



IDENTIFIKASI KEMATANGAN BUAH ALPUKAT (AVOCADO) MENGGUNAKAN ALGORITMA ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS)

Nurfiyah^{1*}, Hendarman Lubis², Ratna Salkiawati³

Program Studi Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Bhayangkara Jakarta Raya¹
Program Studi Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Bhayangkara Jakarta Raya²
Program Studi Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Bhayangkara Jakarta Raya³

*Correspondent Author: nurfiyah@dsn.ubharajaya.ac.id

Authors Email: nurfiyah@dsn.ubharajaya.ac.id¹, hendarman.lubis@dsn.ubharajaya.ac.id²,
ratna_tind@dsn.ubharajaya.ac.id³

In Indonesian

Abstrak: Buah alpukat (*Persea americana*) merupakan komoditas hortikultura yang memiliki nilai ekonomi tinggi namun bersifat klimakterik, sehingga proses pematangannya berlangsung cepat setelah dipanen. Penentuan tingkat kematangan yang masih dilakukan secara konvensional (visual dan manual) sering kali menghasilkan penilaian yang subjektif dan merusak buah. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem identifikasi tingkat kematangan buah alpukat (mentah, matang, dan terlalu matang) secara non-destruktif menggunakan algoritma *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS). Parameter input yang digunakan didasarkan pada fitur warna *Red-Green-Blue* (RGB) dan fitur tekstur *Gray Level Co-occurrence Matrix* (GLCM) yang diekstraksi dari citra digital buah alpukat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kombinasi arsitektur jaringan ANFIS dengan fungsi keanggotaan Gaussian mampu mengenali tingkat kematangan alpukat dengan akurasi mencapai 93.3% pada data pengujian. Sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi teknologi bagi petani dan distributor dalam proses sorting buah secara objektif dan cepat.

Kata kunci: Alpukat; Kematangan; Pengolahan Citra; ANFIS

In English

Abstract: *Avocado (Persea americana) is a horticultural commodity with high economic value but is climacteric, so the ripening process occurs quickly after harvest. Determining the ripeness level is still done conventionally (visually and manually) often results in subjective assessments and damages the fruit. This study aims to develop a non-destructive avocado ripeness identification system (unripe, ripe, and overripe) using the Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) algorithm. The input parameters used are based on the Red-Green-Blue (RGB) color features and Gray Level Co-occurrence Matrix (GLCM) texture features extracted from digital images of avocados. The test results show that the combination of the ANFIS network architecture with a Gaussian membership function is able to recognize the ripeness level of avocados with an accuracy of up to 93.3% on the test data. This system is expected to be a technological solution for farmers and distributors in the process of sorting fruit objectively and quickly..*

Keywords: *Avocado; Ripeness; Image Processing; ANFIS*



DOI: 10.52362/jisicom.v10i1.2473

Ciptaan disebarluaskan di bawah [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Received: 2026-05-20. Revised: 2026-06-15. Accepted: 2026-06-16 Issue Period: Vol.10 No.1 (2026), Pp. 338-344



I. PENDAHULUAN

Buah alpukat (*Persea americana*) telah menjadi salah satu komoditas buah tropis yang sangat diminati di pasar domestik maupun internasional karena kandungan nutrisinya yang kaya akan lemak sehat, vitamin, dan antioksidan [1]. Namun, sebagai buah klimakterik, alpukat memiliki karakteristik unik di mana proses pematangan justru terakselerasi setelah buah dipetik dari pohonnya [2] [3]. Fenomena ini menyebabkan jendela waktu distribusi menjadi sangat krusial, dan kesalahan dalam menentukan tingkat kematangan saat panen atau distribusi dapat mengakibatkan kerugian ekonomi yang besar akibat pembusukan [4].

Selama ini, petani dan pelaku industri pengolahan buah masih mengandalkan metode konvensional untuk menentukan kematangan alpukat. Metode tersebut meliputi penilaian visual pada gradasi warna kulit, penekanan manual pada daging buah, atau bahkan metode destruktif dengan mengambil sampel acak untuk dicicipi atau diukur kadar gulanya [5]. Menurut penelitian terdahulu, metode manual ini memiliki kelemahan utama berupa tingginya tingkat subjektivitas pengamat, inkonsistensi hasil karena faktor kelelahan manusia, serta potensi kerusakan fisik pada buah akibat tekanan tangan yang berulang [6]. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem otomatisasi yang bersifat non-destruktif (tidak merusak) untuk mengklasifikasikan tingkat kematangan alpukat secara objektif.

