

KLASIFIKASI TINGKAT KEMATANGAN CABAI BERDASARKAN WARNA RGB MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC

Bagus Tri Putra, Anisya Sonita, Agung Kharisma Hidayah, Muhammad Imanullah

Teknik Informatika, Universitas Muhammadiyah Bengkulu

Jl. Bali, Po Box 118 Telp. (0736) 22756 Fax. (0736) 26161

baguscrp3@gmail.com

ABSTRAK

Pemrosesan citra digital telah menjadi metode yang efektif dalam sektor pertanian, khususnya dalam menentukan tingkat kematangan buah. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem klasifikasi tingkat kematangan cabai dengan memanfaatkan komponen warna RGB menggunakan pendekatan Fuzzy Logic. Data citra cabai diperoleh melalui proses akuisisi gambar menggunakan kamera digital dengan kondisi pencahayaan yang terkendali. Selanjutnya, citra yang diperoleh dianalisis untuk mengekstrak fitur warna dalam ruang warna RGB. Metode Fuzzy Logic dipakai untuk menentukan tingkat kematangan cabai berdasarkan nilai keanggotaan warna merah, hijau, dan biru. Hasil klasifikasi dikategorikan ke dalam beberapa Derajat kesiapan, yakni muda, matang, dan tua. Evaluasi sistem dilakukan dengan membandingkan hasil klasifikasi dengan data ground truth yang diperoleh atas pakar pertanian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode Fuzzy Logic mampu mengklasifikasikan tingkat kematangan cabai dengan akurasi yang tinggi, didapatkan akurasi untuk jenis kategori cabai muda sebesar 100%, untuk jenis kategori cabai matang sebesar 93,33%, dan untuk jenis kategori cabai tua sebesar 90%. Sehingga didapatkan rata-rata akurasi sebesar 94,44%. Implementasi sistem ini berguna bagi petani untuk menetapkan waktu panen yang tepat, optimal, sehingga meningkatkan kualitas dan efisiensi dalam produksi cabai.

Kata kunci : *Pengolahan citra digital, klasifikasi kematangan cabai, komponen warna RGB, Fuzzy Logic.*

1. PENDAHULUAN

Cabai adalah produk pertanian yang cukup penting dalam perekonomian dan Keseharian masyarakat Indonesia. Permintaan cabai yang tinggi untuk kebutuhan rumah tangga dan bisnis, membuat cabai menjadi produk bernilai ekonomi cukup besar [1].

Kualitas cabai, terutama tingkat kematangan, menjadi Faktor kunci yang berpengaruh terhadap harga serta keawetan produk dalam distribusi dan penyimpanan[2].

Dengan kemajuan teknologi, pemrosesan citra digital telah menjadi Sebuah solusi yang menjanjikan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Teknologi ini memungkinkan analisis objek berdasarkan gambar digital yang diambil atas kamera, sehingga dapat dipakai untuk menentukan tingkat kematangan cabai secara lebih cepat, akurat, dan konsisten. Dengan bantuan algoritma pengenalan pola, pengolahan citra digital mampu mengekstraksi fitur-fitur penting seperti warna, tekstur, dan bentuk yang berkaitan dengan tingkat kematangan buah. Selama ini, satu-satunya cara untuk mengklasifikasikan kualitas cabai adalah dengan melihatnya secara langsung pada permukaannya. Klasifikasi yang dilakukan secara manual menciptakan kategori yang kurang presisi dan tidak konsisten akibat kesalahan manusia. Jadi, untuk membedakan tingkat kematangan cabai, dan ekstraksi ciri RGB (red, green, blue) dipakai sebagai berdasarkan ekstraksi warna guna membantu klasifikasi kematangan cabai dan mempermudah pengolahan gambar [3].

Dengan menggunakan metode *Fuzzy Logic* dapat membantu proses klasifikasi dengan mudah karena nilai rata-rata dari setiap kanal warna RGB nanti akan menghasilkan nilai yang cukup tidak pasti, maka dari itu digunakanlah metode tersebut karena *Fuzzy Logic* metode komputasi yang menangani ketidakpastian dengan keanggotaan derajat.

