

Alat Pendeteksi Kematangan Buah Jeruk Berastagi dan Wokan Berdasarkan Tingkat Keasamaan Buah Menggunakan Sensor Spektral AS7263 dan Mikrokontroler ESP 32

Widya Veronika Sianturi¹, Mochamad Susantok²

¹Teknik Elektronika Telekomunikasi, Politeknik Caltex Riau, Pekanbaru, 28265, Indonesia

²Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi, Politeknik Caltex Riau, Pekanbaru 28265, Indonesia

Corresponding Author: santok@pcr.ac.id

Riwayat Artikel

Diserahkan: 22 Agustus 2025

Direvisi: 7 Desember 2025

Diterima: 17 Maret 2026

Dipublikasi: 31 Mei 2026

Abstrak

Penentuan tingkat kematangan buah jeruk secara akurat sangat penting untuk menjamin kualitas dan rasa. Metode manual yang mengandalkan pengamatan visual sering kali kurang akurat dan berisiko merusak buah. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan alat yang dapat mendeteksi kematangan buah jeruk dari Berastagi dan Wokan tanpa merusaknya, dengan berfokus pada tingkat keasamaan buah menggunakan sensor spektral AS7263 dan mikrokontroler ESP32. Sistem ini berfungsi dengan menganalisis pola refleksi cahaya Near-Infrared (NIR) pada panjang gelombang tertentu yang berhubungan dengan keasamaan buah sebagai indikator kematangan. Pengujian dilakukan pada jarak 0, 1, dan 2 cm, dengan hasil terbaik diperoleh pada jarak 1 cm dan kanal R, karena menunjukkan nilai reflektansi yang stabil, signifikan, dan tidak tumpang tindih antara kategori asam dan manis. Data ambang batas ditentukan melalui pengujian awal yang terlebih dahulu dicoba oleh sepuluh orang responden kemudian diukur, data tersebut selanjutnya dianalisis menggunakan grafik box plot untuk menetapkan ambang batas klasifikasi. Setelah itu, hasil klasifikasi diuji menggunakan confusion matrix untuk membandingkan akurasi sistem dengan validasi manual. Pada pengujian terhadap jeruk Berastagi, alat menunjukkan hasil yang sangat bagus dengan nilai akurasi, spesifisitas, PPV, dan NPV masing-masing mencapai 100%. tanpa ada perbedaan antara hasil klasifikasi alat dan penilaian responden. Sementara itu, pada jeruk Wokan, akurasi sebesar 86,7%, spesifisitas 87,5%, PPV 95%, dan NPV 70% dari data tersebut mengindikasikan bahwa sistem mampu membedakan rasa manis dan asam dengan tingkat presisi yang baik. Dengan demikian, alat ini berpotensi menjadi solusi praktis, efisien, dan akurat dalam membantu proses seleksi buah jeruk matang secara otomatis tanpa merusak sampel.

Kata kunci: Sensor AS7263, NIR (Near-Infrared), Non-Destruktif, Tingkat Keasamaan, Jeruk Wokan, Jeruk Berastagi.

Abstract

Accurately determining the ripeness of citrus fruits is crucial to ensure quality and flavor. Manual methods that rely on visual observation are often inaccurate and risk damaging the fruit. This study aims to design and develop a tool that can detect the ripeness of citrus fruits from Berastagi and Wokan without damaging them, focusing on the acidity level of the fruit using an AS7263 spectral sensor and an ESP32 microcontroller. This system functions by analyzing Near-Infrared

(NIR) light reflection patterns at specific wavelengths that are related to the acidity of the fruit as an indicator of ripeness. Tests were conducted at distances of 0, 1, and 2 cm, with the best results obtained at a distance of 1 cm and the R channel, because it showed stable, significant, and non-overlapping reflectance values between the sour and sweet categories. Threshold data was determined through initial testing, which was first tried by ten respondents and then measured. The data was then analyzed using a box plot graph to determine the classification threshold. After that, the classification results were tested using a confusion matrix to compare the system's accuracy with manual validation. In testing on Berastagi oranges, the tool showed excellent results with accuracy, specificity, PPV, and NPV values each reaching 100%. There was no difference between the tool's classification results and respondents' assessments. Meanwhile, on Wokan oranges, the accuracy was 86.7%, specificity 87.5%, PPV 95%, and NPV 70%. The data indicated that the system was able to distinguish sweet and sour flavors with a good level of precision. Thus, this tool has the potential to be a practical, efficient, and accurate solution in assisting the process of selecting ripe citrus fruit automatically without damaging the sample.

Keywords: AS7263 Sensor, NIR (Near-Infrared), Non-Destructive, Acidity Level, Wokan Orange, Berastagi Orange.

1. Pendahuluan

Jeruk merupakan salah satu komoditas buah yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan dikonsumsi secara luas di Indonesia [1], terutama karena kandungan nutrisi dan rasa segarnya. Untuk menjamin kepuasan konsumen, ketersediaan dan konsistensi kualitas buah di tingkat pasar menjadi sangat penting [2]. Penentuan tingkat kematangan saat panen dan sortasi menentukan kualitas akhir buah (rasio gula dan asam) dan masa simpannya. Secara umum, penentuan tingkat kematangan di pasaran masih mengandalkan pengamatan visual, seperti warna kulit [3,4,5] dan tekstur buah. Metode ini seringkali bersifat subjektif, tidak akurat, dan destruktif, yang pada akhirnya berisiko menimbulkan kerugian dan kekecewaan konsumen.