Perkembangan teknologi *computer vision* dan pengolahan citra digital telah membuka peluang besar dalam dunia pertanian modern (*smart agriculture*) [7]. Beberapa riset sebelumnya telah mencoba memanfaatkan ekstraksi fitur warna seperti RGB, HSV, atau $L^*a^*b^*$ untuk mengenali kematangan buah berdasarkan perubahan pigmen kulitnya [8]. Meskipun demikian, pada buah alpukat jenis tertentu, perubahan warna kulit tidak terlalu signifikan saat matang, sehingga analisis warna saja tidak cukup. Diperlukan tambahan parameter lain seperti fitur tekstur menggunakan metode *Gray Level Co-occurrence Matrix* (GLCM) untuk menangkap perubahan kekasaran atau kelembutan permukaan kulit buah secara lebih presisi [9].

Untuk memproses variabel input yang kompleks dan *non-linear* seperti warna dan tekstur ini, dibutuhkan algoritma kecerdasan buatan yang adaptif. *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) merupakan arsitektur hibrida yang menggabungkan prinsip-prinsip logika *fuzzy* dengan keunggulan pembelajaran jaringan syaraf tiruan (JST) [10]. ANFIS memiliki kemampuan unik untuk memetakan hubungan *input-output* menggunakan aturan *if-then fuzzy*, sementara parameter fungsi keanggotaannya dapat disesuaikan secara otomatis menggunakan algoritma pembelajaran *backpropagation* atau *hybrid* [11]. Penggunaan ANFIS dalam klasifikasi produk pertanian dinilai lebih unggul dibandingkan *fuzzy* murni karena mampu meminimalkan *error* melalui proses *training* data yang adaptif.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini berfokus pada implementasi algoritma ANFIS untuk mengidentifikasi tiga tingkat kematangan buah alpukat, yaitu: Mentah (*Unripe*), Matang (*Ripe*), dan Terlalu Matang (*Overripe*). Dengan mengintegrasikan fitur warna RGB dan fitur tekstur GLCM sebagai input ANFIS, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam menciptakan sistem sortasi buah yang cepat, akurat, dan non-destruktif bagi industri hortikultura..

II. METODE DAN MATERI

Bagian ini memberikan pedoman bagi penulis tentang elemen-elemen penulisan dan ilustrasi saat menyiapkan naskah.

2.1. Alur Penelitian

Penelitian ini dirancang melalui beberapa tahapan sistematis yang digambarkan pada diagram blok di bawah ini:.



Gambar 1. Alur Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan pengumpulan sampel buah sebagai objek penelitian. Selanjutnya dilakukan akuisisi citra digital untuk memperoleh data berupa gambar buah. Citra yang diperoleh kemudian melalui tahap *preprocessing* guna meningkatkan kualitas citra dan mempersiapkan data untuk proses pengolahan berikutnya. Tahap selanjutnya adalah ekstraksi fitur warna dan tekstur untuk memperoleh karakteristik yang merepresentasikan objek buah. Fitur yang dihasilkan digunakan sebagai masukan dalam perancangan arsitektur *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS). Model yang telah dirancang kemudian dilatih melalui proses *training* untuk mendapatkan parameter yang optimal. Tahap akhir penelitian yaitu pengujian (*testing*) sistem untuk mengevaluasi kemampuan model ANFIS dalam melakukan klasifikasi atau prediksi berdasarkan fitur warna dan tekstur yang telah diekstraksi.

2.2. Materi dan Akuisisi Data

Sampel yang digunakan adalah buah alpukat lokal sebanyak 150 buah yang dibagi menjadi 3 kategori kematangan (masing-masing 50 buah) berdasarkan validasi ahli/petani. Data dibagi menjadi dua bagian: 80% (120 sampel) untuk data *training* dan 20% (30 sampel) untuk data *testing*.

