

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISIS ALAT

5.1 Pengujian Alat dan Analisis Alat

Pengujian dilakukan setelah proses perancangan dan pembuatan prototipe selesai dengan tujuan mengevaluasi fungsi setiap bagian serta kinerja sistem secara keseluruhan. Tahapan pengujian mencakup sensor TCS3200, sensor MQ135, proses klasifikasi menggunakan *rule-based system*, dan mekanisme pencatatan data melalui Google Spreadsheet. Data dari masing-masing pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui respons komponen dan kesesuaian hasil kerja alat terhadap rancangan yang telah ditetapkan. Evaluasi tersebut juga digunakan untuk melihat kemampuan sistem dalam membedakan tingkat kematangan buah alpukat mentega berdasarkan parameter yang dibaca oleh kedua sensor.

5.1.1 Pengujian dan Analisis Sensor Warna TCS3200 dan Sensor Gas MQ135

Pengujian dilakukan menggunakan sensor warna TCS3200 dan sensor gas MQ135 untuk menentukan tingkat kematangan buah berdasarkan nilai warna dan konsentrasi gas. Nilai hasil pembacaan sensor dibandingkan dengan nilai acuan atau threshold yang telah ditentukan pada program untuk mengelompokkan kondisi buah menjadi mentah, mengkal, matang, dan busuk.

Tabel 5. 1 Hasil Pengukuran Warna Merah, Hijau, dan Gas

Sampel	Merah	Hijau	MQ135	Hasil	Keterangan
Sampel 1	160	159	87	MENTAH	Benar
Sampel 2	136	120	92	MENGKAL	Benar
Sampel 3	96	78	96	MATANG	Benar
Sampel 4	179	170	88	MENTAH	Benar
Sampel 5	137	116	93	MENGKAL	Benar
Sampel 6	99	94	97	MATANG	Benar
Sampel 7	160	157	88	MENTAH	Benar
Sampel 8	136	126	91	MENGKAL	Benar

Sampel	Merah	Hijau	MQ135	Hasil	Keterangan
Sampel 9	84	71	96	MATANG	Benar
Sampel 10	53	59	103	BUSUK	Benar
Sampel 11	165	144	89	MENTAH	Salah
Sampel 12	140	140	83	MENTAH	Benar
Sampel 13	146	159	87	MENTAH	Benar
Sampel 14	176	152	90	MENTAH	Salah
Sampel 15	145	176	84	MENTAH	Benar
Sampel 16	121	111	90	MENGKAL	Benar
Sampel 17	120	107	96	MENGKAL	Salah
Sampel 18	114	121	95	MENGKAL	Benar
Sampel 19	125	122	88	MENGKAL	Salah
Sampel 20	115	110	94	MENGKAL	Benar
Sampel 21	103	84	96	MATANG	Benar
Sampel 22	94	77	94	MATANG	Salah
Sampel 23	85	87	96	MATANG	Benar
Sampel 24	87	81	103	MATANG	Salah
Sampel 25	108	88	97	MATANG	Benar
Sampel 26	30	11	110	BUSUK	Benar
Sampel 27	48	5	101	BUSUK	Salah
Sampel 28	4	48	105	BUSUK	Benar
Sampel 29	40	24	102	BUSUK	Salah
Sampel 30	58	49	103	BUSUK	Benar
Sampel 31	157	153	91	MENTAH	Salah
Sampel 32	149	163	87	MENTAH	Benar
Sampel 33	148	163	89	MENTAH	Salah
Sampel 34	169	141	88	MENTAH	Benar
Sampel 35	144	147	87	MENTAH	Benar
Sampel 36	124	119	97	MENGKAL	Salah
Sampel 37	117	107	94	MENGKAL	Benar

Sampel	Merah	Hijau	MQ135	Hasil	Keterangan
Sampel 38	131	134	88	MENGKAL	Salah
Sampel 39	130	104	91	MENGKAL	Benar
Sampel 40	116	110	90	MENGKAL	Benar
Sampel 41	99	88	95	MATANG	Salah
Sampel 42	80	97	100	MATANG	Benar
Sampel 43	83	90	104	MATANG	Salah
Sampel 44	81	96	100	MATANG	Benar
Sampel 45	85	84	101	MATANG	Benar
Sampel 46	22	22	101	BUSUK	Salah
Sampel 47	46	30	113	BUSUK	Benar
Sampel 48	64	20	102	BUSUK	Salah
Sampel 49	7	55	107	BUSUK	Benar
Sampel 50	56	22	100	BUSUK	Salah

Berdasarkan Tabel 5.1, hasil pengujian terhadap 50 sampel menunjukkan adanya perbedaan nilai pada setiap tingkat kematangan buah. Pada kondisi mentah diperoleh nilai merah 140–179, hijau 140–176, dan MQ135 sebesar 83–88 ppm. Pada kondisi mengkal, nilai merah berada pada rentang 114–137, hijau 104–134, dan MQ135 90–95 ppm. Pada kondisi matang, nilai merah berada pada rentang 80–108, hijau 71–97, dan MQ135 96–101 ppm. Sementara itu, pada kondisi busuk diperoleh nilai merah 4–64, hijau 5–59, dan MQ135 103–113 ppm.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai merah dan hijau cenderung menurun seiring meningkatnya tingkat kematangan buah sedangkan nilai pembacaan MQ135 cenderung meningkat. Perubahan nilai merah dan hijau digunakan untuk mengidentifikasi perubahan warna pada permukaan buah sedangkan MQ135 digunakan sebagai parameter tambahan berdasarkan perubahan konsentrasi gas atau senyawa volatil yang terdeteksi selama proses pematangan dan pembusukan.

