pISSN : 0852-0232, eISSN : 2656-582X DOI : 10.14710/gt.v23i1.xxxxx

PERANCANGAN ALAT DETEKSI KEMATANGAN BUAH ALPUKAT MENTEGA BERBASIS ESP32 MENGGUNAKAN SENSOR TCS3200 DAN SENSOR MQ135 DENGAN MONITORING GOOGLE SPREADSHEET

Hanifan Arya Genio [1)], Arkhan Subari [2)]
[1)]Program Studi Str. Teknik Listrik Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
**E-mail : arkhansubari@live.undip.ac.id*

ABSTRACT

Manually determining the ripeness of butter avocados based on skin color and aroma tends to be subjective, so a more objective measurement system is needed. This study designed an ESP32-based butter avocado ripeness detection device by integrating a TCS3200 color sensor and an MQ135 gas sensor. The TCS3200 was used to obtain red and green color parameters, while the MQ135 was used to detect changes in gases or volatile compounds around the fruit. Data from both sensors were processed using a rule-based system with threshold values derived from testing 50 fruit samples grouped into unripe, semi-ripe, ripe, and rotten categories. The test results showed that red and green values tended to decrease from the unripe to the rotten stages, while MQ135 values increased from 83–88 PPM in unripe fruit to 103–113 PPM in rotten fruit. The system successfully displayed the classification results on an LCD screen and automatically sent the readings to a Google Spreadsheet via Wi-Fi. These results demonstrate that the integration of color sensors, gas sensors, the ESP32, and cloud-based monitoring can be applied to support the automatic detection of butter avocado ripeness.

Keywords: *Butter Avocado, ESP32, TCS3200, MQ135, Rule-Based System, Google Spreadsheet*

PENDAHULUAN

Alpukat mentega merupakan komoditas hortikultura yang mengalami proses pematangan setelah dipanen. Selama proses tersebut, karakteristik buah berubah secara bertahap, antara lain pada warna kulit, tekstur, aroma, dan senyawa volatil. Dalam praktiknya, penentuan tingkat kematangan masih banyak dilakukan melalui pengamatan visual dan perabaan. Cara tersebut mudah dilakukan, tetapi hasilnya sangat dipengaruhi pengalaman pengamat, kondisi pencahayaan, serta karakteristik masing-masing buah sehingga klasifikasi antarpengguna dapat berbeda.

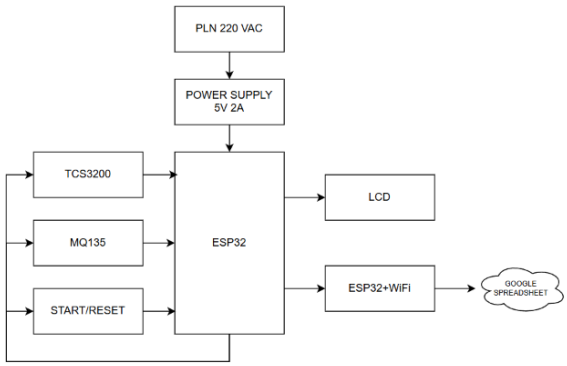
Pendekatan berbasis sensor dapat digunakan untuk mengurangi subjektivitas tersebut. Sensor TCS3200 mengubah intensitas cahaya yang dipantulkan permukaan objek menjadi sinyal frekuensi dan dapat digunakan untuk memperoleh komponen warna. Penggunaan interval pembacaan sekitar 0,5 detik pada sistem berbasis TCS3200 dilaporkan mampu menghasilkan pembacaan warna yang konsisten [1]. Namun, karakteristik warna saja belum selalu cukup karena perubahan warna alpukat pada beberapa tingkat kematangan dapat berdekatan.

Untuk menambah informasi kondisi buah, penelitian ini juga menggunakan sensor MQ135. Sensor tersebut merupakan sensor gas berbasis semikonduktor yang merespons perubahan komposisi gas di lingkungan. Sebelum digunakan, MQ135 memerlukan proses pemanasan agar pembacaan lebih stabil. Literatur yang digunakan pada penelitian menunjukkan waktu pemanasan operasional sekitar 2–3 menit setelah sensor melewati proses pengondisian awal [2], [3]. Pada penelitian ini, keluaran MQ135 tidak diperlakukan sebagai pengukuran spesifik satu jenis gas, tetapi sebagai indeks relatif perubahan respons sensor terhadap komposisi gas di sekitar buah.