Akuisisi citra dilakukan menggunakan kamera digital dengan resolusi standar di dalam sebuah *lightbox* yang dilengkapi pencahayaan konstan (LED 12 Watt) untuk menghindari interferensi cahaya luar. Jarak antara kamera dan objek buah diatur konstan sejauh 30 cm dengan latar belakang (*background*) berwarna putih polos. Berikut adalah visualisasi sampel buah alpukat berdasarkan kematangan:

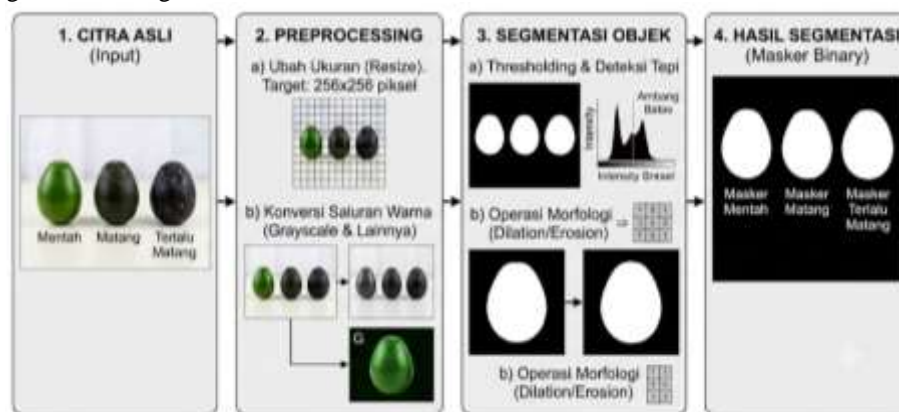


Gambar 2. Visualisasi sampel buah alpukat berdasarkan kematangan

Gambar diatas menampilkan tiga sampel alpukat yang disusun secara horizontal untuk menunjukkan perbedaan fitur visual (warna dan tekstur kulit) yang digunakan sebagai basis data input dalam penelitian. Gambar ini menunjukkan tiga buah alpukat utuh dalam kondisi pencahayaan laboratorium yang konstan. Kiri

(Mentah): Alpukat memiliki kulit berwarna hijau cerah, seragam, dan permukaannya terlihat halus dan kencang. Tengah (Matang): Kulit alpukat berubah menjadi hijau gelap pekat (hampir hitam), dengan tekstur permukaan yang mulai terlihat kasar dan berbintik khas (*pebbly*). Kanan (Terlalu Matang): Buah terlihat kehilangan keremajaannya, kulitnya berwarna hitam kusam, tampak keriput, dan terdapat area yang melembek atau cacat visual. Perbedaan warna dan tekstur inilah yang diekstraksi menjadi data digital.

2.3. Preprocessing Citra dan Segmentasi



Gambar 3. Preprocessing Citra dan Segmentasi

Citra yang berukuran asli diubah ukurannya (*resize*) menjadi 256×256 piksel untuk mempercepat proses komputasi. Proses segmentasi dilakukan untuk memisahkan objek alpukat dari latar belakangnya menggunakan metode *thresholding* pada saluran warna tertentu, diikuti dengan operasi morfologi (*dilation* dan *erosion*) untuk menghilangkan *noise* pada tepi buah sehingga didapatkan hasil segmentasi untuk buah alpukat tersebut..

2.4. Ekstraksi Fitur

Dua jenis fitur diekstraksi dari citra hasil segmentasi fitur yang pertama adalah fitur warna (RGB) yang dimana fitur ini menghitung nilai rata-rata (*mean*) dari intensitas kanal *Red* (R), *Green* (G), dan *Blue* (B) dari seluruh piksel objek buah. Kemudian fitur yang kedua adalah fitur tekstur (GLCM) fitur citra diubah ke bentuk *grayscale* terlebih dahulu. Dan matriks GLCM dihitung dengan sudut orientasi 0° dan jarak d=1. Parameter tekstur yang diambil adalah *Contrast*, *Energy*, dan *Homogeneity*. Secara matematis, salah satu rumus GLCM seperti *Homogeneity* dinyatakan sebagai:

