

ANALISIS WARNA HSV MENGGUNAKAN THRESHOLDING ADAPTIF UNTUK MENENTUKAN KEMATANGAN BUAH MANGGA

Okta Irawati

Teknik Informatika, Universitas Pamulang
Jl. Raya Puspiptek No. 46, Serpong, Kota Tangerang Selatan, Banten 15316
dosen02610@unpam.ac.id

ABSTRAK

Penentuan tingkat kematangan buah mangga merupakan faktor penting dalam proses pascapanen dan pemasaran, namun penilaian secara visual masih bersifat subjektif dan dipengaruhi oleh variasi pencahayaan serta kondisi permukaan buah. Permasalahan ini menyebabkan ketidakkonsistenan dalam klasifikasi kematangan mangga. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengusulkan metode analisis warna HSV menggunakan thresholding adaptif sebagai pendekatan sederhana dan objektif dalam mengklasifikasikan tingkat kematangan buah mangga ke dalam tiga kelas, yaitu mentah, setengah matang, dan matang. Metode yang digunakan meliputi tahapan preprocessing citra berupa resize menjadi 256×256 piksel, penerapan Gaussian Blur untuk mengurangi noise, masking background berdasarkan komponen Value, serta pemfokusan area kulit mangga. Analisis dilakukan pada komponen Hue karena merepresentasikan perubahan warna selama proses pematangan. Nilai threshold adaptif ditentukan berdasarkan nilai rata-rata dan standar deviasi Hue sehingga mampu menyesuaikan variasi warna pada setiap citra. Hasil pengujian terhadap 45 citra mangga menunjukkan adanya perbedaan distribusi Hue yang jelas pada masing-masing tingkat kematangan, dengan pola transisi warna dari hijau, hijau kekuningan, hingga kuning kemerahan. Hasil ini membuktikan bahwa metode thresholding adaptif berbasis HSV efektif dalam membantu klasifikasi kematangan mangga secara konsisten tanpa memerlukan perangkat keras khusus.

Kata kunci: HSV, Hue, thresholding adaptif, pengolahan citra, kematangan mangga, klasifikasi.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan teknologi pengolahan citra digital (*digital image processing*) dalam sektor pertanian semakin berkembang pesat sebagai solusi otomatisasi penilaian kualitas produk. Salah satu komoditas yang membutuhkan proses penilaian kualitas secara cepat dan objektif adalah buah mangga. Penentuan tingkat kematangan mangga sangat penting untuk kebutuhan distribusi, konsumsi, hingga proses pasca panen. Namun, pada metode manual yang mengandalkan pengamatan visual manusia masih memiliki banyak kekurangan, seperti subjektivitas, inkonsistensi, serta keterbatasan waktu dan juga tenaga.

Seiring berkembangnya teknik visi komputer, pendekatan berbasis analisis warna menjadi metode yang paling umum digunakan dalam mendeteksi tingkat kematangan buah. Penelitian menunjukkan bahwa ruang warna HSV lebih representatif dibandingkan RGB karena mampu memisahkan komponen intensitas (*Value*) dari informasi warna (*Hue dan Saturation*), sehingga mampu menghasilkan ekstraksi fitur warna yang lebih stabil pada kondisi pencahayaan yang berbeda [1], [4]. Pada buah mangga, perubahan warna kulit merupakan indikator utama kematangan yang dapat dimodelkan dan di formulasikan secara konsisten dalam ruang warna HSV [1], [8].

Selain itu, metode *thresholding* adaptif telah banyak digunakan untuk melakukan segmentasi citra karena kemampuannya dalam menyesuaikan nilai ambang secara dinamis berdasarkan karakteristik lokal citra. Pendekatan ini terbukti memberikan hasil yang

lebih akurat dibanding *thresholding global* ketika diterapkan pada objek dengan variasi pencahayaan dan tekstur yang tidak seragam, seperti permukaan kulit buah [2], [6]. Oleh karena itu, kombinasi analisis warna HSV dan *thresholding* adaptif menjadi pendekatan yang efektif untuk meningkatkan akurasi deteksi tingkat kematangan buah terutama buah mangga.

