



Deteksi Kematangan Buah Mangga secara Destruktif dan Non-Destruktif

Awit Mulyaningtyas, Gaida Zulfa Azzahra, Zahrotul Munawwaroh, Riana Listanti*
Program Studi S1 Teknik Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto, Indonesia.

*Corresponding author: riana.listanti@unsoed.ac.id

(Diterima: 11 Juni 2024; Disetujui: 15 Mei 2025)

ABSTRACT

Mango (*Mangifera indica L.*) is a climacteric fruit rich in fiber, vitamin C, and β -carotene, with high production potential in Indonesia. However, the export value of mangoes remains low due to several post-harvest issues, particularly difficulties in determining the optimal maturity level. Maturity assessment is crucial as it affects the quality, taste, and shelf life of the fruit. This study aims to discuss and compare various methods for determining the maturity level of mangoes using destructive and non-destructive approaches. The destructive method employs a natural pH indicator derived from butterfly pea (*Clitoria ternatea*) flower extract. Meanwhile, the non-destructive methods include three approaches: double ring resonator technology to measure the dielectric properties of the fruit, Hue-Saturation-Intensity (HSI) color space transformation for analyzing the skin color through digital imaging, and fruit position in water testing to evaluate physical and chemical attributes. The results indicate that the HSI color transformation method is the most simple, efficient, and accurate technique for determining mango maturity, achieving an accuracy rate of 87%. In contrast, the destructive method requires a longer analysis time, while the fruit position in water method is not recommended due to its insignificant correlation with fruit maturity.

Keywords: destructive, HSI color transformation, mango, maturity, non-destructive

ABSTRAK

Mangga (*Mangifera indica L.*) merupakan buah klimaterik yang kaya akan serat, vitamin C, dan β -karoten, serta memiliki potensi produksi tinggi di Indonesia. Namun, nilai ekspor buah mangga masih rendah akibat berbagai permasalahan pascapanen, terutama kesulitan dalam menentukan tingkat kematangan buah yang optimal. Penentuan kematangan sangat penting karena berpengaruh terhadap mutu, rasa, dan daya simpan buah. Penelitian ini bertujuan untuk membahas dan membandingkan berbagai metode deteksi tingkat kematangan buah mangga secara destruktif dan non-destruktif. Metode destruktif dilakukan dengan menggunakan indikator alami dari ekstrak bunga telang sebagai penentu pH buah. Sementara itu, metode non-destruktif dilakukan melalui tiga pendekatan, yaitu teknologi double ring resonator untuk mengukur nilai dielektrik buah, transformasi ruang warna HSI (Hue, Saturation, Intensity) untuk analisis citra warna kulit buah, serta pengujian posisi buah dalam air untuk menilai atribut fisik dan kimianya. Hasil kajian menunjukkan bahwa metode transformasi ruang warna HSI merupakan teknik paling sederhana, efisien, dan akurat dalam mendeteksi kematangan buah mangga, dengan tingkat akurasi mencapai 87%. Sebaliknya, metode destruktif membutuhkan waktu lebih lama, sedangkan metode posisi buah dalam air kurang direkomendasikan karena tidak menunjukkan hubungan yang signifikan dengan tingkat kematangan.

Kata kunci: destruktif, kematangan, mangga, non-destruktif, transformasi warna HIS

PENDAHULUAN

Mangga (*Mangifera indica* L.) merupakan salah satu buah tropis yang kaya akan serat, vitamin C, dan β -karoten, dengan kandungan air sekitar 80% dan gula hingga 20% [1]. Indonesia termasuk negara dengan produksi mangga yang tinggi. Pada tahun 2018, produksi mangga mencapai 2.624.791 ton dengan kondisi iklim yang mendukung [2]. Berdasarkan data tersebut, Indonesia menempati urutan keempat sebagai produsen mangga terbesar di dunia setelah India, China, dan Thailand. Meskipun demikian, volume ekspor mangga Indonesia masih tergolong rendah. Pada tahun 2015, ekspor mangga hanya mencapai 1.241 ton atau sekitar 0,06% dari total produksi, jauh lebih rendah dibandingkan Pakistan yang mengekspor hingga 98.920 ton pada tahun 2013. Rendahnya nilai ekspor ini disebabkan oleh berbagai kendala pascapanen yang perlu segera diatasi [3].

Salah satu faktor penting yang menentukan mutu dan nilai jual mangga adalah tingkat kematangan buah. Namun, menjaga kualitas kematangan setelah panen bukan hal yang mudah karena mangga termasuk dalam kelompok buah klimaterik, yaitu buah yang masih mengalami proses pematangan setelah dipetik dari pohon [4]. Dalam praktiknya, tingkat kematangan biasanya ditentukan berdasarkan umur buah setelah bunga mekar. Sebagai contoh, produsen mangga di Situbondo menggunakan acuan waktu panen 105 hari setelah bunga mekar [3]. Akan tetapi, di lapangan penentuan umur buah sering kali tidak akurat karena waktu pembungaan setiap pohon tidak seragam.

Untuk membantu memperkirakan waktu panen, para petani biasanya melakukan pengemasan awal pada saat buah berumur sekitar 45 hari, dengan ukuran panjang buah sekitar 7 cm. Setelah 60 hari berikutnya, buah dianggap siap dipetik. Namun, cara ini masih bersifat

perkiraan karena ukuran buah yang tidak selalu sama, sehingga hasil panen sering kali memiliki tingkat kematangan yang tidak seragam [3]. Kondisi ini menunjukkan perlunya sistem penilaian dan pengelompokan (grading) yang lebih objektif dalam menentukan tingkat kematangan buah mangga.