Pada penelitian [4] “Klasifikasi Tingkat Kematangan Tomat Menggunakan Fuzzy Logic Berbasis Ekstraksi Citra Warna dan K-means Clustering” Berdasarkan hasil dan diskusi dapat disimpulkan bahwa sistem klasifikasi tingkat kematangan tomat dengan menggunakan fuzzy logic bekerja cukup baik, dengan tingkat akurasi pada masing-masing data training dan data testing sebesar 96,59% dan 88,24%. Dibuatlah alat otomatis untuk memilih jenis cabai mentah atau masak bersama dengan objek yang akan diproses dalam penelitian, yaitu cabai.

Penelitian sebelumnya juga terdapat pada penelitian [5] “Deteksi Tingkat Kematangan Buah Tomat dengan Metode Fuzzy Logic Menggunakan Modul Kamera Raspberry PI” dengan hasil bahwa pada pencahayaan 25 Lux kondisi mentah terdapat satu sampel yang tidak sesuai antara metode visual dengan nilai RGB dari 10 sampel tiap tingkat kematangannya, sedangkan untuk kondisi setengah matang dan matang keseluruhan sampel sesuai. Pada pengambilan data untuk kondisi pencahayaan 100 Lux setiap tingkat kematangan juga sesuai di setiap sampelnya. Ketidaksesuaian pada kondisi 25 Lux mungkin dikarenakan kurangnya pencahayaan saat pengambilan citra, sehingga mengakibatkan nilai RGB

yang dibaca oleh program tidak sesuai dengan nilai referensi yang digunakan. Hal ini berlaku juga untuk kondisi pengukutan pada sore hari. Alat ini bermanfaat untuk mengukur kematangan tanaman cabai dengan melihat objek cabai tanaman itu, memonitor perkembangan, dan mengenali kekurangan nutrisi, seperti defisiensi nitrogen yang biasanya mempengaruhi tanaman cabai. Untuk mengetahui tingkat kematangannya, peneliti akan menampilkan variasi penelitiannya pada buah dan sayuran untuk meningkatkan efisiensi sistem komputer. [2].

Bidang pengolahan citra digital berfokus pada ilmu yang meneliti metode pengolahan gambar. Foto dan video atas webcam termasuk dalam ciri yang dijelaskan di sini. Adapun "digital" mengartikan proses pengolahan gambar atau citra dalam bentuk digital menggunakan komputer. Secara matematis, gambar adalah fungsi kontinu (terus-menerus) kecerahan cahaya pada ruang dua dimensi. Digitalisasi gambar adalah bentuk representasi angka atas fungsi kontinu menjadi besaran diskrit agar kompatibel dengan pemrosesan komputer [6].

Untuk membantu pengambilan keputusan manajemen, sistem pengambilan keputusan dipakai. Namun, ada banyak konteks yang berbeda di mana pengambilan keputusan tidak selalu bergantung dan sesuai dengan satu pihak [7].

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengolahan Citra Digital

Pengolahan Citra Digital adalah disiplin ilmu yang membahas metode pengolahan gambar secara digital dengan komputer. Beberapa jenis citra termasuk biner, monokrom, grayscale, dan warna RGB [8]. Citra Digital menggambarkan suatu objek dalam bentuk matriks yang mencakup beberapa elemen. Beberapa contoh penggunaan citra digital di bidang kedokteran termasuk scan CT, X-ray, dan MRI, antara lain [9].

Citra adalah satu bentuk informasi berupa gambar selain teks, suara maupun video sebagai media komunikasi antar manusia dengan mesin yang mempunyai nilai informasi bersifat subyektif seperti penentuan kualitas buah cabai dengan metode transformasi ruang warna dalam koordinat warna tertentu, pengguna citra digital radiografi dengan format DICOM pada PC diluar Sistem CR melakukan GC resolusi spasial dalam penilaian kualitas pesawat [8].

2.2. Klasifikasi

Dalam klasifikasi, data dikelompokkan ke dalam kelas yang telah ditentukan berdasarkan sifat dan pola yang dipelajari [3].

Klasifikasi juga dapat didefinisikan sebagai suatu metode dengan melihat bagaimana data bertindak dan karakteristik Kelompok hasil klasifikasi. Dengan menggunakan hasil atas manipulasi data yang telah didefinisikan, metode ini dapat memberikan klasifikasi pada data baru [8].

