 *neuron output*.

Grafik perbandingan antara ΔE prediksi dengan ΔE observasi dari hasil pelatihan model JST pada setiap variasi parameter, dan analisis regresi dapat dilihat pada Gambar 4. Grafik pada Gambar 4a menunjukkan bahwa perbandingan antara ΔE prediksi model JST dengan ΔE observasi memiliki pola yang sama pada setiap parameter-parameter variasi. Variasi parameter-parameter pada mesin PCRD mempengaruhi nilai ΔE . Semakin besar nilai variasi M_{ib} , v_u , L_p , dan L_{Acrb} , maka semakin besar nilai ΔE . Nilai ΔE yang paling besar adalah pada variasi M_{ib} 41%wb. Sedangkan nilai variasi parameter yang lainnya cenderung sama. Hal ini terjadi karena waktu resirkulasi bahan lebih lama untuk menguapkan air di dalam tepung sagu. Waktu kontak antara tepung sagu dengan udara panas lebih lama, yang dapat menyebabkan terjadinya perubahan warna pada tepung sagu (Aichayawanich et al., 2012). Sebaliknya semakin besar nilai variasi T_{u3} , L_{scrub} , D_{Acrb} , v_{ucrb} , dan Q_{ib} , maka semakin kecil nilai ΔE . Nilai ΔE yang paling kecil adalah pada variasi parameter L_{scrub} 0.81 m. Hal

ini terjadi karena tepung sagu lebih lama di dalam siklon resirkulasi sehingga waktu kontak antara udara panas pada pipa resirkulasi (L_p) cenderung lebih singkat. Dalam hal ini perubahan tinggi silinder siklon resirkulasi sangat mempengaruhi aliran dan waktu tinggal (*residence time*) bahan selama proses pengeringan (Correa et al., 2004). Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa pengaruh kadar air *input* bahan (M_{ib}) dan tinggi silinder siklon resirkulasi (L_{scrub}) sangat besar terhadap perubahan warna tepung sagu yang dikeringkan menggunakan mesin PCRD.

Gambar 4b menunjukkan grafik hasil analisis regresi antara ΔE prediksi dengan observasi. Dari hasil analisis tersebut diperoleh persamaan determinasi $\Delta E_{pred} = 0.987 \Delta E_{obs} + 0.062$, dengan nilai koefisien determinasi (R^2_{latih}) sebesar 0.987. Nilai 0.062 menunjukkan apabila tidak ada penambahan ΔE observasi, maka ΔE prediksi naik sebesar 0.062%, dan nilai 0.987 adalah koefisien regresi yang menunjukkan bahwa untuk setiap penambahan ΔE observasi, maka ΔE prediksi naik sebesar 0.987%. Sedangkan nilai koefisien determinasi menunjukkan bahwa model JST yang dihasilkan valid, karena menghasilkan nilai koefisien determinasi mendekati satu (0.987).

Perbandingan grafik antara ΔE prediksi dengan ΔE observasi hasil pengujian model JST pada setiap variasi parameter, dan analisis regresi dapat dilihat pada Gambar 5. Gambar 5a menunjukkan bahwa hasil pengujian data model JST mendekati pola yang sama dengan hasil pelatihan data pada Gambar 4a. Hal ini menunjukkan bahwa model JST yang digunakan sangat baik. Hal ini didukung oleh nilai koefisien determinasi yang ditunjukkan pada Gambar 5b. Hasil analisis regresi antara ΔE prediksi dengan observasi hasil pengujian model JST diperoleh persamaan determinasi $\Delta E_{pred} = 1.027 \Delta E_{obs} - 0.102$, dan nilai koefisien determinasi (R^2_{uji}) sebesar 0.976. Nilai 0.102 menunjukkan apabila tidak ada penambahan ΔE observasi, maka ΔE prediksi turun sebesar 0.102%, dan nilai 1.027 adalah koefisien regresi yang menunjukkan bahwa untuk setiap penambahan ΔE observasi, maka ΔE



Gambar 4. Grafik perbandingan ΔE prediksi dengan ΔE observasi hasil pelatihan model JST, a) nilai ΔE pada setiap variasi parameter dengan *software* GUI JST, b) nilai regresi.

Tabel 2. Nilai MAE dan MRE *color difference* pada setiap parameter variasi.

