

Klasifikasi risiko jamur biji kopi hijau menggunakan *adaptive neuro-fuzzy inference system*

Muchammad Fadika Naddiyanto¹, Mohammad Idhom^{2*}, Hendra Maulana³

¹Program Studi Informatika, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

²Program Studi Sains Data, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

³Program Studi Bisnis Digital, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur

*Email: 22081010040@student.upnjatim.ac.id, *idhom@upnjatim.ac.id, hendra.maulana.if@upnjatim.ac.id

Abstrak

Penyimpanan biji kopi hijau (green beans) pada fase pra-roasting sangat rentan terhadap perubahan kondisi lingkungan yang dapat memicu pertumbuhan jamur dan menurunkan mutu kopi. Pemantauan kondisi penyimpanan yang masih bersifat manual menyebabkan keterlambatan deteksi risiko, sehingga diperlukan pendekatan cerdas berbasis data. Penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan indikasi risiko pertumbuhan jamur pada biji kopi hijau menggunakan Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) berbasis data primer hasil pengukuran lapangan. Data diperoleh dari sistem Internet of Things (IoT) yang dipasang di lokasi penyimpanan biji kopi hijau Kelompok Tani Bontugu, Kecamatan Trawas, Kabupaten Mojokerto. Parameter lingkungan yang digunakan meliputi suhu, kelembaban relatif, konsentrasi karbon dioksida (CO₂), dan kadar air biji kopi. Data diklasifikasikan ke dalam tiga kelas risiko, yaitu risiko rendah, sedang, dan tinggi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa model ANFIS memiliki kinerja yang sangat baik dengan nilai akurasi sebesar 96,97%, nilai MAE 0,013, RMSE 0,0175, dan koefisien determinasi (R²) sebesar 0,9935. Hasil ini menunjukkan bahwa ANFIS efektif digunakan sebagai sistem pendukung keputusan untuk pemantauan dan pengendalian risiko pertumbuhan jamur pada biji kopi hijau selama penyimpanan.

Kata Kunci: ANFIS; biji kopi hijau; risiko jamur; machine learning; klasifikasi

Classification of coffee bean fungus risk using adaptive neuro-fuzzy inference system

Abstract

Storage conditions of green coffee beans during the pre-roasting stage are highly susceptible to environmental changes that may trigger fungal growth and quality degradation. Conventional monitoring methods are often manual and non-continuous, leading to delayed risk detection. This study aims to classify the risk of fungal growth in green coffee beans using an Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) based on primary data collected from field measurements. The dataset was obtained through an Internet of Things (IoT)-based monitoring system installed at the storage facility of the Bontugu Farmer Group, Trawas, Mojokerto. Environmental parameters used as input variables include temperature, relative humidity, carbon dioxide (CO₂) concentration, and moisture content of coffee beans. The output was classified into three risk levels: low, medium, and high. The experimental results show that the ANFIS model achieved excellent performance with an accuracy of 96.97%, MAE of 0.013, RMSE of 0.0175, and an R² value of 0.9935. These results indicate that ANFIS is effective as a decision support system for monitoring and controlling fungal growth risk in green coffee bean storage.

Keywords: ANFIS; green coffee beans; fungal risk; machine learning; classification

1. Pendahuluan

Kopi merupakan komoditas penting dengan nilai ekonomi tinggi, dan mutu green beans sangat menentukan kualitas akhir produk (Błaszkiwicz et al., 2023) . Pada tahap pascapanen dan penyimpanan, green beans rentan mengalami penurunan mutu akibat perubahan kondisi lingkungan seperti suhu dan kelembaban relatif (RH) (Gallego et al., 2025) . Perubahan suhu penyimpanan terbukti mempercepat proses “aging” dan mengubah parameter mutu kopi secara nyata, termasuk pergeseran profil senyawa volatil dan atribut sensori. Sejumlah studi menunjukkan bahwa penyimpanan pada suhu lebih rendah dapat memperlambat perubahan volatil tertentu dan membantu

