

Identifikasi Tingkat Kematangan Cabai Berdasarkan Analisis Warna Menggunakan Metode *HSV Color Threshold*

Chili Ripeness Level Identification Based on Color Analysis Using the HSV Color Threshold Method

Ananda Sabitha Khairani Putri^{*1}, Fakhri Nuril Mubin², Rafi Ferdian Nugroho³,
Mohamad Yasin⁴

^{1,2,3,4}Universitas Negeri Malang

⁴Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Malang

*e-mail: ananda.sabitha.2303126@students.um.ac.id¹, fakhri.nuril.2301326@students.um.ac.id²,
rafi.ferdian.2303126@students.um.ac.id³, mohamad.yasin.fmipa@um.ac.id⁴

Received:
22.05.2026

Revised:
21.08.2026

Accepted:
21.09.2026

Available online:
06.10.2026

Abstrak: Penelitian ini mengembangkan sistem identifikasi otomatis tingkat kematangan cabai menggunakan metode Hue, Saturation, Value Color Thresholding berbasis Python dan OpenCV. Penyortiran kematangan cabai secara manual memiliki kelemahan berupa subjektivitas dan inkonsistensi penilaian akibat kelelahan operator. Sistem yang dibangun mengonversi citra Red, Green, Blue ke ruang warna Hue, Saturation, Value, lalu menerapkan tiga lapisan color masking untuk kelas hijau, setengah matang, dan merah. Klasifikasi ditentukan berdasarkan dominasi luas piksel menggunakan fungsi `cv2.countNonZero()`. Pengujian dilakukan terhadap 24 citra cabai yang terdiri atas 6 citra hijau, 10 citra setengah matang, dan 8 citra merah. Hasil menunjukkan sistem berhasil mengklasifikasikan 21 dari 24 citra dengan benar, mencapai akurasi keseluruhan sebesar 87,50%. Kelas setengah matang dan merah mencapai akurasi sempurna (100%), sedangkan kelas hijau mencapai 50% akibat *overlapping* nilai Hue antara cabai hijau kekuningan dan cabai setengah matang.

Kata kunci: Kematangan Cabai, *HSV Color Thresholding*, Pengolahan Citra Digital, *OpenCV*, *Python*.

Abstract: This study develops an automated chili ripeness identification system using the Hue, Saturation, Value Color Thresholding method implemented in Python and OpenCV. Manual sorting of chili ripeness suffers from subjectivity and inconsistency due to operator fatigue. The system converts Red, Green, Blue images to the Hue, Saturation, Value color space and applies three color masking layers for green, half-ripe, and red classes. Classification is determined by pixel area dominance using the `cv2.countNonZero()` function. Testing was conducted on 24 chili images comprising 6 green, 10 half-ripe, and 8 red samples. The system correctly classified 21 out of 24 images, achieving an overall accuracy of 87.50%. The half-ripe and red classes achieved perfect accuracy (100%), while the green class reached 50% due to Hue value overlapping between yellowish-green and half-ripe chili specimens.

Keywords: Chili Ripeness, *HSV Color Thresholding*, Digital Image Processing, *OpenCV*, *Python*.

1. PENDAHULUAN

Cabai (*Capsicum annum* L.) merupakan salah satu komoditas hortikultura bernilai ekonomi tinggi yang permintaannya terus meningkat di pasar domestik maupun ekspor. Dalam rantai distribusi cabai, proses penyortiran berdasarkan tingkat kematangan menjadi tahap krusial yang menentukan standar mutu produk. Hingga saat ini, penentuan tingkat kematangan cabai umumnya masih dilakukan secara manual melalui pengamatan visual langsung oleh tenaga kerja manusia [1]. Proses ini memiliki kelemahan yang signifikan karena sangat rentan terhadap kelelahan mata operator, yang berdampak pada menurunnya objektivitas dan konsistensi penilaian antarindividu [1], [2]. Ketidakteraturan hasil penyortiran ini pada akhirnya dapat merugikan rantai distribusi dan menurunkan kepercayaan konsumen terhadap kualitas produk.

Pengolahan citra digital hadir sebagai solusi otomatisasi yang menjanjikan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Pengolahan citra digital merupakan teknik memanipulasi dan menganalisis data gambar secara komputasi untuk mengekstraksi informasi yang berguna [3]. Teknik ini telah terbukti mampu menggantikan penilaian visual manusia secara konsisten dan objektif pada berbagai komoditas pertanian, mulai dari identifikasi morfologi tanaman [4] hingga klasifikasi kualitas buah dan sayuran berbasis fitur warna [5], [6]. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan dalam pengolahan citra berbasis warna adalah segmentasi menggunakan ruang warna

HSV (*Hue, Saturation, Value*). Dibandingkan dengan model warna RGB yang menggabungkan informasi warna dan intensitas cahaya dalam satu saluran, model HSV memisahkan komponen warna murni dari intensitas pencahayaan sehingga lebih tahan terhadap variasi kondisi cahaya [7].