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan keberhasilan sistem berbasis visi komputer dalam mengklasifikasikan kematangan mangga menggunakan fitur warna dan segmentasi citra. Nguyen et al mengklasifikasikan dan menentukan kelas pada kematangan mangga berdasarkan fitur warna HSV dengan tingkat akurasi tinggi pada kondisi pencahayaan bervariasi [1]. Penelitian lain menggunakan *thresholding* adaptif untuk memisahkan area kulit buah dari latar belakang dan memperoleh batas segmentasi yang lebih presisi pada citra buah [2]. Studi yang dilakukan Sahu & Kar menggabungkan fitur warna dan tekstur untuk mengidentifikasi tingkat kematangan secara otomatis [3]. Temuan-temuan tersebut memperkuat bahwa pemanfaatan citra digital dapat menjadi solusi efisien dalam penentuan kualitas buah secara otomatis.

Meskipun banyak metode telah digunakan, integrasi antara ruang warna HSV dan *thresholding* adaptif untuk penentuan kematangan mangga masih memiliki ruang pengembangan, terutama dalam memastikan konsistensi hasil diberbagai kondisi pencahayaan serta variasi warna antar variasi buah mangga. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan

untuk merancang dan menganalisis sistem penilaian kematangan buah mangga melalui pengolahan citra digital menggunakan analisis warna HSV yang dikombinasikan dengan metode *thresholding* adaptif sehingga dapat menghasilkan deteksi kematangan yang lebih akurat, cepat, dan objektif.

Dengan mengembangkan sistem berbasis pengolahan citra digital yang terstandar, penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi pada otomatisasi pertanian, meningkatkan efisiensi penilaian kualitas buah, serta mendukung industri agroindustri dalam menyediakan buah dengan tingkat kematangan yang sesuai dengan kebutuhan pasar.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, permasalahan yang dihadapi dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut: Penentuan tingkat kematangan buah mangga secara manual masih bersifat subjektif dan kurang konsisten, Variasi pencahayaan dan perbedaan warna kulit buah mangga menyulitkan proses klasifikasi kematangan secara visual, Metode segmentasi citra dengan *thresholding* global belum optimal dalam memisahkan area kulit buah dari latar belakang, Diperlukan metode yang sederhana namun adaptif untuk menghasilkan klasifikasi kematangan buah mangga yang objektif dan konsisten.

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut: Merancang sistem penentuan tingkat kematangan buah mangga berbasis pengolahan citra digital, Menganalisis efektivitas ruang warna HSV dalam merepresentasikan perubahan warna kulit mangga selama proses pematangan, Menerapkan metode *thresholding* adaptif untuk meningkatkan akurasi segmentasi dan klasifikasi tingkat kematangan buah mangga, Menghasilkan sistem klasifikasi kematangan mangga yang objektif, cepat, dan tidak memerlukan perangkat keras khusus.

Untuk menyelesaikan permasalahan yang telah diidentifikasi, penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan. Tahap awal meliputi pengambilan dan preprocessing citra buah mangga, yang mencakup resize citra menjadi 256×256 piksel, pengurangan noise menggunakan Gaussian Blur, serta masking latar belakang berdasarkan komponen Value. Selanjutnya, citra dikonversi ke ruang warna HSV dan dilakukan analisis pada komponen Hue sebagai indikator utama perubahan warna selama proses pematangan. Nilai *threshold* adaptif ditentukan berdasarkan nilai rata-rata dan standar deviasi Hue agar mampu menyesuaikan variasi warna pada setiap citra. Hasil segmentasi kemudian digunakan untuk mengklasifikasikan tingkat kematangan buah mangga ke dalam kategori mentah, setengah matang, dan matang. Melalui tahapan ini, diharapkan sistem yang dikembangkan mampu menghasilkan deteksi kematangan buah mangga yang lebih akurat, konsisten, dan efisien.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada penelitian yang dilakukan Paisal Hamid Marpaung dengan judul “Analisis Citra Digital untuk Klasifikasi Kematangan Kelapa Menggunakan K-Nearest Neighbor” tahun 2025. Penelitian ini mengembangkan sistem klasifikasi tingkat kematangan kelapa berbasis pengolahan citra digital menggunakan algoritma K-Nearest Neighbors (KNN) untuk menghasilkan penilaian yang lebih objektif dan konsisten. Model terbaik diperoleh pada $k = 3$ dengan akurasi rata-rata 92% dan nilai AUC di atas 0,90 untuk seluruh kelas kematangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa KNN efektif untuk klasifikasi kematangan kelapa berbasis warna dan berpotensi diterapkan pada otomatisasi sortasi kelapa. [9]

2.1. Ruang Warna HSV

Ruang warna HSV (*Hue, Saturation, Value*) digunakan untuk memisahkan informasi warna menjadi tiga komponen berbeda:

- Hue* (H): sudut pada roda warna, menentukan jenis warna (hijau, kuning, merah).
- Saturation* (S): tingkat kejenuhan warna.
- Value* (V): tingkat kecerahan warna.