Dalam konteks ilmiah, kualitas jeruk sangat ditentukan oleh rasio Total Padatan Terlarut (TSS) terhadap Tingkat Keasaman (TA). Seiring dengan proses pematangan, kandungan asam organik (seperti asam sitrat) akan menurun seiring dengan peningkatan kadar gula, menjadikannya indikator kematangan yang

paling objektif. Untuk mengatasi keterbatasan metode konvensional, teknologi deteksi kematangan non-destruktif berbasis Near Infrared (NIR) Spectroscopy telah banyak dikembangkan [6,7,8,9]. Metode NIR memungkinkan pengukuran internal buah secara cepat tanpa merusak sampel, melalui analisis pola serapan dan pantulan cahaya yang berkorelasi dengan komponen kimia internal buah seperti asam nitrat [10].

Penelitian terdahulu telah menunjukkan potensi penggunaan sensor spektral berbiaya rendah. Sebagai contoh [11] berhasil merancang spektrometer portabel berbasis sensor AS7263 untuk mengukur Total Padatan Terlarut (TSS) dan Vitamin C pada Jeruk Siam secara non-destruktif. Meskipun demikian, sebagian besar studi terdahulu cenderung fokus pada parameter TSS atau memerlukan analisis yang kompleks dengan algoritma Machine Learning dan spektrometer benchtop yang mahal [12,13]. Sementara itu, penelitian yang secara spesifik menargetkan tingkat keasaman (TA) sebagai indikator utama kematangan jeruk lokal

Indonesia menggunakan perangkat portabel dan minimalis masih terbatas.

Pemilihan Jeruk Berastagi dan Jeruk Wokan sebagai objek penelitian didasarkan pada signifikansi ekonomi dan tantangan pemrosesan pascapanen. Jeruk Berastagi dikenal dengan karakteristik kulit yang seringkali masih hijau namun telah matang secara rasa, menjadikannya sulit disortasi secara visual. Perbandingan dengan Jeruk Wokan yang populer di pasar Indonesia juga memberikan validasi yang lebih kuat terhadap sistem yang dikembangkan di berbagai varietas dengan karakteristik kulit dan komposisi yang berbeda [14,15].

Berdasarkan latar belakang dan keterbatasan tersebut, penelitian ini menawarkan kebaruan dengan merancang prototipe alat pendeteksi kematangan jeruk yang portabel dan non-destruktif menggunakan sensor spektral AS7263 yang terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32. ESP32 dipilih karena kapabilitas pemrosesan data, konsumsi daya yang rendah, dan potensi implementasi IoT [16,17]. Kebaruan utama riset ini adalah fokus pada tingkat keasaman dan penggunaan pendekatan analisis pola spektral sederhana (bukan deep learning atau NNE yang kompleks) untuk menetapkan ambang batas klasifikasi rasa 'manis' atau 'asam'.

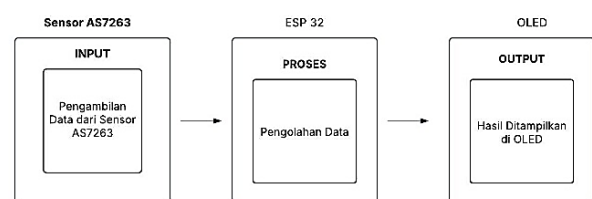
Tujuan utama dari penelitian ini adalah merancang, mengimplementasikan, dan menguji kinerja sistem pendeteksi kematangan buah jeruk Berastagi dan Wokan dengan cara mengkorelasikan pola spektral NIR (dari AS7263) dengan tingkat keasaman buah aktual, sehingga memungkinkan sortasi buah yang cepat dan akurat di tingkat lapangan.

2. Metode

Metode penelitian ini mencakup beberapa tahapan.

2.1. Blok Diagram Sistem

Blok diagram sistem yang digunakan dalam penelitian ini seperti terlihat pada Gambar 1 terdiri dari tiga tahapan utama, yaitu pengambilan data, proses, dan output. Pada tahap pengambilan data, sensor AS7263 digunakan untuk mengukur reflektansi spektral buah jeruk pada berbagai panjang gelombang. Sensor ini menghasilkan data intensitas spektral yang menjadi dasar dalam penentuan tingkat kematangan buah. Selanjutnya, pada tahap proses, data spektral yang diperoleh diterima dan dianalisis oleh mikrokontroler ESP32. Analisis dilakukan dengan membandingkan nilai reflektansi spektral terhadap threshold yang telah ditentukan sebelumnya berdasarkan hasil pengujian sensorik manual [18]. Perbandingan ini digunakan untuk menentukan kategori kematangan buah jeruk [19]. Setelah melalui proses analisis, hasil keputusan dikirimkan ke tahap output untuk divisualisasikan. Pada tahap ini, hasil pengolahan data ditampilkan melalui layar OLED [20] yang menunjukkan status kematangan buah jeruk, yaitu kategori asam atau manis. Dengan demikian, blok diagram sistem ini menggambarkan alur kerja secara menyeluruh, mulai dari pengambilan data sensor hingga penyajian informasi kematangan buah secara langsung pada display lokal.