	Parameter	MAE	MRE (%)
Pelatihan	M _{ib}	0.222	5.646
	v _u	0.155	4.065
	T _{u3}	0.275	6.157
	L _p	0.096	2.121
	L _{scrb}	0.307	9.599
	D _{Acrb}	0.161	4.892
	L _{Acrb}	0.138	2.563
	v _{ucrb}	0.088	1.816
	Q _{ib}	0.302	7.361
Pengujian	M _{ib}	0.293	4.829
	v _u	0.163	4.436
	T _{u3}	0.103	2.316
	L _p	0.173	5.725
	L _{scrb}	0.313	4.075
	D _{Acrb}	0.171	7.049
	L _{Acrb}	0.588	7.612
	v _{ucrb}	0.050	1.035
	Q _{ib}	0.362	7.777

prediksi naik sebesar 1.027%. Sedangkan nilai koefisien determinasi menunjukkan bahwa model JST valid karena menghasilkan nilai koefisien mendekati satu. Dari hasil pelatihan dan pengujian menunjukkan bahwa model JST tersebut, valid digunakan untuk memprediksi perubahan warna (*color difference*) tepung sagu yang dikeringkan dengan mesin PCR. Suatu model JST dinyatakan valid apabila nilai koefisien determinasi hasil pelatihan dan pengujian yang dihasilkan mendekati satu (Shrivastav dan Kumber, 2009).

Hasil analisis optimasi model JST menggunakan Persamaan 2 dan 3, menunjukkan bahwa nilai MAE sebesar 0.194 dan MRE sebesar 4.193% pada pelatihan model JST. Sedangkan pada pengujian model JST diperoleh nilai MAE sebesar 0.246 dan MRE sebesar 9.058%. Hal ini menunjukkan bahwa

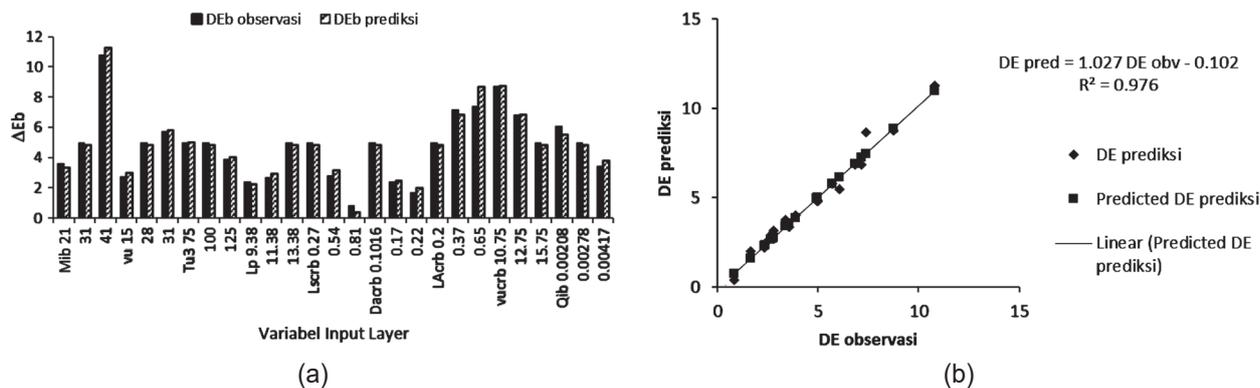
nilai MAE dan MRE yang dihasilkan cukup kecil sehingga model JST mampu menghasilkan prediksi yang baik. Adapun nilai MAE dan MRE pada setiap parameter variasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai MAE dan MRE hasil pelatihan dan pengujian pada model JST cukup kecil dan relatif sama. Nilai MAE dan MRE pada setiap parameter variasi juga cukup kecil. Nilai MAE dan MRE yang paling besar dari hasil pelatihan model JST adalah pada parameter L_{scrb} yaitu 0.307 dan 9.599%. Sedangkan nilai MAE dan MRE yang paling besar dari hasil pengujian adalah pada parameter Q_{ib} yaitu 0.362 dan 7.777%. Hasil ini menunjukkan bahwa ada perbedaan antara hasil pelatihan dan pengujian model JST. Hal ini diduga karena pemilihan data *color difference* tepung sagu yang digunakan untuk pelatihan dan pengujian dilakukan berdasarkan *trial and error* (Rosas *et al.*, 2011). Namun demikian, nilai tersebut tidak mempengaruhi nilai validitas hasil pelatihan model JST.

Nilai MAE dan MRE yang paling kecil adalah pada parameter v_{ucrb}, baik dari hasil pelatihan maupun pengujian model JST. Nilai MAE dan MRE v_{ucrb} hasil pelatihan model JST adalah 0,088 dan 1.816%. Nilai MAE dan MRE hasil pengujian model JST adalah 0.050 dan 1.035%. Nilai MAE dan MRE hasil pelatihan dan pengujian model JST relatif sama. Semakin kecil nilai MAE dan MRE, maka semakin baik jaringan pada model tersebut untuk memprediksi perubahan warna tepung sagu. *Performance* jaringan dapat ditentukan berdasarkan nilai *error* yang kecil antara prediksi dan observasi (Satish dan Setty, 2005).

