

BAB IV

PEMBUATAN ALAT

4.1 Pembuatan Prototipe

Realisasi prototipe pada Tugas Akhir ini dilakukan melalui serangkaian tahapan yang disusun secara sistematis agar setiap fungsi pada alat dapat diimplementasikan dengan baik. Proses tersebut mencakup penentuan kebutuhan sistem, pemilihan komponen, perancangan perangkat keras, penyusunan program, serta integrasi seluruh bagian hingga membentuk alat deteksi tingkat kematangan buah alpukat mentega. Sistem dikembangkan dengan ESP32 sebagai pengendali utama yang menerima data dari sensor TCS3200 dan MQ135, sedangkan Google Spreadsheet digunakan untuk mendukung pencatatan hasil pengukuran. Berdasarkan jenis pekerjaannya, proses realisasi alat dikelompokkan menjadi pengembangan perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*).

Pada tahap perangkat keras, pemilihan komponen dilakukan dengan mengacu pada fungsi yang dibutuhkan oleh setiap bagian sistem. ESP32 digunakan sebagai pusat pemrosesan data, sedangkan TCS3200 dimanfaatkan untuk memperoleh informasi karakteristik warna permukaan buah dan MQ135 digunakan untuk mendeteksi perubahan respons gas selama proses pematangan. LCD I2C berfungsi menampilkan informasi hasil pengukuran, sementara tombol start dan reset digunakan sebagai antarmuka pengoperasian alat. Seluruh komponen kemudian disusun berdasarkan rancangan sistem dan dihubungkan melalui rangkaian yang telah dibuat. Sensor TCS3200 dan MQ135 ditempatkan pada ruang pengujian agar proses pengambilan data warna dan gas dapat dilakukan pada kondisi pengukuran yang relatif sama. Data dari kedua sensor selanjutnya diterima dan diproses oleh ESP32.

Setelah bagian perangkat keras selesai disusun, tahap berikutnya adalah pengembangan program untuk mengendalikan operasi alat. Program dibuat melalui Arduino IDE dengan ESP32 sebagai mikrokontroler utama. Di dalam program dilakukan pengaturan sensor TCS3200, MQ135, LCD I2C, tombol kendali, serta koneksi WiFi. Nilai yang diperoleh dari kedua sensor selanjutnya diolah oleh

ESP32 dan dibandingkan dengan batas nilai yang telah ditetapkan berdasarkan hasil pengujian. Melalui proses tersebut, sistem dapat menghasilkan kategori kematangan buah sesuai kombinasi parameter warna dan respons gas yang diperoleh.

Pencatatan hasil pengukuran dilakukan melalui Google Spreadsheet yang terhubung dengan ESP32 menggunakan jaringan WiFi. Setelah proses klasifikasi selesai, data pembacaan sensor beserta hasil identifikasi kematangan dikirim ke lembar kerja secara daring. Data yang tersimpan meliputi nilai sensor TCS3200, nilai MQ135, serta kategori kematangan hasil pengolahan sistem. Penyimpanan tersebut memudahkan data pengujian untuk ditinjau kembali dan digunakan pada tahap analisis.

4.2 Alat dan Bahan

Penentuan alat dan bahan dilakukan sebelum proses pembuatan prototipe agar kebutuhan setiap bagian sistem dapat dipenuhi dengan tepat. Pemilihan komponen disesuaikan dengan rancangan rangkaian, kebutuhan mekanik, proses pemrograman, serta kegiatan pengujian yang akan dilakukan. Tahap ini diperlukan untuk memastikan bahwa komponen utama maupun komponen pendukung mempunyai karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan alat deteksi kematangan buah alpukat mentega.