Sejumlah penelitian terdahulu telah mengeksplorasi penerapan pengolahan citra untuk identifikasi kematangan berbagai komoditas hortikultura. Untuk cabai, Ananto dan Murinto [1] menggunakan transformasi warna YCbCr dan berhasil mencapai akurasi 96%, namun pendekatan ini memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan pencahayaan. Dhania dkk. [2] menerapkan *thresholding* HSV pada cabai hidroponik dan menyimpulkan bahwa ruang warna HSV lebih stabil terhadap variasi pencahayaan dibandingkan RGB. Sihombing dkk. [8] mengkombinasikan fitur warna HSV dengan fitur bentuk untuk klasifikasi cabai dan mendapatkan hasil yang baik, sedangkan Kaswar dkk. [9] menggunakan ruang warna LAB dengan *Artificial Neural Network* untuk mengklasifikasikan kematangan cabai Katokkon dan menunjukkan bahwa pendekatan berbasis *machine learning* membutuhkan fase pelatihan yang tidak selalu tersedia di lingkungan produksi. Pendekatan berbasis HSV juga banyak diterapkan pada komoditas lain. Sanjaya [10] menggunakannya untuk pengenalan kematangan tomat berbasis Android, Furqan dkk. [11] untuk deteksi kematangan manggis dengan akurasi 86,6%, Wibowo dkk. [12] mengkombinasikan HSV dengan K-Nearest Neighbor untuk deteksi kematangan jambu kristal, Zakaria dan Mulyana [13] membuktikan efektivitas HSV dengan KNN untuk klasifikasi sayuran leunca, serta Adenugraha dkk. [14] yang mengklasifikasikan kematangan pisang ambon menggunakan kombinasi HSV, RGB, PCA, dan KNN.

Berbeda dari penelitian-penelitian tersebut, penelitian ini berfokus pada identifikasi tiga tingkat kematangan cabai rawit lokal menggunakan metode HSV *Color Thresholding* murni berbasis *pixel counting* tanpa melibatkan algoritma *machine learning*. Pendekatan ini dipilih karena lebih ringan secara komputasi, tidak memerlukan fase pelatihan model, dan parameternya dapat dikalibrasi secara mandiri sesuai kondisi pengambilan citra. Dengan demikian, sistem berpotensi diimplementasikan sebagai solusi penyortiran sederhana yang terjangkau pada skala usaha pertanian kecil dan menengah.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra digital (*digital image processing*) adalah bidang ilmu yang mempelajari teknik manipulasi dan analisis data citra secara komputasi dengan tujuan mengekstraksi, meningkatkan, atau merepresentasikan informasi dari suatu gambar. Sebuah citra digital direpresentasikan sebagai matriks dua dimensi yang setiap elemennya disebut piksel (*picture element*), dengan nilai numerik yang merepresentasikan intensitas warna pada posisi tersebut [3]. Dalam implementasinya pada sistem identifikasi objek, pengolahan citra mencakup serangkaian tahap meliputi akuisisi citra, *preprocessing*, segmentasi, ekstraksi fitur, dan klasifikasi [15]. Penerapan teknik ini telah terbukti efektif di berbagai bidang pertanian, mulai dari identifikasi morfologi tanaman [4], deteksi kematangan buah kelapa sawit berbasis warna RGB dan HSV [6], hingga penilaian kualitas hasil panen menggunakan pendekatan *machine learning* [5], [9].

2.2. Indikator Kematangan Cabai

Cabai memiliki siklus perubahan warna kulit yang secara alami menjadi indikator utama tingkat kematangannya. Untuk memudahkan identifikasi menggunakan sistem pengolahan citra, fase kematangan cabai diklasifikasikan ke dalam tiga kategori utama, yaitu fase mentah yang ditandai dominasi warna hijau pada permukaan kulit, fase setengah matang dengan corak warna hijau kekuningan hingga oranye yang merupakan transisi antar fase, dan fase matang yang ditandai warna merah merata pada seluruh permukaan kulit [1]. Perubahan pigmentasi ini terjadi akibat degradasi klorofil dan sintesis karotenoid selama proses pematangan buah, yang tercermin secara langsung pada perubahan nilai *Hue* dalam ruang warna HSV [2], [9]. Karakteristik perubahan warna yang bertahap dan konsisten inilah yang menjadikan pendekatan berbasis analisis warna sangat relevan untuk sistem identifikasi kematangan cabai secara otomatis [8].