Penentuan tingkat kematangan buah dapat dilihat melalui ciri-ciri fisik seperti ukuran, berat, warna kulit, aroma, serta kekerasan daging buah. Selain itu, faktor yang memengaruhi keputusan pembelian konsumen meliputi rasa manis, kesegaran, kandungan vitamin, ukuran, dan harga [5]. Dengan demikian, proses grading kematangan bertujuan untuk memisahkan buah mangga yang memiliki tingkat kematangan optimal, sehingga buah sampai ke tangan konsumen dalam kondisi terbaik [3].

Berbagai metode telah dikembangkan untuk menentukan tingkat kematangan buah mangga, baik berdasarkan parameter fisik, kimia, maupun sensori. Indikator yang umum digunakan antara lain jumlah hari setelah bunga mekar, bentuk buah, warna kulit, kekerasan kulit dan daging, perubahan warna daging, kadar padatan terlarut ($^{\circ}$ Brix), serta kadar getah [3]. Namun, penilaian konvensional yang mengandalkan pengamatan visual atau indrawi sering bersifat subjektif dan tidak konsisten. Oleh karena itu, dibutuhkan metode penentuan kematangan yang lebih objektif, akurat, dan efisien, baik melalui pendekatan destruktif maupun non-destruktif.

METODOLOGI PENELITIAN

Penentuan tingkat kematangan buah mangga dalam penelitian ini dilakukan menggunakan dua pendekatan utama, yaitu metode destruktif dan metode non-destruktif. Pendekatan destruktif memerlukan perlakuan yang mengubah atau merusak sampel, sedangkan

pendekatan non-destruktif dilakukan tanpa merusak buah, sehingga buah masih dapat digunakan setelah pengujian.

Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan berbagai peralatan yang disesuaikan dengan metode pengujian yang diterapkan. Untuk metode destruktif, digunakan timbangan analitik tipe *pocket scale* dengan ketelitian 0,01 gram, pemanas elektrik (*heater*), pisau, dan saringan untuk proses ekstraksi. Selain itu, disiapkan kertas pH-strip litmus serta tusuk gigi yang berfungsi sebagai media penyerapan indikator dari ekstrak bunga telang.

Metode

Pada metode non-destruktif, peralatan yang digunakan mencakup sensor *Double Ring Resonator* yang terbuat dari bahan PCB berlapis ganda, serta *Vector Network Analyzer* (VNA) yang berfungsi untuk mengukur nilai dielektrik buah melalui frekuensi gelombang mikro. Untuk metode transformasi ruang warna HSI, digunakan perangkat lunak pengolahan citra digital

dan kamera untuk memperoleh citra permukaan kulit buah.

Sementara itu, dalam metode uji posisi buah di dalam air, peralatan yang digunakan meliputi alat uji kekerasan digital (*digital penetrometer sclerometer gauge GY-4*), refraktometer digital (*Atago 0,60%*) untuk mengukur kadar gula ($^{\circ}$ Brix), alat analisis gas portabel (*Checkpoint II*) untuk mengukur laju respirasi, timbangan digital (*ACIS AD-600i*), serta gelas ukur berkapasitas 5000 cc.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah buah mangga dari berbagai varietas, terutama varietas Arumanis, Gedong Gincu, dan Harum Manis sebagai sampel utama.

Untuk mempermudah pemahaman mengenai pendekatan yang digunakan, metode penelitian ini dirangkum dalam Tabel 1. Tabel tersebut menampilkan klasifikasi jenis metode, teknik yang diterapkan, serta prinsip dasar dari masing-masing pendekatan, baik destruktif maupun non-destruktif, yang digunakan dalam proses deteksi tingkat kematangan buah mangga

Prosedur Kerja

Tabel 1. Metode yang diterapkan pada deteksi kematangan mangga

Metode	Teknik yang dipakai	Prinsip
Destruktif	Penetrasi [6]	Instrumen
Non Destruktif	Teknik <i>double-ring resonator</i> [7] Transformasi Ruang Warna HIS [8] Posisi buah di dalam air [3]	Elektromagnetik <i>Software</i> Atribut sensori, fisik, dan kimia

Pada metode destruktif, tingkat kematangan mangga diuji menggunakan indikator alami dari ekstrak bunga telang (*Clitoria ternatea*). Sebanyak 15 gram bunga telang kering diekstraksi menggunakan aquades (perbandingan 1:40)

pada suhu 50°C selama 180 menit. Ekstrak yang diperoleh digunakan untuk merendam tusuk gigi selama 24 jam. Setelah dikeringkan, tusuk gigi ditusukkan ke buah mangga selama 30 detik, kemudian diamati perubahan warnanya dan dibandingkan

dengan nilai pH menggunakan kertas pH-strip [6].

Metode non-destruktif dilakukan dengan tiga teknik.

(1) Double Ring Resonator, menggunakan sensor elektromagnetik dan *Vector Network Analyzer* (VNA) untuk mengukur nilai dielektrik buah, yang mencerminkan tingkat kematangan [7].

(2) Transformasi Ruang Warna HSI, menggunakan kamera dan perangkat lunak pengolah citra untuk menganalisis warna kulit mangga berdasarkan nilai *hue*, *saturation*, dan *intensity*, kemudian dibandingkan dengan citra latih menggunakan *cosine similarity* [8].