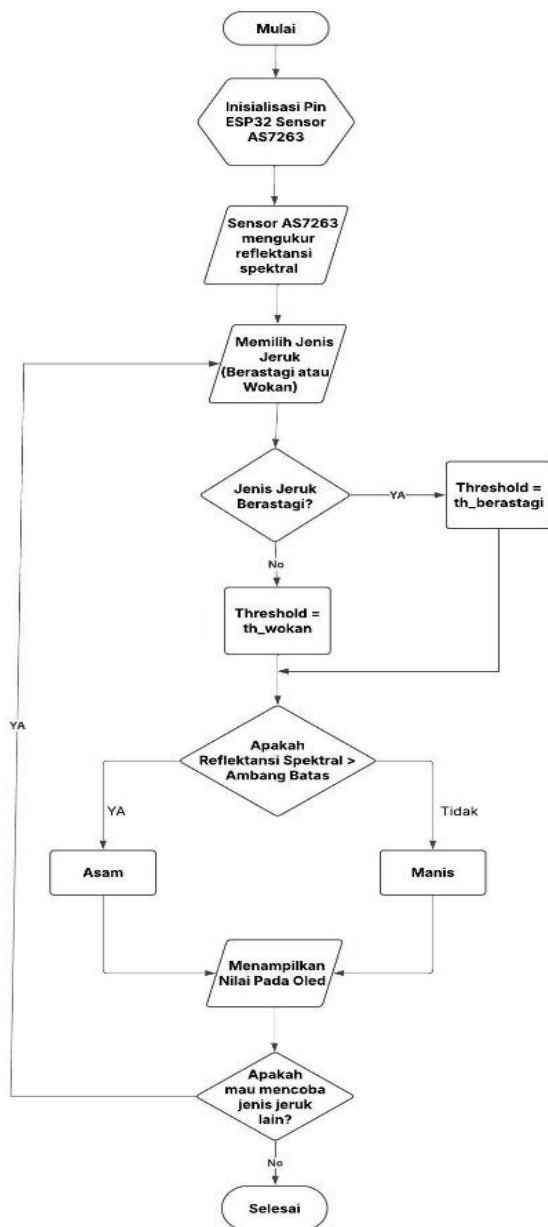


Gambar 1. Blok Diagram Sistem

2.2. Flowchart Sistem Kerja

Flowchart berfungsi untuk memberikan gambaran mengenai alur sistem kerja dari penelitian yang dirancang dalam proses klasifikasi tingkat kemanisan buah jeruk menggunakan sensor spektral. Adapun flowchart cara kerja dari sistem yang akan dibuat pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.

Pada flowchart tersebut dapat dilihat bahwa sistem dimulai dengan proses inialisasi pin pada mikrokontroler ESP32 serta sensor AS7263 yang berfungsi untuk mengukur reflektansi spektral dari buah jeruk yang diuji. Data reflektansi yang diperoleh dari sensor kemudian digunakan sebagai dasar untuk proses identifikasi jenis jeruk, apakah termasuk kategori jeruk Berastagi atau jeruk Wokan. Berdasarkan identifikasi tersebut, sistem menetapkan nilai ambang batas reflektansi spektral yang sesuai, yaitu $th_berastagi$ untuk jeruk Berastagi dan th_wokan untuk jeruk Wokan.



Gambar 2. Flowchart Sistem Kerja

Nilai reflektansi hasil pengukuran selanjutnya dibandingkan dengan ambang batas yang telah ditentukan. Apabila nilai reflektansi lebih besar dari ambang batas, maka jeruk dikategorikan sebagai asam. Sebaliknya, apabila nilai reflektansi lebih kecil atau sama dengan ambang batas, jeruk dikategorikan sebagai manis. Hasil klasifikasi ini kemudian ditampilkan pada layar OLED dalam bentuk teks sederhana, seperti “Buah Asam” atau “Buah Manis”. Selanjutnya, sistem memberikan opsi kepada pengguna untuk melanjutkan pengujian pada jenis jeruk lainnya. Jika pengguna memilih melanjutkan, maka proses kembali ke tahap pemilihan jenis jeruk, namun jika tidak, maka proses berakhir. Dengan demikian, flowchart ini menjelaskan alur kerja sistem yang mampu mengklasifikasikan tingkat kemanisan buah jeruk secara otomatis berdasarkan nilai reflektansi spektral.

2.3. Metode Pemilahan Sensorik Berbasis Pengalaman

Metode pemilahan sensorik yang berbasis pengalaman merupakan suatu proses untuk menentukan ambang batas yang didasarkan pada pengalaman manusia dalam menilai kematangan buah jeruk, dengan parameter utama berupa rasa asam dan manis. Metode ini sangat penting dalam menetapkan ambang batas reflektansi yang akan digunakan untuk penilaian tersebut. Nilai ambang batas ini diperoleh dari data pengukuran yang diambil dari berbagai sampel buah jeruk, yang sebelumnya telah diuji dan diklasifikasikan secara sensorik oleh panelis manusia. Dengan demikian, sistem ini memanfaatkan pengetahuan dan pengalaman manusia sebagai landasan dalam menetapkan ambang batas reflektansi, sehingga keputusan yang diambil oleh ESP32 mencerminkan standar sensorik manusia. Pendekatan ini memungkinkan sistem untuk mendeteksi kematangan buah jeruk dengan akurasi dan otomatisasi yang tinggi, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dalam proses seleksi buah. Setelah kategori kematangan buah ditentukan, informasi ini akan ditampilkan pada

layar OLED, memberikan hasil analisis secara langsung kepada pengguna.