Hasil identifikasi kebutuhan digunakan sebagai acuan dalam menyiapkan komponen, melakukan perakitan, dan melaksanakan pengujian prototipe. Dengan pemilihan perangkat yang sesuai, integrasi antara bagian mekanik, elektrik, dan perangkat lunak dapat dilakukan dengan lebih terarah. Bahan yang digunakan selama pembuatan alat selanjutnya disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Bahan Pembuatan Tugas Akhir

No	Nama	Jumlah
1	ESP32	1
2	Sensor Warna TCS3200	1
3	Sensor Gas MQ135	1

No	Nama	Jumlah
4	PCB	1
5	Power Supply Switching 5 V 2 A	1
6	LCD 16x2	1
7	Start Button	1
8	Reset Button	1
9	Resistor 10K Ω	2
10	Kapasitor 470 μF	1
11	Pylox Hitam	1
12	Steker	1
13	Kabel Power ½ m	1
14	Kabel Jumper 10 cm	1
15	Terminal Block 2 Pin	1
16	JST 2 Pin	2
17	JST 4 Pin	2
18	JST 5 Pin	2
19	Kabel JST 2 Pin Female to Female	2
20	Kabel JST 4 Pin Female to Female	2
21	Kabel JST 5 Pin Female to Female	2
22	Pin Header Female 15 Pin	2
23	Timah Solder	1
24	Cairan FeCl ₃	1
25	Papan MDF 50x50 cm	2
26	Skru 3 mm	30
27	Paku 3 mm	10

Selanjutnya yaitu alat yang digunakan dalam proses perakitan tugas akhir ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Alat Pembuatan Tugas Akhir

No	Nama	Jumlah
1	Multimeter Digital	1
2	Laptop	1
3	Solder	1
4	Bor Tangan	2
5	Obeng	1
6	Tang	1
7	Gerinda	1
8	Lem Tembak	1
9	Arduino IDE	1
10	SOLIDWORKS	1
11	Microsoft Excel	1

4.3 Pembuatan Perangkat Keras (*Hardware*)

Realisasi perangkat keras dimulai dengan memeriksa kondisi setiap komponen yang akan digunakan untuk memastikan tidak terdapat kerusakan sebelum proses perakitan. Setelah komponen dinyatakan dapat bekerja, pengerjaan dilanjutkan pada bagian mekanik dan elektrik. Struktur mekanik dibuat sebagai tempat pemasangan komponen sekaligus ruang pengujian buah, sedangkan bagian elektrik dikembangkan untuk menghubungkan sensor, mikrokontroler, catu daya, dan perangkat keluaran dalam satu sistem.

Pada sisi elektrik, tata letak PCB dibuat berdasarkan hubungan antarkomponen pada skema rangkaian. Posisi komponen dan jalur penghubung disusun dengan mempertimbangkan kebutuhan pin masukan, keluaran, serta distribusi tegangan. Setelah rancangan PCB selesai, komponen dipasang dan disolder sesuai posisinya. Integrasi tersebut memungkinkan ESP32 menerima data sensor, melakukan pemrosesan, dan mengendalikan perangkat keluaran sesuai dengan alur kerja alat.

4.3.1 Perancangan Mekanik

Perancangan mekanik dilakukan dengan terlebih dahulu menentukan kebutuhan ruang bagi komponen elektronik dan area pengujian buah. Dimensi alat ditetapkan dengan mempertimbangkan ukuran keseluruhan, pembagian ruang, serta posisi sensor dan perangkat pendukung. Model konstruksi kemudian dibuat menggunakan SOLIDWORKS sebagai acuan penentuan bentuk dan ukuran fisik alat. Desain dibagi menjadi ruang penempatan sistem elektronik dan ruang deteksi buah sehingga komponen dapat terlindungi sekaligus tetap mendukung proses pengambilan data secara langsung.



Gambar 4. 1 Kontruksi Alat Deteksi

Gambar di atas merupakan desain dan ukuran keseluruhan alat deteksi kematangan buah alpukat mentega. Berdasarkan hasil perancangan, alat memiliki dimensi 16 cm × 16 cm dengan tinggi keseluruhan sebesar 25 cm. Bagian atas alat memiliki tinggi 7,5 cm dan digunakan sebagai ruang kontrol yang digunakan untuk menempatkan komponen antarmuka sistem, yaitu LCD serta tombol *start* dan reset. Sementara itu, bagian bawah memiliki tinggi sebesar 16 cm dan digunakan sebagai ruang deteksi serta tempat peletakan buah alpukat mentega selama proses pengukuran. Dengan pembagian tersebut, total tinggi alat terdiri atas tinggi bagian kontrol dan ruang deteksi, yaitu 7,5 cm + 16 cm = 23,5 cm dan dengan ketebalan bahan yang digunakan sebesar 0,5cm sehingga menghasilkan dimensi keseluruhan pada gambar yang menunjukkan tinggi konstruksi sebesar 25 cm mencakup bagian konstruksi tambahan.