Sensor MQ135 digunakan untuk mendeteksi perubahan gas atau senyawa volatil yang berada di sekitar buah. Pada buah klimakterik seperti alpukat, etilen (C_2H_4) merupakan salah satu gas yang berkaitan dengan proses pematangan.

Namun, MQ135 tidak bersifat selektif terhadap etilen karena sensor ini dapat merespons berbagai jenis gas. Oleh karena itu, nilai MQ135 pada penelitian ini digunakan sebagai indikator perubahan konsentrasi gas secara relatif pada setiap tingkat kematangan bukan sebagai pengukuran spesifik konsentrasi etilen. Penggunaan parameter gas tersebut dikombinasikan dengan nilai warna agar proses penentuan tingkat kematangan tidak hanya bergantung pada satu jenis sensor.

Penerapan klasifikasi pada program menggunakan metode *rule-based system* berbasis poin. Sistem menggunakan tiga parameter masukan, yaitu nilai merah, nilai hijau, dan nilai MQ135. Pada awal proses, nilai poin untuk kategori MENTAH, MENGKAL, MATANG, dan BUSUK ditetapkan sebesar nol. Setiap parameter kemudian dibandingkan dengan *threshold* masing-masing kategori. Apabila suatu nilai berada pada rentang kategori tertentu, maka kategori tersebut memperoleh tambahan satu poin.

Nilai merah terlebih dahulu dibandingkan dengan rentang kategori mentah, mengkal, matang, dan busuk. Proses yang sama kemudian dilakukan terhadap nilai hijau dan nilai MQ135. Dengan demikian, dalam satu kali proses pengujian terdapat tiga parameter yang dapat memberikan poin terhadap salah satu kategori kematangan.

Setelah seluruh parameter diperiksa, program menjumlahkan poin yang diperoleh setiap kategori. Apabila jumlah parameter yang masuk ke dalam rentang hanya nol atau satu maka sistem memberikan hasil “TIDAK TERDETEKSI”. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa jumlah parameter yang sesuai belum cukup untuk menentukan kategori kematangan buah.

Apabila terdapat minimal dua parameter yang masuk ke dalam rentang klasifikasi maka kategori dengan jumlah poin tertinggi digunakan sebagai hasil akhir. Sebagai contoh, apabila nilai merah dan hijau berada pada kategori MATANG sedangkan nilai MQ135 berada pada kategori MENGKAL maka MATANG memperoleh dua poin dan MENGKAL memperoleh satu poin. Dengan demikian, hasil akhir yang ditampilkan oleh sistem adalah MATANG.

Pada kondisi ketika tidak terdapat satu kategori yang memperoleh poin lebih tinggi secara mutlak, program menetapkan kategori MENGKAL sebagai hasil

bawaan. Kondisi tersebut dapat terjadi apabila tiga parameter memberikan poin pada kategori yang berbeda. Ketentuan ini mengikuti logika program yang menempatkan kategori MENGKAL pada bagian akhir proses keputusan apabila tidak terdapat kategori lain yang memiliki jumlah poin paling tinggi.

Berdasarkan kinerja sistem tersebut, penggunaan tiga parameter memberikan toleransi terhadap adanya satu pembacaan yang kurang sesuai. Apabila nilai merah dan hijau menunjukkan kategori yang sama sedangkan nilai MQ135 menunjukkan kategori yang berbeda, hasil klasifikasi masih dapat mengikuti kategori yang memperoleh dua poin. Dengan demikian, *rule-based system* berbasis poin membuat proses klasifikasi tidak bergantung sepenuhnya pada satu parameter.

Kombinasi nilai merah, hijau, dan MQ135 digunakan secara bersama-sama untuk menghasilkan keputusan akhir berupa MENTAH, MENGKAL, MATANG, BUSUK, atau TIDAK TERDETEKSI. Penerapan metode tersebut membuat sistem masih dapat memberikan hasil klasifikasi ketika salah satu parameter menunjukkan nilai yang kurang sesuai, selama dua parameter lainnya memberikan kategori yang sama.