2.3. Model Warna HSV dan Color Thresholding

Model warna HSV (*Hue, Saturation, Value*) merupakan representasi warna yang dirancang untuk meniru cara manusia mempersepsikan warna secara intuitif [3]. Berbeda dengan model RGB yang merepresentasikan warna sebagai kombinasi tiga komponen primer, HSV memisahkan informasi warna murni dari informasi intensitas pencahayaan [7]. Komponen *Hue* merepresentasikan jenis warna dalam spektrum (0–179 dalam OpenCV), *Saturation* menunjukkan tingkat kejenuhan warna, dan *Value* merepresentasikan kecerahan [3]. Pemisahan antara informasi warna dan pencahayaan ini menjadikan model HSV jauh lebih stabil terhadap variasi kondisi cahaya dibandingkan model RGB. Perubahan intensitas pencahayaan hanya memengaruhi komponen *Value* tanpa mengubah nilai *Hue* secara signifikan [7]. Rabbani dkk. [16] dalam penelitiannya membandingkan ruang warna RGB dan HSV untuk klasifikasi kematangan biji kopi dan menyimpulkan bahwa HSV memberikan pemisahan kelas yang lebih baik karena isolasi informasi warna yang lebih bersih, sementara Wandu dan Hayati [17] membuktikan bahwa transformasi ruang warna HSV juga efektif untuk mendeteksi perubahan kondisi visual pada objek tanaman seperti kelayuan bunga mawar.

Teknik *Color Thresholding* pada ruang warna HSV bekerja dengan cara menetapkan batas bawah dan batas atas nilai HSV untuk setiap kelas warna yang ingin dideteksi, kemudian mengekstraksi piksel-piksel yang nilainya berada dalam rentang tersebut menggunakan fungsi *inRange()* pada OpenCV. Bradski dan Kaehler [15] menjelaskan bahwa dalam implementasi OpenCV, nilai *Hue* bersifat melingkar dan direpresentasikan dalam rentang 0–179, sehingga warna merah yang menempati kedua ujung spektrum memerlukan dua rentang *threshold* yang digabungkan menggunakan operasi *bitwise_or*. Pendekatan ini terbukti efektif untuk segmentasi berbasis warna pada berbagai objek pertanian, mulai dari cabai, tomat, manggis, jambu kristal, sayuran leunca, hingga pisang [2], [10], [11], [12], [13], [14].

2.4. Perbandingan Pendekatan Klasifikasi Berbasis Warna

Berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk mengklasifikasikan tingkat kematangan buah dan sayuran. Shaik dkk. [7] membandingkan ruang warna HSV dan YCbCr secara komprehensif dan menyimpulkan bahwa HSV memberikan segmentasi yang lebih akurat dan konsisten pada variasi pencahayaan. Himmah dkk. [6] membuktikan bahwa kombinasi fitur warna RGB dan HSV dengan metode K-Means Clustering efektif untuk mengidentifikasi tiga tingkat kematangan buah kelapa sawit, memperkuat relevansi pendekatan berbasis warna pada komoditas pertanian tropis. Di sisi lain, pendekatan berbasis *machine learning* seperti *Artificial Neural Network* yang diterapkan oleh Agung dkk. [5] untuk klasifikasi kualitas tomat dan Kaswar dkk. [9] untuk cabai Katokkon menunjukkan akurasi yang tinggi, namun memerlukan dataset pelatihan yang besar dan proses pelatihan yang tidak praktis untuk kondisi lapangan yang dinamis.

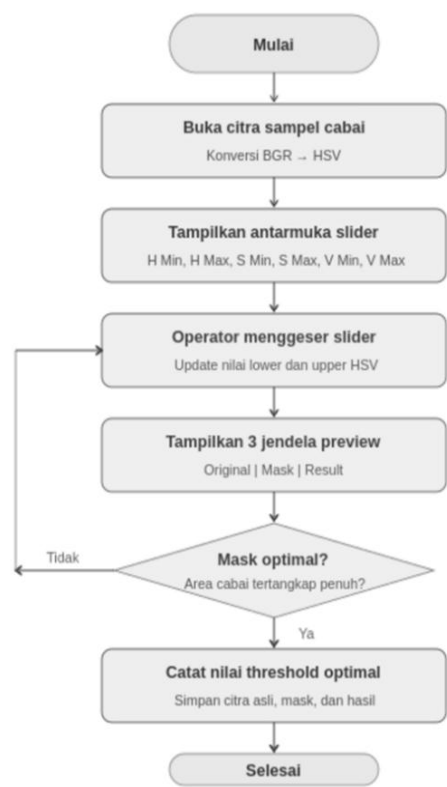
Sebaliknya, pendekatan berbasis *thresholding* HSV yang bersifat *rule-based* menawarkan keunggulan praktis berupa kecepatan komputasi tinggi, tidak membutuhkan fase pelatihan, dan kemampuan kalibrasi ulang yang cepat [2], [12]. Perbandingan antara kedua paradigma ini menjadi pertimbangan utama penelitian ini dalam memilih HSV *Color Thresholding* berbasis *pixel counting* sebagai metode yang lebih sesuai untuk implementasi sistem sortir sederhana berskala kecil.