mempertahankan karakter sensori yang diinginkan dibanding suhu lebih tinggi (Gantner et al., 2024). Selain itu, interaksi kadar air/aktivitas air dengan RH lingkungan menjadi faktor kritis karena memengaruhi stabilitas mutu selama penyimpanan dan berkaitan dengan degradasi kualitas. Penggunaan kemasan berpenghalang tinggi dibanding kemasan permeabel dilaporkan membantu mempertahankan kondisi biji sehingga laju penurunan mutu lebih lambat (Abreu et al., 2023).

Selain penurunan mutu sensori, aspek keamanan pangan juga menjadi perhatian karena penyimpanan yang kurang tepat dapat meningkatkan risiko pertumbuhan mikroorganisme, khususnya kapang (*molds*) (López-Rodríguez et al., 2024). Kajian terbaru menegaskan bahwa OTA pada kopi umumnya terkait kapang dari genus *Aspergillus* (Hagos et al., 2024). Penelitian berbasis sampel kopi (*greenbeans*) juga melaporkan adanya kontaminasi jamur dan/atau pengukuran OTA pada produk kopi sebagai isu keamanan pangan yang perlu dikendalikan (Pakshir et al., 2021).

Di Indonesia, penelitian pada kopi yang disimpan dalam durasi tertentu melaporkan perubahan mutu mikrobiologis serta evaluasi kadar OTA pada biji kopi (Gantner et al., 2024). Studi lain pada kopi Indonesia juga mengukur prevalensi kapang okratoksigenik dan kandungan OTA pada sampel kopi daerah tertentu sebagai bukti risiko di konteks local (Nuhu, 2015). Karena itu, kontrol kadar air/aktivitas air dan pemilihan kemasan menjadi strategi penting untuk menekan pertumbuhan jamur serta menjaga mutu selama penyimpanan (López-Rodríguez et al., 2024).

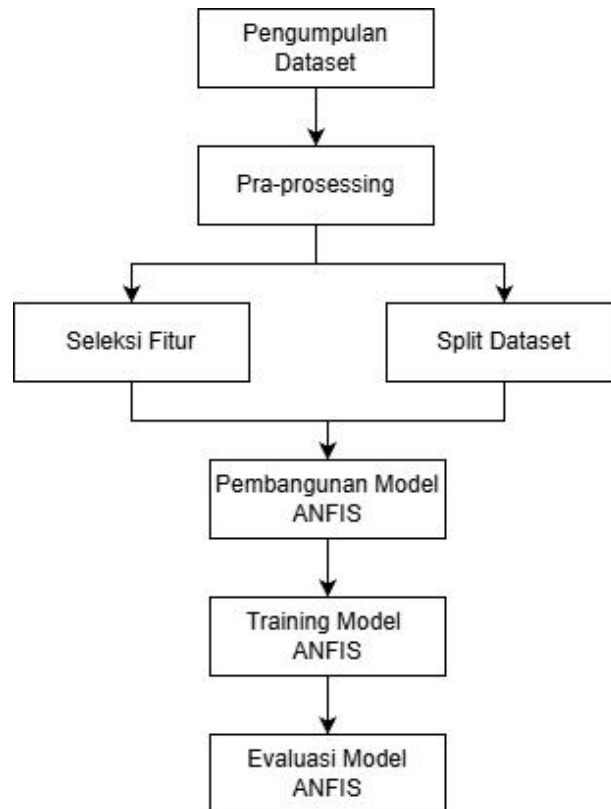
Berbagai publikasi menekankan perlunya pendekatan manajemen risiko dan good practices untuk mengendalikan OTA “dari *farm to cup*,” termasuk pengendalian kondisi yang menghambat pertumbuhan kapang dan pembentukan OTA (Hagos et al., 2024). Permasalahan di lapangan adalah pemantauan kondisi penyimpanan sering masih manual dan tidak kontinu sehingga perubahan suhu dan RH dapat terlambat terdeteksi (Santosa et al., 2023). Karena itu, IoT relevan untuk pemantauan *real-time*, pengiriman data ke dashboard, dan pencatatan histori kondisi penyimpanan (Nofriyanti et al., 2025). Namun pemantauan saja belum cukup karena data sensor perlu diterjemahkan menjadi indikator yang mudah dipahami (Xu et al., 2024).