2.4. Metode Pengujian

Metode pemilahan sensorik yang berbasis pengalaman merupakan suatu proses untuk menentukan ambang batas yang didasarkan pada pengalaman manusia dalam menilai kematangan buah jeruk, dengan parameter utama berupa rasa asam dan manis. Metode ini sangat penting dalam menetapkan ambang batas reflektansi yang akan digunakan untuk penilaian tersebut. Nilai ambang batas ini diperoleh dari data pengukuran yang diambil dari berbagai sampel buah jeruk, yang sebelumnya telah diuji dan diklasifikasikan secara sensorik oleh panelis manusia. Dengan demikian, sistem ini memanfaatkan pengetahuan dan pengalaman manusia sebagai landasan dalam menetapkan ambang batas reflektansi, sehingga keputusan yang diambil oleh ESP32 mencerminkan standar sensorik manusia. Pendekatan ini memungkinkan sistem untuk mendeteksi kematangan buah jeruk dengan akurasi dan otomatisasi yang tinggi, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dalam proses seleksi buah. Setelah kategori kematangan buah ditentukan, informasi ini akan ditampilkan pada layar OLED, memberikan hasil analisis secara langsung kepada pengguna.

Metode ini memanfaatkan sensor spektral AS7263 untuk mengukur reflektansi cahaya inframerah dekat (NIR) yang dipantulkan oleh permukaan buah jeruk. Keunggulan dari pengujian ini adalah sifatnya yang non-destruktif, sehingga tingkat kematangan buah dapat dianalisis tanpa merusak struktur fisiknya. Sensor AS7263 berfungsi dengan mendeteksi intensitas cahaya yang dipantulkan pada panjang gelombang tertentu. Proses pengujian dimulai dengan mengarahkan sensor ke permukaan buah jeruk untuk membaca pantulan spektrum cahaya. Data reflektansi yang diperoleh kemudian dikirim ke mikrokontroler ESP32 melalui komunikasi serial dua kabel.

Mikrokontroler tersebut membandingkan data reflektansi yang diterima dengan ambang batas yang telah ditentukan berdasarkan hasil uji sensorik sebelumnya. Jika nilai reflektansi yang terdeteksi lebih tinggi dari ambang batas, buah akan dikategorikan sebagai asam. Sebaliknya, jika nilai tersebut lebih rendah atau sesuai dengan ambang batas, buah tersebut dianggap manis. Dengan demikian, metode ini menawarkan kecepatan dan efisiensi dalam menentukan kematangan buah tanpa perlu memotong atau merusaknya.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dan pembahasan mencakup pengambilan data ambang batas nilai intensitas spectral dari beberapa sampel buah jeruk, dan kemudian pengujian pada buah divalidasi oleh responden.

3.1. Pengambilan Data Ambang Batas

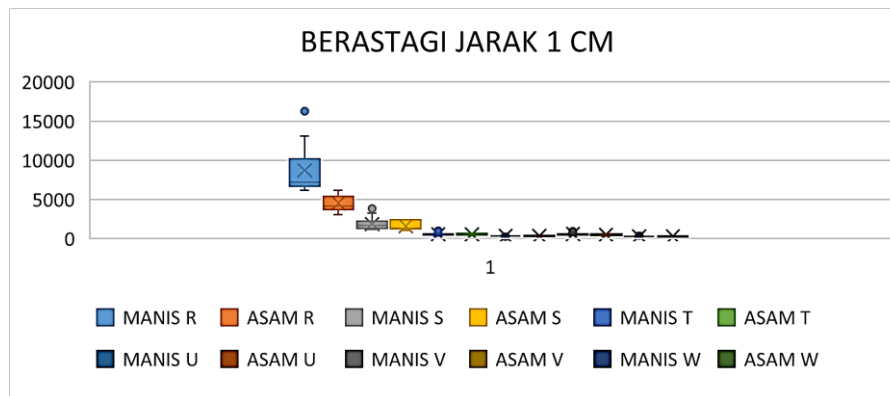
Data ambang batas diambil dengan cara membaca nilai intensitas spektral dari beberapa sampel buah pada masing-masing jarak. Setiap jenis jeruk diuji sebanyak dari beberapa jarak yang berbeda baik antara 0, 1, 2 untuk mendapatkan data yang paling signifikan. Hasil pengambilan data kemudian dicatat dalam tabel dan grafik sebagai data asam atau manis pada jarak yang berbeda beda, baik jeruk berastagi maupun woka. Berdasarkan grafik yang telah di hasilkan pada pengujian buah jarak 0, 1, 2 kondisi asam maupun manis dapat dilihat bahwa kanal R memiliki pengaruh yang cukup signifikan dibandingkan kanal lainnya (s, t, u, v, w) dan pada jarak 1 cm nilai spektral yang dihasilkan tidak tumpang tindih antara kondisi jeruk asam atau manis pada jeruk.