(3) Posisi Buah di Dalam Air, dilakukan dengan merendam buah mangga dalam air untuk mengelompokkan posisi tenggelam, melayang, dan mengapung. Setiap kelompok diuji kadar gula ($^{\circ}$ Brix), kekerasan, dan laju respirasi selama penyimpanan hingga 15 hari [3].

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Fenomena Kematangan

Tingkat kematangan merupakan salah satu faktor penting yang menentukan kualitas dan nilai jual buah mangga [9]. Konsumen umumnya lebih menyukai buah mangga yang matang dibandingkan yang masih muda, karena mangga muda memiliki rasa masam dan tekstur yang keras, sedangkan buah mangga matang memiliki rasa manis dan aroma khas yang lebih disukai [10]. Kandungan nutrisi utama dalam buah mangga matang meliputi vitamin, air, serta karbohidrat dalam bentuk gula sederhana [1].

Karakteristik fisik yang sering digunakan untuk menilai tingkat kematangan antara lain warna kulit, aroma, kekerasan daging buah, berat, dan ukuran buah. Sementara itu, aspek yang paling memengaruhi keputusan konsumen dalam membeli buah meliputi rasa manis,

kesegaran, kandungan vitamin, ukuran, dan harga.

Mangga yang dipanen dalam kondisi matang umumnya memiliki mutu yang lebih baik dibandingkan yang dipetik sebelum waktunya. Buah yang dipetik terlalu dini sering kali tetap berwarna kuning setelah pemeraman, namun rasanya cenderung masam. Sebaliknya, penundaan panen hingga buah terlalu tua dapat menyebabkan kerusakan, seperti kulit mengeriput atau daging buah lembek.

Mangga termasuk kelompok buah klimakterik, yaitu buah yang masih mengalami peningkatan aktivitas respirasi setelah dipetik. Proses pematangan berlangsung cepat dan diikuti oleh peningkatan kadar etilen, sehingga buah menjadi lebih lunak dan manis, tetapi juga lebih mudah rusak. Umur simpan buah mangga matang di suhu ruang hanya sekitar 3–5 hari. Penanganan pascapanen yang tidak tepat, terutama jika terjadi kehilangan air (transpirasi) dan respirasi berlebih, dapat menurunkan mutu hingga 30%, yang berdampak pada meningkatnya kehilangan hasil.

Selama proses pematangan, terjadi perubahan fisika-kimiawi, salah satunya perubahan warna daging dan kulit buah akibat biosintesis karotenoid. Proses ini menjadi indikator visual penting untuk membedakan tingkat kematangan mangga [11].

2. Uji Destruktif

Metode destruktif dalam penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan ekstrak bunga telang (*Clitoria ternatea*) sebagai indikator alami untuk menentukan tingkat kematangan buah mangga. Bunga telang mengandung pigmen antosianin yang peka terhadap perubahan pH. Dalam kondisi asam, pigmen ini berwarna merah, sedangkan pada suasana basa akan berubah menjadi biru. Sifat inilah yang

dimanfaatkan untuk mengukur perubahan keasaman buah selama proses pematangan [6].

Proses pengujian dilakukan melalui beberapa tahap. Pertama, 15 gram bunga telang kering diekstraksi menggunakan aquades dengan perbandingan bahan dan pelarut 1:40. Campuran tersebut dipanaskan pada suhu 50°C selama 180 menit, kemudian disaring hingga diperoleh ekstrak murni. Tusuk gigi kemudian direndam dalam ekstrak bunga telang selama kurang lebih 24 jam, lalu dikeringkan dengan cara diangin-anginkan tanpa terkena sinar matahari langsung. Tusuk gigi yang telah kering ditusukkan ke dalam buah mangga selama sekitar 30 detik untuk melihat perubahan warnanya.

Selain itu, dilakukan pengujian pH dengan cara menempelkan potongan daging buah pada kertas pH-strip dan mencocokkan hasilnya dengan trayek warna standar. Analisis dilakukan secara deskriptif-kualitatif berdasarkan perubahan warna indikator dan tingkat keasaman buah.

Hasil pengujian menunjukkan perbedaan warna yang jelas antara buah mangga matang dan mentah. Pada sampel mangga matang, warna tusuk gigi berubah menjadi ungu kemerahan dengan pH sekitar 2 dan memiliki rasa sangat asam dengan

warna daging kuning pekat. Sementara itu, mangga mentah menunjukkan warna ungu sedikit kemerahan dengan pH sekitar 3 dan rasa yang masih asam. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat keasaman menurun seiring proses pematangan karena kandungan asam organik berkurang selama proses tersebut [12].

Selain diuji pada varietas arumanis, metode ini juga diterapkan pada beberapa varietas mangga lainnya. Perubahan warna indikator berbeda tergantung kadar air dan tingkat kematangan buah. Misalnya, pada mangga madu, tusuk gigi tidak menunjukkan perubahan warna yang signifikan karena kadar air buah yang rendah, sehingga pigmen antosianin sulit bereaksi.

Metode destruktif ini tergolong sederhana dan bahan yang digunakan mudah diperoleh, namun membutuhkan waktu lebih dari 24 jam untuk proses perendaman dan pengujian, sehingga kurang efisien jika digunakan untuk analisis cepat dalam skala besar.

Perubahan warna indikator pada tusuk gigi yang telah direndam dalam ekstrak bunga telang menunjukkan perbedaan nyata antara buah mangga matang dan mentah. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil pengujian indikator tusuk gigi pada buah mangga matang dan mentah

Sampel	Perubahan Warna Tusuk Gigi	pH	Organoleptik
Mangga Arumanis Matang	Ungu kemerahan	2	Rasa: sangat asam Warna daging buah: kuning pekat
Mangga Arumanis Mentah	Ungu sedikit kemerahan	3	Rasa: asam Warna daging buah: kuning

Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan tingkat kematangan disertai dengan penurunan kadar asam organik. Semakin matang buah, semakin rendah

tingkat keasamannya, yang diindikasikan oleh perubahan warna indikator ke arah merah muda atau ungu kemerahan [12].