2.3. Ruang Warna RGB

Salah satu model warna yang paling umum dipakai dalam pengolahan gambar digital adalah ruang warna RGB. Tingkat intensitas merah (R), hijau (G), dan biru (B) dipakai untuk menggambarkan setiap piksel gambar digital. Metode ekstraksi fitur warna dengan menggunakan nilai rata-rata atas setiap kanal warna telah terbukti efektif untuk menganalisis objek yang mengalami perubahan warna, seperti buah dan sayuran pada berbagai tahap kematangan. Misalnya, pada buah cabai, perubahan warna atas hijau menjadi merah secara bertahap seiring proses pematangan dapat dengan jelas diamati dan diquantifikasi menggunakan analisis ruang warna RGB. Ekstraksi fitur sering memanfaatkan ruang warna sebagai dasar analisis. Salah satu model ruang warna yang dipakai adalah RGB. Penelitian yang menggunakan ekstraksi ruang warna RGB untuk mengklasifikasikan kematangan biji kopi dengan memanfaatkan Naive Bayes dengan Fitur Ruang Warna RGB [10].

Teknik Transformasi Warna HIS, yang dipakai dalam penelitian sebelumnya, dipakai untuk mengidentifikasi Kematangan pisang dianalisis berdasarkan ciri visual warna kulit. [6].

Salah satu masalah klasifikasi biner adalah deteksi kulit: apakah warna piksel menunjukkan kulit atau tidak. Struktur deteksi kulit terdiri atas transformasi konstanta RGB ke ruang warna yang berbeda, penghapusan elemen cahaya dan penggunaan hanya dua kromina, dan penggunaan teknik pemodelan warna yang tepat untuk menentukan apakah piksel termasuk dalam kategori kulit atau bukan kulit [11].

2.4. Metode Fuzzy Logic

Fuzzy Logic adalah sebuah metode komputasi yang didasarkan pada logika fuzzy, yaitu perluasan atas logika klasik (boolean) yang memungkinkan nilai kebenaran berada dalam rentang kontinu antara 0 dan 1. Metode ini dipakai untuk menangani ketidakpastian atau ambiguitas dalam pengambilan keputusan dengan cara meniru cara manusia berpikir dan menilai berdasarkan tingkat kepercayaan, bukan hanya benar atau salah [12].

Logika fuzzy termasuk dalam bidang kecerdasan buatan (AI) yang mengolah kemampuan berpikir manusia ke dalam algoritma yang selanjutnya dieksekusi oleh mesin. Ini berasal atas logika Boolean, yang memperkenalkan gagasan kebenaran parsial. Dalam logika klasik, pernyataan dikategorikan sebagai 0 atau 1, hitam atau putih, ya atau tidak. Sebaliknya, logika fuzzy memungkinkan adanya tingkat kebenaran yang lebih fleksibel. Sistem fuzzy menggunakan derajat keanggotaan dengan rentang nilai atas 0 hingga 1. sehingga memungkinkan adanya tingkat kepastian yang lebih variatif [13].

Penerapan logika fuzzy dalam sistem Alat bantu keputusan begitu penting, terutama ketika terdapat banyak kondisi yang tidak dapat diselesaikan hanya dengan jawaban "ya" atau "tidak". Dengan logika

fuzzy, keputusan dapat dibuat lebih adaptif dan sesuai dengan kondisi yang lebih kompleks[6].

Proses fuzzyfikasi mengubah variabel numerik menjadi variabel linguistik. Sebelum pengendali logika fuzzy dapat menangani variabel fuzzy, nilai tegas harus diubah menjadi variabel fuzzy. Nilai-nilai masukan ini kemudian diubah menjadi informasi fuzzy yang bermanfaat untuk proses pengolahan fuzzy [14].

3. METODE PENELITIAN

Lokasi serta jadwal penelitian ini dilakukan secara mandiri dengan menggunakan handphone. Pengumpulan data citra cabai dilakukan langsung atas petani cabai di Kabupaten Lebong. Dataset yang dikumpulkan terdiri atas 80 foto cabai yang dikategorikan, terdiri atas 20 foto muda, 30 foto matang, dan 30 foto tua. Penelitian ini menggunakan eksperimen pengolahan gambar digital untuk mengklasifikasikan tingkat kematangan objek cabai berdasarkan komponen warna RGB. Ini menggunakan metode fuzzy logic.