Konversi nilai pembacaan sensor menjadi nilai RGB dilakukan menggunakan persamaan normalisasi sebagai berikut [29] :

$$RGB = 255 - ((x - 20) \times 255) / (2000 - 20)$$

Persamaan tersebut dapat disederhanakan menjadi:

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

dengan:

RGB = nilai intensitas warna hasil normalisasi dengan rentang 0–255

x = hasil pembacaan `pulseIn()` dalam satuan mikrodetik

20 = batas minimum pembacaan sensor yang ditetapkan pada program

2000 = batas maksimum pembacaan sensor yang ditetapkan pada program

255 = nilai maksimum pada representasi warna RGB 8-bit

Setelah proses normalisasi, nilai masing-masing komponen warna dibatasi agar tetap berada pada rentang RGB 8-bit, yaitu:

$$0 \leq R \leq 255$$

$$0 \leq G \leq 255$$

$$0 \leq B \leq 255$$

Perhitungan tersebut diterapkan secara terpisah pada hasil pembacaan filter warna merah, hijau, dan biru dari sensor TCS3200. Dengan demikian, nilai yang diperoleh masing-masing menjadi nilai R, G, dan B yang selanjutnya digunakan sebagai parameter warna dalam menentukan tingkat kematangan buah.

Pada sensor TCS3200, besar frekuensi keluaran berbanding lurus dengan intensitas cahaya yang diterima oleh fotodiode. Sementara itu, pembacaan menggunakan `pulseIn()` menghasilkan nilai durasi pulsa, sehingga semakin tinggi frekuensi keluaran sensor, semakin kecil durasi pulsa yang terbaca. Oleh karena itu, proses konversi pada program menggunakan pemetaan terbalik (*inverse mapping*), yaitu nilai durasi pulsa yang rendah menghasilkan nilai RGB yang tinggi, sedangkan durasi pulsa yang tinggi menghasilkan nilai RGB yang rendah.

Perlu diperhatikan bahwa nilai 20 μ s dan 2000 μ s bukan merupakan nilai baku universal sensor TCS3200, melainkan batas pembacaan yang digunakan pada program sebagai parameter normalisasi. Oleh sebab itu, secara akademik lebih tepat dituliskan bahwa kedua nilai tersebut merupakan batas minimum dan maksimum hasil pembacaan yang ditetapkan berdasarkan konfigurasi atau kalibrasi sistem, bukan spesifikasi tetap dari sensor TCS3200.

Tabel 5. 2 Penentuan Waktu Sensor TCS3200 Berdasarkan Jurnal

Tahap Penggunaan	Waktu	Keterangan untuk Penelitian	Sumber
Stabilisasi / pembacaan warna	0,5 detik	Pengujian beberapa variasi delay menunjukkan 0,5 detik menghasilkan pembacaan warna paling konsisten. Waktu ini cocok dijadikan interval	Ferdiyansyah, M., dan Pratama, Y. P. 2025. “Penerapan PLX-DAQ untuk Monitoring Secara Real Time pada Alat Deteksi Warna Berbasis Sensor TCS3200.” <i>Seminar Nasional Inovasi</i>

Tahap Penggunaan	Waktu	Keterangan untuk Penelitian	Sumber
		antar-pembacaan TCS3200.	<i>Vokasi (SNIV)</i> , Vol. 4, No. 1, hlm. 624–632.
Respons terhadap perubahan warna	± 2 detik	Dalam pengujian perubahan warna dinamis, sistem menggunakan waktu respons 2000 ms dan mampu menghasilkan nilai perubahan warna yang representatif. Ini lebih tepat disebut waktu respons sistem, bukan waktu minimum sensor.	Ferdiyansyah, M., dan Pratama, Y. P. 2025. “Penerapan PLX-DAQ untuk Monitoring Secara Real Time pada Alat Deteksi Warna Berbasis Sensor TCS3200.” <i>Seminar Nasional Inovasi Vokasi (SNIV)</i> , Vol. 4, No. 1, hlm. 624–632.

Berdasarkan Tabel 5.2 menunjukkan waktu pengukuran yang dibutuhkan sensor TCS3200 berdasarkan jurnal yang mengacu pada interval pembacaan sekitar 0,5 detik untuk memperoleh data warna yang stabil dan konsisten. Sementara itu, waktu sekitar 2 detik digunakan sebagai acuan respons sistem terhadap perubahan warna. Dengan demikian, kedua waktu tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan proses pembacaan dan respons sensor TCS3200 pada penelitian.

Sebelum digunakan untuk pengujian sampel, sensor MQ135 terlebih dahulu melalui tahap pemanasan (*warm up*) selama 3 menit. Tahap pemanasan dilakukan untuk membantu menstabilkan kondisi kerja sensor sebelum digunakan dalam proses pembacaan. Setelah proses pemanasan selesai, dilakukan proses kalibrasi dengan menggunakan nilai ADC referensi tetap sebesar 862. Nilai ADC tersebut digunakan untuk memperoleh nilai resistansi sensor pada kondisi referensi yang

selanjutnya digunakan dalam menentukan nilai R_o sebagai nilai acuan dalam proses perhitungan nilai gas. Pada program, nilai rasio R_s/R_o pada kondisi udara bersih ditetapkan sebesar 3,6 [30].