Hue adalah warna sebenarnya, seperti merah, violet, dan kuning yang digunakan untuk menentukan kemerahan kehijauan dan sebagainya. Saturation merupakan kemurnian warna, Value adalah kecerahan warna yang didalamnya terdapat nilai rentang 0-100 %. Jika value bernilai 0 maka warnanya akan menjadi hitam, semakin besar nilai value maka semakin cerah dan hadirnya variasi warna baru [10].

Konversi RGB (red, green blue) ke HSV (*Hue, Saturation, Value*) dilakukan dengan persamaan standar:

$$H = \begin{cases} 60^\circ \times \frac{G - B}{\Delta} & \text{Jika Max} = R \\ 60^\circ \times \left(2 + \frac{B - R}{\Delta} \right) & \text{Jika Max} = G \\ 60^\circ \times \left(2 + \frac{R - G}{\Delta} \right) & \text{Jika Max} = B \end{cases}$$

$$S = \begin{cases} 0 & \text{Jika Max} = 0 \\ \frac{\Delta}{\text{Max}} \times 100\% & \text{Jika Max} > 0 \end{cases}$$

$$V = \text{Max}$$

di mana $\Delta = \text{Max} - \text{Min}$ $\Delta = \text{Max} - \text{Min}$ dari komponen RGB.

2.2. Thresholding Adaptif

Thresholding adalah teknik segmentasi citra yang memisahkan objek dari background berdasarkan nilai ambang (*threshold*). Prinsipnya adalah membagi piksel ke dalam 2 atau lebih kelompok berdasarkan intensitas warna atau kecerahan. *Threshold* dapat berupa:

- Threshold* statis memiliki nilai tetap
- Threshold* adaptif memiliki nilai ambang menyesuaikan kondisi citra

2.3. Kematangan Buah Mangga Berdasarkan Warna

Kematangan mangga secara visual ditentukan oleh perubahan warna kulitnya:

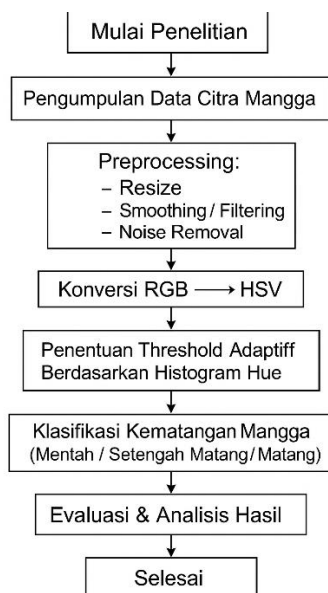
Tabel 1. Tingkat Kematangan

Tingkat Kematangan	Warna Kulit	Perkiraan Hue
Mentah	Hijau	60–120
Setengah Matang	Hijau kekuningan	40–60
Matang	Kuning-oranye	< 40

Perubahan ini terjadi akibat peningkatan pigmen karotenoid pada saat proses pematangan. Oleh sebab itu, nilai Hue dapat dijadikan indikator utama untuk menentukan kematangan.

3. METODE PENELITIAN

Alur penelitian ini dirancang untuk menghasilkan sistem yang mampu menentukan tingkat kematangan buah mangga berdasarkan analisis warna pada ruang warna HSV melalui metode *thresholding* adaptif. Secara umum, penelitian ini melalui beberapa tahapan utama, yaitu pengumpulan data, preprocessing citra, konversi ruang warna, ekstraksi fitur, penentuan *threshold* adaptif, klasifikasi tingkat kematangan, serta evaluasi hasil. Tahapan dan alur penelitian dijabarkan sebagai berikut:



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Flowchart penelitian ini menggambarkan proses penentuan tingkat kematangan mangga yang dimulai dari pengumpulan citra mangga kemudian dilakukan *preprocessing* berupa *resize*, *smoothing*, dan penghilangan *noise* agar citra lebih siap diproses. Citra yang telah dibersihkan dikonversi dari ruang warna RGB ke HSV, di mana nilai Hue diekstraksi sebagai fitur utama karena mewakili perubahan warna buah. Selanjutnya, *histogram Hue* dianalisis untuk menentukan *threshold* secara adaptif sehingga dapat memisahkan kelas atau tingkatan warna secara lebih akurat. Berdasarkan nilai Hue yang telah dibatasi oleh *threshold* adaptif tersebut, citra diklasifikasikan menjadi tiga kategori kematangan yaitu mentah, setengah matang, dan juga matang. Tahap akhir adalah evaluasi hasil untuk menilai akurasi dan kinerja sistem secara keseluruhan.