3.1. Analisis Permasalahan

Tingkat kematangan cabai merupakan faktor penting yang menentukan kualitas produk pertanian. Saat ini, pengklasifikasian tingkat kematangan cabai masih Secara non-otomatis, yang memakan waktu dan rentan terhadap subjektivitas. Oleh karena itu, diperlukan sistem otomatis berbasis pengolahan citra digital untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam proses ini. Pada penelitian ini, tahapan awal dilakukan dengan menginputkan data citra asli atau data uji, kemudian proses mengubah citra asli ke citra RGB sebagai tahapan *preprocessing*. Selanjutnya Ciri-ciri diekstraksi dengan menghitung nilai rata-rata komponen warna RGB atas citra asli yang telah ditransformasi ke citra RGB yang telah diinputkan. Rata-rata intensitas warna RGB didapatkan atas dihitung menggunakan perintah *mean(mean(...))* pada setiap kanal warna. Hasil ekstraksi atas citra RGB diproses pada tahap pengujian dengan mencari nilai terdekat atas citra uji dengan dataset menggunakan metode *fuzzy Logic*. Berdasarkan proses pendekatan identifikasi *fuzzy Logic* akan di dapatkan akurasi atas data uji atas citra jenis tingkat kematangan objek cabai.

3.2. Proses Fuzzy Logic

Penentuan Variabel *Fuzzy*. Pada penelitian ini untuk mengidentifikasi tingkat kematangan cabai terdapat tiga variabel input dan tiga variabel output.

3.2.1. Variabel Input

- Warna *Red*, dipakai untuk menciptakan berbagai warna dalam gambar digital. Ketika kita melihat sebuah gambar, kanal warna *red* (merah) menentukan intensitas warna merah yang ditampilkan. Himpunan *fuzzy* pada input *red* dibagi menjadi tiga yaitu (R): Rendah, Sedang, dan Tinggi.

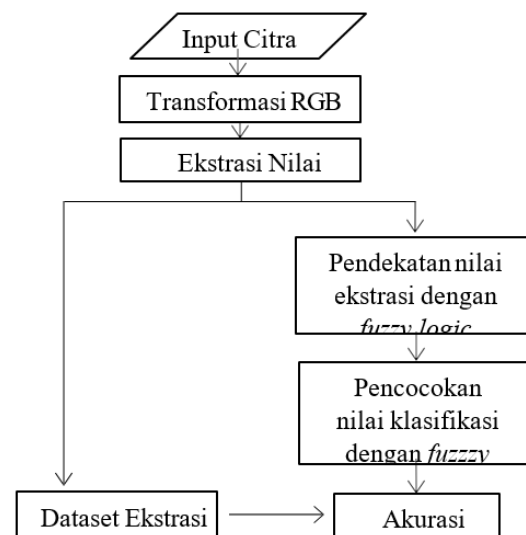
- Warna *Green*, tidak jauh berbeda dengan warna *red* perbedaan antara kanal warna *red* dan *green* dapat menghasilkan berbagai warna yang berbeda-beda dalam gambar digital. Himpunan *fuzzy* pada input *green* dibagi menjadi tiga yaitu (G): Rendah, Sedang, dan Tinggi.
- Warna *Blue*, kanal warna *blue* berinteraksi dengan kanal warna *red* dan *green*, seperti ungu, cyan, dan lain-lain. Himpunan *fuzzy* pada input *blue* dibagi menjadi tiga yaitu (B): Rendah, Sedang, dan Tinggi.

3.2.2. Variabel Output

Variabel output dalam mengidentifikasi tingkat kematangan objek cabai adalah tingkat kematangan. Pada variabel output terdapat tiga himpunan yaitu: muda, matang, tua. *Inferensi Fuzzy* berdasarkan kombinasi nilai RGB untuk menentukan tingkatan kematangan cabai.