Pada bagian depan ruang deteksi terdapat pintu yang berfungsi sebagai akses untuk memasukkan dan mengambil buah alpukat mentega. Ruang deteksi dirancang dengan ukuran $16\text{ cm} \times 16\text{ cm} \times 16\text{ cm}$ sehingga memberikan ruang yang cukup untuk menempatkan buah sekaligus mendukung proses pembacaan sensor. Bagian atas ruang deteksi dipisahkan dari ruang kontrol sehingga komponen elektronika dapat ditempatkan secara lebih terorganisasi dan terlindungi. Secara keseluruhan, rancangan mekanik tersebut dibuat untuk mendukung penempatan sensor, komponen kontrol, serta objek pengujian dalam satu konstruksi yang kompak dan mudah dioperasikan.



Gambar 4. 2 Konstruksi Alat Deteksi

Gambar di atas menunjukkan konstruksi alat deteksi kematangan buah alpukat mentega yang dibuat berdasarkan desain mekanik yang telah dirancang sebelumnya. Konstruksi alat menggunakan material MDF (*Medium Density Fiberboard*) dengan ketebalan 5 mm sebagai bahan utama penyusun bagian rangka dan dinding alat. Penggunaan material MDF dipilih karena memiliki permukaan yang relatif rata, mudah dipotong dan dibentuk sesuai kebutuhan desain, serta memiliki bobot yang ringan sehingga memudahkan proses fabrikasi alat. Konstruksi alat terdiri atas bagian atas yang digunakan sebagai tempat pemasangan LCD dan tombol pengoperasian, serta bagian bawah yang berfungsi sebagai ruang deteksi dan tempat peletakan buah alpukat. Pada bagian depan ruang deteksi terdapat pintu yang dapat dibuka dan ditutup untuk memudahkan proses pemasukan

dan pengambilan buah. Selain itu, pada bagian dalam ruang deteksi terdapat dudukan berbentuk lingkaran yang berfungsi sebagai tempat meletakkan buah agar posisi objek tetap terarah selama proses pengukuran. Penggunaan konstruksi MDF 5 mm memungkinkan seluruh komponen mekanik dan elektronika terintegrasi dalam satu bentuk alat yang ringkas, ringan, dan sesuai dengan kebutuhan sistem deteksi kematangan buah alpukat mentega.

4.3.2 Perancangan Elektrik

Bagian elektrik dirancang menggunakan PCB sebagai media utama untuk menyatukan hubungan antarperangkat elektronik pada sistem. Penggunaan PCB memungkinkan koneksi antara ESP32, sensor, LCD, tombol, dan catu daya disusun dalam bentuk yang lebih teratur sehingga proses instalasi maupun pemeriksaan rangkaian dapat dilakukan dengan lebih mudah.



Gambar 4. 3 Penempatan Komponen

Gambar 4.3 memperlihatkan susunan komponen elektronik pada bagian dalam alat. Posisi setiap perangkat ditentukan dengan mempertimbangkan ketersediaan ruang, kemudahan pemasangan, serta panjang jalur penghubung antarkomponen. Susunan tersebut juga dibuat agar proses perawatan dan

pemeriksaan rangkaian dapat dilakukan tanpa harus membongkar seluruh bagian alat.

