



Analisis Karakteristik Pengeringan Kunyit Menggunakan Menggunakan Mesin Pengering Sistem Rotasi Berbasis ANN-FL

Agus Susanto^{1*}, Hanum Arrosida², Mohammad Erik Echsony³, Moh. Taufiq Mahendra⁴, Rilo Novanda Arya Pambudi⁵

^{1,2,3,4,5} Politeknik Negeri Madiun, Madiun
E-mail: agus_eng.dept@pnm.ac.id

Received: 31 Oktober 2024 ; Received in revised form : 19 Desember 2024; Accepted: 20 Desember 2024

Abstract

Turmeric is one of the spices that has many health benefits so that it is widely consumed by humans, both for cooking spices, health therapy, and traditional cosmetics. Therefore, drying turmeric is one way to preserve turmeric so that it can be used for a long time. The purpose of this study was to analyze the properties or characteristics of turmeric drying using an automatic rotary drying machine. The Artificial Neural Network-Fuzzy Logic (ANN-FL) method was developed to model the relationship between drying parameters such as turmeric silage slice thickness, drying temperature, air flow rate, and drying time to the remaining water content and air humidity ratio. The first experiment showed a remaining water content of 10% from the initial water content of 75% with a final humidity of 40%. The second and third experiments showed water content to be 8% and 5% respectively from the initial water content of 80 and 85% with humidity of 30% and 15%. Artificial Neural Network (ANN) and Fuzzy Logic (FL) were modeled to learn patterns from experimental data obtained through experiments. The histogram of the model error shows that the distribution of errors between predictions and targets. Most of the errors are close to zero, indicating that the ANN-FL model has an accurate prediction rate. In addition, the training performance shows a decrease in Mean Squared Error (MSE) as the number of epochs increases, which means that the ANN-FL model learns well and reduces the prediction error as the number of epochs increases. The results of the study indicate that the ANN-FL method can be used to predict the water content of turmeric with a high level of accuracy. In addition, the ANN-FL method can also be used to control the temperature and humidity of turmeric drying so that more uniform and high-quality drying results are obtained.

Keywords: Artificial Neural Network; Fuzzy Logic; Turmeric Drying Characteristics

Abstrak

Kunyit merupakan salah satu rempah-rempah yang memiliki banyak manfaat bagi kesehatan sehingga banyak dikonsumsi oleh manusia, baik untuk bumbu masakan, terapi kesehatan, maupun kosmetik tradisional. Oleh karena itu, pengeringan kunyit merupakan salah satu cara untuk mengawetkan kunyit agar dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama. Tujuan penelitian adalah menganalisis sifat-sifat atau karakteristik pengeringan kunyit menggunakan mesin pengering rotari otomatis (*automatic rotary drying machine*). Metode *Artificial Neural Network-Fuzzy Logic* (ANN-FL) dikembangkan untuk memodelkan hubungan antara parameter pengeringan seperti ketebalan irisan silase kunyit, suhu pengeringan, kecepatan aliran udara, dan waktu pengeringan terhadap kadar air yang tersisa dan rasio kelembapan udara. Eksperimen pertama menunjukkan kadar air tersisa 10% dari kadar awal 75% air dengan kelembapan akhir 40%. Eksperimen kedua dan ketiga masing-masing menunjukkan kadar air menjadi 8% dan 5% dari kadar air awal 80 dan 85% dengan kelembapan 30% dan 15%. *Artificial Neural Network* (ANN) dan *Fuzzy Logic* (FL) dimodelkan untuk mempelajari pola dari data eksperimental yang diperoleh melalui eksperimen. Histogram error model menunjukkan bahwa distribusi error antara prediksi dan target. Sebagian besar error mendekati nol, menunjukkan bahwa model ANN-FL memiliki tingkat prediksi yang akurat. Selain itu, *training performance* menunjukkan penurunan *Mean Squared*

Error (MSE) seiring bertambahnya epoch, yang berarti model ANN-FL belajar dengan baik dan mengurangi kesalahan prediksi seiring *epoch*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ANN-FL dapat digunakan untuk memprediksi kadar air kunyit dengan tingkat akurasi yang tinggi. Selain itu, metode ANN-FL juga dapat digunakan untuk mengontrol suhu dan kelembaban pengeringan kunyit sehingga diperoleh hasil pengeringan yang lebih seragam dan berkualitas tinggi.