3. Uji Non-Destruktif:

Teknik *Double Ring Resonator*

Metode non-destruktif memungkinkan pengukuran tingkat kematangan buah mangga tanpa merusak bentuk fisik buah. Salah satu teknik yang digunakan adalah *Double Ring Resonator* (DRR), yaitu alat berbasis sensor elektromagnetik yang dapat mengukur nilai konstanta dielektrik buah. Sensor *Double Ring Resonator* yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1. Nilai dielektrik menggambarkan kemampuan suatu bahan dalam menyimpan muatan listrik, yang sangat dipengaruhi oleh kandungan air dan

struktur internal buah. Dengan demikian, perubahan nilai dielektrik dapat menjadi indikator tingkat kematangan buah mangga [7].

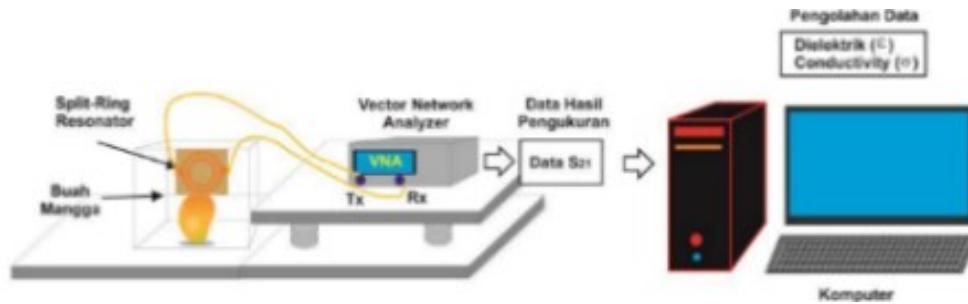
Sensor yang digunakan merupakan pengembangan dari *Split Ring Resonator*, yang dimodifikasi dengan menambahkan cincin ganda untuk meningkatkan sensitivitas pengukuran. Alat ini terbuat dari bahan PCB dua lapis dan dihubungkan dengan Vector Network Analyzer (VNA) untuk membaca karakteristik gelombang elektromagnetik pada frekuensi antara 100 MHz hingga 3 GHz. Perubahan frekuensi resonansi yang dihasilkan dapat disesuaikan dengan ukuran jari-jari cincin sensor.



Gambar 1. Sensor *double ring resonator* yang digunakan dalam pengukuran nilai dielektrik buah mangga [7]

Proses pengukuran dilakukan dengan menempelkan sensor pada permukaan buah mangga — dalam hal ini digunakan varietas Gedong Gincu sebagai sampel. Sensor mendeteksi nilai transmisi daya (S_{21}) dan impedansi listrik dari buah yang diukur (Gambar 2). Nilai S_{21} menunjukkan

perbandingan daya yang diteruskan antara dua port sensor, sedangkan impedansi menggambarkan hambatan arus listrik bolak-balik dalam jaringan [14].



Gambar 2. Pengambilan data nilai dielektrik buah mangga menggunakan sensor *Double Ring Resonator* [7]

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa setiap tingkat kematangan buah memiliki

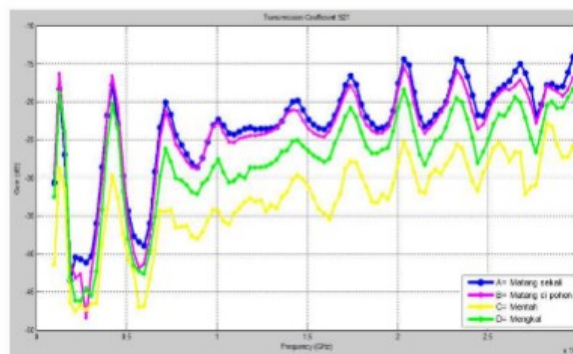
pola nilai S_{21} dan impedansi yang berbeda (Gambar 3).



Gambar 3. Proses pengukuran nilai S_{21} dan impedansi buah mangga menggunakan sensor *Double Ring Resonator* [7]

Pada frekuensi 1,2 GHz, nilai S_{21} mangga matang penuh tercatat sebesar -23 dB, sedangkan pada mangga mentah sebesar -33 dB. Nilai rata-rata gain untuk

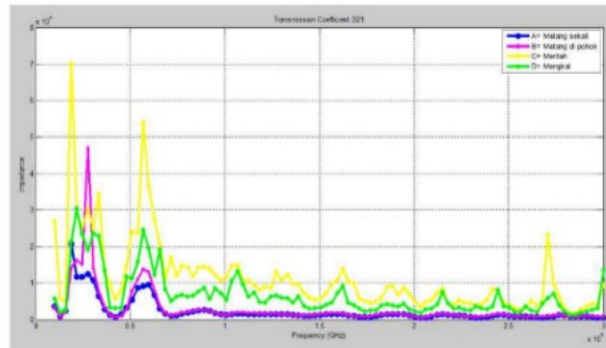
mangga matang di pohon adalah $-21,4$ dB; mangga matang sekali $-22,8$ dB; mangga mengkal $-25,4$ dB; dan mangga mentah $-33,4$ dB (Gambar 4).