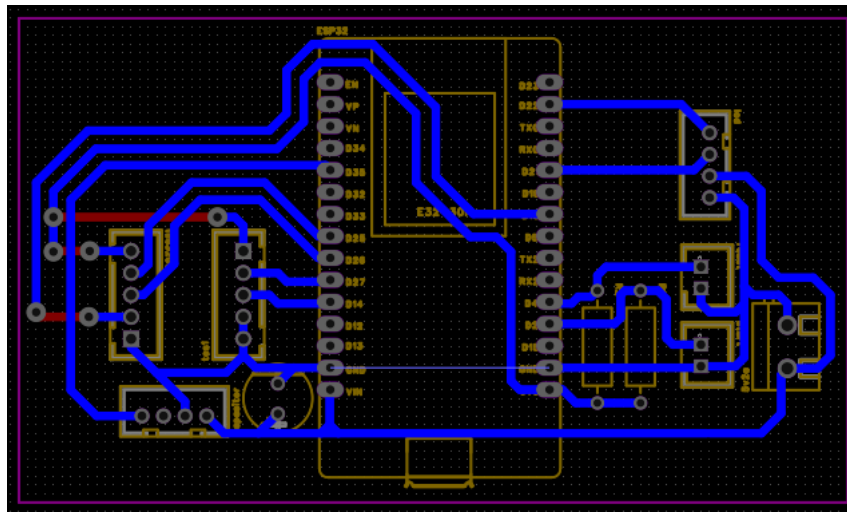
ESP32 ditempatkan pada area tengah PCB agar jalur menuju sensor dan perangkat keluaran dapat dibuat relatif pendek. Konektor JST digunakan sebagai penghubung antara PCB dengan sensor TCS3200, MQ135, LCD, serta tombol *start* dan *reset*. Pemakaian konektor memungkinkan perangkat dilepas atau dipasang kembali tanpa penyolderan langsung pada PCB, sehingga proses pemeriksaan maupun penggantian komponen menjadi lebih praktis.

Terminal *block* digunakan pada sambungan yang membutuhkan koneksi kabel lebih kuat, terutama jalur catu daya 5 VDC. Jenis koneksi tersebut dipilih karena mampu menjepit kabel secara mekanis sehingga sambungan tidak mudah terlepas ketika alat digunakan. Setelah komponen terpasang, dilakukan pemeriksaan awal untuk memastikan jalur kelistrikan dan komunikasi antarperangkat telah berfungsi sesuai rancangan.

Proses perakitan komponen dipasang pada ruang disediakan yang dimana terdapat PCB dan power supply 5 VDC. Adapun proses perakitan diawali dengan pemasangan komponen pasif seperti resistor dan kapasitor, dilanjutkan dengan pemasangan terminal dan modul. Setelah semua komponen terpasang, dilakukan pengujian awal dengan program sederhana untuk memastikan semua jalur bekerja dan berfungsi dengan baik.

4.4 Perancangan PCB

PCB dirancang sebagai media penghubung utama bagi rangkaian elektronik pada alat. Melalui papan ini, jalur antara ESP32, sensor, tombol, LCD, dan bagian catu daya dapat disusun dalam satu konfigurasi yang lebih terorganisasi sehingga kebutuhan kabel eksternal dapat dikurangi.



Gambar 4. 4 Desain PCB

Desain PCB pada Gambar 4.4 menunjukkan pola penempatan komponen dan jalur koneksi yang digunakan pada sistem deteksi kematangan buah alpukat mentega. ESP32 ditempatkan pada bagian tengah sebagai pusat pemrosesan. Posisi tersebut memberikan akses jalur yang lebih pendek menuju konektor sensor maupun perangkat keluaran.

Koneksi perangkat eksternal dibuat menggunakan beberapa konektor JST yang disesuaikan dengan jumlah pin masing-masing perangkat. Sensor TCS3200, MQ135, LCD, serta tombol kendali dapat dilepas dari PCB melalui konektor tersebut sehingga proses perawatan tidak mengharuskan penyolderan ulang. Sementara itu, terminal *block* digunakan pada bagian catu daya untuk menyediakan sambungan kabel yang lebih kokoh.