Kata kunci: *Artificial Neural Network, Fuzzy Logic, Karakteristik Pengeringan Kunyit*

1. PENDAHULUAN

Kunyit (*Curcuma longa*) merupakan salah-satu diantara tanaman obat (*biofarmaka*) yang penting bagi kesehatan dan umum dikonsumsi oleh masyarakat, baik digunakan sebagai bumbu masakan, kosmetik tradisional, maupun terapi kesehatan. Hal ini karena tumbuhan ini mengandung zat *curcuminoid, atsiri, zingiberene, cineol, polysaccharide*, dan zat lainnya yang bermanfaat sebagai analgesik, anti-inflamasi, anti-oksidan, anti-mikroba, anti-kanker, serta anti-tumor [1,2]. Zat-zat tersebut bermanfaat untuk meningkatkan daya tahan tubuh, melancarkan pencernaan, dan meredakan peradangan [3,4]. Dibalik semua manfaat tersebut, kunyit adalah jenis tumbuhan mempunyai kandungan air mencapai 75-90% dalam rimpangnya [5,6]. Oleh karena itu, kunyit akan cepat mengalami pembusukan jika disimpan terlalu lama atau akan mengeluarkan tunas baru. Hal ini tentu akan berdampak pada penurunan khasiat obat yang terkandung dalam kunyit. Cara yang paling umum untuk menurunkan kadar air dalam rimpang kunyit sehingga kunyit dapat memiliki masa yang tahan lama adalah melalui pengeringan. Prinsip proses pengeringan adalah mengurangi atau menghilangkan kelembaban (air terkandung) dari bahan pangan dengan cara penguapan sehingga dapat mengurangi volume dan berat, meningkatkan masa simpan produk, dan bahkan memberikan produk berkualitas tinggi [7]. Dalam industri pangan, pengeringan adalah salah satu proses penting untuk menghasilkan produk dengan kualitas yang diinginkan atau paling tidak mengawetkan jenis produk pangan [8,9]. Metode pengeringan tradisional yang paling dikenal dapat berupa pengeringan dengan memanfaatkan panas sinar matahari atau pengasapan. Meskipun sangat lazim diaplikasikan dalam metode pengawetan, kedua metode tradisional ini memiliki beberapa keterbatasan terhadap produk yang dihasilkan, seperti waktu pengeringan yang lama, pengeringan yang tidak seragam, serta rentan terkontaminasi oleh bakteri dan debu karena dikeringkan ditempat terbuka. Semua kelemahan tersebut selanjutnya berdampak pada kuantitas dan kualitas produk. Oleh karena itu, model pengeringan konveksi udara menggunakan teknologi atau mesin pengering menjadi dapat menjadi pilihan.

Dalam proses pengeringan, parameter seperti suhu pengeringan, kelembaban, degradasi volume produk, dan kecepatan aliran udara memainkan peran yang sangat penting. Hal ini karena parameter tersebut berkaitan dengan desain teknologi atau mesin pengering produk tumbuhan yang sedang dikembangkan sekaligus berkaitan dengan kuantitas dan kualitas produk yang dihasilkan. Untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi proses pengeringan kunyit, metode baru yang dapat memodelkan hubungan antara parameter-parameter kontrol tersebut dengan kuantitas dan kualitas produk sangat diperlukan.

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk mengembangkan metode pengeringan kunyit yang lebih efisien dan efektif. Salah satu metode yang menjanjikan adalah metode *Artificial Neural Network* dan *Fuzzy Logic*. *Artificial Neural Network* (ANN) adalah metode matematis pemrosesan suatu informasi yang terinspirasi oleh sistem sel syaraf biologi dan menyerupai otak manusia dalam memproses suatu informasi [10]. Seperti halnya otak manusia, ANN juga terdiri-dari beberapa neuron-neuron yang saling berhubungan. Beberapa neuron akan mentransformasikan informasi yang diterimanya melalui sambungan keluaran menuju neuron-neuron lain. Dengan kata lain, neuron adalah sebuah unit pemroses informasi yang merupakan dasar operasi ANN. Sedangkan *Fuzzy Logic* (FL) adalah sebuah bentuk logika yang memiliki banyak nilai (*many-valued-logic*) yang digunakan untuk mendefinisikan nilai diantara 0 sampai 1 dengan menggunakan pendekatan bahasa verbal agar komputer dapat berpikir layaknya manusia [11,12].

Beberapa peneliti telah menerapkan metode ANN untuk menjelaskan sifat pengeringan dari berbagai produk pertanian. Martinez dkk. [13] menggunakan ANN untuk memprediksi kelembaban rumput laut. Kaveh dan Chayjan [14] memprediksi rasio kelembaban (*MR*), laju pengeringan (*DR*), konsumsi energi spesifik (*SEC*), efektifitas pengeringan (*D_{eff}*) dan penyusutan buah terebinth