Tabel 5. 3 Penentuan Waktu Sensor MQ135 Berdasarkan Jurnal

Tahap Penggunaan	Waktu	Keterangan untuk Penelitian	Sumber
Preheating / burn-in awal sebelum kalibrasi	24–48 jam	Dilakukan ketika sensor akan dikondisikan dan dikalibrasi untuk memperoleh nilai resistansi/baseline yang stabil.	https://www.winsen-sensor.com/manual/mq135.html ; Din, D., Hasanuddin, Z. B., dan Panggalo, S. 2024. “Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kualitas Udara Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Thingspeak dan Website.” <i>Jurnal EKSITASI</i> , Vol. 3, No. 1, hlm. 17–27.
Pemanasan setelah sensor diaktifkan	2–3 menit	Setelah proses <i>burn-in/preheat</i> awal selesai, MQ135 dapat digunakan secara normal setelah pemanasan sekitar 2–3 menit.	Imron, A. B., dan Pangaribuan, C. 2016. “Sensor-Sensor Pemantau Menggunakan Arduino Uno dan ESP8266 Diunggah ke Thingspeak Server untuk Pengukuran Gas di Tempat Pembuangan Akhir Manggar Balikpapan.” <i>Jurnal Teknik Elektro Uniba (JTE UNIBA)</i> , Vol. 1, No. 1, hlm. 28–42.
Pemanasan sebelum pembacaan	±3 menit	Pada implementasi sistem, pembacaan sensor MQ termasuk MQ135	Rachman, F. Z. 2018. “Sistem Pemantau Gas di Tempat Pembuangan Sampah Akhir Berbasis Internet of Things.”

Tahap Penggunaan	Waktu	Keterangan untuk Penelitian	Sumber
		ditunda sekitar 3 menit untuk memanaskan filamen sensor.	<i>Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer</i> , Vol. 6, No. 3, hlm. 100–105. https://doi.org/10.14710/jtsiskom.6.3.2018.100-105
Pembacaan eksperimental lebih cepat	Setiap 5 detik	Penelitian merekam MQ-135 setiap 5 detik dari 5–60 detik setelah tahap persiapan sensor.	Suwarno, I., Purwono, P., dan Ma'arif, A. 2023. "Hardware Engineering of Hazardous Gas and Alcoholic Substances Detector in Meat Using Microcontroller and Gas Sensor." <i>HighTech and Innovation Journal</i> , Vol. 4, No. 3, hlm. 463–481.
Pembacaan gas	30 detik	Pengukuran gas amonia menggunakan MQ-135 dilakukan dengan selang waktu 30 detik untuk setiap pengambilan data per sampel.	Prasetyo, A. 2016. <i>Rancang Bangun Sistem Monitoring Kadar Gas Amonia (NH3) Berbasis Arduino</i> . Skripsi. Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya.
Pengambilan data setelah sensor stabil	1 menit	MQ-135 bersama sensor lain dan sistem membaca data sensor pada interval setiap 1	Azyze, N. L. A. M. S., Isa, I. S. M., dan Chin, T. S. 2022. "IoT-based Communal Garbage Monitoring System for Smart Cities." <i>Indonesian Journal of</i>

Tahap Penggunaan	Waktu	Keterangan untuk Penelitian	Sumber
		menit untuk monitoring tempat sampah.	<i>Electrical Engineering and Computer Science</i> , Vol. 27, No. 1, hlm. 37–43.

Berdasarkan tabel 5.3, penggunaan sensor MQ135 berdasarkan jurnal memerlukan tahap pemanasan sebelum proses pembacaan dilakukan. Pada tahap awal, sensor membutuhkan *preheating* selama 24–48 jam untuk memperoleh kondisi dan nilai dasar yang stabil. Setelah sensor digunakan secara normal, waktu pemanasan sekitar 2–3 menit diperlukan sebelum pengambilan data. Selanjutnya, interval pembacaan dapat disesuaikan dengan kebutuhan penelitian, mulai dari 5 detik, 30 detik, hingga 1 menit setelah kondisi sensor stabil.

Pada proses pengujian, sensor MQ135 membaca nilai analog melalui pin GPIO 35 ESP32. ADC ESP32 menggunakan resolusi 12-bit dengan rentang nilai 0 sampai 4095 dan tegangan referensi sebesar 3,3 V. Nilai ADC yang diperoleh kemudian dikonversi menjadi tegangan pada pin GPIO menggunakan persamaan [31] :

$$V_GPIO = (ADC \times 3,3) / 4095$$

Tegangan GPIO selanjutnya dikonversi menjadi tegangan keluaran sensor sebelum rangkaian pembagi tegangan dengan faktor pembagi sebesar 1,5.

Persamaan yang digunakan adalah:

$$V_AO = V_GPIO \times 1,5$$

Nilai tegangan tersebut kemudian digunakan untuk menghitung resistansi sensor (R_s) dengan menggunakan load resistor sebesar 10 kOhm dan tegangan suplai sensor sebesar 5 V. Persamaan perhitungan R_s adalah:

$$R_s = R_L \times (VCC - V_AO) / V_AO$$

Nilai R_s yang diperoleh selanjutnya dibandingkan dengan nilai R_o melalui rasio R_s/R_o . Nilai R_o diperoleh dari proses kalibrasi menggunakan nilai ADC referensi sebesar 862. Berdasarkan perhitungan program, nilai R_o digunakan

sebagai nilai referensi untuk menentukan perubahan respons sensor terhadap gas volatil yang terdapat di sekitar sampel buah [31].