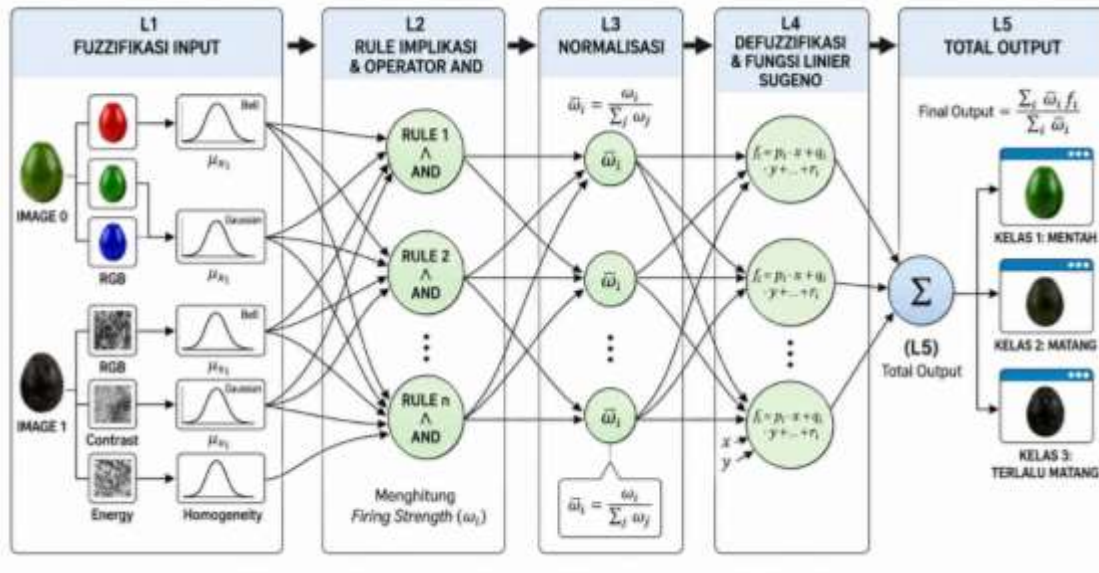
$$Homogeneity = \sum_{i,j} \frac{p(i,j)}{1+|i-j|} \quad [8]$$

$p(i,j)$ adalah nilai probabilitas kemunculan pasangan piksel dengan derajat keabuan (gray level) i dan j pada matriks GLCM yang sudah dinormalisasi. i adalah indeks baris pada matriks GLCM (merepresentasikan tingkat keabuan piksel pertama). j adalah indeks kolom pada matriks GLCM (merepresentasikan tingkat keabuan piksel tetangganya). $|i - j|$ adalah nilai absolut (selisih positif) antara indeks baris dan kolom. Bagian pembagi $(1 + |i - j|)$ ini berfungsi sebagai "bobot penalti". Jika nilai $(|i - j|)$ mendekati 0 pembagiannya kecil, sehingga nilai homogenitasnya menjadi besar.

2.5. Perancangan Jaringan ANFIS

Arsitektur ANFIS dalam penelitian ini menggunakan model taksonomi Sugeno orde satu. Struktur jaringan terdiri dari 5 lapisan (layer) yaitu Layer 1 (*Fuzzifikasi*) ialah mengubah input tegas (nilai RGB dan GLCM) menjadi nilai *linguistik* menggunakan fungsi keanggotaan (F_k) *Bell* atau *Gaussian*. Layer 2 (*Rule implikasi*) menghitung nilai *firing strength* (ω_i) dari setiap aturan menggunakan operator AND. Layer 3 (*Normalisasi*) menormalisasi *firing strength* ($\bar{\omega}_i = \frac{\omega_i}{\sum \omega}$). Layer 4 (*Defuzzifikasi / Konsekuen*) menghitung kontribusi aturan terhadap output menggunakan fungsi linear Sugeno: $f_i = p_i x + q_i y + r_i$. Dan layer 5 (*Total Output*) menghitung hasil akhir berupa nilai numerik yang merepresentasikan kelas kematangan (1 = Mentah, 2