menggunakan pengering unggul terfluidisasi dengan ANN. Dalam penelitian yang mereka lakukan, masing-masing MR , DR , SEC , dan D_{eff} yang dihasilkan adalah 0,9965; 0,9730; 0,9855; dan 0,9932, serta 0,9917 mengalami penyusutan secara berurutan. Samadi dkk. [15] memprediksi MR dan DR dari silase apel selama pengeringan dengan menggunakan panas hibrida dan pengering listrik dengan menggunakan ANN. Hasilnya, masing-masing MR dan DR adalah sebesar 0,9989 dan 0,9985. Azadeh dkk., [16] menerapkan ANN, ANFIS dan Partial least-squares (PLS) untuk mengontrol proses pengeringan. Dalam penelitiannya, PLS digunakan untuk preprocessing data sebelum menerapkan pendekatan ANN dan ANFIS. Mereka menunjukkan bahwa model PLS-ANFIS berkinerja lebih baik dengan nilai koefisien determinasi (R^2) yang lebih tinggi, yaitu 91,06 dan mean square error (MSE) yang lebih rendah, yaitu 0,000834.

Penelitian yang dilakukan tersebut memberikan informasi pengeringan menggunakan kecerdasan buatan menggunakan ANN atau ANN yang dikombinasikan dengan metode lainnya, seperti ANFIS dan PLS. Akan tetapi penggunaan metode ANN dan FL untuk memprediksi kadar air kunyit dan mengontrol suhu dan kelembaban pengeringan kunyit masih jarang dikemukakan. Artikel ini menginformasikan tentang pengaruh parameter proses pengeringan, yakni suhu pengeringan, kelembaban, degradasi volume produk, dan kecepatan aliran udara dalam pengeringan kunyit. *Artificial Neural Network* (ANN) dan *Fuzzy Logic* (FL) dimodelkan karena kemampuannya dalam menganalisa ketidakpastian dan kompleksitas data proses pengeringan. Oleh karena itu, ANN digunakan untuk mempelajari pola dari data eksperimental yang diperoleh melalui eksperimen. Sedangkan *Fuzzy Logic* digunakan untuk mengintegrasikan pengetahuan eksperimen dalam bentuk aturan *fuzzy*. Untuk melaksanakan penelitian ini, mesin pengering otomatis skala laboratorium dikembangkan dan digunakan untuk tujuan pengambilan data.

2. METODE PENELITIAN

Bahan penelitian berupa kunyit sebagai penelitian didapat dari Pasar Besar Madiun sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 1. Rimpang kunyit tersebut kemudian dipotong-potong menjadi silase sebagai sampel uji dan diukur kadar airnya. Sampel kunyit yang sudah dipersiapkan kemudian dimasukkan ke dalam mesin pengering otomatis sebagaimana yang ditampilkan pada Gambar 2(a). Bagian-bagian penting dari mesin pengering otomatis ini ditampilkan pada Gambar 2(b). Pengaturan suhu, kecepatan putaran, dan waktu yang sesuai untuk proses pengeringan dapat diatur melalui kotak kontrol panel (*box panel controller*). Tabel 1 menyediakan kondisi awal sampel pengujian dan parameter pengeringan. Terlihat dalam tabel ini bahwa pada percobaan pertama, sampel setebal 1 mm dengan kadar air 75% dikeringkan pada suhu 45 °C, kecepatan aliran udara 1 m/s, dalam waktu 60 menit. Pada percobaan kedua dan ketiga, masing-masing sampel dengan kadar air 80 dan 85% dikeringkan pada suhu 50 dan 60 °C, kecepatan aliran udara 2 dan 3 m/s, dalam waktu 90 dan 120 menit.



Gambar 1. Rimpang Kunyit Sebagai Sampel Pengujian

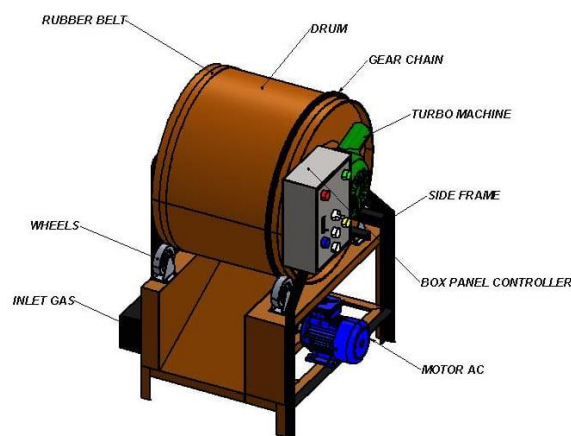
Tabel 1. Kondisi Awal Sampel Pengujian Dan Parameter Pengeringan

Percobaan	Tebal Irisan (mm)	Kadar Air Awal (%)	Suhu (°C)	Kecepatan aliran Udara (m/s)	Waktu (menit)
1		75	45	1	60
2	1	80	50	2	90
3		85	60	3	120

Di dalam mesin pengering, terdapat elemen panas yang apabila dibakar akan menghasilkan udara panas. Udara panas ini dialirkan ke dalam tabung pengeringan (*drying chamber*). Kipas di dalam mesin pengering membantu dalam mengatur sirkulasi udara. Udara panas yang dipanaskan oleh elemen panas disirkulasikan secara teratur di sekitar kunyit yang telah dipotong-potong menjadi silase di dalam tabung pengeringan sesuai dengan set kecepatan aliran udara. Sirkulasi udara ini penting untuk memastikan kunyit kering secara merata. Sensor suhu (*thermocouple*) digunakan untuk memonitor suhu di dalam tabung pengeringan dengan temperature yang telah ditetapkan sesuai eksperimen.