3.2. Penentuan Ambang Batas

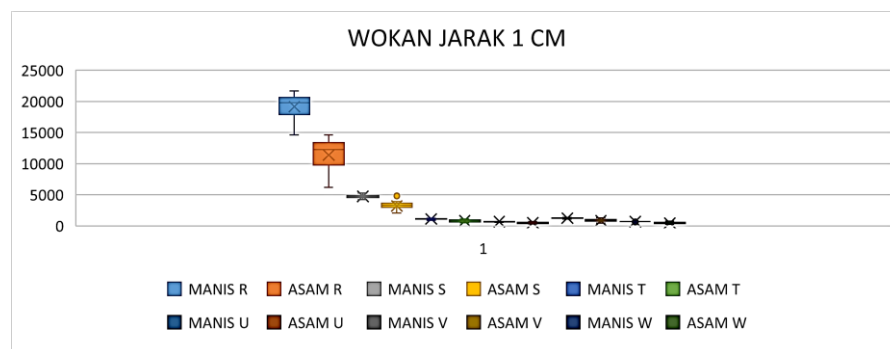
Berdasarkan pengambilan data ambang batas yang telah dilakukan, dapat dilihat pada grafik pengambilan data ambang batas. Dimana setiap jenis jeruk diuji dengan cara mengukur intensitas pantulan cahaya pada beberapa kanal, yaitu R, S, T, U, V, dan W, serta pada tiga jarak

pengukuran, yaitu 0 cm, 1 cm, dan 2 cm. Dari hasil pengamatan berdasarkan grafik pengambilan data ambang batas terhadap ketiga jenis jeruk tersebut, terlihat bahwa kanal R pada jarak 1 cm menunjukkan perbedaan yang paling konsisten dan signifikan antara sampel jeruk

dengan rasa manis dan asam. Untuk jeruk Berastagi dan wokan nilai kanal R pada jarak 1 cm menunjukkan perbedaan yang jelas, di mana sampel yang memiliki rasa manis memiliki nilai intensitas yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan sampel yang memiliki rasa asam.



Gambar 3. Grafik Ambang Batas Jeruk Berastagi



Gambar 4. Grafik Ambang Batas Jeruk Wokan

Gambar 3 merupakan hasil analisis grafik boxplot nilai spektral kanal R, kisaran nilai spektral buah manis (MANIS R) di Berastagi adalah antara 6.000 hingga 16.000, dengan sebagian besar data terdistribusi pada rentang 7.000 hingga 10.000. Bagi buah asam (ASAM R), nilai spektralnya lebih rendah, yaitu sekitar 3.000 hingga 6.000, dengan sebagian besar data terdistribusi pada rentang 4.000 hingga 5.000. Kedua kategori buah ini memiliki nilai minimum dan maksimum yang cukup dekat, namun analisis grafik menunjukkan perbedaan yang cukup jelas untuk membatasi batas akurat. Dari hasil analisis grafik, batas nilai spektral kanal R ditetapkan sebesar 6.500. Buah dengan nilai spektral kanal R yang lebih dari 6.500 akan

dikategorikan sebagai manis, sedangkan buah dengan nilai kurang dari atau sama dengan 6.500 dikategorikan sebagai asam. Penentuan batas ini dilakukan berdasarkan kecenderungan distribusi nilai pada grafik untuk mengurangi kemungkinan kesalahan klasifikasi.

Gambar 4 merupakan hasil analisis grafik boxplot nilai spektral channel R, kisaran nilai spektral buah manis (MANIS R) cenderung lebih tinggi, dengan sebagian besar data terdistribusi pada rentang 15.000 hingga 22.000, sedangkan buah asam (ASAM R) memiliki nilai spektral lebih rendah, sekitar 7.000 hingga 15.000. Meskipun rentang nilai spektral kedua kategori ini memiliki batas bawah dan atas yang berdekatan, perbedaan distribusi pada grafik

memungkinkan penentuan ambang batas yang memisahkan keduanya dengan lebih optimal. Ambang batas kanal R ditetapkan sebesar 14.000, sehingga buah dengan nilai spektral kanal R di atas 14.000 dikategorikan sebagai manis, sedangkan buah dengan nilai spektral kanal R kurang dari atau sama dengan 14.000 dikategorikan sebagai asam. Penetapan ambang batas ini didasarkan pada kecenderungan distribusi nilai pada grafik untuk meminimalkan kesalahan klasifikasi.

Alasan lain yang mendasari pemilihan jarak 1 cm adalah faktor teknis dalam proses pengambilan data. Pengukuran pada jarak 0 cm, yaitu ketika sensor ditempel langsung ke permukaan objek, cenderung menghasilkan pantulan cahaya yang langsung dan bisa menyebabkan data tidak stabil serta terpengaruh oleh gangguan eksternal seperti refleksi langsung dari sensor itu sendiri. Sementara itu, pada jarak 1 cm, sensor menerima pantulan cahaya yang lebih merata, sehingga data yang dihasilkan lebih stabil dari permukaan jeruk. Hal ini terlihat dari data yang lebih konsisten dan rapi pada jarak 1 cm dibandingkan dengan data pada jarak 0 cm. Sedangkan pada jarak 2 cm, tidak ada perbedaan yang signifikan antara kategori asam dan manis, sehingga data mengalami tumpang tindih.

Dengan mempertimbangkan hasil data, pola yang konsisten antara rasa manis dan asam, serta kestabilan dalam proses pengukuran, maka kanal R pada jarak 1 cm dipilih sebagai dasar untuk menentukan ambang batas klasifikasi rasa jeruk. Kanal ini menunjukkan perbedaan nilai yang paling jelas antara rasa manis dan asam, sehingga memudahkan proses identifikasi. Oleh karena itu, pilihan ini dianggap paling tepat berdasarkan data dan kondisi teknis yang ada.

3.3. Pengujian Ambang Batas Kematangan Buah

Pengujian ambang batas kematangan buah dilakukan untuk menentukan nilai tertentu yang berfungsi sebagai dasar dalam membedakan

tingkat kematangan buah jeruk wokan dan berastagi. Proses penentuan nilai ambang batas ini sangat penting agar perangkat dapat mengenali tingkat kematangan buah secara tepat dan konsisten, sesuai dengan hasil yang didapat dari sensor spektral AS7263.