Data warna dan gas kemudian diproses oleh ESP32 menggunakan rule-based system. ESP32 dipilih karena mampu melakukan pembacaan sensor, pengolahan data, penampilan hasil, dan komunikasi WiFi dalam satu perangkat. Data hasil pengujian juga dikirim ke Google Spreadsheet sehingga riwayat pembacaan dapat disimpan dan dipantau secara daring. Dengan demikian, penelitian ini berfokus pada perancangan sistem deteksi kematangan alpukat mentega yang menggabungkan parameter warna dan gas serta monitoring berbasis cloud.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan melalui tahapan perancangan perangkat keras, pembuatan perangkat lunak, kalibrasi dan penentuan nilai ambang, pengujian sensor, serta pengujian sistem secara keseluruhan. Sistem menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali, sensor TCS3200 sebagai masukan warna, sensor MQ135 sebagai masukan gas, LCD I2C 16×2 sebagai tampilan lokal, tombol start dan reset sebagai antarmuka pengguna, serta Google Spreadsheet sebagai media monitoring.



Gambar 1. Diagram blok sistem

Sumber tegangan sistem berasal dari jaringan 220 VAC yang dikonversi menjadi 5 VDC menggunakan power supply 5 V 2 A. ESP32 menerima data dari TCS3200 dan MQ135, memproses kombinasi nilai sensor, menampilkan hasil pada LCD, dan mengirimkan hasil pengukuran ke Google Spreadsheet melalui jaringan WiFi. Ruang uji dibuat tertutup untuk membantu menjaga posisi buah dan sensor tetap relatif seragam selama pengukuran.

Pembacaan Sensor TCS3200

Sensor TCS3200 digunakan untuk memperoleh nilai warna merah (R) dan hijau (G). Keluaran sensor berupa durasi pulsa yang dibaca menggunakan fungsi pulseIn() pada ESP32. Nilai tersebut dinormalisasi ke rentang RGB 8-bit menggunakan persamaan berikut:

$$RGB = 255 \times (2000 - x) / 1980$$

dengan x adalah hasil pembacaan pulseIn() dalam mikrodetik, 20 merupakan batas minimum pembacaan yang ditetapkan pada program, dan 2000 merupakan batas maksimum. Pemetaan dilakukan secara terbalik karena frekuensi keluaran TCS3200 berbanding lurus dengan intensitas cahaya, sedangkan pulseIn() menghasilkan durasi pulsa. Nilai R dan G yang diperoleh selanjutnya digunakan dalam proses klasifikasi.

Pembacaan Sensor MQ135

MQ135 terhubung ke GPIO 35 ESP32 dan dibaca melalui ADC 12-bit. Sebelum pengambilan data, sensor dipanaskan selama sekitar tiga menit. Nilai ADC dikonversi menjadi tegangan GPIO, tegangan keluaran sensor, dan resistansi sensor menggunakan persamaan:

$$VGPIO = (ADC \times 3{,}3) / 4095$$
$$VAO = VGPIO \times 1{,}5$$
$$Rs = RL \times (VCC - VAO) / VAO$$
$$PPM = (3{,}6 / (Rs/Ro)) \times 100$$

Nilai Ro hasil kalibrasi pada penelitian sebesar 10,56 kΩ. Setiap sampel dibaca sebanyak 10 kali dengan jeda 1000 ms kemudian nilai PPM dirata-ratakan untuk mengurangi fluktuasi pembacaan. Nilai PPM tersebut digunakan sebagai indeks relatif respons sensor dan bukan sebagai pengukuran selektif satu gas tertentu.

Rule-Based System

Klasifikasi dilakukan dengan membandingkan nilai R, G, dan MQ135 terhadap threshold yang ditetapkan dari hasil pengujian sampel. Empat kategori yang digunakan adalah mentah, mengkal, matang, dan busuk. Rentang threshold yang diterapkan pada program ditunjukkan pada Tabel 1.

Kategori	Merah (R)	Hijau (G)	MQ135 (PPM)
Mentah	138–185	138–180	82–88
Mengkal	111–137	101–137	89–95
Matang	77–110	72–100	96–102
Busuk	0–76	0–71	103–113

Tabel 1. Nilai threshold klasifikasi kematangan

HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pengujian Sensor TCS3200

Pengujian dilakukan terhadap 50 sampel alpukat mentega dengan kategori mentah, mengkal, matang, dan busuk. Posisi sensor, jarak terhadap permukaan buah, dan kondisi ruang pengujian dibuat relatif sama. Hasil menunjukkan kecenderungan penurunan nilai merah dan hijau seiring perubahan kondisi buah menuju pembusukan. Ringkasan rentang hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 2.