Gambar 4. Grafik nilai S_{21} buah mangga dengan tingkat kematangan berbeda pada frekuensi 0–3 GHz [7]

Sementara itu, nilai impedansi pada frekuensi yang sama berkisar antara 0 hingga 7. Nilai impedansi paling rendah

ditemukan pada mangga matang di pohon (0,15), sedangkan yang tertinggi terdapat pada mangga mentah (0,85) (Gambar 5).



Gambar 5. Grafik nilai impedansi buah mangga dengan tingkat kematangan berbeda pada frekuensi 0–3 GHz [7]

Hal ini menunjukkan bahwa semakin matang buah, semakin kecil nilai impedansinya. Dengan demikian, hubungan antara nilai S21 dan impedansi dapat dijadikan dasar dalam penentuan kematangan buah mangga secara non-destruktif [7].

Keunggulan dari metode *Double Ring Resonator* adalah kemampuannya melakukan pengukuran dengan cepat, tanpa merusak sampel, serta dapat digunakan untuk jumlah buah yang banyak setelah dilakukan kalibrasi awal. Selain itu, pengujian dapat dilakukan pada suhu ruang dengan hasil yang konsisten, sehingga teknik ini potensial untuk dikembangkan sebagai sistem deteksi kematangan mangga secara praktis dan efisien.

Transformasi Ruang Warna Hue, Saturation, Intensity (HSI)

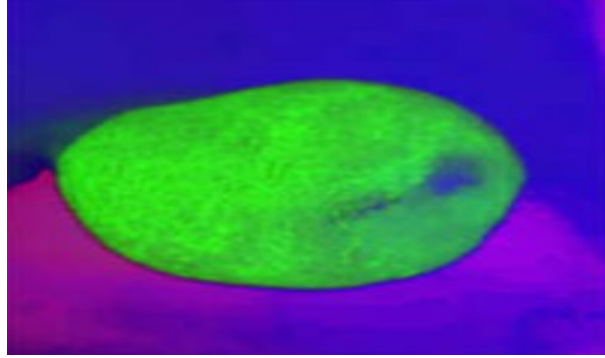
Metode Transformasi Ruang Warna HSI digunakan untuk mendeteksi tingkat kematangan buah mangga melalui analisis warna kulit menggunakan citra digital. Model warna HSI dianggap paling sesuai dengan persepsi visual manusia karena mampu memisahkan informasi warna (*hue*) dari tingkat kejenuhan (*saturation*) dan intensitas cahaya (*intensity*).

Berbeda dengan model RGB atau CMY yang kurang mewakili interpretasi warna alami, sistem HSI lebih intuitif dan realistis dalam menampilkan perbedaan warna pada objek buah [8].

Secara umum, *hue* (H) menunjukkan sudut warna yang diukur dari warna referensi (biasanya merah) dalam rentang 0–360°. *Saturation* (S) menunjukkan tingkat kemurnian warna — semakin tinggi nilainya, semakin murni warna tersebut. Sementara itu, *intensity* (I) menggambarkan tingkat kecerahan atau keabuan dari citra yang diamati.

Dalam penelitian ini, dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak pengolahan citra digital. Satu sampel citra latih dan satu citra uji dari buah Mangga Harum Manis diambil untuk dianalisis.

Proses dimulai dengan mentransformasi citra RGB menjadi citra ruang warna HSI, kemudian dilakukan pemisahan objek buah dari latar belakang (Gambar 6). Nilai hue, saturasi, dan intensitas pada citra kulit mangga kemudian dibandingkan menggunakan metode cosine similarity untuk menilai tingkat kedekatan warna antara sampel uji dan sampel latih.



Gambar 6. Transformasi Ruang Warna HSI

Metode *cosine similarity* mengukur kesamaan dua vektor berdasarkan nilai cosinus dari sudut di antara keduanya. Nilai yang mendekati 1 menunjukkan kemiripan tinggi, sedangkan nilai mendekati 0 menunjukkan perbedaan besar. Dalam konteks ini, buah mangga dikategorikan matang apabila nilai kesamaan (*similarity*) $\geq 0,867$, dan mentah apabila nilainya $< 0,867$.

Pengujian dilakukan terhadap 20 citra buah Mangga Harum Manis, terdiri dari 10 citra latih (buah matang) dan 10 citra uji (buah matang serta mentah). Hasil analisis menunjukkan bahwa rata-rata nilai similarity untuk citra buah matang adalah 0,9024, sedangkan untuk buah mentah adalah 0,8316. Dengan demikian, tingkat keberhasilan sistem deteksi kematangan berbasis transformasi ruang warna HSI mencapai akurasi 87% [8].

Metode ini dinilai efektif dan efisien karena hanya memerlukan kamera serta perangkat lunak pengolah citra, tanpa perlakuan fisik terhadap buah. Selain itu, hasil pengujian menunjukkan tingkat konsistensi yang tinggi, sehingga metode ini dapat digunakan sebagai alternatif

praktis dalam penentuan kematangan mangga secara non-destruktif.

Posisi Buah di Dalam Air

Metode posisi buah di dalam air merupakan pendekatan sederhana yang memanfaatkan prinsip gaya apung Archimedes untuk menentukan tingkat kematangan buah mangga. Prinsip dasarnya adalah bahwa benda yang memiliki massa jenis lebih besar dari air akan tenggelam, sedangkan yang lebih kecil akan terapung sebagian atau seluruhnya. Perubahan posisi buah di dalam air dapat digunakan untuk memperkirakan tingkat kematangan karena kandungan air dan padatan terlarut dalam buah berubah selama proses pematangan [9].