3. METODE

Dataset yang digunakan terdiri dari 24 citra cabai berwarna format JPG yang dilakukan menggunakan kamera telepon pintar (*smartphone*) standar tanpa modifikasi perangkat keras tambahan. Pengambilan gambar dilaksanakan pada siang hari dengan mengandalkan intensitas pencahayaan ruangan alami yang bersumber dari cahaya matahari. Hal ini bertujuan untuk meminimalisir distorsi atau pantulan warna yang sering terjadi akibat pencahayaan buatan. Posisi kamera diatur tegak lurus secara proporsional dengan objek cabai agar seluruh bagian tubuh cabai tertangkap utuh secara terpusat. Dataset dibagi menjadi tiga kelas: 6 citra cabai hijau (mentah), 10 citra cabai setengah matang, dan 8 citra cabai merah (matang). Seluruh citra di-resize menjadi resolusi seragam 400×400 piksel sebelum diproses.

Pengembangan sistem dilakukan melalui empat tahap. Pertama, perancangan konsep sistem dengan menentukan mekanisme kalibrasi threshold dan alur klasifikasi. Kedua, kalibrasi parameter threshold menggunakan antarmuka trackbar interaktif (tranckbar.py) untuk menemukan rentang nilai HSV optimal bagi setiap kelas kematangan. Penentuan rentang nilai parameter threshold pada penelitian ini dilakukan dengan mengambil sampel representatif yang berasal dari dalam dataset 24 citra itu sendiri. Sebagai contoh, untuk mencari nilai ambang batas warna merah, digunakan sampel citra merah1.jpg, begitupun untuk kelas hijau dan setengah matang menggunakan perwakilan dari dalam dataset tersebut. Ketiga, pengembangan algoritma klasifikasi utama (main.py) yang mengimplementasikan parameter hasil kalibrasi. Keempat, pengujian terhadap seluruh dataset dan evaluasi berupa perhitungan metrik akurasi.

Sebelum algoritma klasifikasi dapat ditulis, rentang nilai HSV untuk setiap kelas harus ditentukan terlebih dahulu melalui eksperimen visual. Proses ini dilakukan menggunakan tranckbar.py yang membangun antarmuka slider interaktif berbasis OpenCV. Operator menggeser slider H Min, H Max, S Min, S Max, V Min, dan V Max secara real-time sambil mengamati tiga jendela tampilan: Original (citra asli), Mask (binary mask piksel tertangkap), dan Result (overlay mask pada citra asli). Nilai dianggap optimal ketika seluruh area tubuh cabai tertangkap oleh mask dengan noise latar belakang yang minimal. Untuk alur program tranckbar.py ditampilkan pada Gambar 1.

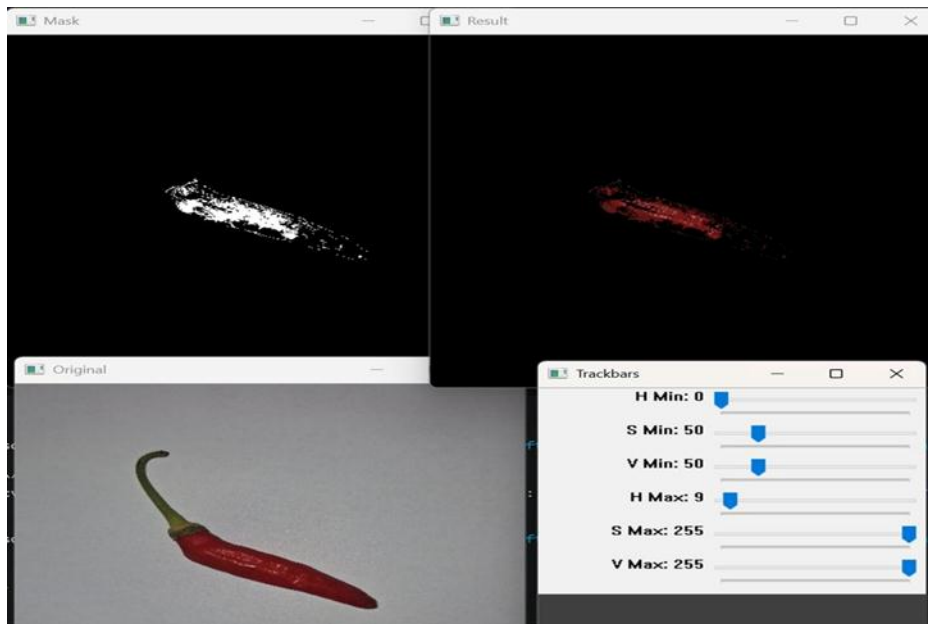


Gambar 1. Diagram Alur Kalibrasi Parameter HSV (tranckbar.py)

Program tranckbar.py bekerja dengan mengonversi citra BGR ke ruang warna HSV kemudian menampilkan enam slider yang mengontrol batas minimum dan maksimum kanal H, S, dan V. Setiap perubahan slider memperbarui nilai lower dan upper untuk menghasilkan binary mask secara real-time lalu mengaplikasikan mask ke citra asli sehingga operator dapat melihat secara visual piksel mana saja yang tertangkap. Fitur penyimpanan (tombol 's') secara otomatis menyimpan tiga citra dokumentasi: asli, mask, dan hasil ekstraksi.