Kategori	Rentang R	Rentang G
Mentah	140–179	140–176
Mengkal	114–137	104–134
Matang	80–108	71–97
Busuk	4–64	5–59

Tabel 2. Rentang hasil pengujian TCS3200

Pada buah mentah, kulit masih menunjukkan karakter warna yang lebih terang sehingga nilai R dan G relatif tinggi. Seiring proses pematangan, warna kulit menjadi lebih gelap dan nilai pembacaan menurun. Kondisi busuk menghasilkan rentang paling rendah. Pemisahan rentang pada hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai R dan G dapat digunakan sebagai parameter utama untuk membedakan perubahan kondisi buah pada sistem yang dirancang.

Pengujian Sensor MQ135

Sensor MQ135 diuji pada 50 sampel yang sama. Hasil pembacaan menunjukkan pola yang berlawanan dengan sensor warna, yaitu nilai MQ135 cenderung meningkat seiring perubahan kondisi buah dari mentah menuju busuk. Rentang nilai yang diperoleh adalah 83–88 PPM untuk mentah, 90–95 PPM untuk mengkal, 96–101 PPM untuk matang, dan 103–113 PPM untuk busuk. Nilai rata-rata masing-masing kategori berturut-turut sebesar 86,08; 92,54; 97,62; dan 108,55 PPM.

Pada data pengujian tidak ditemukan tumpang tindih antarrentang kategori. Meskipun demikian,

MQ135 tetap memiliki keterbatasan karena responsnya dapat dipengaruhi suhu, kelembapan, sirkulasi udara, serta keberadaan berbagai gas lain di sekitar sensor. Oleh karena itu, penggunaan MQ135 sebagai satu-satunya parameter tidak menjadi fokus sistem; nilai sensor digunakan sebagai parameter pendukung yang dikombinasikan dengan informasi warna dari TCS3200.

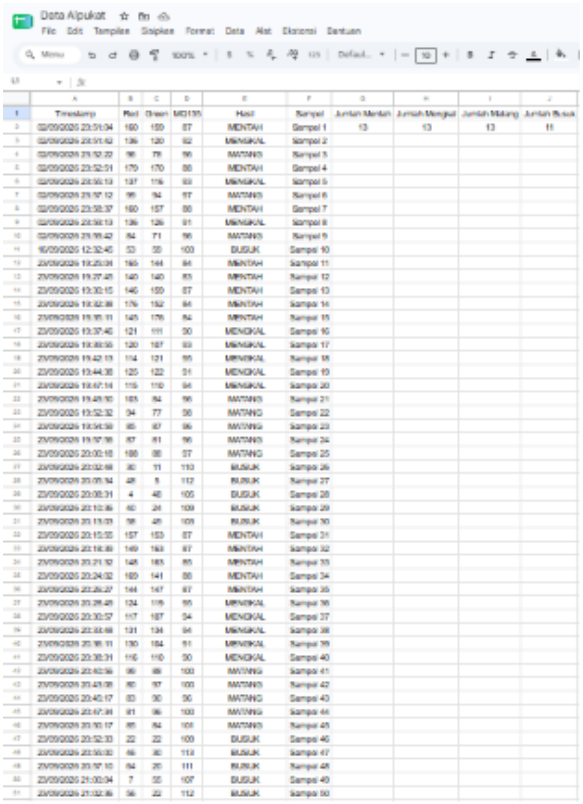


Gambar 2. Konstruksi alat deteksi kematangan

Prototipe dibuat menggunakan konstruksi MDF dengan ruang kontrol pada bagian atas dan ruang deteksi pada bagian bawah. Sensor ditempatkan mengarah ke buah untuk memperoleh pembacaan warna dan gas, sedangkan LCD serta tombol pengoperasian ditempatkan pada bagian depan alat. Pemisahan ruang kontrol dan ruang deteksi membantu penataan komponen dan membuat proses pengujian lebih konsisten.

Pengujian Monitoring Google Spreadsheet

Pengujian monitoring dilakukan untuk memastikan data hasil pembacaan dapat dikirimkan secara otomatis melalui jaringan WiFi. Data yang dikirim mencakup timestamp, nilai Red, Green, MQ135, hasil klasifikasi, dan identitas sampel. Hasil pengujian menunjukkan data dapat diterima dan tersimpan pada Google Spreadsheet sehingga proses pencatatan tidak perlu dilakukan secara manual.