(a) Mesin Pengering Yang Dimanufaktur



(b) Gambar Teknik Yang Menampilkan Bagian-Bagian Mesin Pengering

Gambar 2. Mesin Pengering Skala Laboratorium yang Dikembangkan dan Digunakan untuk Pengambilan Data

Selama proses pengeringan, air yang terkandung di dalam kunyit akan menguap karena paparan panas dari udara yang sirkulasi di dalam tabung pengeringan. Proses ini dapat memakan waktu beberapa jam tergantung pada kelembaban awal kunyit dan pengaturan suhu mesin pengering. Mesin pengering dilengkapi dengan kontrol panel yang memungkinkan pengguna untuk mengatur proses pengeringan, termasuk pengaturan suhu, kecepatan putaran, aliran udara, dan waktu proses. Proses pengeringan akan berakhir ketika kunyit telah mencapai tingkat kekeringan yang diinginkan. Dalam penelitian ini, kunyit dikeringkan hingga memiliki kadar air 10%, sehingga dapat disimpan dalam jangka waktu yang lebih lama tanpa kehilangan kualitasnya.

Mesin pengering kunyit bekerja dengan menggunakan algoritma Artificial Neural Network (ANN) dan *Fuzzy Logic* (FL) untuk mengontrol suhu dan kecepatan aliran udara dalam *drying chamber*. Dua metode pelatihan, termasuk perambatan balik *LM* (kode *trainlm*) dan perambatan balik *BR* (kode *trainbr*) diterapkan [17]. Tiga operasi transfer (*Tansig*, *Logsig*, dan *Purelin*) digunakan untuk mendapatkan struktur jaringan terbaik yang diformulasikan sebagai berikut [17]:

$$Y_j = X_j \quad (\text{Purelin}) \quad (1)$$

$$Y_j = \frac{2}{(1 + \exp(2X)) - 1} \quad (\text{Tansig}) \quad (2)$$

$$Y_j = \frac{1}{1 + \exp(-X_j)} \quad (\text{Logsig}) \quad (3)$$

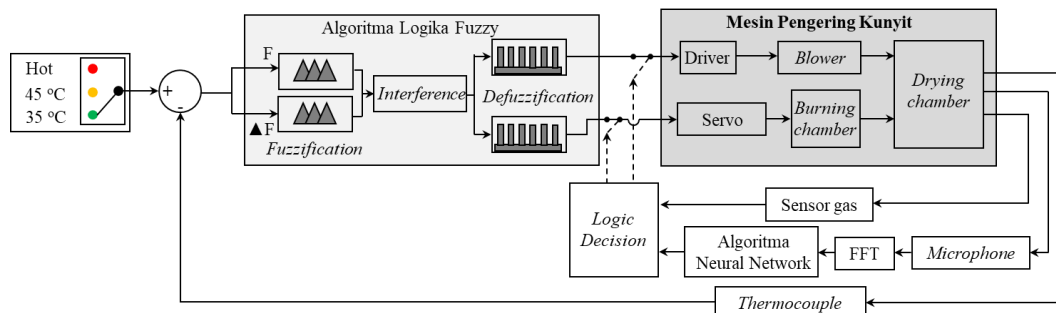
di mana X_j adalah input berbobot untuk setiap neuron pada lapisan ke- j dan dihitung dengan persamaan 4 :

$$X_j = \sum_{i=1}^m W_{ij} \times Y_i + b_j \quad (4)$$

dimana m adalah neuron lapisan keluaran, W_{ij} adalah bobot antara lapisan ke- i dan ke- j ; Y_i adalah neuron keluaran ke- j ; X_i adalah neuron masukan ke- j ; b_j adalah bias neuron ke- j untuk FFBP dan CFBP [8].

Mekanisme kerja mesin diawali dari pembakaran bahan bakar gas LPG (*liquid petroleum gas*) di dalam *burning chamber*. Proses ini bertujuan untuk membakar elemen pemanas sehingga menghasilkan kalor dan kemudian ditransfer kedalam *drying chamber*. Kalor yang telah ditransfer tersebut digunakan untuk mengeringkan kunyit basah yang telah dimasukkan kedalam *drying chamber*.