Buah mangga yang masih mentah umumnya memiliki massa jenis lebih tinggi, karena kandungan pati lebih besar dibandingkan air, sehingga buah cenderung tenggelam lebih dalam. Sebaliknya, pada buah mangga matang, pati terurai menjadi gula sederhana dan kadar air meningkat, sehingga massa jenis menurun dan buah akan terapung lebih banyak di permukaan air (Tabel. 3).

Tabel 3. Kekerasan buah tenggelam, melayang, dan mengapung selama penyimpanan

Hari ke-	Tenggelam (N)	Melayang (N)	Mengapung (N)
0	61,4 ± 10,34	68,0 ± 7,36	75,3 ± 17,2
1	60,5 ± 19,82	47,6 ± 9,86	51,9 ± 11,88
3	21,6 ± 4,93	24,2 ± 8,55	28,4 ± 5,37
5	19,0 ± 1,21	17,5 ± 5,18	17,0 ± 2,17
7	8,6 ± 6,36	8,8 ± 1,10	5,9 ± 1,06
9	9,5 ± 3,14	10,8 ± 1,01	10,7 ± 2,82
11	11,5 ± 1,18	13,0 ± 2,55	8,8 ± 2,55
13	8,5 ± 1,37	9,8 ± 2,36	10,7 ± 1,72
15	7,6 ± 5,81	6,4 ± 4,59	4,2 ± 2,01

Proses pengujian dilakukan dengan menyiapkan wadah berisi air bersih, kemudian buah mangga dari berbagai tingkat kematangan (mentah, mengkal, dan matang) dimasukkan satu per satu ke dalam

wadah. Posisi buah diamati dari arah samping dan atas menggunakan kamera digital, lalu dianalisis secara visual untuk menentukan pola perbedaan posisi setiap tingkat kematangan (Tabel 4).

Tabel 4. Brix buah tenggelam, melayang, dan mengapung selama penyimpanan

Hari ke-	Tenggelam (°Brix)	Melayang (°Brix)	Mengapung (°Brix)
0	8,2 ± 1,59	8,6 ± 0,17	7,5 ± 0,96
1	9,4 ± 2,20	10,8 ± 4,41	7,7 ± 0,70
3	13,6 ± 2,76	16,3 ± 3,36	13,9 ± 1,33
5	18,0 ± 2,50	19,1 ± 2,83	19,2 ± 0,85
7	19,0 ± 0,81	19,0 ± 1,53	18,7 ± 1,10
9	18,8 ± 0,15	20,2 ± 2,15	18,2 ± 1,27
11	19,7 ± 1,79	16,7 ± 1,12	17,0 ± 0,64
13	19,0 ± 1,18	18,6 ± 0,32	18,0 ± 2,00

Hasil pengujian menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara posisi buah di dalam air dengan nilai total padatan terlarut (°Brix). Buah mangga yang tenggelam memiliki nilai °Brix terendah, sedangkan buah yang melayang menunjukkan nilai °Brix sedang, dan buah yang mengapung memiliki nilai °Brix tertinggi.

Perubahan ini sejalan dengan proses pematangan, di mana kandungan pati dalam buah berangsur diubah menjadi gula sederhana, sehingga meningkatkan total padatan terlarut.

Sebagaimana terlihat pada Gambar 8, nilai °Brix buah yang tenggelam meningkat dari 8,2 ± 1,59 pada hari ke-0 menjadi 15,1 ± 1,17 pada hari ke-19, sementara pada buah yang mengapung, nilainya mencapai 19,0 ± 2,26 pada hari ke-19. Hasil ini menunjukkan bahwa semakin matang buah mangga, semakin besar pula nilai total padatan terlarutnya.

Selain itu, kecenderungan peningkatan °Brix pada buah yang mengapung memperkuat bahwa posisi buah di dalam air dapat digunakan sebagai indikator non-destruktif kematangan. Hal ini karena perbedaan densitas antara buah

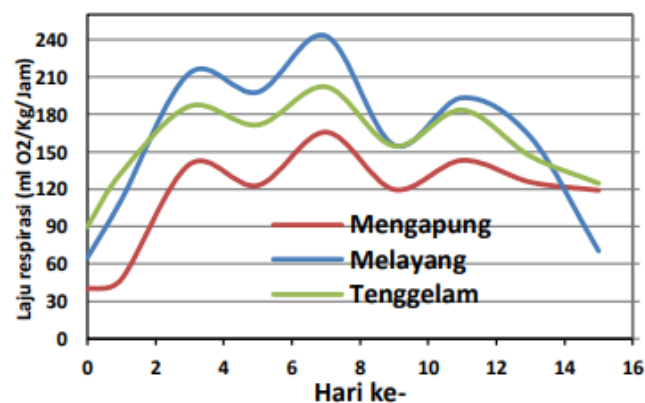
matang dan mentah mencerminkan perbedaan komposisi internal khususnya kadar gula, air, dan udara di jaringan buah [9].

Selain parameter total padatan terlarut ($^{\circ}$ Brix), pengujian juga dilakukan terhadap perubahan densitas dan volume buah mangga selama penyimpanan untuk mendukung hasil pengamatan posisi buah di dalam air. Data pengamatan menunjukkan bahwa densitas buah mengalami penurunan bertahap seiring lamanya waktu penyimpanan, baik pada buah yang tenggelam, melayang, maupun mengapung.