Pada tahap pengujian ambang batas kematangan buah, program ini digunakan untuk membandingkan nilai yang dibaca oleh sensor spektral AS7263 dengan ambang batas yang sudah ditentukan sebelumnya. Awalnya, program menampilkan nilai kanal R menggunakan perintah `Serial.println(R)`, karena nilai tersebut bertindak sebagai acuan dalam mendeteksi kematangan buah. Variabel status disediakan untuk menyimpan hasil deteksi dalam bentuk kategori, yaitu Jeruk Asam atau Jeruk Manis. Kemudian, program melakukan percabangan kondisi dengan menggunakan perintah `if` berdasarkan jenis buah yang dipilih, yaitu Jeruk Brastagi atau Jeruk Wokan.

Pada Tabel 1 merupakan hasil pengujian alat Dimana jika nilai kanal R lebih dari 6.500 akan dikategorikan sebagai manis, sedangkan buah dengan nilai kurang dari atau sama dengan 6.500 dikategorikan sebagai asam pada jeruk berastagi. Sementara itu pada Tabel 2 untuk Jeruk Wokan, ambang batasnya diatur nilai spektral kanal R di atas 14.000 dikategorikan sebagai manis, sedangkan buah dengan nilai spektral kanal R kurang dari atau sama dengan 14.000 dikategorikan sebagai asam.

Tabel 1. Data Pengujian Alat Pada Jeruk Berastagi

DATA PENGUJIAN ALAT (JERUK BERASTAGI)		
Pengujian	Nilai R	Hasil Tampilan Oled
1	15580	MANIS
2	14873	MANIS
3	9124	MANIS
4	7113	MANIS
5	11241	MANIS
6	13254	MANIS
7	15489	MANIS
8	12477	MANIS
9	19092	MANIS
10	16383	MANIS
11	9619	MANIS
12	12599	MANIS
13	15556	MANIS
14	18835	MANIS
15	18357	MANIS
16	17740	MANIS
17	11253	MANIS
18	11187	MANIS
19	16066	MANIS
20	15997	MANIS
21	3066	ASAM
22	5841	ASAM
23	5716	ASAM
24	3113	ASAM
25	2966	ASAM
26	2637	ASAM
27	3265	ASAM
28	3602	ASAM
29	5769	ASAM
30	4834	ASAM

Tabel 2. Data Pengujian Alat Pada Jeruk Wokan

DATA PENGUJIAN ALAT (JERUK WOKAN)		
Pengujian	Nilai R	Hasil Tampilan Oled
1	16440	MANIS
2	14549	MANIS
3	17782	MANIS
4	20902	MANIS
5	15004	MANIS
6	14675	MANIS
7	15106	MANIS
8	18547	MANIS
9	19376	MANIS
10	14997	MANIS
11	14236	MANIS
12	17933	MANIS
13	15565	MANIS
14	16705	MANIS
15	15056	MANIS
16	12100	ASAM
17	17049	MANIS
18	15859	MANIS
19	18038	MANIS
20	19185	MANIS
21	13761	ASAM
22	5883	ASAM
23	8856	ASAM
24	17261	MANIS
25	19040	MANIS
26	6134	ASAM
27	9774	ASAM
28	16090	MANIS
29	13873	ASAM
30	7419	ASAM

3.4. Analisis Kinerja Klasifikasi Kematangan dengan Validasi Responden

Pada tahap ini, kinerja klasifikasi kematangan buah yang dihasilkan oleh sistem sensor spektral (AS7263 dan ESP32) diuji validitasnya dengan membandingkan hasilnya terhadap Nilai Referensi (Ground Truth) Sensoris yang diperoleh melalui panel sepuluh orang responden pencicip. Responden, yang

sebelumnya telah digunakan untuk membantu menetapkan ambang batas spektral awal, bertugas kembali mengevaluasi rasa buah jeruk Berastagi dan Wokan secara langsung (Manis atau Asam). Hasil klasifikasi alat kemudian dibandingkan dengan hasil penilaian responden, yang dirangkum dalam bentuk Confusion Matrix seperti yang disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Confusion Matrix Buah Berastagi

		Hasil Klasifikasi Manusia	
		Manis	Asam
Hasil Klasifikasi Alat	Manis	TP 20	FN 0
	Asam	FP 0	FN 10

$$\text{Akurasi} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} = \frac{20 + 10}{30} = \frac{30}{30}$$

$$= 1 \times 100 = 100\%$$

$$\text{Spesifitas} = \frac{TN}{TN + FP} = \frac{10}{10 + 0} = \frac{10}{10}$$

$$= 1 \times 100 = 100\%$$

$$\text{NPV} = \frac{TN}{TN + FN} = \frac{10}{10 + 0} = \frac{10}{10}$$

$$= 1 \times 100 = 100\%$$

$$\text{PPV} = \frac{TP}{TP + FP} = \frac{20}{20 + 0} = \frac{20}{20}$$

$$= 1 \times 100 = 100\%$$

Tabel 3 menunjukkan Confusion Matrix untuk pengujian Jeruk Berastagi. Dari total 30 sampel yang diuji, sistem menunjukkan tingkat akurasi yang sangat tinggi (100%) dalam mengklasifikasikan kematangan buah.