3.1. Preprocessing Citra

Pada tahap ini citra dipersiapkan agar layak diproses lebih lanjut. Tiga langkah utama dilakukan:

a. *Resize*

Mengubah ukuran citra menjadi ukuran seragam agar proses pengolahan lebih stabil dan konsisten.

b. *Smoothing/Filtering*

Menggunakan filter seperti Gaussian Blur untuk mengurangi ketajaman dan menghaluskan citra.

c. *Noise Removal*

Menghilangkan *noise* yang dapat mengganggu proses segmentasi dan ekstraksi fitur warna, misalnya dengan *median filter*. Tahap *preprocessing* sangat penting untuk menghasilkan citra bersih dan konsisten sebelum dipindah ke tahap berikutnya.

3.2. Data Penelitian

Data penelitian yang digunakan dalam studi ini berupa 45 citra buah mangga, yang dibagi secara merata menjadi tiga kategori tingkat kematangan, yaitu:

- 15 citra/gambar mangga mentah
- 15 citra/ gambar mangga setengah matang
- 15 citra/ gambar mangga matang

Seluruh citra menggunakan format JPG, dengan *background* polos berwarna putih untuk mempermudah proses *segmentation* dan mengurangi gangguan visual atau gambaran. Pengambilan citra/ gambar dilakukan pada kondisi pencahayaan normal (*indoor light*) dengan intensitas stabil atau konstan, sehingga nilai warna pada ruang HSV dapat terekstrak secara konsisten tanpa distorsi atau perubahan bentuk akibat perubahan cahaya.

Tabel 2. Dataset Penelitian

No	Nama File	Kategori	Format	Background	Pencahayaan
1	m1.jpg	Mentah	JPG	Putih	Indoor light normal
2	m2.jpg	Mentah	JPG	Putih	Indoor light normal
3	m03.jpg	Mentah	JPG	Putih	Indoor light normal
...	...	...	...	...	...

No	Nama File	Kategori	Format	Background	Pencahayaan
15	m15.jpg	Mentah	JPG	Putih	Indoor light normal
16	s1.jpg	Setengah Matang	JPG	Putih	Indoor light normal
17	s1.jpg	Setengah Matang	JPG	Putih	Indoor light normal
...	...	...	...	...	...
30	s15.jpg	Setengah Matang	JPG	Putih	Indoor light normal
31	t1.jpg	Matang	JPG	Putih	Indoor light normal
32	t2.jpg	Matang	JPG	Putih	Indoor light normal
...	...	...	...	...	...
45	t15.jpg	Matang	JPG	Putih	Indoor light normal

Tabel di atas menunjukkan daftar 45 citra buah mangga yang digunakan sebagai data penelitian, yang dibagi ke dalam tiga kategori kematangan, yaitu Mentah, Setengah Matang, dan Matang, masing-masing sebanyak 15 file. Setiap citra disimpan dalam format JPG dengan penamaan file yang konsisten, misalnya *m1.jpg* hingga *m15.jpg*, sehingga memudahkan proses pengelompokan dan pemanggilan data. Seluruh gambar diambil dengan latar belakang putih dan pencahayaan *indoor* normal untuk menjaga konsistensi kondisi pengambilan citra, sehingga analisis warna menggunakan ruang HSV dan proses *thresholding* adaptif dapat dilakukan secara lebih akurat tanpa gangguan variasi cahaya atau *background*.