Selama proses pengeringan, suhu dalam *drying chamber* dikontrol menggunakan *thermocontrol* yang dilengkapi modul analog untuk memastikan bahwa kunyit dikeringkan pada suhu yang sesuai eksperimen, yakni 45, 50, dan 60 °C. Jika suhu melebihi suhu yang ditetapkan, maka pembakaran secara otomatis akan berhenti (*mode switch off*) dan akan kembali ke *mode switch on* jika suhu telah kembali. Selain itu, kipas blower akan *switch on* untuk mempercepat pembuangan panas dan akan kembali ke *mode switch off* jika suhu telah kembali ke asalnya. Semua pengaturan ini dikendalikan oleh algoritma *Fuzzy*. Pada saat yang sama, sensor *microphone* yang terletak di dalam selang aluminium dengan kendali mikrokontroler akan mengenali suara sangrai kunyit (*sound wave*) selama proses pengeringan. Kemudian, *Fast Fourier Transform* (FFT) mengubah data mentah berupa suara (*sound wave*) dalam domain waktu menjadi domain frekuensi. *Artificial Neural Network* yang telah di-*training* akan mengenali frekuensi *sound wave* dan mengklasifikasikannya menjadi kategori kunyit matang dan belum. Jika kondisi pengeringan kunyit telah dicapai (matang), maka *Logic Decision* akan memastikan proses secara keseluruhan. Blok diagram otomasi kontrol mesin yang menjelaskan mekanisme kerja mesin pengering kunyit diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Blok Diagram Otomasi Kontrol Mesin yang Menjelaskan Mekanisme Kerja Mesin Pengering Kunyit

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

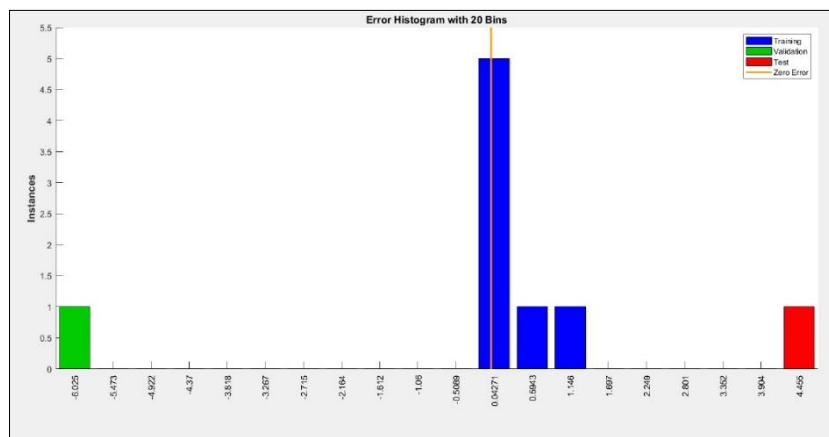
Data hasil eksperimen yang ditampilkan pada Tabel 2. terlihat bahwa tingkat suhu pengeringan, kecepatan aliran udara, dan lama waktu pengeringan berpengaruh pada karakteristik pengeringan. Parameter pengeringan tersebut berpengaruh pada kadar air dan kelembapan akhir. Terlihat bahwa semakin tinggi suhu pengeringan dan kecepatan aliran udara serta semakin lama waktu pengeringan, maka kadar air dan kelembapan semakin menurun. Pada percobaan pertama, kadar air tersisa 10% dari kadar awal 75% air dengan kelembapan akhir 40%. Pada percobaan kedua dan ketiga, masing-masing kadar air menjadi 8% dan 5% dari kadar air awal 80 dan 85% dengan kelembapan 30% dan 15%.

Dalam tinjauan kinetika pengeringan, data menginformasikan bahwa pengeringan sampel uji terjadi secara menyeluruh selama proses pengeringan. Hal ini menunjukkan bahwa permukaan material tidak lagi jenuh dengan air dan laju pengeringan dikendalikan oleh fenomena difusi internal sesuai dengan proses perpindahan massa [18]. Selain itu, pada suhu menyebabkan penurunan tekanan lingkungan yang mengakitnya kelembapan internal memiliki sedikit hambatan dalam laju transfer [19].