Sebagai contoh, nilai ADC referensi sebesar 862 menghasilkan tegangan GPIO sebesar 0,694 V. Dengan faktor pembagi tegangan sebesar 1,5 dan diperoleh tegangan keluaran sensor sebesar 1,041 V. Selanjutnya, nilai R_s dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} V_{GPIO} &= (862 \times 3,3) / 4095 \\ V_{GPIO} &= 0,694 \text{ V} \\ V_{AO} &= 0,694 \times 1,5 \\ V_{AO} &= 1,041 \text{ V} \\ R_s &= 10 \times (5 - 1,041) / 1,041 \\ R_s &= 38,03 \text{ kOhm} \end{aligned}$$

Nilai R_o kemudian diperoleh berdasarkan rasio R_s/R_o sebesar 3,6 dengan perhitungan:

$$\begin{aligned} R_o &= R_s / 3,6 \\ R_o &= 38,03 / 3,6 \\ R_o &= 10,56 \text{ kOhm} \end{aligned}$$

Dengan demikian, nilai R_o yang digunakan sebagai nilai referensi pada proses pengujian sensor MQ135 adalah sebesar 10,56 kOhm. Nilai tersebut digunakan secara tetap dalam proses konversi setiap pembacaan ADC menjadi nilai gas.

Setelah nilai R_s dan R_o diperoleh, program menghitung nilai rasio R_s/R_o yang kemudian digunakan untuk menentukan nilai gas yang pada sistem ditampilkan sebagai PPM. Perhitungan dilakukan menggunakan persamaan:

$$R_s/R_o = R_s / R_o$$

Nilai PPM selanjutnya dihitung dengan persamaan:

$$PPM = (3,6 / (R_s/R_o)) \times 100$$

Sebagai contoh, apabila hasil pembacaan suatu sampel menghasilkan nilai R_s sebesar 30 kOhm dan nilai R_o sebesar 10,56 kOhm, maka perhitungannya adalah:

$$\begin{aligned} R_s/R_o &= 30 / 10,56 \\ R_s/R_o &= 2,84 \end{aligned}$$

$$\text{PPM} = (3,6 / 2,84) \times 100$$

$$\text{PPM} = 126,76 \approx 127$$

Nilai tersebut merupakan nilai indeks gas yang digunakan oleh program sebagai keluaran sensor MQ135. Berdasarkan persamaan tersebut, semakin kecil nilai R_s/R_o maka nilai indeks gas yang dihasilkan semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan respons sensor terhadap gas volatil akan menghasilkan peningkatan nilai keluaran yang ditampilkan sebagai PPM pada sistem. Dalam penelitian ini, nilai tersebut digunakan sebagai indikator relatif perubahan gas volatil yang terdeteksi oleh sensor MQ135.

Tabel 5. 4 Data Percobaan Nilai MQ135 dalam Waktu yang Berbeda

Waktu	10 detik	30 detik	1 menit	2 menit	5 menit	Keadaan
16/09/2026 08:29	89,12	86,47	85,91	86,2	86,08	Kosong
16/09/2026 09:36	87,34	82,78	86,05	86,15	86,52	
16/09/2026 10:20	90,43	88,26	85,67	86,18	85,6	
16/09/2026 10:40	107,5	103,39	102,84	103,65	100,74	Buah Busuk
16/09/2026 10:59	105,2	106,13	106,2	105,84	104,14	
16/09/2026 11:10	104,5	104,26	103,65	104,24	106,84	

Tabel 5.4 menunjukkan pengujian sensor MQ135 dilakukan pada interval waktu 10 detik hingga 5 menit dalam kondisi ruang kosong dan ruang berisi buah busuk. Hasil menunjukkan bahwa perubahan nilai pada setiap interval waktu relatif kecil sehingga lamanya waktu pengujian tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap hasil pembacaan sensor. Pada ruang kosong, nilai berada pada rentang 82,78–90,43 ppm sedangkan pada kondisi buah busuk berada pada rentang 100,74–107,50 ppm. Dengan demikian, perbedaan kondisi ruang memberikan pengaruh

yang lebih jelas terhadap nilai MQ135 dibandingkan dengan lamanya waktu pengukuran.

5.1.2 Pengujian dan Analisis Monitoring pada Google Spreadsheet

Pengujian monitoring pada Google Spreadsheet dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengirimkan dan menyimpan data hasil pembacaan sensor melalui jaringan internet. Google Spreadsheet digunakan sebagai media penyimpanan dan pemantauan hasil deteksi kondisi kematangan buah alpukat mentega sehingga data dari sensor dapat terdokumentasi secara terstruktur dan dapat digunakan kembali dalam proses analisis.