- Jika *Green* tinggi, *Red* rendah maka kategori cabai muda.
- Jika *Red* tinggi, *Green* rendah maka kategori cabai matang.
- Jika *Red* tinggi, *Green* sedang maka kategori cabai tua.

Logika fuzzy memiliki proses yang dikenal sebagai defuzzifikasi. Proses ini mengubah keluaran fuzzy, seperti nilai derajat keanggotaan dalam himpunan fuzzy, menjadi nilai yang jelas. Sebagai alat bantu dalam menentukan keputusan. Tujuan utama atas *defuzzifikasi* mengonversi hasil inferensi fuzzy menjadi nilai numerik yang dapat ditindaklanjuti, menghasilkan keputusan yang dapat dipahami oleh sistem atau manusia.



Gambar 1. Flowchart Proses Klasifikasi

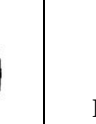
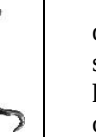
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melalui tahap analisis, langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian terhadap sistem yang telah dikembangkan menggunakan program matlab. Hasil pengolahan citra digital yang dilakukan untuk mengklasifikasikan tingkat

kematangan objek cabai berdasarkan komponen warna RGB menggunakan metode *fuzzy logic*.

Pengujian diawali dengan transformasi citra asli ke citra RGB untuk memudahkan proses klasifikasi citra. Model warna RGB memberikan gambaran mengenai perwarnaan yang sama dengan intuisi manusia dalam menangkap warna. Proses Transformasi citra asli ke citra RGB berguna untuk memudahkan proses klasifikasi karena pada proses ini akan menghasilkan citra dengan masing-masing warna RGB atas citra asli tersebut yang terlihat pada objek yang akan dilakukan klasifikasi. Sampel citra objek cabai hasil transformasi atas citra asli ke RGB. Transformasi citra asli ke citra RGB dilakukan untuk mempermudah analisis komponen warna yang digunakan dalam klasifikasi kematangan cabai. Model warna RGB memberikan gambaran visual yang serupa dengan persepsi warna manusia, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam metode fuzzy logic.

Tabel 1. Hasil Transformasi Citra Asli Ke RGB

No	Jenis kategori	Citra Asli	Citra Red	Citra Green	Citra Blue
1.	Muda				
2.	Matang				
3.	Tua				

4.1. Nilai Rata-Rata Citra RGB

Setelah proses transformasi citra, langkah berikutnya adalah menghitung nilai rata-rata atas masing-masing citra RGB data. Yang bertujuan agar didapatkan ciri yang dapat dikenali atas suatu objek pada citra. Pada tahap nantinya akan diklasifikasi jenis tingkat kematangan objek cabai yang dilihat atas nilai rata-rata RGB suatu citra. Berikut dapat dilihat nilai rata-rata nya yang sudah dihitung dengan menerapkan program perintahnya pada *software* matlab.

Tabel 2. Nilai Rata-Rata Citra RGB

No	Jenis Kategori	Nilai Rata-rata Red	Nilai Rata-rata Green	Nilai Rata-rata Blue
1.	Muda	245.88	247.42	244.734
2.	Matang	253.009	246.621	245.381
3.	Tua	250.367	247.449	245.032

4.2. Fuzzyfikasi

Fuzzyfikasi adalah proses mengubah nilai RGB dari citra menjadi nilai keanggotaan dalam himpunan fuzzy. Setiap komponen warna (Red, Green, Blue) dikategorikan ke dalam tiga tingkatan: rendah, sedang, dan tinggi.

a. Variabel Input:

Red (R): Rendah, Sedang, Tinggi

Green (G): Rendah, Sedang, Tinggi

Blue (B): Rendah, Sedang, Tinggi

b. Variabel Output:

Tingkat Kematangan: Muda, Matang, Tua

Setiap nilai RGB dikonversi ke dalam derajat keanggotaan dengan fungsi keanggotaan segitiga, yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\mu(X) = \max\left(0, \min\left(\frac{X-a}{b-a}, \frac{c-X}{c-b}\right)\right)$$

Dimana a, b, c adalah titik batas fungsi keanggotaan untuk setiap kategori.