Gambar 2 menampilkan tampilan antarmuka tranckbar.py saat kalibrasi kelas merah berjalan. Slider diposisikan pada H Min: 0 dan H Max: 9, menangkap warna merah pada bagian

bawah spektrum Hue. Hasil observasi dari setiap kelas dicatat dan dijadikan dasar nilai threshold pada main.py.



Gambar 2. Antarmuka tranckbar.py Saat Kalibrasi Kelas Merah (H Min:0, H Max:9)

Gambar 2 memperlihatkan bahwa pada nilai H Min: 0 dan H Max: 9 dengan S dan V minimum 50, area tubuh cabai merah berhasil diidentifikasi oleh mask secara konsisten. Latar belakang abu-abu dan tangkai hijau tidak tertangkap, mengkonfirmasi bahwa rentang threshold telah tepat sasaran. Proses serupa diulang untuk kelas hijau (H: 26–75) dan setengah matang (H: 10–25) hingga diperoleh seluruh parameter yang diperlukan.

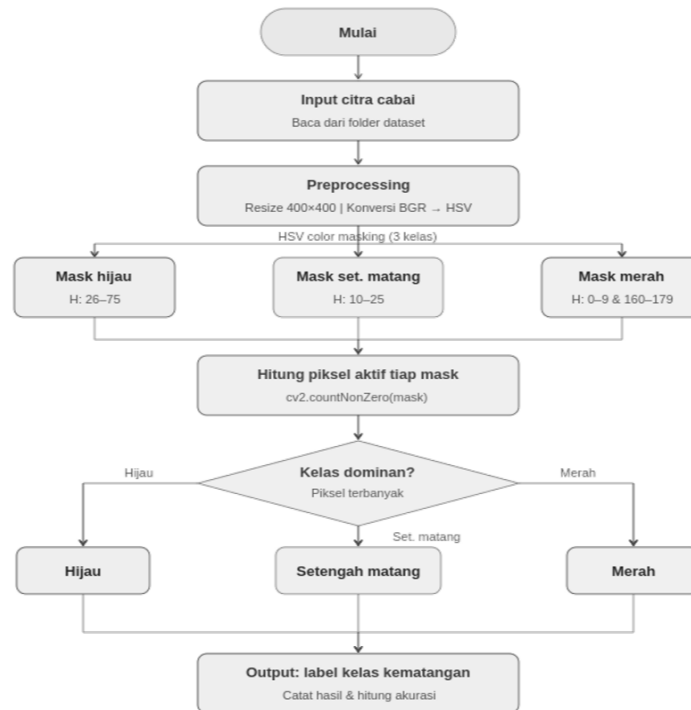
Gambar 3 menampilkan contoh hasil simpanan dari proses kalibrasi tranckbar.py untuk kelas hijau. Tiga citra disimpan otomatis saat operator menekan tombol 's'. Ketiga citra ini menjadi dokumentasi visual bahwa nilai threshold yang ditetapkan sudah tepat menangkap area tubuh cabai dengan noise minimal.



Gambar 3. Output Kalibrasi Kelas Hijau: (a) Citra Asli, (b) Binary Mask, (c) Hasil Ekstraksi

Gambar 3 memperlihatkan bahwa pada rentang H: 26–75, sebagian besar area tubuh cabai hijau berhasil tertangkap oleh mask. Namun, terlihat area yang berwarna kuning keputihan tidak masuk ke dalam mask. Kondisi inilah yang menjadi akar permasalahan kesalahan klasifikasi pada beberapa sampel hijau. Nilai-nilai threshold hasil kalibrasi ini kemudian ditanamkan ke dalam main.py.

Setelah seluruh parameter HSV optimal diperoleh dari proses kalibrasi, nilai-nilai tersebut ditanamkan ke dalam algoritma klasifikasi pada main.py. Berkas ini terdiri dari dua bagian: fungsi `identifikasi_kematangan()` yang memproses satu citra dan mengembalikan prediksi kelas, serta blok pengujian yang menjalankan fungsi tersebut terhadap seluruh dataset secara otomatis dan menghitung akurasi akhir. Alur program main.py ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alur Sistem Klasifikasi Kematangan Cabai (main.py)