Pada penelitian ini, pemodelan dilakukan menggunakan *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) karena dapat menangkap hubungan nonlinier dan ketidakpastian dari data lingkungan (Casari et al., 2024). ANFIS juga dilaporkan efektif pada berbagai kasus prediksi berbasis data sensor (Ozbek et al., 2022). Dengan demikian, ANFIS diharapkan mampu menghasilkan keluaran kelas risiko yang lebih praktis sehingga keputusan korektif dapat dilakukan lebih cepat (Taylan et al., 2024).

2. Metode

2.1. Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan rancangan penelitian eksperimental kuantitatif dengan pendekatan pemodelan kecerdasan buatan menggunakan metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) untuk melakukan klasifikasi indikasi risiko pertumbuhan jamur pada biji kopi hijau (*green beans*) ke dalam tiga kelas risiko, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Penelitian difokuskan pada pengolahan dan analisis data lingkungan penyimpanan yang diperoleh dari sistem pemantauan berbasis sensor. Secara umum, tahapan penelitian ini disusun secara sistematis sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, yang menggambarkan alur kerja penelitian mulai dari pengumpulan dataset hingga evaluasi model ANFIS.



Gambar 1. Alur Penelitian

Berdasarkan alur pada Gambar 1, penelitian diawali dengan pengumpulan dataset dari hasil pengukuran parameter lingkungan penyimpanan, yang selanjutnya melalui tahap pra-processing data meliputi pembersihan data, penanganan data tidak valid, dan normalisasi. Data yang telah diproses kemudian melalui tahap seleksi fitur untuk menentukan parameter input yang paling relevan, sebelum dibagi ke dalam data pelatihan dan data pengujian. Tahap selanjutnya adalah pembangunan dan pelatihan model ANFIS dengan menentukan struktur jaringan *neuro-fuzzy*, fungsi keanggotaan, serta aturan fuzzy untuk mempelajari hubungan nonlinier antara kondisi lingkungan penyimpanan dan risiko pertumbuhan jamur. Tahap akhir pada alur penelitian, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1, adalah evaluasi model ANFIS untuk menilai kinerja dan keandalan model dalam mengklasifikasikan risiko pertumbuhan jamur pada biji kopi hijau sebagai dasar pengambilan keputusan dalam sistem monitoring mutu dan keamanan green beans.

2.2. Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Kelompok Tani Bontugu, Kecamatan Trawas, Kabupaten Mojokerto. Lokasi ini dipilih karena merupakan sentra kegiatan pascapanen dan penyimpanan biji kopi yang merepresentasikan kondisi nyata di lapangan. Waktu penelitian dimulai sejak tahap pengumpulan data primer, pemodelan, evaluasi, hingga penyusunan artikel ilmiah.

2.3. Sumber Dataset

Data yang digunakan merupakan data primer, yaitu data yang diperoleh secara langsung dari hasil pengukuran dari IoT yang telah dirancang lokasi penelitian. Data dikumpulkan selama periode pengamatan tertentu dan digunakan sebagai data latih serta data uji dalam proses pemodelan.

2.4. Pengumpulan Dataset

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui:

- a. Pemasangan dan pengoperasian sensor lingkungan pada area penyimpanan biji kopi hijau
- b. Pencatatan data parameter lingkungan secara berkala selama periode pengamatan

- c. Pemeriksaan dan validasi data untuk memastikan tidak terdapat nilai hilang (*missing value*) atau data tidak valid
 - d. Penetapan label kelas risiko menjadi risiko rendah, risiko sedang, dan risiko tinggi
- Kemudian Dataset tersebut dikumpulkan dan di simpan dalam bentuk csv.