3.3. Perangkat dan Software yang Digunakan

Penelitian ini menggunakan perangkat dan *software* berikut:

a. Perangkat Keras/ Hardware

- Laptop/PC untuk proses pengolahan citra
- Prosesor minimal Intel Core i5
- RAM minimal 8 GB
- Layar dengan akurasi warna standar
- Kamera untuk pengambilan sampel (dijelaskan pada poin berikut)

b. Software Pengolahan Citra

- Python 3.x
- Library pendukung (OpenCV (cv2) dan NumPy, Matplotlib, pandas)
- Tools (opsional):
- VS Code (*Visual Studio Code*)
- Photo Viewer untuk pengecekan citra

Pengambilan citra mangga dilakukan menggunakan kamera *smartphone* dengan spesifikasi:

- Resolusi kamera: 12–48 MP
- Aperture: $f/1.8 - f/2.2$
- Mode: Photo (non-AI)
- Pengaturan tambahan:
- White balance: Auto
- Flash: Off
- Fokus: Manual / Auto

Pemilihan kamera *smartphone* dipertimbangkan karena kualitas sensor saat ini sudah optimal untuk pengambilan citra objek statis, terutama dalam kondisi pencahayaan *indoor*.

3.4. Preprocessing Citra

Tahap *preprocessing* dilakukan untuk menyiapkan citra mangga sebelum dilakukan proses ekstraksi fitur warna. Tujuan utama tahap ini adalah menyamakan ukuran citra, mengurangi noise, serta memfokuskan area analisis hanya pada kulit mangga sehingga perhitungan fitur warna menjadi lebih akurat dan konsisten. Adapun tahapan *preprocessing* yang digunakan adalah sebagai berikut.

Pada penelitian ini, ruang warna HSV digunakan karena mampu memisahkan informasi warna (*Hue*), intensitas warna (*Saturation*), dan kecerahan (*Value*) secara lebih jelas dibandingkan RGB, sehingga analisis perubahan warna kulit mangga dapat dilakukan dengan lebih akurat. Nilai *Hue* sangat penting karena secara langsung merepresentasikan jenis warna yang muncul pada permukaan kulit mangga selama proses pematangan, di mana warna hijau umumnya berada pada rentang 60–120, warna kuning pada rentang 20–40, dan warna kuning kemerahan atau menuju matang penuh berada di bawah 20. Dengan karakteristik tersebut, ruang warna HSV memungkinkan identifikasi tingkat kematangan berdasarkan pergeseran nilai *Hue* secara konsisten, yang kemudian diproses menggunakan teknik *thresholding* adaptif agar penentuan kematangan mangga menjadi lebih presisi.

Pada penelitian ini, metode *thresholding* adaptif digunakan untuk menentukan batas nilai *Hue* secara dinamis berdasarkan karakteristik warna dari setiap citra. Nilai ambang tidak ditentukan secara statis, melainkan dihitung dari statistik distribusi warna, yaitu rata-rata nilai *Hue*, standar deviasi, dan bentuk histogram piksel warna pada area kulit mangga. Formula sederhana yang digunakan adalah $T = \text{mean}(H) - (\text{std}(H) / 2)$, sehingga *threshold* dapat menyesuaikan dengan variasi pencahayaan dan kondisi permukaan mangga. Setelah nilai *threshold* diperoleh, proses klasifikasi tingkat kematangan dilakukan berdasarkan rentang *Hue*, yaitu $Hue > 60$ dikategorikan mentah, $30 < Hue \leq 60$ sebagai setengah matang, dan $Hue \leq 30$ sebagai matang, dengan batas nilai ini dapat disesuaikan menurut data aktual. Pendekatan adaptif ini membuat sistem lebih fleksibel dan mampu menangani perbedaan warna antar gambar, sehingga akurasi penentuan kematangan mangga menjadi lebih optimal.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Konversi RGB ke HSV

Pada tahap awal analisis, seluruh citra mangga yang berjumlah 45 gambar berhasil dikonversi dari ruang warna RGB ke ruang warna HSV. Konversi ini penting karena ruang warna HSV mampu memisahkan komponen warna (Hue), kejenuhan (Saturation), dan kecerahan (Value), sehingga proses analisis pergeseran warna kulit mangga dapat dilakukan secara lebih akurat. Fokus utama penelitian ini berada pada komponen Hue, karena nilai Hue secara langsung menggambarkan perubahan warna kulit yang terjadi selama proses pematangan buah mangga. Berdasarkan hasil perhitungan statistik nilai Hue pada masing-masing kelas kematangan, didapatkan ringkasan pada tabel berikut.