Untuk Jeruk Wokan, kinerja alat menunjukkan sedikit penurunan akurasi, yang diuraikan dalam Tabel 6. Dari total 30 sampel yang diuji, didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4. Confusion Matrix Buah Wokan

		Hasil Klasifikasi Manusia	
		Manis	Asam
Hasil Klasifikasi Alat	Manis	TP 19	FN 3
	Asam	FP 1	FN 7

$$\text{Akurasi} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} = \frac{19 + 7}{30} = \frac{26}{30}$$

$$= 0,86,66 \times 100 = 86,7\%$$

$$\text{Spesifitas} = \frac{TN}{TN + FP} = \frac{7}{7 + 1} = \frac{7}{8} = 0,875 \times 100$$

$$= 87,5\%$$

$$\text{NPV} = \frac{TN}{TN + FN} = \frac{7}{7 + 3} = \frac{7}{10} = 0,7 \times 100$$

$$= 70\%$$

$$\text{PPV} = \frac{TP}{TP + FP} = \frac{19}{19 + 1} = \frac{19}{20} = 0,95 \times 100$$

$$= 95\%$$

Dengan demikian, akurasi total klasifikasi untuk Jeruk Wokan adalah 86.67%. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa varietas Wokan, dengan kemungkinan perbedaan komposisi kulit atau kimia, memberikan tantangan yang lebih besar dalam penentuan ambang batas spektral dibandingkan varietas Berastagi.

3.5. Analisis Hasil Klasifikasi Alat dan Validasi Manusia

Untuk mengevaluasi bagaimana baiknya alat pendeteksi kematangan buah berdasarkan rasa (manis atau asam), digunakan metode confusion matrix. Evaluasi ini melibatkan empat hal utama, yaitu True Positive (TP), True Negative (TN), False Positive (FP), dan False Negative (FN). Dari empat hal ini, kemudian dihitung beberapa metrik evaluasi seperti akurasi, spesifitas, Positive Predictive Value (PPV), dan Negative Predictive Value (NPV). Berdasarkan table 3.2 tabel confusion matrix buah merupakan hasil pengujian terhadap 30 kali pengujian, dimana jeruk Berastagi, alat menunjukkan hasil yang sangat bagus dengan nilai akurasi, spesifitas, PPV, dan NPV masing-masing mencapai 100%. Hal ini menunjukkan bahwa semua klasifikasi rasa yang dilakukan alat sesuai dengan hasil uji yang dilakukan manusia, tanpa ada kesalahan sama sekali. Sementara itu, pada pengujian terhadap jeruk Wokan, dari 30 pengujian yang diuji, diperoleh nilai akurasi sebesar 86,7%, spesifitas 87,5%, PPV 95%, dan NPV 70%. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa alat tetap

bekerja dengan baik, meskipun masih terdapat beberapa kesalahan klasifikasi, khususnya dalam memprediksi rasa asam (false negative). Oleh karena itu, meskipun alat menunjukkan kinerja yang baik pada varietas Berastagi, pada varietas Wokan diperlukan pengecekan lebih lanjut untuk meningkatkan keandalannya dalam membedakan rasa buah secara konsisten.

3.6. Implementasi dan Penggunaan Alat

Pada Gambar 5.a adalah hasil perancangan alat, dimana terdapat tombol ON/OFF untuk menghidupkan alat, disebelah kiri terdapat tombol push button untuk melanjutkan proses pengukuran buah dan disebelah kiri push button terdapat switch toggle untuk memilih buah



(a)



(b)



(c)

Gambar 5. Tahapan Melakukan Pengukuran, a. Alat Pendeteksi Kematangan Buah, b. Proses pendetesian kematangan buah, c. Tampilan Hasil pada LCD

4. Kesimpulan

Penelitian ini sukses merancang dan mengimplementasikan prototipe alat pendeteksi kematangan jeruk secara non-destruktif berdasarkan tingkat keasaman, memanfaatkan sensor spektral AS7263 dan mikrokontroler ESP32. Analisis spektral menunjukkan bahwa Kanal R pada sensor AS7263 merupakan kanal pengukuran optimal yang paling signifikan berkorelasi dengan perbedaan rasa manis dan asam.

Hasil validasi sensoris menegaskan kinerja alat yang sangat baik, terutama pada Jeruk Berastagi, di mana akurasi klasifikasi mencapai 100% (dengan spesifisitas, PPV, dan NPV masing-masing 100%). Keberhasilan mutlak ini disebabkan oleh perbedaan intensitas spektral yang jelas antara kelompok rasa manis dan asam pada varietas Berastagi, memungkinkan penetapan ambang batas klasifikasi yang presisi. Sementara itu, pada Jeruk Wokan, akurasi klasifikasi tercatat sebesar 86,7%, yang mengindikasikan adanya tantangan dari variasi komposisi kimia internal yang lebih kompleks, meskipun alat tetap menunjukkan kemampuan deteksi yang memadai (PPV 95%, NPV 70%).

Secara keseluruhan, prototipe yang dikembangkan ini menawarkan solusi low-cost yang efektif untuk sortasi cepat di tingkat lapangan. Untuk meningkatkan akurasi dan ketahanan sistem (robustness), pengembangan selanjutnya disarankan berfokus pada penerapan metode Machine Learning atau regresi non-linear yang lebih canggih, serta pengujian ekstensif pada sampel buah yang lebih banyak dan bervariasi.

Daftar Pustaka

[1] S. M. Manurung, *Analisis Kinerja Perdagangan Jeruk*, vol. 13. Jakarta: Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Kementerian Pertanian, 2023.