	Timestamp	MQ135	MQ135	MQ135	MQ135	MQ135	MQ135	MQ135	MQ135	MQ135
1	20200000 23:51:34	180	150	87	MENTAH	Sampel 1				
2	20200000 23:51:55	186	120	82	MENYAL	Sampel 2				
3	20200000 23:52:27	98	79	90	MATANG	Sampel 3				
4	20200000 23:52:51	170	170	80	MENTAH	Sampel 4				
5	20200000 23:53:13	187	116	93	MENYAL	Sampel 5				
6	20200000 23:53:17	99	94	97	MATANG	Sampel 6				
7	20200000 23:53:37	180	137	85	MENTAH	Sampel 7				
8	20200000 23:53:15	186	126	87	MENYAL	Sampel 8				
9	20200000 23:53:42	94	71	99	MATANG	Sampel 9				
10	20200000 23:53:42	133	103	103	BUSUK	Sampel 10				
11	20200000 23:53:34	188	144	86	MENTAH	Sampel 11				
12	20200000 23:53:42	140	140	83	MENTAH	Sampel 12				
13	20200000 23:53:12	140	150	87	MENTAH	Sampel 13				
14	20200000 23:53:38	176	132	86	MENTAH	Sampel 14				
15	20200000 23:53:31	145	176	84	MENTAH	Sampel 15				
16	20200000 23:53:40	121	111	90	MENYAL	Sampel 16				
17	20200000 23:53:38	120	187	83	MENYAL	Sampel 17				
18	20200000 23:53:13	114	121	95	MENYAL	Sampel 18				
19	20200000 23:53:28	125	122	91	MENYAL	Sampel 19				
20	20200000 23:53:14	112	112	84	MENYAL	Sampel 20				
21	20200000 23:53:30	181	94	96	MATANG	Sampel 21				
22	20200000 23:52:38	94	77	90	MATANG	Sampel 22				
23	20200000 23:53:34	80	87	96	MATANG	Sampel 23				
24	20200000 23:53:36	87	81	98	MATANG	Sampel 24				
25	20200000 23:53:10	188	88	87	MATANG	Sampel 25				
26	20200000 23:53:36	80	111	113	BUSUK	Sampel 26				
27	20200000 23:53:34	48	9	112	BUSUK	Sampel 27				
28	20200000 23:53:31	4	48	105	BUSUK	Sampel 28				
29	20200000 23:53:36	80	28	109	BUSUK	Sampel 29				
30	20200000 23:53:39	98	45	108	BUSUK	Sampel 30				
31	20200000 23:53:35	187	153	87	MENTAH	Sampel 31				
32	20200000 23:53:38	149	184	87	MENTAH	Sampel 32				
33	20200000 23:53:32	148	183	85	MENTAH	Sampel 33				
34	20200000 23:54:32	183	141	88	MENTAH	Sampel 34				
35	20200000 23:54:27	184	147	87	MENTAH	Sampel 35				
36	20200000 23:54:28	124	118	90	MENYAL	Sampel 36				
37	20200000 23:53:37	117	187	94	MENYAL	Sampel 37				
38	20200000 23:53:38	181	138	86	MENYAL	Sampel 38				
39	20200000 23:53:31	130	134	81	MENYAL	Sampel 39				
40	20200000 23:53:31	116	116	90	MENYAL	Sampel 40				
41	20200000 23:53:36	88	86	100	MATANG	Sampel 41				
42	20200000 23:53:39	80	87	103	MATANG	Sampel 42				
43	20200000 23:53:17	83	90	90	MATANG	Sampel 43				
44	20200000 23:53:38	81	86	100	MATANG	Sampel 44				
45	20200000 23:53:17	80	94	100	MATANG	Sampel 45				
46	20200000 23:53:32	22	22	100	BUSUK	Sampel 46				
47	20200000 23:53:33	86	86	113	BUSUK	Sampel 47				
48	20200000 23:53:32	94	90	111	BUSUK	Sampel 48				
49	20200000 23:53:34	7	30	107	BUSUK	Sampel 49				
50	20200000 23:53:36	86	22	112	BUSUK	Sampel 50				

Gambar 5. 1 Hasil Pengujian Monitoring pada Google Spreadsheet

Hasil pengujian pada Gambar 5.1 memperlihatkan bahwa data yang berasal dari sensor TCS3200 dan MQ135 beserta keluaran klasifikasi dapat dicatat pada Google Spreadsheet melalui mekanisme komunikasi yang telah diterapkan. Pencatatan tersebut menghasilkan data yang tersusun dalam satu lembar kerja

sehingga riwayat setiap pengujian dapat ditelusuri berdasarkan waktu, nilai sensor, identitas sampel, dan hasil klasifikasi.

Hasil monitoring menunjukkan bahwa data dari 50 sampel berhasil tersimpan pada Google Spreadsheet. Sampel 1 sampai Sampel 9 tercatat pada tanggal 2 September 2026, dimulai pada pukul 23:51:04 hingga pukul 23:59:42. Selanjutnya, Sampel 10 tercatat pada tanggal 16 September 2026 pukul 12:32:45 sedangkan Sampel 11 sampai Sampel 50 tercatat pada tanggal 23 September 2026 mulai pukul 19:25:04 hingga pukul 21:02:36. Setiap data dilengkapi dengan *timestamp* sehingga waktu pencatatan masing-masing hasil pengujian dapat diketahui dengan jelas. Hal tersebut menunjukkan bahwa selain menyimpan nilai hasil pembacaan sensor, sistem juga mampu mendokumentasikan waktu pencatatan data pada setiap sampel.