Bagian suplai menggunakan sumber tegangan 5 VDC yang diperoleh dari *power supply* setelah tegangan masukan diturunkan dari 220 VAC. Kapasitor elektrolit digunakan untuk membantu mereduksi riak tegangan pada jalur suplai, sedangkan beberapa resistor digunakan sesuai kebutuhan rangkaian, termasuk sebagai *pull-up*. Jalur PCB dibuat pada dua sisi papan agar distribusi koneksi dapat dilakukan dengan lebih efisien dan jumlah persilangan jalur dapat diminimalkan. Rancangan akhir mempertimbangkan kemudahan pemasangan komponen, kestabilan suplai, serta akses ketika dilakukan pemeriksaan atau perawatan.

4.5 Pembuatan Perangkat Lunak (*Software*)

Setelah integrasi perangkat keras selesai, pengembangan dilanjutkan pada bagian perangkat lunak yang mengatur urutan kerja sistem. Program ditulis menggunakan Arduino IDE dengan konfigurasi *board* ESP32 Dev Module. Lingkungan tersebut digunakan untuk menyusun, melakukan kompilasi, dan mengunggah program ke ESP32. Beberapa pustaka dimanfaatkan sesuai kebutuhan sistem, di antaranya WiFi.h untuk koneksi jaringan, HTTPClient.h untuk melakukan komunikasi HTTP saat pengiriman data, serta Wire.h untuk komunikasi I2C. Program kemudian mengatur proses pembacaan sensor, pengolahan nilai, penentuan kategori kematangan, tampilan LCD, dan pengiriman data menuju Google Spreadsheet.

4.5.1 Inisialisasi Sistem

Inisialisasi merupakan tahap persiapan yang dijalankan sebelum proses deteksi dimulai. Pada tahap ini ESP32 menetapkan konfigurasi pin, mengaktifkan antarmuka komunikasi, serta menyiapkan perangkat yang digunakan oleh sistem. Proses tersebut diperlukan agar sensor, LCD, tombol, dan koneksi jaringan berada pada kondisi yang siap digunakan ketika program memasuki proses utama.

```

alat_deteksi_alpukat_mengirimano
1 #include <WiFi.h>
2 #include <HTTPClient.h>
3 #include <Wire.h>
4 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
5
6 void connectWifi();
7 void standbyScreen();
8 void startDetection();
9 void readTCS2200();
10 int frequencyToHz(unsigned long frequency);
11 void warmUpMQ135();
12 void calibrateMQ135();
13 float hitungRasioMQ135(int adcRaw);
14 float hitungPPPMQ135(int adcRaw);
15 void readMQ135();
16 void determineRipeness();
17 void displayResult();
18 void displayFinalResult();
19 void sendDataToGoogleSheet();
20 void resetSystem();
21
22 // KONFIGURASI WIFI
23 const char* ssid = "groot";
24 const char* password = "undipjaya";
25
26 // URL Google Apps Script web app
27 const char* scriptURL =
28 "https://script.google.com/macros/s/"
29 "AKFycb3R9I1229arCSYThlgarRbHbaXQ8BTXhdtwz@jmqnqahJusqZTSdsLTCOUNLkFE"
30 "/exec";
31
32 void setup()
33 {
34   Serial.begin(115200);
35
36   // I2C
37   Wire.begin(LCD_SDA, LCD_SCL);
38
39   // LCD
40   lcd.init();
41   lcd.backlight();
42
43   lcd.clear();
44   lcd.setCursor(0, 0);
45   lcd.print("Deteksi Alpukat");
46   lcd.setCursor(0, 1);
47   lcd.print("Inisialisasi");
48
49   delay(2000);
50
51   // TCS2200
52   pinMode(TCS_50, OUTPUT);
53   pinMode(TCS_51, OUTPUT);
54   pinMode(TCS_52, OUTPUT);
55   pinMode(TCS_53, OUTPUT);
56   pinMode(TCS_OUT, INPUT);
57
58   // Frequency scaling 20%
59   digitalWrite(TCS_50, HIGH);
60   digitalWrite(TCS_51, LOW);

```

Gambar 4. 5 Inisialisasi Sistem

Pada Gambar 4.5, program terlebih dahulu memuat pustaka yang diperlukan untuk komunikasi WiFi, HTTP, I2C, dan pengoperasian LCD. Selanjutnya, fungsi-fungsi yang berkaitan dengan pembacaan TCS3200, MQ135, koneksi jaringan, proses deteksi, tampilan hasil, pengiriman data, serta *reset* dideklarasikan sebelum digunakan.