Gambar 3. Hasil monitoring pada Google Spreadsheet

Integrasi tersebut memungkinkan hasil pengujian dilihat kembali untuk keperluan evaluasi. Google Spreadsheet pada sistem ini berfungsi sebagai data logging sekaligus media monitoring, sedangkan keputusan klasifikasi tetap dilakukan pada ESP32. Dengan demikian, koneksi internet tidak mengubah logika klasifikasi utama, tetapi mendukung dokumentasi hasil pengukuran.

Pengujian Sistem Keseluruhan

Pada pengujian keseluruhan, sensor TCS3200 dan MQ135 dibaca secara bersamaan kemudian datanya diproses menggunakan rule-based system. Hasil klasifikasi ditampilkan pada LCD dan selanjutnya dikirimkan ke Google Spreadsheet. Pengujian fungsional menunjukkan bahwa sensor TCS3200, sensor MQ135, rule-based system, fungsi input-output, serta monitoring Google Spreadsheet dapat dijalankan sesuai rancangan. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi perangkat keras dan perangkat lunak telah memenuhi fungsi utama sistem.

No.	Aspek Pengujian	Hasil
1	Sensor TCS3200	Berhasil
2	Sensor MQ135	Berhasil
3	Rule-Based System	Berhasil
4	Input dan Output Sistem	Berhasil
5	Monitoring Google Spreadsheet	Berhasil

Tabel 3. Ringkasan pengujian sistem

PEMBAHASAN

Hasil pengujian memperlihatkan bahwa kedua sensor memberikan kecenderungan respons yang berbeda tetapi saling melengkapi. Pada TCS3200, nilai merah dan hijau menurun ketika warna kulit alpukat menjadi lebih gelap. Sebaliknya, MQ135 menunjukkan peningkatan nilai ketika kondisi buah bergerak dari mentah menuju busuk. Pola yang berlawanan tersebut memberikan dua sumber informasi yang berbeda, yaitu perubahan karakteristik optik permukaan buah dan perubahan kondisi gas di sekitar buah. Dalam rancangan ini, penggabungan kedua parameter digunakan untuk mengurangi ketergantungan sistem terhadap satu jenis sensor.

Pemilihan threshold dilakukan secara empiris berdasarkan sampel yang diuji. Karena itu, nilai threshold tidak dapat dipahami sebagai batas universal untuk seluruh alpukat mentega. Variasi ukuran buah, kondisi permukaan kulit, posisi sensor, intensitas cahaya, suhu, kelembapan, serta sirkulasi udara dapat menggeser hasil pembacaan. Kondisi tersebut penting karena rentang pengujian yang tidak saling tumpang tindih pada 50 sampel belum secara otomatis membuktikan bahwa sistem akan selalu menghasilkan pemisahan yang sama pada populasi buah yang lebih luas. Dengan demikian, hasil penelitian lebih tepat menunjukkan kelayakan teknis prototipe dan konsistensi pola pada kondisi pengujian yang digunakan.

Dari sisi sensor warna, penggunaan ruang deteksi membantu membatasi perubahan pencahayaan dari lingkungan. Meskipun demikian, permukaan kulit alpukat tidak selalu homogen sehingga orientasi buah terhadap sensor dapat menghasilkan pembacaan berbeda. Pengembangan berikutnya dapat menggunakan beberapa titik pembacaan warna atau sensor dengan kemampuan kompensasi cahaya yang lebih baik. Pada sisi sensor gas, MQ135 bersifat tidak selektif terhadap satu jenis senyawa. Oleh sebab itu, nilai yang ditampilkan sebagai PPM pada penelitian ini digunakan sebagai indeks relatif hasil konversi program, bukan sebagai konsentrasi etilen murni. Interpretasi ini penting agar keluaran sensor tidak melebihi kemampuan fisik MQ135 yang sebenarnya.

Integrasi Google Spreadsheet memberikan fungsi dokumentasi yang praktis karena setiap hasil pengujian dapat tersimpan bersama waktu pengukuran dan identitas sampel. Fitur ini memudahkan penelusuran data dan evaluasi perubahan nilai sensor. Namun, klasifikasi utama tetap berlangsung pada ESP32, sehingga Google Spreadsheet pada sistem ini berperan sebagai media monitoring dan data logging, bukan sebagai mesin pengambilan keputusan. Pemisahan fungsi tersebut membuat alat tetap dapat melakukan proses pembacaan dan klasifikasi lokal, sedangkan konektivitas internet digunakan untuk mendukung penyimpanan hasil.