Tabel 3. Hasil Konversi RGB ke HSV

Kelas Asli	Mean Hue	Std Dev	Min	Max
Matang	40.442055	18.561383	17.306276	73.783341
Mentah	37.976934	14.900096	1.189147	60.906056
Setengah Matang	49.993076	13.601988	30.277185	83.889938

Kelas Matang memiliki mean Hue sebesar 40.44 dengan standar deviasi 18.56, dan rentang nilai dari 17.30 hingga 73.78. Rentang yang cukup lebar ini menunjukkan bahwa warna mangga matang dapat bervariasi antara kuning pekat hingga kehijauan ringan tergantung kondisi pencahayaan dan tingkat matang aktual. Kelas Mentah memperoleh mean Hue sebesar 37.97, standar deviasi 14.90, dan rentang nilai 1.18 hingga 60.90. Nilai minimum yang sangat rendah (mendekati 0) menandakan adanya beberapa area gelap atau bayangan pada citra yang terdeteksi sebagai Hue rendah, sedangkan nilai maksimum yang cukup tinggi sesuai dengan karakter warna hijau mangga mentah. Kelas Setengah Matang menunjukkan mean Hue paling tinggi, yaitu 49.99, dengan standar deviasi 13.60 dan rentang 30.27 hingga 83.88. Hal ini mencerminkan bahwa buah pada fase transisi menuju matang umumnya memiliki warna hijau kekuningan yang berada pada nilai Hue menengah hingga tinggi.

4.2. Threshold Adaptif Berdasarkan Mean Hue

Dalam penelitian ini, nilai rata-rata Hue (Mean Hue) dari setiap kelas kematangan mangga dianalisis untuk menentukan batas pemisah (threshold) yang mampu membedakan tingkat kematangan secara adaptif. Mean Hue digunakan sebagai fitur utama karena perubahan warna kulit mangga memiliki korelasi kuat dengan tingkat kematangannya. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh nilai rata-rata Hue untuk kelas Mentah, Setengah Matang, dan Matang, yang kemudian digunakan untuk menghitung dua threshold adaptif, yaitu t1 sebagai batas antara Mentah dan Setengah Matang, serta t2 sebagai batas antara Setengah Matang dan Matang. Nilai-nilai tersebut dirangkum dalam tabel berikut.

Tabel 4. Threshold Adaptif Berdasarkan Mean Hue

Parameter	Nilai
Mean Hue – Mentah	37.98
Mean Hue – Setengah Matang	49.99
Mean Hue – Matang	40.44
Threshold t1 (Mentah → Semi)	43.99
Threshold t2 (Semi → Matang)	45.22

Berdasarkan nilai Mean Hue dan threshold adaptif pada tabel di atas, dapat terlihat bahwa distribusi Hue ketiga kelas menunjukkan jarak yang cukup jelas sehingga proses pemisahan kelas dapat dilakukan secara efektif. Threshold t1 sebesar 43.99 berfungsi sebagai batas yang memisahkan kelas Mentah dari Setengah Matang, di mana nilai Hue yang berada di atas t1 cenderung mengarah pada kategori Mentah. Sementara itu, threshold t2 sebesar 45.22 digunakan untuk membedakan Setengah Matang dan Matang, dengan nilai Hue di bawah t2 mengarah pada kategori Matang. Dengan demikian, kedua batas adaptif ini mampu membangun aturan klasifikasi sederhana berdasarkan karakteristik warna kulit mangga, sekaligus memberikan dasar bagi sistem klasifikasi otomatis pada tahap pengujian selanjutnya.

4.3. Confusion Matrix

Evaluasi kinerja model klasifikasi kematangan buah mangga dilakukan menggunakan confusion matrix, yang menampilkan jumlah prediksi benar dan salah untuk setiap kelas: Mentah, Setengah Matang, dan Matang. Confusion matrix membantu mengidentifikasi pola kesalahan model, seperti kelas mana yang sering tertukar dan seberapa baik model mengenali masing-masing kategori. Dengan menggunakan tiga kelas target, tabel ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai akurasi model dan distribusi prediksinya. Hasil perhitungan confusion matrix ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 5. Confusion Matrix Klasifikasi Kematangan Buah Mangga

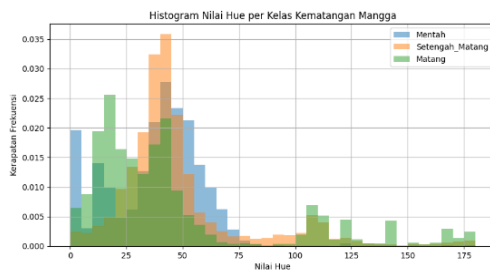
Kelas Asli Prediksi	Pred. Mentah	Pred. Setengah Matang	Pred. Matang
Asli Mentah	4	0	11
Asli Setengah Matang	9	0	6
Asli Matang	3	0	10