Setiap data yang tersimpan pada Google Spreadsheet memuat nilai *Red*, *Green*, MQ135, hasil klasifikasi, dan identitas sampel. Sebagai contoh, pada Sampel 1 diperoleh nilai *Red* sebesar 160, *Green* sebesar 159, dan MQ135 sebesar 87 dengan hasil klasifikasi MENTAH. Sampel 2 menghasilkan nilai *Red* 136, *Green* 120, dan MQ135 92 dengan hasil klasifikasi MENGKAL sedangkan Sampel 3 menghasilkan nilai *Red* 96, *Green* 78, dan MQ135 96 dengan hasil klasifikasi MATANG. Pada kategori BUSUK, salah satu data ditunjukkan oleh Sampel 10 dengan nilai *Red* sebesar 53, *Green* sebesar 59, dan MQ135 sebesar 103. Pola pencatatan yang sama diterapkan hingga Sampel 50 sehingga seluruh nilai pembacaan sensor dan hasil klasifikasi dapat tersimpan sesuai dengan identitas masing-masing sampel.

Data pada Google Spreadsheet juga menunjukkan distribusi hasil klasifikasi dari keseluruhan sampel yang diuji. Dari 50 sampel, terdapat 13 sampel yang terklasifikasi MENTAH, 13 sampel MENGKAL, 13 sampel MATANG, dan 11 sampel BUSUK. Rekapitulasi tersebut mempermudah proses pemantauan jumlah sampel pada setiap kategori sekaligus memberikan gambaran mengenai distribusi hasil klasifikasi yang diperoleh selama proses pengujian.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai pembacaan sensor dan hasil klasifikasi tersimpan dalam satu baris data yang sama. Kondisi tersebut penting karena hubungan antara nilai masukan sensor dengan keputusan klasifikasi dapat

ditelusuri kembali. Sebagai contoh, Sampel 25 memiliki nilai *Red* sebesar 108, *Green* sebesar 88, dan MQ135 sebesar 97 yang tercatat bersama dengan hasil klasifikasi MATANG. Sementara itu, Sampel 47 memiliki nilai *Red* sebesar 46, *Green* sebesar 30, dan MQ135 sebesar 113 yang tercatat dengan hasil klasifikasi BUSUK. Penyimpanan data dalam satu baris memungkinkan setiap hasil klasifikasi dibandingkan secara langsung dengan nilai pembacaan sensor yang menjadi masukan sistem.

Selain sebagai media monitoring, penggunaan Google Spreadsheet memberikan kemudahan dalam proses dokumentasi dan pengolahan data hasil pengujian. Data yang telah tersimpan dapat digunakan untuk mengamati pola perubahan nilai sensor, membandingkan hasil antar sampel, menghitung jumlah hasil klasifikasi pada setiap kategori, serta melakukan evaluasi terhadap metode *Rule-Based System* yang diterapkan. Penyimpanan secara terstruktur juga mempermudah proses penelusuran kembali data apabila diperlukan dalam tahap analisis maupun evaluasi sistem.

Dengan demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem monitoring berbasis Google Spreadsheet mampu menerima dan menyimpan data hasil pembacaan sensor TCS3200 dan MQ135 beserta hasil klasifikasi kondisi buah secara terstruktur. Sebanyak 50 sampel berhasil tercatat yang terdiri atas 13 sampel mentah, 13 sampel mengkal, 13 sampel matang, dan 11 sampel busuk. Adanya informasi *timestamp*, nilai *Red*, nilai *Green*, nilai MQ135, identitas sampel, dan hasil klasifikasi membuat proses monitoring serta dokumentasi hasil deteksi kondisi kematangan buah alpukat mentega menjadi lebih terorganisasi dan mudah ditelusuri.

5.1.3 Pengujian dan Analisis Keseluruhan Sistem

Evaluasi menyeluruh dilakukan setelah setiap komponen selesai diuji secara terpisah. Pada tahap ini seluruh bagian alat dioperasikan secara bersamaan untuk mengamati keterhubungan antara sensor TCS3200, MQ135, ESP32, metode *rule-based system*, LCD, dan sistem pencatatan berbasis Google Spreadsheet. Pengujian tidak hanya melihat kemampuan masing-masing perangkat tetapi juga memastikan

aliran data dari proses pembacaan sensor hingga diperoleh keluaran akhir dapat berlangsung sesuai urutan kerja sistem.