Pada tahap fuzzyfikasi, hasil ekstraksi nilai RGB dari citra cabai menunjukkan adanya perbedaan signifikan dalam distribusi intensitas warna di setiap kategori kematangan. Sebagai contoh, cabai muda cenderung memiliki nilai Green yang tinggi dan Red yang rendah, sedangkan cabai matang menunjukkan nilai Red yang dominan. Proses fuzzyfikasi memastikan bahwa setiap variasi warna dapat dikategorikan dengan lebih fleksibel, memungkinkan pengklasifikasian yang lebih adaptif terhadap variasi pencahayaan dan kualitas citra.

Selain itu, fuzzyfikasi membantu dalam mengurangi pengaruh noise pada citra, yang sering terjadi akibat variasi pencahayaan dalam pengambilan gambar. Dengan pendekatan ini, sistem dapat lebih toleran terhadap perubahan lingkungan yang tidak dapat dihindari dalam kondisi pengambilan gambar di lapangan.

4.3. Basis Aturan Fuzzy

Basis aturan fuzzy digunakan untuk menentukan tingkat kematangan cabai berdasarkan kombinasi nilai RGB. Beberapa aturan yang digunakan antara lain:

- Jika Green tinggi dan Red rendah, maka cabai Muda.
- Jika Red tinggi dan Green rendah, maka cabai Matang.
- Jika Red tinggi dan Green sedang, maka cabai Tua.

Aturan-aturan ini diterapkan menggunakan metode inferensi fuzzy untuk mendapatkan keputusan klasifikasi.

Inferensi fuzzy dilakukan dengan metode Mamdani. Proses ini melibatkan, evaluasi aturan fuzzy berdasarkan nilai keanggotaan RGB, operasi MIN (minimum) digunakan dalam implikasi fuzzy untuk menentukan kekuatan aturan, agregasi hasil dari semua aturan untuk mendapatkan keluaran fuzzy.

Defuzzyfikasi adalah proses mengubah keluaran fuzzy menjadi nilai numerik yang dapat digunakan sebagai keputusan akhir. Metode yang digunakan adalah *Centroid Method*, dengan rumus:

$$Z = \frac{\sum \mu_i z_i}{\sum \mu_i}$$

Dimana μ_i adalah derajat keanggotaan dan z_i adalah nilai keluaran fuzzy.

4.4. Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian dalam proses identifikasi tingkat kematangan objek cabai berdasarkan komponen warna RGB dengan 80 citra data yang terdiri atas 3 kategori klasifikasi, didapatkan akurasi untuk jenis kategori cabai muda sebesar 100%, untuk jenis kategori cabai matang sebesar 93,33%, dan untuk jenis kategori cabai tua sebesar 90%. Sehingga didapatkan rata-rata akurasi sebesar 94,44%.

Grafik hasil klasifikasi dapat dilihat pada Gambar 2. Hasil ini menunjukkan bahwa metode *fuzzy logic* mampu mengklasifikasikan tingkat kematangan cabai dengan baik.



Gambar 2. Grafik Kematangan Cabai

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai "Pengolahan Citra Digital untuk Klasifikasi Tingkat Kematangan Objek Cabai Berdasarkan Komponen Warna RGB dengan Metode Fuzzy Logic", maka dapat disimpulkan bahwa. Berdasarkan nilai akurasi klasifikasi citra objek cabai yang telah di uji, diperoleh akurasi tertinggi 100% yang menunjukkan bahwa model mampu mengklasifikasikan cabai-cabai dengan sangat benar. Metode fuzzy logic berhasil diterapkan untuk mengklasifikasikan tingkat kematangan cabai berdasarkan analisis komponen warna RGB. Model yang dikembangkan mampu mengolah citra digital cabai dan menentukan tingkat kematangannya dengan akurasi 94,44%. Proses ekstraksi fitur warna RGB menunjukkan bahwa nilai intensitas warna merah memiliki pengaruh dominan dalam menentukan

tingkat kematangan cabai, sedangkan komponen hijau dan biru berperan dalam mendukung proses klasifikasi. Sistem Klasifikasi yang dibuat dapat membedakan tingkat kematangan cabai dalam beberapa kategori, seperti muda, matang, dan tua. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa metode *Fuzzy Logic* memberikan hasil yang konsisten dalam menentukan tingkat kematangan cabai, meskipun masih terdapat beberapa variasi akurasi faktor pencahayaan dan kondisi citra masukan.