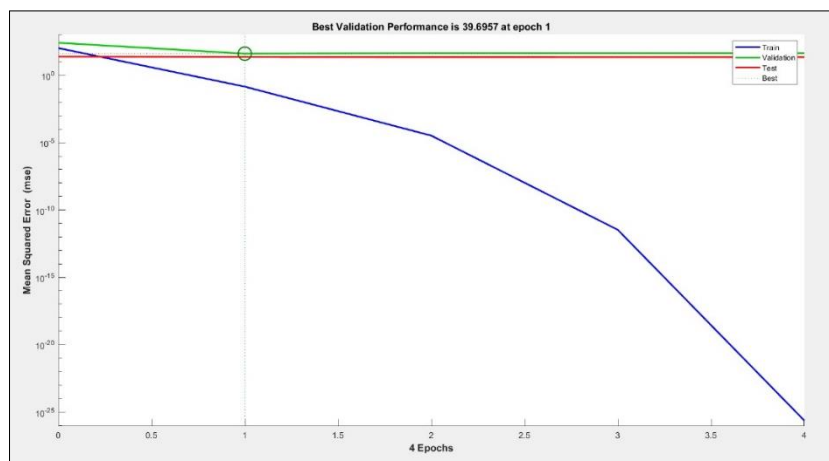
Tabel 2. Data Hasil Eksperimen

Percobaan	Tebal irisan (mm)	Kadar air awal (%)	Suhu (°C)	Kecepatan aliran udara (m/s)	Waktu (menit)	Kadar air akhir (%)	Kelembaban akhir (%)
1		75	45	1	60	10	40
2	1	80	50	2	90	8	30
3		85	60	3	120	5	15

Hasil optimasi menggunakan *Artificial Neural Network* (ANN) dan *Fuzzy Logic* (FL) disajikan pada Gambar 4 – 7 yang menunjukkan performa model ANN-FL dalam memprediksi kadar air akhir kunyit. Berdasarkan Gambar 4, histogram error menunjukkan distribusi error antara prediksi dan target. Sebagian besar error mendekati nol, menunjukkan bahwa model ANN-FL memiliki tingkat prediksi yang akurat. Gambar 5 menunjukkan *training performance* yang menampilkan kinerja selama pelatihan. Data yang ditampilkan pada gambar ini menunjukkan penurunan *Mean Squared Error* (MSE) seiring bertambahnya epoch, yang berarti model ANN-FL belajar dengan baik dan mengurangi kesalahan prediksi seiring *epoch* yang diberikan.