Penurunan densitas ini disebabkan oleh meningkatnya kadar air dan gula reduksi selama proses pematangan, yang menyebabkan massa jenis buah menjadi lebih kecil daripada air. Akibatnya, buah cenderung bergerak dari posisi tenggelam ke melayang, hingga akhirnya mengapung di permukaan air.

Perubahan volume juga teramati selama penyimpanan. Volume buah yang mengapung cenderung meningkat, sedangkan buah yang tenggelam mengalami sedikit penurunan volume akibat kehilangan air dari jaringan buah. Hal ini menunjukkan bahwa proses respirasi dan transpirasi yang berlangsung selama pematangan turut memengaruhi sifat fisik buah, termasuk densitas dan daya apungnya.

Secara keseluruhan, hasil ini memperkuat bahwa metode posisi buah di dalam air dapat menggambarkan tingkat kematangan mangga secara visual dan ilmiah, dengan akurasi yang didukung oleh perubahan nilai $^{\circ}$ Brix dan densitas. Korelasi positif antara nilai $^{\circ}$ Brix dan posisi buah menunjukkan bahwa parameter fisik dan kimia saling berkaitan dalam menentukan tingkat kematangan buah mangga (Gambar 7).



Gambar 7. Laju respirasi buah tenggelam, melayang, dan mengapung selama penyimpanan

Selama periode penyimpanan, buah mangga menunjukkan perubahan massa dan daya apung yang signifikan. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa massa buah menurun secara bertahap seiring lamanya waktu penyimpanan, baik pada buah yang tenggelam, melayang, maupun mengapung. Penurunan massa ini

disebabkan oleh proses transpirasi dan respirasi, di mana buah kehilangan air melalui kulit dan menggunakan cadangan karbohidrat untuk respirasi selama pematangan.

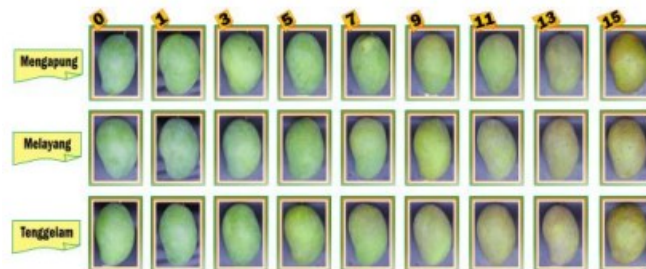
Sementara itu, daya apung buah meningkat seiring penurunan massa dan

densitas buah. Buah yang awalnya tenggelam akan berangsur melayang, dan akhirnya mengapung di permukaan air setelah beberapa hari penyimpanan. Peningkatan daya apung ini juga berkaitan dengan meningkatnya ruang udara dalam jaringan buah akibat pelunakan tekstur dan dekomposisi komponen padat.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa penurunan massa buah paling besar terjadi pada buah yang tenggelam, diikuti oleh buah yang melayang, dan paling kecil pada

buah yang mengapung. Pola hubungan antara penurunan massa dan peningkatan daya apung ini memperkuat teori bahwa posisi buah di air merupakan cerminan dari perubahan fisiologis selama pematangan.

Dengan demikian, metode pengamatan posisi buah di air tidak hanya mampu mendeteksi tingkat kematangan secara visual, tetapi juga memberikan gambaran kuantitatif terhadap perubahan fisik buah selama penyimpanan (Gambar 8).

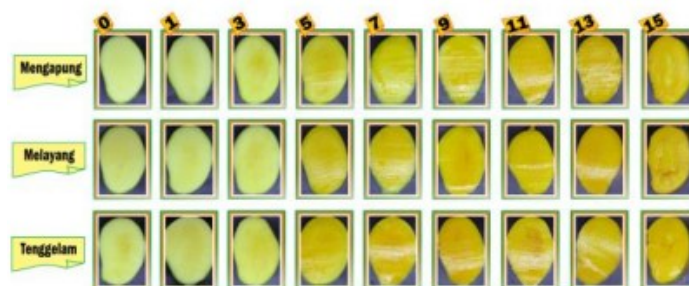


Gambar 8. Penampakan luar buah tenggelam, melayang, dan mengapung selama penyimpanan

4. Hubungan Antara Posisi Buah, Densitas, dan Tingkat Kematangan

Hasil penelitian menunjukkan adanya hubungan yang erat antara posisi buah di dalam air, nilai densitas, dan tingkat kematangan buah mangga. Buah yang berada pada posisi tenggelam memiliki

densitas yang paling tinggi, kadar padatan terlarut yang rendah, dan umumnya tergolong mentah. Sebaliknya, buah yang mengapung memiliki densitas rendah, nilai °Brix tinggi, serta tergolong matang penuh. Adapun buah yang melayang menunjukkan nilai di antara keduanya, yang mewakili tahap mengkal atau setengah matang (Gambar 9).



Gambar 9. Penampakan luar buah tenggelam, melayang, dan mengapung selama penyimpanan

Kecenderungan ini memperlihatkan bahwa semakin lama waktu penyimpanan, buah akan mengalami perubahan fisiologis berupa penurunan densitas dan peningkatan kadar gula terlarut, yang menyebabkan pergeseran posisi dari tenggelam menjadi melayang, hingga akhirnya mengapung. Fenomena tersebut dapat dijelaskan melalui hukum Archimedes, di mana gaya apung yang bekerja pada buah bergantung pada perbedaan massa jenis antara buah dan air.

Oleh karena itu, pengamatan posisi buah di air dapat digunakan sebagai metode non-destruktif yang sederhana namun cukup akurat untuk memperkirakan tingkat kematangan buah mangga. Metode ini juga memiliki potensi dikembangkan untuk sistem klasifikasi otomatis berbasis citra digital dan analisis visual, sehingga dapat diterapkan dalam penanganan pascapanen buah tropis secara praktis dan efisien.