Di dalamnya, citra dibaca dan diubah ukurannya menjadi 400×400 piksel untuk menyeragamkan input, kemudian dikonversi ke ruang warna HSV. Tiga lapisan mask dibuat yaitu kelas hijau (H: 26–75), kelas setengah matang (H: 10–25), serta gabungan dua rentang (H: 0–9 dan H: 160–179) untuk menangkap warna merah di kedua ujung spektrum Hue melingkar. Jumlah piksel aktif setiap mask dihitung dan kelas dengan jumlah piksel terbanyak ditetapkan sebagai hasil prediksi. Bagian kedua adalah blok pengujian yang mengiterasi seluruh folder dataset, memanggil fungsi tersebut untuk setiap gambar, membandingkan prediksi dengan label kelas aktual, dan menghitung akurasi akhir.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan proses kalibrasi menggunakan antarmuka trackbar interaktif, diperoleh parameter batas bawah dan batas atas HSV untuk masing-masing kelas kematangan cabai sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Threshold HSV per Kelas Kematangan

Kelas	H Min	H Max	S Min	S Max	V Min	V Max	Keterangan
Hijau	26	75	50	255	50	255	Mentah
Set. Matang	10	25	50	255	50	255	Setengah matang
Merah (1)	0	9	50	255	50	255	Matang (bawah)
Merah (2)	160	179	50	255	50	255	Matang (atas)

Tabel 1 menunjukkan bahwa warna merah memerlukan dua rentang threshold yang terpisah (Merah 1 dan Merah 2) karena dalam ruang warna HSV, nilai Hue bersifat melingkar dan warna merah menempati kedua ujung spektrum, yaitu H: 0–9 dan H: 160–179. Kedua mask ini kemudian digabung menggunakan operasi bitwise_or untuk memastikan seluruh area merah pada citra tertangkap. Nilai minimum Saturation dan Value sebesar 50 ditetapkan untuk menyaring piksel yang terlalu gelap atau terlalu pucat yang dapat mengganggu akurasi deteksi.

Pengujian dilakukan terhadap 24 citra yang telah dilabeli secara visual oleh peneliti berdasarkan standar pengamatan fisik, di mana cabai dengan dominasi hijau solid dilabeli sebagai mentah, warna merah solid sebagai matang, dan adanya warna transisi hijau-kuning-oranye dilabeli sebagai setengah matang. Program main.py dijalankan untuk memproses seluruh dataset secara

otomatis, dan hasil prediksi sistem dibandingkan dengan label asli setiap citra. Tabel 2 merangkum hasil prediksi lengkap per gambar.

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Pengujian per Gambar

Nama File	Label Asli	Hasil Prediksi	Status
hijau1.jpg	Hijau	Setengah Matang	SALAH
hijau2.jpg	Hijau	Hijau	BENAR
hijau3.jpg	Hijau	Hijau	BENAR
hijau4.jpg	Hijau	Hijau	BENAR
hijau5.jpg	Hijau	Setengah Matang	SALAH
hijau6.jpg	Hijau	Setengah Matang	SALAH
setengah_matang1.jpg	Setengah Matang	Setengah Matang	BENAR
setengah_matang2.jpg	Setengah Matang	Setengah Matang	BENAR
setengah_matang3.jpg	Setengah Matang	Setengah Matang	BENAR
setengah_matang4.jpg	Setengah Matang	Setengah Matang	BENAR
setengah_matang5.jpg	Setengah Matang	Setengah Matang	BENAR
setengah_matang6.jpg	Setengah Matang	Setengah Matang	BENAR
setengah_matang7.jpg	Setengah Matang	Setengah Matang	BENAR
setengah_matang8.jpg	Setengah Matang	Setengah Matang	BENAR
setengah_matang9.jpg	Setengah Matang	Setengah Matang	BENAR
setengah_matang10.jpg	Setengah Matang	Setengah Matang	BENAR
merah1.jpg	Merah	Merah	BENAR
merah2.jpg	Merah	Merah	BENAR
merah3.jpg	Merah	Merah	BENAR
merah4.jpg	Merah	Merah	BENAR
merah5.jpg	Merah	Merah	BENAR
merah6.jpg	Merah	Merah	BENAR
merah7.jpg	Merah	Merah	BENAR
merah8.jpg	Merah	Merah	BENAR

Tabel 2 memperlihatkan bahwa seluruh kesalahan prediksi terpusat pada kelas hijau, yaitu di hijau1.jpg, hijau5.jpg, dan hijau6.jpg yang diprediksi sebagai setengah_matang. Kelas setengah matang (10/10) dan merah (8/8) tidak mengalami kesalahan sama sekali.

Tabel 3. Confusion Matrix Hasil Klasifikasi

Asli \ Prediksi	Hijau	Set. Matang	Merah	Total
Hijau (6)	3	3	0	6
Set. Matang (10)	0	10	0	10
Merah (8)	0	0	8	8
Total	3	13	8	24

Tabel 3 memperlihatkan bahwa 3 citra kelas hijau masuk ke kolom prediksi Set. Matang, sehingga total prediksi setengah matang menjadi 13 (10 benar + 3 salah dari kelas hijau). Tidak ada citra yang keliru diklasifikasikan sebagai merah, menandakan threshold warna merah bekerja sangat baik tanpa tumpang tindih.