2.5. Praprocessing Data

Data primer yang diperoleh dari sistem pemantauan lingkungan penyimpanan biji kopi hijau selanjutnya dilakukan tahap praprocessing data sebelum digunakan dalam pemodelan *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS). Tahap praprocessing ini meliputi penanganan missing value, penghapusan data yang tidak valid atau menyimpang, serta proses normalisasi data. Normalisasi dilakukan menggunakan metode *Min-Max Scaling* dengan tujuan untuk menyamakan rentang nilai seluruh variabel input, sehingga setiap parameter memiliki skala yang seragam dan tidak saling mendominasi dalam proses pembelajaran model. Tahap ini penting untuk meningkatkan stabilitas, akurasi, dan kinerja model ANFIS dalam mengklasifikasikan indikasi risiko pertumbuhan jamur pada green beans.

2.6. Seleksi Fitur

Seleksi fitur dilakukan setelah tahap praprocessing data dengan tujuan untuk menentukan variabel input yang paling relevan dan berpengaruh terhadap indikasi risiko pertumbuhan jamur pada biji kopi hijau. Proses seleksi fitur ini bertujuan untuk mengurangi kompleksitas model, meningkatkan efisiensi komputasi, serta memperbaiki performa klasifikasi ANFIS. Fitur yang dipilih merupakan parameter lingkungan penyimpanan yang secara teoritis dan empiris memiliki keterkaitan dengan pertumbuhan jamur, sehingga hanya fitur-fitur yang paling representatif yang digunakan sebagai input dalam pemodelan ANFIS.

2.7. Split Data

Tahapan berikutnya dalam penelitian ini adalah melakukan pembagian dataset ke dalam dua kelompok, yaitu data latih dan data uji. Data latih dimanfaatkan dalam proses pembelajaran model ANFIS untuk mengenali pola serta hubungan nonlinier antara parameter lingkungan penyimpanan dan tingkat risiko pertumbuhan jamur. Sementara itu, data uji digunakan untuk menilai performa model serta kemampuan generalisasinya terhadap data baru yang tidak terlibat dalam proses pelatihan. Pembagian dataset ini dilakukan untuk memastikan bahwa hasil evaluasi model yang diperoleh bersifat objektif dan dapat dipercaya.

2.8. Pembangunan Model

Model ANFIS dibangun menggunakan sistem inferensi fuzzy tipe Sugeno yang dikombinasikan dengan mekanisme pembelajaran jaringan saraf (Bulus, 2024) . Model ini digunakan untuk memodelkan hubungan nonlinier antara variabel input dan kelas risiko pertumbuhan jamur.

2.9. Pelatihan Model

Dataset pada penelitian ini dibagi menjadi data pelatihan dan data pengujian. Data pelatihan digunakan untuk melatih model *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) agar mampu mempelajari pola dan hubungan antara parameter input dengan kelas risiko pertumbuhan jamur, sedangkan data pengujian dimanfaatkan untuk mengevaluasi kemampuan generalisasi model terhadap data yang belum pernah digunakan pada proses pelatihan sebelumnya. Proses pelatihan ini bertujuan untuk memperoleh model ANFIS yang optimal, stabil, dan memiliki tingkat akurasi yang baik dalam melakukan klasifikasi indikasi risiko pertumbuhan jamur pada biji kopi hijau.