Terdapat beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut. Penelitian selanjutnya dapat mengintegrasikan teknik pengolahan citra lainnya, seperti pengolahan histogram warna atau segmentasi berbasis model deep learning, guna meningkatkan akurasi klasifikasi tingkat kematangan cabai. Penggunaan dataset yang lebih luas dengan berbagai kondisi pencahayaan dan latar belakang dapat meningkatkan ketahanan sistem terhadap variasi lingkungan dalam pengambilan gambar. Implementasi sistem dalam bentuk aplikasi berbasis web atau mobile dapat mempermudah pengguna dalam mengakses dan menggunakan sistem klasifikasi ini secara *real-time*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Jumadi, Y. Yudianti, and D. Sartika, "Pengolahan Citra Digital Untuk Identifikasi Objek Menggunakan Metode Hierarchical Agglomerative Clustering," *JST (Jurnal Sains dan Teknol.*, vol. 10, no. 2, pp. 148–156, 2021, doi: 10.23887/jstundiksha.v10i2.33636.
- [2] D. I. Muhammad, E. Ermatita, and N. Falih, "Penggunaan K-Nearest Neighbor (KNN) untuk Mengklasifikasi Citra Belimbing Berdasarkan Fitur Warna," *Inform. J. Ilmu Komput.*, vol. 17, no. 1, p. 9, 2021, doi: 10.52958/iftk.v17i1.2132.
- [3] F. U. Jember, "Klasifikasi Tingkat Kematangan Tomat Menggunakan Fuzzy Logic Berbasis Ekstraksi Citra Warna dan K-means Clustering," vol. 1, no. 3, pp. 114–120, 2024.
- [4] M. Modul, K. Raspberry, N. Muthiati, S. R. Sulistiyanti, and S. Purwiyanti, "Deteksi Tingkat Kematangan Buah Tomat dengan Metode Fuzzy Logic Deteksi Tingkat Kematangan Buah Tomat dengan Metode Fuzzy Logic Menggunakan Modul Kamera Raspberry PI pembuatan keputusan untuk pemanenan," no. January, 2021, doi: 10.23960/elc.v13n2.2105.
- [5] Indarto and Murinto, "Deteksi Kematangan Buah Pisang Berdasarkan Fitur Warna Citra Kulit Pisang Menggunakan Metode Transformasi Ruang Warna HIS (Banana Fruit Detection Based on Banana Skin Image Features Using HSI Color Space Transformation Method)," *J. Ilm. Inform.*, vol. V, no. November, pp. 15–21, 2020.
- [6] W. S. Negoro, "Edukasi Pengolahan Citra Digital Untuk Pendeteksian Dan Informasi Pengetahuan Yang Tersembunyi Pada Citra Digital Image Processing Education for Detection and Knowledge Information Hidden in Images

- Abstrak,” 2023.
- [7] A. Wijaya, R. Toyib, R. Kontesa, S. H. Wibowo, and U. M. Bengkulu, “Analisis Citra Digital Menggunakan Morpologi Opening Untuk,” vol. 6, no. 2, pp. 192–197, 2023.
- [8] H. A. Rabbani, M. A. Rahman, and B. Rahayudi, “Perbandingan Ruang Warna RGB dan HSV dalam Klasifikasi Kematangan Biji Kopi,” *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 5, no. 6, pp. 2243–2248, 2021, [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [9] Y. C. Cahyaningrum, “Penerapan Artificial Intelligence Menggunakan Fuzzy Logic dalam Dunia Pendidikan,” *J. Amplif. J. Ilm. Bid. Tek. Elektro Dan Komput.*, vol. 13, no. 2, pp. 62–68, 2023, doi:10.33369/jamplifier.v13i2.30757
- [10] T. Tamaji and Y. A. K. Utama, “Implementasi Fuzzy Logic Untuk Kualitas Udara, Suhu, Dan Kelembaban Udara Berbasis Iot,” *Foristek*, vol. 14, no. 1, 2023, doi: 10.54757/fs.v14i1.249.