Tabel 4. Ringkasan Akurasi per Kelas dan Keseluruhan

Kelas	Total	Benar	Salah	Akurasi
Hijau	6	3	3	50,00%
Setengah Matang	10	10	0	100,00%
Merah	8	8	0	100,00%
Keseluruhan	24	21	3	87,50%

Tabel 4 merangkum akurasi per kelas secara ringkas. Kelas merah dan setengah matang mencapai akurasi sempurna 100%, sedangkan kelas hijau hanya mencapai 50% (3 benar dari 6 citra). Akurasi keseluruhan sistem sebesar 87,50% dihitung dari total 21 prediksi benar dibagi 24 total citra.

Berdasarkan hasil pengujian, sistem mencapai akurasi keseluruhan sebesar 87,50% (21 dari 24 citra diklasifikasikan dengan benar). Performa tertinggi dicapai oleh kelas merah dan setengah matang, keduanya dengan akurasi 100%. Hal ini disebabkan oleh karakteristik warna yang cukup khas dan tidak tumpang tindih dengan kelas lain dalam ruang warna HSV.

Tiga kesalahan klasifikasi seluruhnya berasal dari kelas hijau, di mana hijau1.jpg, hijau5.jpg, dan hijau6.jpg diprediksi sebagai setengah_matang. Analisis skor piksel menunjukkan penyebabnya: pada hijau1.jpg, jumlah piksel setengah matang (SM: 7.532) jauh melampaui piksel hijau (H: 2.108). Kondisi ini mengindikasikan bahwa ketiga sampel memiliki warna kulit yang cenderung hijau kekuningan atau kuning kehijauan, sehingga nilai Hue-nya jatuh pada rentang threshold setengah matang (H: 10–25) alih-alih rentang hijau (H: 26–75).

Fenomena ini merupakan konsekuensi dari pemilihan batas threshold yang ketat. Cabai yang masih mentah namun berwarna kuning pucat alami akan menghasilkan piksel yang terbaca sebagai kelas setengah matang. Permasalahan ini dapat diatasi dengan memperluas rentang Hue kelas hijau ke bawah, menambahkan tahap preprocessing untuk normalisasi warna, atau memperbanyak variasi sampel dataset untuk kelas hijau.

Dibandingkan dengan pendekatan berbasis deep learning, sistem ini menawarkan keunggulan praktis yang signifikan: tidak memerlukan fase pelatihan dan parameter threshold dapat dikalibrasi ulang secara cepat untuk kondisi pencahayaan yang berbeda. Keunggulan ini selaras dengan temuan Dhanika dkk. [2] bahwa thresholding HSV efektif untuk deteksi kematangan cabai pada kondisi terkontrol, dan menjadikannya kandidat yang layak untuk implementasi sistem sortir sederhana pada skala UMKM pertanian.

5. KESIMPULAN

Metode HSV Color Thresholding terbukti dapat diterapkan secara efektif untuk identifikasi kematangan cabai pada kondisi pencahayaan dan latar belakang yang terkontrol, dengan akurasi keseluruhan 87,50% menggunakan dataset 24 citra. Temuan utama penelitian ini menunjukkan bahwa pemilihan rentang Hue merupakan faktor penentu keberhasilan klasifikasi. Kelas merah dan setengah matang berhasil diklasifikasikan sempurna karena spektrum warnanya jelas dan tidak bertumpang tindih, sedangkan kelas hijau mengalami kesulitan pada sampel berwarna kuning kehijauan yang nilai Hue-nya berada di perbatasan dua kelas. Dibandingkan pendekatan machine learning, sistem ini menawarkan keunggulan praktis, yaitu tidak memerlukan fase pelatihan dan parameter dapat dikalibrasi ulang dengan cepat. Hal ini menjadikannya kandidat yang layak untuk implementasi sistem sortir sederhana pada skala UMKM pertanian.

Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan tiga arah perbaikan, yaitu memperluas dataset minimal 50 sampel per kelas dengan variasi warna yang lebih beragam, terutama untuk kelas hijau; menambahkan tahap preprocessing normalisasi warna atau segmentasi latar belakang sebelum proses masking; dan membandingkan performa HSV Color Thresholding secara kuantitatif dengan transformasi warna lain seperti YCbCr untuk memberikan kontribusi komparatif yang lebih kuat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. D. Ananto, 'APLIKASI PENGOLAHAN CITRA MENDETEKSI KUALITAS CABAI BERDASARKAN TINGKAT KEMATANGAN MENGGUNAKAN TRANSFORMASI WARNA YCbCr', vol. 3, 2015.
- [2] C. F. Dhanika, H. Fitriyah, and E. R. Widasari, 'Sistem Deteksi Kematangan Cabai Hidroponik menggunakan Metode Thresholding pada Warna Hue, Saturation, dan Value'.
- [3] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital image processing*, Fourth edition, Global edition. New York: Pearson, 2017.