Simpulan

Hasil penelitian ini adalah telah diperolehnya model jaringan syaraf tiruan (JST) dengan *topology* struktur jaringan terbaik yaitu 12 *neuron input*, 3 lapisan *hidden layer* (5-5-1), dan 1 *neuron output* atau *topology* 12-5-5-1-1. Nilai MSE yang dicapai model tersebut sebesar 0.0005121 dengan *epoch*



Gambar 5. Grafik perbandingan ΔE prediksi dengan ΔE observasi hasil pengujian model JST: a) nilai ΔE pada setiap variasi parameter dengan *software* GUI JST, b) nilai regresi.

16 kali. Hasil uji validitas model JST tersebut menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi untuk proses pelatihan (R^2_{latih}) adalah 0.987 atau 98.7%, dan proses pengujian (R^2_{uji}) adalah 0.976 atau 97.6%. Sedangkan hasil analisis optimasi model menunjukkan nilai MAE dan MRE model JST cukup kecil. Hal ini menunjukkan bahwa model JST ini dapat digunakan untuk memprediksi *color difference* tepung sagu yang dikeringkan dengan mesin PCRD

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu sampai selesainya penelitian ini, lebih khusus kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DPRM) Kemristekdikti yang telah memberikan bantuan dana penelitian melalui Penelitian Disertasi Doktor tahun 2017, Staf teknis laboratorium EMP dan TPP Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem UGM, dan asisten lapangan yang telah membantu dalam pembuatan dan pengujian mesin PCRD, serta Tri Wahyu Saputra, S.TP, M.Sc yang telah membantu dalam pengembangan aplikasi GUI JST.

Daftar Pustaka

- Aichayawanich, S., M. Nopharatana, A. Nopharatana, dan W. Songkasiri. 2012. Effects of pneumatic conveying drying conditions on damaged starch content and particle size of cassava starch. *Advanced Materials Research* 554–556:1433–1438.
- BSN. 2008. *Tepung Sagu: SNI 3729. Badan Standar Nasional (BSN)*.
- Correa, J.L.G., D.R. Graminho, M.A. Silva, dan S.A. Nebra. 2004. The cyclonic dryer- A numerical and experimental analysis of the influence of geometry on average particle residence time. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 21(1):103–112.
- Jading, A., N. Bintoro, L. Sutiarto, dan J.N.W. Karyadi. 2016. Analisis efisiensi pneumatic conveying recirculated dryer untuk pengeringan bahan-bahan tepung. Di dalam Partoyo, Y. Ratih, D. Mulyanto, dan E. Al (Eds.), *Seminar Nasional Reaktualisasi Pemberdayaan Masyarakat pada Era Persaingan Bebas*. Yogyakarta: Fakultas Pertanian UPN Veteran Yogyakarta.
- Jading, A., N. Bintoro, L. Sutiarto, dan J.N.W. Karyadi. 2017. Model jaringan syaraf tiruan untuk memprediksi kadar air bahan pada pneumatic conveying recirculated dryer. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* 27(2):141–151. <https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2017.27.2.141>
- Limbongan, J. 2007. Morfologi beberapa jenis sagu potensial di Papua. *Jurnal Litbang Pertanian* 26(1):16–24.
- Poonnoy, P., A. Tansakui, dan M. Chinnan. 2007. Artificial neural network modeling for temperature and moisture content prediction in tomato slices undergoing microwave-vacuum drying. *Journal of Food Science* 72(1):E42–E47.
- Rosas, A., O. Baez, G.R. Urrea, dan G. Luna. 2011. Experimental and neural network prediction of a tray drier for drying getal pear. In *ICEF11 International Congress on Engineering and Food*. p. 1–6.
- Satish, S., dan P. Setty. 2005. Modeling of a continuous fluidized bed dryer using artificial neural networks. *Heat and Mass Transfer* 32:539–547.
- Scala, K.D., G. Meschino, A. Vega-gálvez, R. Lemus-mondaca, S. Roura, dan R. Mascheroni. 2013. An artificial neural network model for prediction of quality characteristics of apples during convective dehydration. *Food Science and Technology* 33(3):411–416
- Shen, Y., C. Lu, P. Xu, dan Y. Yang. (2010). Color difference detection based on BP neural network. In *Second International Conference on Computational Intelligence and Natural Computing (CINC)*.
- Shrivastav, S., dan B.K. Kumbar. 2009. Modeling and optimization for prediction of moisture content, drying rates and moisture ratio. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* 2(1):58–64.
- Widaningrum, E.P. Purwani, dan S.J. Munarso. 2005. Kajian terhadap SNI mutu pati sagu. *Jurnal Standardisasi* 7(3):91–98.