Berdasarkan confusion matrix di atas, terlihat bahwa model masih mengalami kesulitan dalam membedakan kelas secara konsisten, terutama pada kelas Setengah Matang, yang seluruh sampelnya salah diklasifikasikan sebagai Mentah atau Matang. Sementara itu, kelas Mentah dan Matang memiliki tingkat prediksi benar yang lebih baik, namun tetap menunjukkan jumlah kesalahan yang cukup signifikan. Tidak adanya prediksi untuk kelas Setengah Matang (kolom Pred_Setengah_Matang bernilai 0 seluruhnya) mengindikasikan bahwa nilai threshold atau pemisahan berbasis Mean Hue pada

tahap sebelumnya belum optimal dan perlu dilakukan penyesuaian. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun metode analisis warna HSV mampu menangkap pola dasar perubahan warna kulit mangga, proses klasifikasi masih memerlukan perbaikan, baik melalui penentuan threshold adaptif yang lebih akurat, penambahan data latih, maupun penggunaan metode klasifikasi yang lebih kuat seperti SVM atau jaringan saraf. Model secara keseluruhan masih belum mencapai performa yang memadai sehingga evaluasi lanjutan sangat diperlukan.

4.4. Hasil Nilai Hue Klasifikasi Kematangan Mangga

Berikut histogram nilai hue per kelas kematangan mangga:



Gambar 2. Hasil Hue Kematangan Mangga

Gambar histogram menunjukkan distribusi nilai Hue untuk tiga kelas kematangan mangga: Mentah, Setengah Matang, dan Matang. Setiap kelas memiliki pola distribusi warna yang berbeda, sehingga perubahan warna kulit mangga selama proses pematangan dapat diamati dengan jelas melalui pergeseran nilai Hue. Berikut penjelasan dari kelas kematangan mangga:

1. Kelas Mentah (biru)

Distribusi Hue kelas mentah cenderung berada pada rentang 40–70, yang merupakan karakteristik warna hijau dominan pada kulit mangga yang belum matang. Beberapa nilai Hue rendah (sekitar 0–20) muncul akibat bayangan atau bagian permukaan yang gelap pada citra, namun secara keseluruhan puncak histogram tetap menunjukkan warna hijau sebagai warna utama.

2. Kelas Setengah Matang (oranye)

Histogram kelas setengah matang memiliki puncak terbesar pada rentang 40–60, menunjukkan bahwa buah sedang mengalami transisi warna dari hijau menuju kuning. Distribusinya tampak lebih stabil dan terkonsentrasi dibandingkan kelas lain, menandakan bahwa tahap setengah matang memiliki warna yang relatif konsisten: hijau kekuningan. Hal ini terlihat dari tumpang tindih sebagian dengan kelas mentah, namun dengan intensitas warna (Hue rendah) yang semakin meningkat menuju kuning.

3. Kelas Matang (hijau)

Distribusi Hue kelas matang bergerak ke arah nilai Hue yang lebih rendah, yaitu di rentang 10–40,

sesuai dengan warna kuning hingga kuning kemerahan pada mangga matang. Bagian puncak histogram yang kuat pada rentang 15–30 menunjukkan dominasi warna kuning. Namun, rentang Hue yang lebih lebar pada histogram matang adalah hal wajar karena beberapa mangga matang masih menyisakan area kehijauan, sehingga grafiknya tetap memperlihatkan nilai Hue tinggi walaupun jumlahnya kecil.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian ini diperoleh kesimpulan yaitu, ruang warna HSV efektif digunakan untuk menganalisis perubahan warna kulit mangga, karena komponen Hue mampu merepresentasikan jenis warna secara lebih stabil dibandingkan RGB, terutama pada kondisi pencahayaan yang bervariasi. Tahap preprocessing resize, Gaussian Blur, masking background, dan fokus area kulit mangga berhasil memperbaiki kualitas citra dan memastikan bahwa perhitungan Hue dilakukan hanya pada area yang relevan. Distribusi nilai Hue pada setiap kelas kematangan memiliki pola yang berbeda, yaitu Hue tinggi pada mangga mentah, Hue menengah pada mangga setengah matang, dan Hue rendah pada mangga matang. Pola ini terlihat jelas pada hasil histogram. Metode thresholding adaptif yang dihitung berdasarkan nilai mean dan standar deviasi Hue mampu menyesuaikan nilai ambang terhadap variasi warna antar citra, sehingga meningkatkan akurasi pemisahan kelas dibandingkan threshold statis. Secara umum, pendekatan analisis warna HSV dengan thresholding adaptif terbukti mampu mengklasifikasikan tingkat kematangan mangga secara sederhana, cepat, dan cukup akurat, sehingga berpotensi diterapkan pada aplikasi inspeksi kualitas buah.