Secara keseluruhan, rule-based system memberikan keuntungan berupa proses komputasi yang ringan, transparan, dan mudah diterapkan pada mikrokontroler. Setiap keputusan dapat ditelusuri berdasarkan rentang nilai sensor yang digunakan. Keterbatasannya adalah kemampuan generalisasi sangat bergantung pada kualitas threshold. Apabila alat diterapkan pada jumlah sampel yang lebih besar atau kondisi lingkungan yang lebih beragam, diperlukan pembaruan nilai ambang atau penggunaan metode klasifikasi yang mampu mempelajari pola data. Oleh karena itu, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar pengembangan sistem deteksi yang lebih adaptif pada tahap berikutnya.

SARAN

Pengembangan alat dapat diarahkan pada penambahan jumlah dan variasi sampel untuk memperoleh rentang data yang lebih representatif. Ruang pengukuran juga perlu dibuat lebih terkontrol terhadap cahaya dan sirkulasi udara. Sensor warna dapat ditingkatkan menggunakan sensor dengan stabilitas pembacaan yang lebih tinggi, sedangkan sensor gas dapat diganti atau dikombinasikan dengan sensor yang lebih selektif terhadap senyawa volatil hasil pematangan. Selain itu, metode klasifikasi seperti K-Nearest Neighbor, Decision Tree, atau pendekatan pembelajaran mesin lain dapat dibandingkan dengan rule-based system untuk mengevaluasi peningkatan akurasi dan kemampuan generalisasi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian, alat deteksi kematangan buah alpukat mentega berbasis ESP32 berhasil mengintegrasikan sensor TCS3200, sensor MQ135, LCD, rule-based system, dan Google Spreadsheet. Sensor TCS3200 menunjukkan pola penurunan nilai merah dan hijau dari kondisi mentah menuju busuk, sedangkan MQ135 menunjukkan pola peningkatan nilai pada tingkat kematangan yang lebih lanjut. Kombinasi ketiga parameter R, G, dan MQ135 dapat digunakan sebagai dasar penentuan kategori mentah, mengkal, matang, dan busuk melalui threshold yang diperoleh secara empiris dari pengujian sampel.

Sistem juga berhasil mengirimkan data hasil pengukuran ke Google Spreadsheet melalui WiFi sehingga proses pencatatan dan monitoring dapat dilakukan secara otomatis. Meskipun hasil pengujian menunjukkan pemisahan rentang yang jelas pada sampel yang digunakan, threshold masih bersifat

spesifik terhadap konfigurasi alat, kondisi pengujian, dan karakteristik sampel. Pengembangan selanjutnya perlu memperbanyak jumlah sampel, mengendalikan kondisi ruang uji dengan lebih ketat, melakukan kalibrasi sensor gas yang lebih mendalam, serta mempertimbangkan metode klasifikasi berbasis data untuk meningkatkan generalisasi sistem.

DAFTAR PUSTAKA

[1] M. Ferdiyansyah dan Y. P. Pratama, "Penerapan PLX-DAQ untuk Monitoring Secara Real Time pada Alat Deteksi Warna Berbasis Sensor TCS3200," Seminar Nasional Inovasi Vokasi (SNIV), vol. 4, no. 1, pp. 624–632, 2025.

[2] A. B. Imron dan C. Pangaribuan, "Sensor-Sensor Pemantau Menggunakan Arduino Uno dan ESP8266 Diunggah ke Thingspeak Server untuk Pengukuran Gas di Tempat Pembuangan Akhir Manggar Balikpapan," Jurnal Teknik Elektro Uniba (JTE UNIBA), vol. 1, no. 1, pp. 28–42, 2016.

[3] F. Z. Rachman, "Sistem Pemantau Gas di Tempat Pembuangan Sampah Akhir Berbasis Internet of Things," Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer, vol. 6, no. 3, pp. 100–105, 2018, doi: 10.14710/jtsiskom.6.3.2018.100-105.

[4] D. Din, Z. B. Hasanuddin, dan S. Panggalo, "Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kualitas Udara Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Thingspeak dan Website," Jurnal EKSITASI, vol. 3, no. 1, pp. 17–27, 2024.

[5] I. Suwarno, P. Purwono, dan A. Ma'arif, "Hardware Engineering of Hazardous Gas and Alcoholic Substances Detector in Meat Using Microcontroller and Gas Sensor," HighTech and Innovation Journal, vol. 4, no. 3, pp. 463–481, 2023.

[6] N. L. A. M. S. Azyze, I. S. M. Isa, dan T. S. Chin, "IoT-based Communal Garbage Monitoring System for Smart Cities," Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, vol. 27, no. 1, pp. 37–43, 2022.