2.10. Evaluasi Model

Evaluasi kinerja model dilakukan menggunakan beberapa metrik, yaitu *Mean Absolute Error* (MAE), *Mean Squared Error* (MSE), *Root Mean Squared Error* (RMSE), *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE), koefisien determinasi (R^2), serta akurasi klasifikasi. Metrik tersebut digunakan untuk

menilai tingkat ketepatan dan keandalan model ANFIS dalam mengklasifikasikan indikasi risiko jamur.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Dataset

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer yang diperoleh dari hasil pengukuran langsung kondisi lingkungan penyimpanan biji kopi hijau di Kelompok Tani Bontugu, Trawas. Total data yang berhasil dikumpulkan dan digunakan dalam pemodelan adalah 492 data. Dataset ini merepresentasikan kondisi nyata penyimpanan biji kopi hijau pada fase *pra-roasting*.

Parameter lingkungan yang digunakan sebagai variabel input meliputi suhu (Temp/°C), kelembaban relatif (RH/%), konsentrasi karbon dioksida (CO₂/ppm), dan kadar air biji kopi (*Moisture Content/MC*, %). Keempat parameter tersebut dipilih karena memiliki keterkaitan langsung terhadap kondisi penyimpanan dan potensi pertumbuhan jamur pada biji kopi hijau.

Tabel 1. Dataset

Temp_c	CO2_ppm	MC
25.14	552	14
25.59	565	13.7
25.05	1040	11.5
26.24	3173	12.3
24.07	1680	13.8

Contoh data hasil pengukuran ditampilkan pada Tabel 1, yang menunjukkan variasi nilai parameter lingkungan. Variasi ini mencerminkan dinamika kondisi penyimpanan yang bersifat fluktuatif, sehingga memerlukan pendekatan pemodelan nonlinier untuk menghasilkan indikasi risiko yang akurat.

3.2. Training Model

Proses pelatihan model dilakukan menggunakan *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) dengan memanfaatkan data latih yang telah melalui tahap praproses. Pelatihan dilakukan secara iteratif menggunakan sejumlah epoch untuk meminimalkan nilai kesalahan antara keluaran model dan data target.

Tabel 2. Train Model

Epoch	Train	Val	Best val
325	0.000309	0.000339	0.000339
350	0.000273	0.000328	0.000325
375	0.000265	0.000318	0.000312
400	0.000220	0.000316	0.000311
425	0.000210	0.000308	0.000308

Hasil pelatihan model ditunjukkan pada Tabel 2, yang menampilkan nilai kesalahan pada data latih, data validasi, serta nilai kesalahan terbaik (*best validation*) pada setiap interval epoch. Berdasarkan tabel tersebut, terlihat bahwa nilai error pada data latih dan validasi mengalami penurunan secara bertahap seiring bertambahnya jumlah epoch.

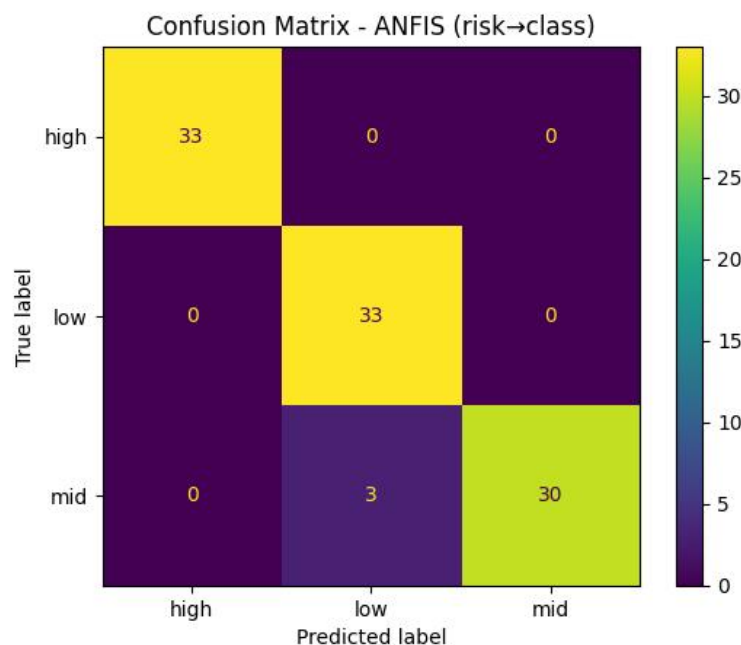
Pada epoch akhir, nilai error pelatihan dan validasi menunjukkan perbedaan yang relatif kecil, menandakan bahwa model ANFIS telah mencapai kondisi konvergen dan tidak mengalami overfitting.