Berdasarkan hasil penelitian, saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah dengan menambah jumlah dan variasi dataset, baik dari jenis mangga yang berbeda, kondisi pencahayaan beragam, maupun kualitas kamera, agar model lebih general dan robust. Menggunakan segmentasi berbasis metode yang lebih canggih, seperti Otsu, GrabCut, atau Deep Learning (U-Net), untuk meningkatkan ketepatan pemisahan kulit mangga dari background. Mengembangkan model klasifikasi yang lebih kompleks, misalnya machine learning (KNN, SVM) atau deep learning (CNN), untuk meningkatkan akurasi dan otomatisasi klasifikasi kematangan. Menambahkan fitur lain selain Hue, seperti tekstur, area bercak hitam, atau pola permukaan buah, agar sistem pengenalan kematangan lebih komprehensif. Menerapkan sistem ke dalam aplikasi mobile atau web, sehingga dapat digunakan langsung oleh petani, pedagang, atau konsumen untuk mengecek kematangan mangga secara cepat dan praktis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. C. T. Nguyen, T. T. Nguyen and H. D. Pham, "Mango Ripeness Classification Based on Color Features Using HSV Color Space," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 12, no. 5, pp. 451–457, 2021.
- [2] R. S. Putra and A. Hidayat, "Adaptive Thresholding for Fruit Maturity Detection Using HSV Color Model," *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*, vol. 12, no. 3, pp. 45–52, 2020.
- [3] P. K. Sahu and A. K. Kar, "A Computer Vision-Based System for Mango Ripeness Detection Using Color and Texture Features," *Procedia Computer Science*, vol. 167, pp. 2310–2319, 2020. P. K. Sahu and A. K. Kar, "A Computer Vision-Based System for Mango Ripeness Detection Using Color and Texture Features," *Procedia Computer Science*, vol. 167, pp. 2310–2319, 2020.
- [4] S. B. Prakash and M. R. Krishna, "Color-Based Image Segmentation Using HSV Color Space for Fruit Quality Analysis," *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 9, no. 6, pp. 120–124, 2020.
- [5] A. Sutopo, D. S. Rahayu, and M. Y. Hakim, "Deteksi Tingkat Kematangan Buah Menggunakan Pengolahan Citra Berdasarkan Fitur Warna," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 8, no. 2, pp. 155–164, 2021.
- [6] M. R. S. Pratama and F. N. Aziz, "Real-Time Fruit Ripeness Detection Using Computer Vision and Adaptive Thresholding," *International Journal of Innovative Computing*, vol. 10, no. 3, pp. 89–97, 2022.
- [7] S. H. Lee and D. H. Kim, "Automatic Fruit Maturity Grading Based on Color Feature Extraction," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 191, pp. 106–234, 2022.
- [8] B. Saputra and N. Widajati, "Implementasi Model HSV untuk Klasifikasi Kematangan Buah Mangga," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 7, no. 4, pp. 1755–1763, 2023.
- [9] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, 4th ed. London: Pearson, 2018. Marpaung. P.H. (2025). Analisis Citra Digital untuk Klasifikasi Kematangan Kelapa Menggunakan K-Nearest Neighbor. *Jurnal Media Informatika*. 6 (4). 2445-2451. <https://doi.org/10.55338/jumin.v6i4.6783>
- [10] R. H. Davies, "Color models and transformations," in *Handbook of Image Processing*, CRC Press, 2017. Setiawan. A (2024). Penerapan Gray Level Co-Occurrence Matrix Dengan Metode Self Organizing Map Pada Deteksi Kematangan Buah Pinang. *CSRID Journal*.2(16). 174-187. <https://doi.org/10.22303/csrid-.16.2.2024.174-187>