KESIMPULAN

Deteksi tingkat kematangan buah mangga dapat dilakukan dengan dua pendekatan utama, yaitu metode destruktif dan non-destruktif. Metode destruktif menggunakan indikator alami ekstrak bunga telang, yang memanfaatkan perubahan warna pigmen antosianin terhadap pH untuk menilai tingkat keasaman buah. Hasil pengujian menunjukkan bahwa warna indikator berubah secara nyata antara buah mangga mentah dan matang, di mana pH buah menurun seiring peningkatan tingkat kematangan.

Sementara itu, metode non-destruktif terdiri atas tiga teknik utama:

- (1) Teknik *Double Ring Resonator* (DRR) yang mendeteksi perubahan nilai dielektrik buah menggunakan sensor elektromagnetik,
- (2) Transformasi ruang warna HSI (Hue, Saturation, Intensity) yang memanfaatkan

analisis citra digital untuk membedakan tingkat kematangan berdasarkan perbedaan warna kulit buah, dan

- (3) Metode posisi buah di dalam air, yang mengamati perbedaan densitas dan daya apung buah sebagai indikator tingkat kematangan.

Hasil dari ketiga metode non-destruktif tersebut menunjukkan konsistensi dengan parameter fisik dan kimia buah mangga selama proses pematangan. Teknik DRR menghasilkan perbedaan nilai S21 dan impedansi yang jelas antar tingkat kematangan, metode HSI menunjukkan tingkat akurasi hingga 87% dalam membedakan buah matang dan mentah, sedangkan pengujian posisi buah di air menunjukkan korelasi positif antara nilai °Brix, densitas, dan posisi buah. Dengan demikian, baik metode destruktif maupun non-destruktif dapat digunakan untuk menentukan kematangan buah mangga, namun metode non-destruktif memiliki keunggulan utama karena tidak merusak sampel dan dapat digunakan untuk pengujian cepat dalam skala besar.

Kombinasi antara pengamatan fisik, analisis citra, dan sensor elektromagnetik dapat menjadi dasar pengembangan sistem deteksi kematangan buah mangga yang efisien, akurat, dan ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mulyani, S., & Sutrisno, A. (2019). *Kandungan Gizi dan Manfaat Buah Mangga*. *Jurnal Pangan Tropis*, 5(2), 45–52.
- [2] Prasetyo, D., & Hidayat, R. (2020). *Analisis Mutu Buah Mangga Berdasarkan Tingkat Kematangan*. *Agritech*, 40(3), 112–120.
- [3] Nugraha, B., & Rahmawati, D. (2021). *Pengaruh Warna Kulit Terhadap Kematangan Buah Mangga*

- Menggunakan Citra Digital*. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 14(1), 33–41.
- [4] Setiawan, A., & Santoso, H. (2018).
- [5] Utami, N., & Wibowo, P. (2021). *Penanganan Pascapanen Buah Mangga untuk Memperpanjang Umur Simpan*. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*, 16(1), 55–64.
- [6] Lestari, D., & Kurniawan, R. (2020). *Pemanfaatan Ekstrak Bunga Telang sebagai Indikator Alami pH pada Penentuan Kematangan Buah Mangga*. *Jurnal Kimia Terapan Indonesia*, 22(1), 1–8.
- [7] Ariessaputra, S., Muvianto, C. M., Yuniarto, K., Al Sasongko, S. M., & Ch. S. (2020). *Karakterisasi Buah Mangga Berdasarkan Nilai Dielektrik Menggunakan Teknik Double-Ring Resonator*. *Jurnal Sains Teknologi Lingkungan*, 6(1), 61–71.
- [8] Apriyanti, D., & Indriyani, E. (2020). *Pengenalan Kematangan Buah Mangga Berdasarkan Transformasi Ruang Warna HSI*. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer*, 8(4), 287–294.
- [9] Harahap, L., & Nugroho, A. (2021). *Analisis Kematangan Buah Mangga Berdasarkan Posisi Buah di Dalam Air*. *Jurnal Keteknikaan Pertanian, Perubahan Fisiologis Buah Mangga Selama Penyimpanan*. *Jurnal Hortikultura Indonesia*, 9(2), 77–86.
- 35(2), 120–128.
- [10] Widodo, A., & Fadhilah, S. (2017). *Preferensi Konsumen Terhadap Buah Mangga Berdasarkan Warna dan Aroma*. *Jurnal Agribisnis dan Pemasaran*, 4(3), 44–51.
- [11] Rahman, T., & Laila, F. (2019). *Perubahan Pigmen Karotenoid Selama Pematangan Buah Mangga*. *Jurnal Teknologi Pangan*, 10(2), 66–72.
- [12] Sutanto, B., & Lestari, E. (2018). *Kandungan Asam Organik Buah Mangga pada Berbagai Tingkat Kematangan*. *Jurnal Kimia dan Biokimia*, 7(1), 25–31.
- [13] Hidayah, M., & Sari, R. (2020). *Pengaruh Penyimpanan Terhadap Perubahan Fisik dan Kimia Buah Mangga Arumanis*. *Jurnal Pangan dan Agroindustri*, 8(2), 142–149.
- [14] Rahmadani, Y., & Firmansyah, T. (2021). *Analisis Impedansi Buah Tropis Menggunakan Sensor Elektromagnetik*. *Jurnal Sains Terapan*, 5(2), 77–84.