Hal ini menunjukkan bahwa model mampu mempelajari pola hubungan antara parameter lingkungan dan kelas risiko secara stabil.

3.3. Evaluasi Model

Evaluasi kinerja model *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) dilakukan untuk menilai kemampuan model dalam mengklasifikasikan indikasi risiko pertumbuhan jamur pada biji kopi hijau ke dalam tiga kelas risiko, serta mengevaluasi tingkat ketepatan prediksi nilai risiko secara numerik. Evaluasi dilakukan menggunakan *confusion matrix*, metrik evaluasi kuantitatif, dan visualisasi perbandingan nilai aktual dan prediksi.

3.3.1. Confusion Matrix



Gambar 2. Confusion Matrix

Hasil evaluasi kinerja klasifikasi ditunjukkan pada Gambar 2, yang menyajikan confusion matrix dari model ANFIS untuk tiga kategori risiko, yaitu risiko tinggi (*high*), risiko sedang (*mid*), dan risiko rendah (*low*). Berdasarkan *confusion matrix* tersebut, model ANFIS mampu mengklasifikasikan seluruh data pada kelas risiko tinggi dan risiko rendah secara tepat tanpa terjadi kesalahan klasifikasi. Pada kelas risiko sedang, sebagian besar data berhasil diprediksi dengan benar, meskipun masih terdapat sejumlah kecil data yang terklasifikasi ke dalam kelas risiko rendah.

Tingginya nilai pada diagonal utama *confusion matrix* menunjukkan tingkat kesesuaian yang sangat baik antara hasil prediksi model dan label aktual. Temuan ini mengindikasikan bahwa model ANFIS memiliki performa klasifikasi yang sangat baik dalam membedakan tingkat risiko pertumbuhan jamur pada biji kopi hijau berdasarkan parameter lingkungan penyimpanan yang digunakan.

3.3.2. Hasil Evaluasi Kuantitatif Model

Tabel 3. Hasil Evaluasi Model

Parameter	Nilai
Akurasi	96.97 %
MAE	0.013

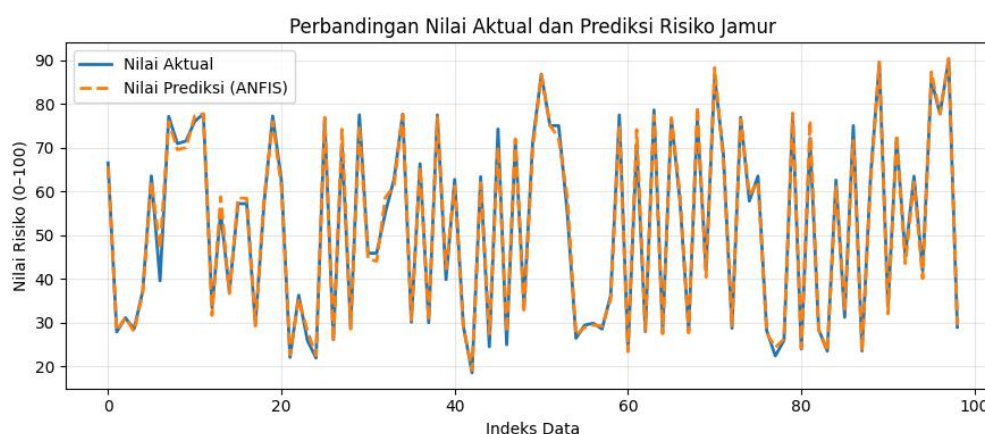
RMSE	0.0175
R ²	0.9935

Ringkasan hasil evaluasi kinerja model ditampilkan pada Tabel 3. Berdasarkan tabel tersebut, model ANFIS menghasilkan nilai akurasi sebesar 96,97%, yang menunjukkan tingkat ketepatan klasifikasi yang sangat tinggi.