= Matang, 3 = Terlalu Matang). Berikut adalah gambar untuk arsitektur ANFIS dalam identifikasi kematangan alpukat:



Gambar ... Arsitektur ANFIS untuk identifikasi kematangan alpukat

Gambar diatas menunjukkan arsitektur *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) yang digunakan untuk mengidentifikasi tingkat kematangan alpukat berdasarkan kombinasi fitur warna dan tekstur. Arsitektur ANFIS terdiri dari lima lapisan (*layer*), yaitu *fuzzifikasi input*, *rule implikasi*, *normalisasi*, *defuzzifikasi* dengan model Sugeno, dan perhitungan keluaran akhir.

III. PEMBAHASA DAN HASIL

3.1. Analisis Hasil Ekstraksi Fitur

Berdasarkan proses ekstraksi yang dilakukan terhadap 150 sampel, diperoleh kecenderungan karakteristik fisik buah alpukat sebagaimana dirangkum pada tabel berikut:

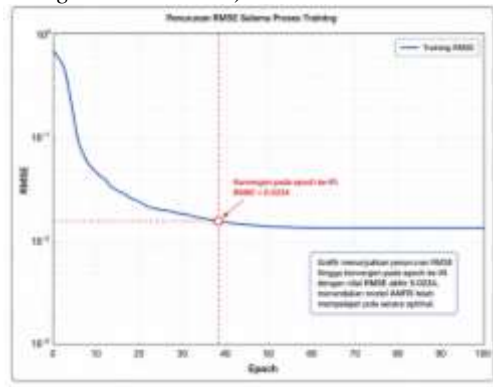
Tabel 1. Analisis hasil ekstraksi fitur

Tingkat Kematangan	Rata-rata Nilai Green (G)	Nilai Contrast (GLCM)	Kepadatan Tekstur Visual
Mentah	Tinggi (140 - 180)	Rendah (0.012)	Halus / Mengkilap
Matang	Sedang (90 - 130)	Sedang (0.025)	Sedikit Kasar / Kusam
Terlalu Matang	Rendah (< 80)	Tinggi (0.048)	Sangat Kasar / Bercak Hitam

Dapat dianalisis bahwa semakin matang buah alpukat, nilai kanal *Green* (G) akan menurun secara signifikan karena degradasi klorofil pada kulit buah yang mengubah warna hijau menjadi kecokelatan atau hitam. Sebaliknya, nilai *Contrast* pada GLCM meningkat karena kulit alpukat yang matang dan terlalu matang cenderung mengerut dan kehilangan kadar air, menghasilkan tekstur permukaan yang lebih kasar

3.2. Proses Training ANFIS

Proses training dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB dengan variasi *epoch* sebanyak 100 dan target *Error Tolerance* sebesar 0.001. Algoritma optimasi yang digunakan adalah metode *Hybrid* (kombinasi *least-squares estimation* dan *gradient descent*).



Gambar 4. Proses Training ANFIS

Hasil penurunan *Root Mean Square Error* (RMSE) selama proses training menunjukkan grafik yang konvergen pada *epoch* ke-45 dengan nilai RMSE akhir mencapai 0.0234. Hal ini mengindikasikan bahwa jaringan ANFIS telah berhasil mempelajari pola hubungan antara fitur input warna/tekstur dengan target kelas kematangan alpukat secara optimal..

3.3. Pengujian Sistem (*Testing*) dan Akurasi

Pengujian performa model dilakukan menggunakan 30 data uji yang belum pernah dikenali oleh sistem sebelumnya. Evaluasi keakuratan sistem dihitung menggunakan matriks konfusi (*Confusion Matrix*):

Tabel 2. Pengujian Performa Model

Kategori Aktual	Prediksi: Mentah	Prediksi: Matang	Prediksi: Terlalu Matang	Akurasi per Kelas
Mentah (10 sampel)	10	0	0	100%
Matang (10 sampel)	1	8	1	80%
Terlalu Matang (10 sampel)	0	0	10	100%

Dari tabel matriks konfusi di atas, total akurasi keseluruhan (*overall accuracy*) sistem dapat dihitung dengan rumus:

$$Akurasi = \frac{Jumlah\ prediksi\ benar}{Total\ sampel\ uji} \times 100\% = \frac{10 + 8 + 10}{30} \times 100\% = 93,33$$