Pada fungsi *setup()*, komunikasi serial dan I2C diaktifkan kemudian LCD dan pin yang terhubung dengan sensor dikonfigurasi sesuai fungsinya. Sensor TCS3200 juga diatur menggunakan skala frekuensi keluaran sebesar 20%. Setelah tahap persiapan selesai, program memasuki fungsi *loop()* untuk menjalankan siklus pembacaan sensor, pengolahan data, klasifikasi kematangan, penampilan hasil pada LCD, dan pencatatan hasil pengujian melalui Google Spreadsheet selama sistem beroperasi.

4.5.2 Konfigurasi Sensor TCS3200

Salah satu komponen utama yang digunakan pada sistem yaitu sensor TCS3200 yang berfungsi sebagai parameter input dalam proses deteksi tingkat kematangan buah alpukat mentega berdasarkan karakteristik warna buah. Sensor TCS3200 digunakan untuk mengidentifikasi intensitas warna melalui pembacaan frekuensi cahaya pada kanal warna merah dan hijau. Pada sistem ini, sensor TCS3200 terhubung dengan ESP32 melalui beberapa pin, yaitu S0, S1, S2, S3, dan OUT. Inisialisasi sensor meliputi pendefinisian pin sebagai jalur pengaturan skala frekuensi, pemilihan filter warna, serta jalur keluaran frekuensi sensor. Data frekuensi yang diperoleh kemudian dikonversi menjadi nilai warna yang digunakan sebagai salah satu parameter dalam proses penentuan tingkat kematangan buah. Langkah ini menjadi penting karena karakteristik perubahan warna kulit buah alpukat mentega dapat digunakan untuk membedakan kondisi tingkat kematangan. Penjelasan lebih rinci mengenai konfigurasi perangkat lunak sensor TCS3200 disampaikan pada bagian berikut.

```
alat_deteksi_alpukat_mentega.ino
11 void warmUpMQ135();
12 void calibrateMQ135();
13 float hitungRsqMQ135(int adcRaw);
14 float hitungPPMQ135(int adcRaw);
15 void readMQ135();
16 void determineRipeness();
17 void displayResult();
18 void displayFinalResult();
19 void sendToGoogleSheet();
20 void resetSystem();
21
22 // KONFIGURASI WIFI
23 const char* ssid = "groot";
24 const char* password = "undipjaya";
25
26 // URL Google Apps Script Web App
27 const char* scriptURL =
28   "https://script.google.com/macros/s/"
29   "AK#ycbxJR9II239arCSYtbigarRNBaaxtH8TXh9rterhPjMnqwhJubqUzTSdSLTCOUBLKFE"
30   "/exec";
31
32 // KONFIGURASI PIN
33 // =====
34
35 // TCS3200
36 #define TCS_S0 14
37 #define TCS_S1 27
38 #define TCS_S2 26
39 #define TCS_S3 25
40 #define TCS_OUT 18
```

Gambar 4. 6 Konfigurasi TCS3200

Pada gambar di atas merupakan konfigurasi koding yang digunakan untuk inisialisasi sensor TCS3200. Proses ini diawali dengan pendefinisian pin yang digunakan sebagai jalur komunikasi dan pengaturan sensor, yaitu GPIO 14 untuk S0, GPIO 27 untuk S1, GPIO 26 untuk S2, GPIO 25 untuk S3, dan GPIO 18 untuk OUT. Pin S0 dan S1 digunakan untuk mengatur skala frekuensi keluaran sensor sedangkan pin S2 dan S3 digunakan untuk menentukan filter warna yang akan dibaca. Sementara itu, pin OUT digunakan sebagai jalur keluaran frekuensi yang merepresentasikan intensitas warna yang terdeteksi oleh sensor. Konfigurasi tersebut kemudian digunakan oleh fungsi pembacaan sensor TCS3200 untuk memperoleh frekuensi masing-masing komponen warna. Nilai frekuensi yang diperoleh selanjutnya diproses melalui fungsi frequencyToRGB() untuk dikonversi menjadi nilai RGB. Hasil pembacaan warna tersebut kemudian digunakan sebagai parameter dalam proses determineRipeness() untuk menentukan tingkat kematangan buah alpukat mentega berdasarkan aturan yang telah ditetapkan pada sistem.