Selain itu, nilai *Mean Absolute Error* (MAE) sebesar 0,013 dan *Root Mean Squared Error* (RMSE) sebesar 0,0175 menunjukkan bahwa kesalahan prediksi numerik model berada pada tingkat yang sangat rendah. Nilai koefisien determinasi (R²) sebesar 0,9935 mengindikasikan bahwa hampir seluruh variasi data keluaran dapat dijelaskan dengan baik oleh model.

Secara keseluruhan, kombinasi nilai akurasi yang tinggi serta nilai kesalahan prediksi yang rendah menunjukkan bahwa model ANFIS memiliki performa yang sangat baik dan stabil dalam memprediksi serta mengklasifikasikan indikasi risiko jamur pada biji kopi hijau.

3.3.3. Perbandingan Nilai Aktual dan Prediksi Risiko



Gambar 3. Hasil Test Model

Visualisasi perbandingan antara nilai risiko aktual dan nilai prediksi model ANFIS ditampilkan pada Gambar 3. Grafik tersebut memperlihatkan bahwa kurva prediksi ANFIS mengikuti pola fluktuasi kurva nilai aktual dengan sangat baik di hampir seluruh indeks data.

Kedekatan antara kedua kurva menunjukkan bahwa model mampu menangkap dinamika perubahan risiko secara akurat, meskipun data bersifat fluktuatif dan nonlinier. Hal ini memperkuat hasil evaluasi kuantitatif yang menunjukkan rendahnya kesalahan prediksi dan tingginya nilai koefisien determinasi.

Dengan demikian, hasil visualisasi ini menegaskan bahwa model ANFIS tidak hanya unggul dalam aspek klasifikasi risiko, tetapi juga memiliki kemampuan prediksi numerik yang konsisten dan dapat diandalkan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa model *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) mampu mengklasifikasikan indikasi risiko pertumbuhan jamur pada biji kopi hijau dengan tingkat akurasi yang sangat tinggi. Pemodelan berbasis data primer hasil pengukuran langsung di Kelompok Tani Bontugu menunjukkan bahwa parameter lingkungan penyimpanan memiliki pengaruh signifikan terhadap tingkat risiko jamur.

Hasil evaluasi menunjukkan nilai akurasi sebesar 96,97%, serta nilai kesalahan prediksi yang rendah, yang menandakan bahwa model ANFIS mampu memprediksi dan mengklasifikasikan risiko secara andal. Dengan keluaran berupa tiga kelas risiko, sistem ini memudahkan interpretasi hasil dan mendukung pengambilan keputusan secara cepat dalam pengelolaan penyimpanan biji kopi hijau.

Oleh karena itu, model yang dikembangkan berpotensi diterapkan sebagai sistem pendukung keputusan untuk menjaga mutu dan keamanan biji kopi hijau pada tahap *pra-roasting*.

5. Ucapan terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kelompok Tani Bontugu, Kecamatan Trawas, Kabupaten Mojokerto, atas kerja sama dan izin pengambilan data selama pelaksanaan penelitian. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Kepada Dosen Pembimbing yang telah membimbing dan memberikan masukan selama penelitian ini berlangsung.