Dari pengujian terjadi kesalahan klasifikasi (*misclassification*) pada 2 sampel buah "Matang", di mana 1 sampel terdeteksi sebagai "Mentah" karena warna kulitnya yang masih dominan hijau cerah, dan 1 sampel terdeteksi "Terlalu Matang" akibat adanya cacat mekanis (memar) pada kulit buah yang menyerupai bercak pembusukan. Secara keseluruhan, performa akurasi di atas 90% menunjukkan bahwa metode ANFIS sangat layak digunakan untuk aplikasi sortasi otomatis.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan algoritma *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) untuk mengidentifikasi tingkat kematangan buah alpukat secara non-destruktif berdasarkan ekstraksi fitur warna



(RGB) dan tekstur (GLCM). Sistem yang dikembangkan terbukti efektif dengan perolehan akurasi total sebesar 93.33% pada data pengujian. Parameter warna kanal Green (G) dan nilai *Contrast* dari GLCM menjadi pembeda paling signifikan dalam menentukan transisi fase kematangan alpukat. Penggunaan metode non-destruktif ini berpotensi besar untuk diterapkan pada mesin sortasi otomatis berskala industri guna meminimalkan kerugian pascapanen akibat human error. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan menambah variasi varietas alpukat serta menggunakan fitur geometri buah untuk meningkatkan presisi klasifikasi.

REFERENASI

- [1] S. Ahmad Wani, M. S. Elshikh, M. S. Al-Wahaibi, and H. Rashid Naik, "Functional Foods Technological Challenges and Advancement in Health Promotion," 2024.
- [2] P. K. Ghosh *et al.*, "Physiology and Biochemistry of Fruit ripening", doi: 10.5281/zenodo.7645235.
- [3] K. Fauzia, M. Lutfi, and L. Choviya Hawa, "Penentuan Tingkat Kerusakan Buah Alpukat pada Posisi Pengangkutan Dengan Simulasi Getaran yang Berbeda," 2013.
- [4] Z. Li, R. Wang, and R. Ding, "A Review of Crop Attribute Monitoring Technologies for General Agricultural Scenarios," Nov. 01, 2025, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/agriengineering7110365.
- [5] J. Homepage, G. Vernando, M. I. Jambak, Z. R. Mair, and C. Author, "Klasifikasi Kematangan Buah Alpukat Berdasarkan Warna Citra Menggunakan Metode K-Means," 2026.
- [6] F. Wibowo, D. Kusuma Hakim, and S. Sugiyanto, "Pendugaan Kelas Mutu Buah Pepaya Berdasarkan Ciri Tekstur GLCM Menggunakan Algoritma K-Nearest Neighbors."
- [7] B. Pratomo, N. Istiqomah, I. P. Parmila, and R. A. Winarno, "Agroteknologi Modern Inovasi dan Aplikasi untuk Pertanian Berkelanjutan," Jul. 2025.
- [8] R. M. Haralick, K. Shanmugam, and I. Distein, "Textual Features for Image Classification".
- [9] S. Napitu, R. Paramita Panjaitan, P. A. Nulhakim, and M. Khalik Lubis, "Klasifikasi Buah Jeruk Segar dan Busuk Berdasarkan RGB dan HSV Menggunakan Metode KNN," *Jurnal SAINTEKOM*, vol. 13, no. 2, pp. 214–221, Sep. 2023, doi: 10.33020/saintekom.v13i2.420.
- [10] E. W. Sari, A. P. Windarto, and R. A. Nasution, "Implementasi Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) Dalam Memprediksi Penjualan Roti Kacang," *BEES: Bulletin of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 2, no. 3, pp. 74–83, Mar. 2022, doi: 10.47065/bees.v2i3.1383.
- [11] B. Fatkhurrozi, M. A. Muslim, and Didik. R. Santoso, "Penggunaan Artificial Neuro Fuzzy Inference Sistem (ANFIS) dalam Penentuan Status Aktivitas Gunung Merapi," Dec. 2012.