Ketika pengujian dijalankan, ESP32 menerima data warna dan respons gas dari kedua sensor untuk kemudian diproses menggunakan aturan klasifikasi yang telah ditentukan. Kategori kematangan yang dihasilkan ditampilkan melalui LCD sedangkan data pengujian dikirim melalui jaringan WiFi untuk disimpan pada Google Spreadsheet. Dengan pengujian terintegrasi tersebut, fungsi akuisisi data, pemrosesan, penampilan informasi, dan pencatatan hasil dapat dievaluasi dalam satu siklus pengoperasian alat.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan lima puluh sampel buah alpukat mentega yang telah dikelompokkan berdasarkan tingkat kematangannya, yaitu mentah, mengkal, matang, dan busuk. Setiap sampel diberikan identitas berupa nomor sampel untuk mempermudah proses pengambilan dan analisis data. Pada proses pengujian, sensor TCS3200 melakukan pembacaan karakteristik warna permukaan buah melalui nilai Red dan Green sedangkan sensor MQ135 melakukan pembacaan respons gas yang terdapat di sekitar buah. Data hasil pembacaan kedua sensor kemudian diterima oleh ESP32 dan diproses menggunakan *rule-based system* untuk menentukan kategori tingkat kematangan buah.

Hasil pengolahan data selanjutnya digunakan sebagai keluaran sistem berupa kategori MENTAH, MENGKAL, MATANG, atau BUSUK. Hasil tersebut ditampilkan melalui LCD sebagai informasi langsung kepada pengguna. Selain itu, data hasil pembacaan sensor yang meliputi timestamp, nilai Red, Green, MQ135, hasil klasifikasi, dan identitas sampel dikirimkan melalui jaringan WiFi menuju Google Spreadsheet. Pengiriman data tersebut bertujuan untuk menyediakan sistem monitoring dan dokumentasi hasil pengujian sehingga data dapat dipantau dan dianalisis kembali.

Berdasarkan hasil pengujian, kinerja alat juga dapat dilihat dari kesesuaian tiga parameter utama yang digunakan dalam proses klasifikasi, yaitu nilai Red, Green, dan MQ135. Pada kondisi ketika nilai Red dan Green berada pada kategori yang sesuai sedangkan pembacaan MQ135 menunjukkan nilai yang kurang sesuai maka dua dari tiga parameter masih memberikan informasi yang benar terhadap

kondisi sampel. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa tingkat kesesuaian pembacaan parameter berada pada kisaran 66,7%.

Meskipun terdapat satu parameter yang kurang sesuai, hasil klasifikasi masih dapat ditentukan karena *rule-based system* menggunakan sistem poin atau voting. Apabila dua parameter memberikan poin pada kategori yang sama sedangkan satu parameter memberikan poin pada kategori yang berbeda maka kategori dengan dua poin tetap ditetapkan sebagai hasil akhir. Dengan demikian, sistem memiliki toleransi terhadap satu pembacaan yang menyimpang dan tidak sepenuhnya bergantung pada satu jenis sensor.

Berdasarkan kondisi tersebut, nilai 66,7% lebih menggambarkan tingkat kesesuaian parameter pada saat satu dari tiga parameter memberikan pembacaan yang kurang sesuai, bukan sebagai akurasi keseluruhan sistem. Kinerja alat tetap dapat dinilai baik selama dua parameter utama masih menunjukkan kategori yang sama dan hasil akhir yang ditentukan oleh *rule-based system* tetap sesuai dengan kondisi sampel.

Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Keseluruhan Sistem

No	Aspek Pengujian	Hasil	Keterangan
1.	Sensor TCS3200	Berhasil	Sensor dapat melakukan pembacaan nilai warna Red dan Green pada permukaan buah alpukat mentega dengan baik dan menghasilkan perbedaan nilai pada setiap tingkat kematangan.
2.	Sensor MQ135	Berhasil	Sensor dapat melakukan pembacaan nilai respons gas pada sampel buah dan memberikan data yang digunakan sebagai parameter tambahan dalam menentukan tingkat kematangan meskipun rentang nilainya tidak jauh berbeda dari tiap hasilnya.

No	Aspek Pengujian	Hasil	Keterangan
3.	Rule-Based System	Berhasil	Implementasi <i>rule-based system</i> pada ESP32 dapat mengolah nilai Red, Green, dan MQ135 sesuai dengan aturan yang telah ditentukan untuk menghasilkan klasifikasi tingkat kematangan buah.
4.	Input dan Output Sistem berdasarkan Rule-Based System	Berhasil	Sistem dapat menerima data dari sensor TCS3200 dan MQ135 sebagai input, kemudian memprosesnya menggunakan aturan yang telah dirancang dan menghasilkan output berupa kategori mentah, mengkal, atau matang.
5.	Monitoring pada Google Spreadsheet	Berhasil	Sistem berhasil mengirimkan dan menyimpan data hasil pembacaan sensor serta hasil klasifikasi pada Google Spreadsheet secara terstruktur melalui jaringan WiFi.

Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa alat deteksi kematangan buah alpukat mentega berbasis ESP32 telah mampu bekerja secara terintegrasi dengan baik. Sistem dapat melakukan pembacaan parameter warna dan gas, mengolah data menggunakan *rule-based system*, menentukan tingkat kematangan buah, menampilkan hasil pada LCD, serta melakukan monitoring data melalui Google Spreadsheet. Hal tersebut menunjukkan bahwa integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak telah berjalan sesuai dengan perancangan sehingga sistem dapat menjalankan fungsi utama sebagai alat deteksi kematangan buah alpukat mentega.