Daftar Pustaka

- Abreu, G. F., Rosa, S. D. V. F., Coelho, S. V. B., Pereira, C. C., Malta, M. R., Fantazzini, T. B., & Vilela, A. L. (2023). Influence Of Hulling And Storage Conditions On Maintaining Coffee Quality. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 95(4). <https://doi.org/10.1590/0001-3765202320190612>
- Błaszkiwicz, J., Nowakowska-Bogdan, E., Barabosz, K., Kulesza, R., Dresler, E., Woszczyński, P., Biloś, Ł., Matuszek, D. B., & Szkutnik, K. (2023). Effect of green and roasted coffee storage conditions on selected characteristic quality parameters. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33609-x>
- Bulus, H. N. (2024). Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System and Artificial Neural Network Models for Predicting Time-Dependent Moisture Levels in Hazelnut Shells (*Corylus avellana* L.) and Prina (*Oleae europaeae* L.). *Processes*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/pr12081703>
- Casari, M., De Luca, D., Mariani, S., & Rizzi, E. (2024). Optimisation of the Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) for Low-Cost Sensor Data. *Measurement*, 224, 115917. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.115917>
- Gallego, C. P., Pabón, J., Medina, R. D., & Osorio, V. (2025). Maintenance of the Quality of Coffee (*Coffea arabica* L.) in Different Packaging and Storage Locations. *International Journal of Food Science*, 2025(1). <https://doi.org/10.1155/ijfo/5049217>
- Gantner, M., Kostyra, E., Górska-Horczyk, E., & Piotrowska, A. (2024). Effect of Temperature and Storage on Coffee's Volatile Compound Profile and Sensory Characteristics. *Foods*, 13(24). <https://doi.org/10.3390/foods13243995>
- Hagos, L., Guta, M., & Bacha, K. (2024). Prevalence of mycotoxigenic fungi and ochratoxin A in coffee (*Coffea arabica* L.). *Cogent Food and Agriculture*, 10(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2407524>
- López-Rodríguez, C., Verheecke-Vaessen, C., Strub, C., Fontana, A., Schorr-Galindo, S., & Medina, A. (2024). Reduction in Ochratoxin A Occurrence in Coffee: From Good Practices to Biocontrol Agents. In *Journal of Fungi* (Vol. 10, Number 8). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/jof10080590>
- Nofriyanti, D., Handayani, A. S., Suroso, Novianti, L., Rahkman, M. A., & Asriyadi. (2025). *Web-Based Monitoring System for Automatic Coffe Drying in a Smart Dryer Dome*.
- Nuhu, A. A. (2015). Occurrence, harmful effects and analytical determination of Ochratoxin A in coffee. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 5(1), 120–127. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2015.50121>
- Ozbek, A., Ünal, Ş., & Bilgili, M. (2022). Daily average relative humidity forecasting with LSTM neural network and ANFIS approaches. *Theoretical and Applied Climatology*, 150(1–2), 697–714. <https://doi.org/10.1007/s00704-022-04181-7>
- Pakshir, K., Dehghani, A., Nouraei, H., Zareshahrabadi, Z., & Zomorodian, K. (2021). Evaluation of fungal contamination and ochratoxin A detection in different types of coffee by HPLC-based method. *Journal of Clinical Laboratory Analysis*, 35(11). <https://doi.org/10.1002/jcla.24001>
- Santosa, R., Sari, P. A., & Sasongko, A. T. (2023). Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Berbasis IoT (Internet of Thing) pada Gudang Penyimpanan PT Sakafarma Laboratories. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi Bisnis*, 5(4), 391–400. <https://doi.org/10.47233/jteksis.v5i4.943>

- Taylan, O., Al-Juaidi, A. E. M., & Guloglu, B. (2024). *Novel Machine Learning Approaches for Predicting Soil Moisture Content Using Hydrological and Soil Characteristics: A Comparative Analysis of ANN, SVM, and ANFIS Models*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-5404605/v1>
- Xu, L., Li, Y., Weng, X., Shi, J., Feng, H., Liu, X., & Zhou, G. (2024). A Monitoring Device and Grade Prediction System for Grain Mildew. *Sensors*, 24(20). <https://doi.org/10.3390/s24206556>