- [4] A. Fadjeri, B. A. Saputra, D. K. Adri Ariyanto, and L. Kurniatin, 'Karakteristik Morfologi Tanaman Selada Menggunakan Pengolahan Citra Digital', *JIS*, vol. 20, no. 2, p. 1, Jul. 2022, doi: 10.30646/sinus.v20i2.601.
- [5] A. S. Agung, A. F. D. Sr, M. S. Hersyam, A. B. Kaswar, and D. D. Andayani, 'CLASSIFICATION OF TOMATO QUALITY BASED ON COLOR FEATURES AND SKIN CHARACTERISTICS USING IMAGE PROCESSING BASED ARTIFICIAL NEURAL NETWORK', *J. Tek. Inform. (JUTIF)*, vol. 4, no. 5, pp. 1021–1032, Oct. 2023, doi: 10.52436/1.jutif.2023.4.5.730.
- [6] E. F. Himmah, M. Widyaningsih, and M. Maysaroh, 'Identifikasi Kematangan Buah Kelapa Sawit Berdasarkan Warna RGB Dan HSV Menggunakan Metode K-Means Clustering', *JSI*, vol. 6, no. 2, pp. 193–202, Dec. 2020, doi: 10.34128/jsi.v6i2.242.
- [7] K. B. Shaik, P. Ganesan, V. Kalist, B. S. Sathish, and J. M. M. Jenitha, 'Comparative Study of Skin Color Detection and Segmentation in HSV and YCbCr Color Space', *Procedia Computer Science*, vol. 57, pp. 41–48, 2015, doi: 10.1016/j.procs.2015.07.362.
- [8] Y. F. Sihombing, A. Septiarini, A. H. Kridalaksana, and N. Puspitasari, 'Chili Classification Using Shape and Color Features Based on Image Processing', *SJI*, vol. 9, no. 1, pp. 42–50, May 2022, doi: 10.15294/sji.v9i1.33658.
- [9] A. B. Kaswar, F. Adiba, and D. D. Andayani, 'Sistem Klasifikasi Tingkat Kematangan Buah Cabai Katokkon Berdasarkan Fitur Warna LAB Menggunakan Artificial Neural Network Backpropagation', *j. of Embedded Systems, secur. and intell. Systems*, pp. 149–157, Nov. 2023, doi: 10.59562/jessi.v4i2.996.
- [10] S. Sanjaya, 'APLIKASI PENGENALAN TINGKAT KEMATANGAN BUAH TOMAT MENGGUNAKAN FITUR WARNA HSV BERBASIS ANDROID', *JTI*, vol. 16, no. 1, p. 26, Jan. 2022, doi: 10.33365/jti.v16i1.1489.
- [11] Mhd. Furqan, M. Ikhsan, and A. Dalimunthe, 'Detection of Ripeness of Manggosteen Fruit Using Hsv Color Space Transformation Method', *IJISTECH*, vol. 5, no. 4, p. 513, Dec. 2021, doi: 10.30645/ijistech.v5i4.171.
- [12] A. Wibowo, D. M. C. Hermanto, K. I. Lestari, and H. Wijoyo, 'Deteksi Kematangan Buah Jambu Kristal Berdasarkan Fitur Warna Menggunakan Metode Transformasi Ruang Warna Hsv (Hue Saturation Value) Dan K-Nearest Neighbor', *INCODING*, vol. 1, no. 2, pp. 76–88, Oct. 2021, doi: 10.34007/incoding.v2i1.131.
- [13] M. O. Zakaria and D. I. Mulyana, 'Klasifikasi Citra Digital Sayuran Leunca Berdasarkan Nilai HSV dan K-Nearest Neighbor'.
- [14] S. P. Adenugraha, V. Arinal, and D. I. Mulyana, 'Klasifikasi Kematangan Buah Pisang Ambon Menggunakan Metode KNN dan PCA Berdasarkan Citra RGB dan HSV', *mib*, vol. 6, no. 1, p. 9, Jan. 2022, doi: 10.30865/mib.v6i1.3287.
- [15] A. Kaehler and G. R. Bradski, *Learning OpenCV 3: Computer vision in C++ with the OpenCV library*, First edition. Beijing Boston, Mass. Farnham Sebastopol Tokyo: O'Reilly, 2017.
- [16] H. A. Rabbani, M. A. Rahman, and B. Rahayudi, 'Perbandingan Ruang Warna RGB dan HSV dalam Klasifikasi Kematangan Biji Kopi'.
- [17] D. Wandu, F. Fauziah, and N. Hayati, 'Deteksi Kelayuan Pada Bunga Mawar dengan Metode Transformasi Ruang Warna HSI Dan HSV', *STRING*, vol. 5, no. 3, p. 333, Apr. 2021, doi: 10.30998/string.v5i3.8464