- [2] Z. Helmy, Y. T. Suci, dan S. Sirai, "Deteksi cepat kualitas internal produk pertanian secara non destruktif dengan *low cost near infrared spectroscopy* (NIRS) (Review)," *Journal of Agriculture and Human Resource Development Studies*, vol. 4, no. 1, hlm. 27-44, 2023.
- [3] A. Azizi, "Klasifikasi tingkat kekeringan chips ubi kayu (*Manihot esculenta*) dengan analisis citra digital menggunakan pendekatan analisis warna dan tekstur," Tesis Magister, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia, 2017.
- [4] D. Monica, "Perancangan sistem pendeteksi kematangan buah dengan segmentasi warna berbasis mikrokontroler Mappi32," Skripsi Sarjana, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia, 2024.
- [5] F. Rahmadini, E. Julianti, dan Z. Lubis, "Warna kulit dan komposisi kimia buah asam gelugur (*Garcinia atroviridis* Griffith et Anders.) pada tingkat kematangan yang berbeda," *AGROINTEK: Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, vol. 14, no. 2, hlm. 270-277, 2020.
- [6] B. M. Nicolai et al., "Nondestructive measurement of fruit quality by means of Vis/NIR spectroscopy: A review," *Postharvest Biology and Technology*, vol. 46, no. 1, hlm. 99–108, Apr. 2007
- [7] R. Nafisah, "Penentuan tingkat kematangan buah stroberi secara non-destruktif menggunakan *Near Infrared Spectroscopy* (NIRS)," Skripsi Sarjana, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia, 2019.
- [8] D. Suhandy, "Penentuan kandungan padatan terlarut buah jeruk BW secara tidak merusak menggunakan *Near Infrared Spectroscopy*," *AGRITECH*, vol. 30, no. 2, 2010.
- [9] Winarto, Y. Meinilwita, dan D. S. Diding, "Penentuan kadar gula buah salak secara tidak merusak menggunakan *Near Infrared* (NIR) *Spectroscopy* dan *Interval*

- Partial Least Squares (IPLS) Regression*," *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian*, vol. 11, no. 1, hlm. 1-10, 2014.
- [10] V. Rararizky, "Pengaruh tingkat kematangan buah dan konsentrasi penambahan asam sitrat terhadap karakteristik fisik, kimia, dan organoleptik *jelly* jambu biji merah (*Psidium Guajava* Linn)," Skripsi Sarjana, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia.
- [11] S. Sulistyio et al., "Portable Near Infrared Spectrometer dengan sensor AS7263 untuk pendugaan sifat kimia jeruk siam (*Citrus Nobilis*) secara non-destruktif," *Jurnal Teknologi Pertanian*, vol. 22, no. 2, hlm. 81-88, Agu. 2021.
- [12] H.-Y. Shyu, C.-H. Huang, dan Y.-C. Chen, "Development of a soft sensor using machine learning algorithms for predicting wastewater quality indicators," *Sustainability*, vol. 15, no. 13, Art. no. 10347, Jul. 2023, doi: 10.3390/su151310347.
- [13] M. Gholizadeh, M. H. Gholizadeh, dan A. R. Gholizadeh, "Machine learning-based prediction of effluent total suspended solids in wastewater treatment plant using artificial neural network-multilayer perceptron," *J. Environ. Manage.*, vol. 351, Art. no. 119785, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.jenvman.2024.119785.
- [14] E. S. Br. Tarigan, "Karakteristik fungi kontaminan pascapanen buah jeruk madu khas Berastagi," *Repositori UMA*, Medan, Indonesia, 2024.
- [15] E. S. Iriani, "Pengaruh perlakuan degreening terhadap kualitas buah jeruk valencia," *J. Penelit. Pascapanen Pertan.*, vol. 12, no. 2, pp. 85-92, 2015.
- [16] W. Indani, A. E. Lumban Gaol, and S. Wahyuni, "Sistem Pemantauan Berat Buah Kelapa Sawit Berbasis Internet of Things (IoT)," *elementer*, vol. 10, no. 1, May 2024.
- [17] H. Azwar and F. Gary, "Implementasi Transport Layer Security dengan Algoritma AES untuk Meningkatkan Keamanan Komunikasi pada Jaringan IoT Berbasis MQTT Menggunakan ESP32," *elementer*, vol. 11, no. 1, pp. 60-66, May 2025.
- [18] A. Amrozi, R. R. Hakim, dan A. F. Rochim, "Klasifikasi kematangan buah jeruk berdasarkan citra digital menggunakan metode support vector machine," *J. Ilmu Komput. dan Desain Komun. Vis.*, vol. 4, no. 1, pp. 1-10, Jul. 2019.
- [19] I. A. Prasetya, A. N. Hidayanto, dan R. R. Adhitya, "Klasifikasi kualitas buah jeruk menggunakan computer vision dengan model YOLOv8," *J. Saintek*, vol. 10, no. 1, pp. 45-56, 2024. doi: 10.12345/sainstek.2024.8346.
- [20] P. Yoghaswara, A. Pratama, dan R. Setiawan, "Rancang bangun alat deteksi kematangan buah pepaya berdasarkan warna kulit buah menggunakan Arduino, TCS3200, LCD, dan buzzer," *Cyclotron J. Tek. Elektro*, vol. 8, no. 2, pp. 1-10, Aug. 2023. doi: 10.33005/cyclotron.v8i2.19216.