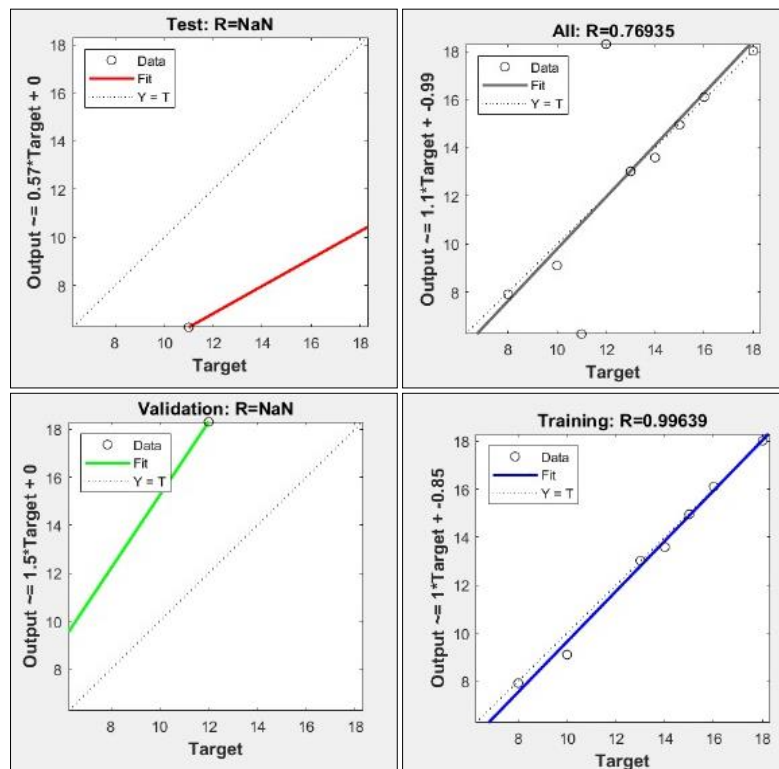
Gambar 4. Histogram Error



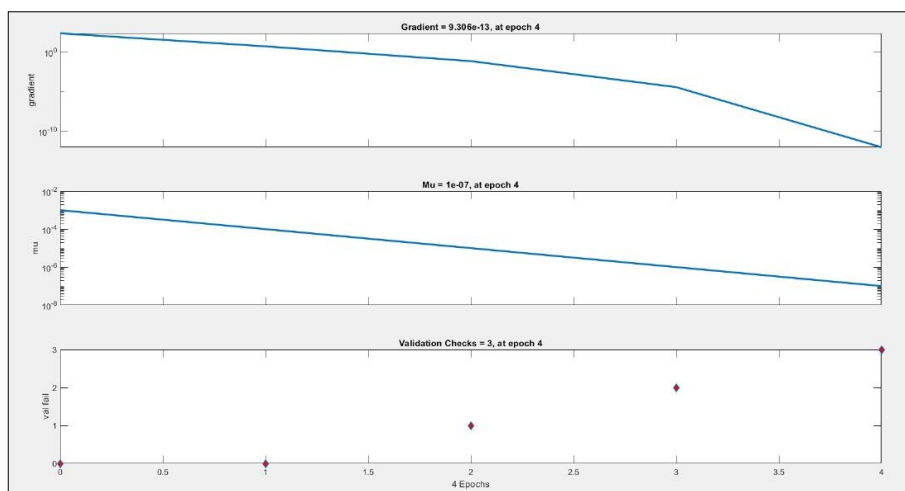
Gambar 5. Training Performance

Gambar 6 menampilkan grafik regresi yang menunjukkan hubungan antara output model dan target sebenarnya. Nilai koefisien determinasi (R) yang sangat tinggi pada data pelatihan ($R = 0.99639$) menunjukkan bahwa model sangat akurat dalam menyesuaikan data pelatihan [9]. Namun, nilai validasi: $R = \text{NaN}$ dan nilai Test: $R = \text{NaN}$ memungkinkan bahwa terdapat data yang tidak mempunyai kecocokan

dalam proses validasi dan tes. Namun secara keseluruhan, metode yang diusulkan, yakni ANN-FL menunjukkan kemampuan yang baik dalam memprediksi kadar air akhir berdasarkan parameter yang diinput. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan suhu dan waktu pengeringan serta penurunan kelembaban dan ketebalan irisan berkontribusi signifikan dalam pengurangan kadar air akhir kunyit sebagaimana data yang ditampilkan pada Gambar 7. Temuan ini tidak jauh berbeda dengan hasil yang dilaporkan Beigi dkk., [9] yang menggunakan ANN topologi 4-18-18-1 untuk mengevaluasi kurva pengeringan padi, dan Jafari dkk., [11] yang menerapkan ANN dengan topologi 2-5-1 dalam pengeringan bawang merah.



Gambar 6. Plotting regresi



Gambar 7. Kondisi regression

4. SIMPULAN

Penelitian ini mengeksplo karakteristik pengeringan kunyit karena pengaruh parameter proses pengeringan, yakni suhu pengeringan, kecepatan aliran udara, dan lama waktu pengeringan terhadap. Hasil eksperimen menggunakan mesin pengering kunyit otomatis menunjukkan bahwa parameter pengeringan berpengaruh terhadap kadar air dan kelembapan akhir, yakni semakin tinggi suhu pengeringan dan kecepatan aliran udara serta semakin lama waktu pengeringan, maka kadar air dan kelembapan semakin menurun. Eksperimen pertama menunjukkan kadar air tersisa 10% dari kadar awal 75% air dengan kelembapan akhir 40%. Eksperimen kedua dan ketiga masing-masing menunjukkan kadar air menjadi 8% dan 5% dari kadar air awal 80 dan 85% dengan kelembapan 30% dan 15%. *Artificial Neural Network* (ANN) dan *Fuzzy Logic* (FL) dimodelkan untuk mempelajari pola dari data eksperimental yang diperoleh melalui eksperimen. Histogram error model menunjukkan bahwa distribusi error antara prediksi dan target. Sebagian besar error mendekati nol, menunjukkan bahwa model ANN-FL memiliki tingkat prediksi yang akurat. Selain itu, *training performance* menunjukkan penurunan *Mean Squared Error* (MSE) seiring bertambahnya epoch, yang berarti model ANN-FL belajar dengan baik dan mengurangi kesalahan prediksi seiring *epoch*. Oleh karena itu, metode ANN-FL efektif digunakan untuk memodelkan dan memprediksi karakteristik pengeringan kunyit. Penggunaan teknik ini dapat membantu mengoptimalkan proses pengeringan dengan mempertimbangkan berbagai variabel yang mempengaruhi hasil akhir. Model ANN-FL menunjukkan akurasi yang tinggi dalam memprediksi hasil pengeringan, meskipun terdapat beberapa kendala dalam validasi dan tes yang perlu ditangani. Secara keseluruhan, metode ini dapat menjadi alat yang sangat berguna dalam industri pengolahan kunyit untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas produk akhir.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Chumroenphat, I. Somboonwatthanakul, S. Saensouk, S. Siriamornpun, Changes in curcuminoids and chemical components of turmeric (*Curcuma longa* L.) under freeze-drying and low-temperature drying methods, *Food Chem.* 339 (2021) 128121. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128121>.
- [2] S.M. Llano, A.M. Gómez, Y. Duarte-Correa, Effect of Drying Methods and Processing Conditions on the Quality of *Curcuma longa* Powder, *Processes* 10 (2022) 1–15. <https://doi.org/10.3390/pr10040702>.
- [3] H. Prabowo, I.A.P.D. Cahya, C.I.S. Arisanti, P.O. Samirana, Standarisasi Spesifik dan Non-Spesifik Simplisia dan Ekstrak Etanol Rimpang Kunyit (*Curcuma domestica* Val.), *J. Farm. Udayana* 8 (2019) 29. <https://doi.org/10.24843/jfu.2019.v08.i01.p05>.
- [4] C. Yuan Shan, Y. Iskandar, Studi Kandungan Kimia dan Aktivitas Farmakologi Tanaman Kunyit, *J. Farmaka* 16 (2018) 547–555. <http://journal.unpad.ac.id/farmaka/article/view/17610/pdf>.
- [5] L. Nuzuliyah, Analisis Nilai Tambah Produk Olahan Tanaman Rimpang, *J. Teknol. Dan Manaj. Agroindustri* 7 (2018) 31–38. <https://www.industria.ub.ac.id/index.php/industri/article/view/347>.
- [6] A.A. Okunola, T.A. Adekanye, C.E. Okonkwo, M. Kaveh, M. Szymanek, E.O. Idahosa, A.T. Olayanju, K. Wojciechowska, Drying Characteristics, Kinetic Modeling, Energy and Exergy Analyses of Water Yam (*Dioscorea alata*) in a Hot Air Dryer, *Energies* 16 (2023). <https://doi.org/10.3390/en16041569>.
- [7] M. Aghbashlo, M.H. Kianmehr, H. Samimi-Akhijahani, Influence of drying conditions on the effective moisture diffusivity, energy of activation and energy consumption during the thin-layer drying of berberis fruit (*Berberidaceae*), *Energy Convers. Manag.* 49 (2008) 2865–2871. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.03.009>.
- [8] H. Darvishi, Quality, performance analysis, mass transfer parameters and modeling of drying kinetics of soybean, *Brazilian J. Chem. Eng.* 34 (2017) 143–158. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20170341s20150509>.
- [9] M. Beigi, M. Torki-Harchegani, M. Mahmoodi-Eshkaftaki, Prediction of paddy drying kinetics: a comparative study between mathematical and artificial neural network modeling, *Chem. Ind. Chem. Eng. Q.* 23 (2017) 251–258. <https://doi.org/10.2298/CICEQ160524039B>.
- [10] Arif Jumarwanto, R. Hartanto, D. Prastiyanto, Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation

- untuk Memprediksi Penyakit THT di Rumah Sakit Mardi Rahayu Kudus, *J. Tek. Elektro* 1 (2009) 11–21.
- [11] S.M. Jafari, M. Ganje, D. Dehnad, V. Ghanbari, Mathematical, Fuzzy Logic and Artificial Neural Network Modeling Techniques to Predict Drying Kinetics of Onion, *J. Food Process. Preserv.* 40 (2016) 329–339. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12610>.
- [12] M.E. Echsony, N. Wahyudi, N.A. Hidayatullah, Setting Liquid Level Coupled Tank Using Fuzzy Adaptive Control, *J. Electr. Eng. Mechatron. Comput. Sci.* 1 (2018). <https://doi.org/10.26905/jeemecs.v1i2.2423>.
- [13] M.-M. V, G.-G.S. TS, M. MD, A. JM, using artificial neural networks, *Dry. Technol.* 33 (2015) 1708–1719. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1005228>.
- [14] M. Kaveh, R. Amiri Chayjan, Mathematical and neural network modelling of terebinth fruit under fluidized bed drying, *Res. Agric. Eng.* 61 (2015) 55–65. <https://doi.org/10.17221/56/2013-RAE>.
- [15] S.H. Samadi, B. Ghobadian, G.H. Najafi, A. Motevali, S. Faal, Drying of apple slices in combined heat and power (chp) dryer: Comparison of mathematical models and neural networks, *Chem. Prod. Process Model.* 8 (2013) 41–52. <https://doi.org/10.1515/cppm-2013-0009>.
- [16] A. Azadeh, N. Neshat, A. Kazemi, M. Saberi, Predictive control of drying process using an adaptive neuro-fuzzy and partial least squares approach, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 58 (2012) 585–596. <https://doi.org/10.1007/s00170-011-3415-2>.
- [17] N. Behroozi Khazaei, T. Tavakoli, H. Ghassemian, M.H. Khoshtaghaza, A. Banakar, Applied machine vision and artificial neural network for modeling and controlling of the grape drying process, *Comput. Electron. Agric.* 98 (2013) 205–213. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.08.010>.
- [18] I. Doymaz, Thin-layer drying characteristics of sweet potato slices and mathematical modelling, *Heat Mass Transf. Und Stoffuebertragung* 47 (2011) 277–285. <https://doi.org/10.1007/s00231-010-0722-3>.
- [19] A. Motevali, S. Youniji, R.A. Chayjan, N. Aghilinategh, A. Banakar, Drying kinetics of dill leaves in a convective dryer, *Int. Agrophysics* 27 (2013) 39–47. <https://doi.org/10.2478/v10247-012-0066-y>.