4.5.3 Konfigurasi Sensor MQ135

Salah satu komponen yang digunakan pada sistem yaitu sensor MQ135 yang berfungsi sebagai parameter input untuk mendeteksi perubahan konsentrasi gas atau senyawa volatil yang dihasilkan oleh buah alpukat mentega selama proses pematangan. Perubahan senyawa volatil tersebut dapat digunakan sebagai salah satu indikator dalam menentukan tingkat kematangan buah. Pada sistem ini, sensor MQ135 terhubung dengan ESP32 melalui pin analog yang digunakan untuk membaca perubahan nilai keluaran sensor. Inisialisasi sensor dilakukan dengan menentukan pin yang digunakan sebagai jalur pembacaan data sensor sehingga nilai yang diperoleh dapat diproses lebih lanjut oleh sistem. Data dari sensor MQ135 selanjutnya digunakan bersama hasil pembacaan warna dari sensor TCS3200 sebagai parameter dalam proses penentuan tingkat kematangan menggunakan *rule based system*. Langkah ini menjadi penting karena penggunaan lebih dari satu parameter dapat memberikan informasi yang lebih representatif dalam proses klasifikasi tingkat kematangan buah alpukat mentega. Penjelasan lebih rinci mengenai konfigurasi perangkat lunak sensor MQ135 disampaikan pada bagian berikut.

```
alat_deteksi_alpukat_mentega.ino
149 // I2C
150 Wire.begin(LCD_SDA, LCD_SCL);
151
152 // LCD
153 lcd.init();
154 lcd.backlight();
155
156 lcd.clear();
157 lcd.setCursor(0, 0);
158 lcd.print("Deteksi Alpukat");
159 lcd.setCursor(0, 1);
160 lcd.print("Inisialisasi");
161
162 delay(2000);
163
164 // TCS3200
165 pinMode(TCS_S0, OUTPUT);
166 pinMode(TCS_S1, OUTPUT);
167 pinMode(TCS_S2, OUTPUT);
168 pinMode(TCS_S3, OUTPUT);
169 pinMode(TCS_OUT, INPUT);
170
171 // Frequency scaling 28%
172 digitalWrite(TCS_S0, HIGH);
173 digitalWrite(TCS_S1, LOW);
174
175 // MQ135
176 pinMode(MQ135_PIN, INPUT);
177 analogReadResolution(12);
178 analogSetPinAttenuation(MQ135_PIN, ADC_11db);
```

Gambar 4. 7 Konfigurasi MQ135

Pada gambar di atas merupakan konfigurasi koding yang digunakan untuk inisialisasi sensor MQ135. Proses ini diawali dengan pendefinisian pin sensor menggunakan perintah `#define`, yaitu `MQ135_PIN 35` yang menunjukkan bahwa sensor MQ135 terhubung pada GPIO 35 ESP32. Pin tersebut digunakan sebagai jalur masukan analog untuk membaca nilai keluaran dari sensor MQ135. Nilai analog yang diperoleh merepresentasikan perubahan respons sensor terhadap konsentrasi gas yang terdeteksi. Selanjutnya, data hasil pembacaan sensor diproses melalui fungsi `readMQ135()` untuk memperoleh nilai yang dapat digunakan dalam proses deteksi kematangan. Hasil pembacaan sensor MQ135 kemudian menjadi salah satu parameter input pada fungsi `determineRipeness()` bersama dengan data warna dari sensor TCS3200. Berdasarkan kombinasi kedua parameter tersebut, sistem menentukan tingkat kematangan buah alpukat mentega sesuai dengan aturan yang telah ditetapkan pada sistem.

4.5.4 Konfigurasi Rule-Based System

Konfigurasi *Rule-Based System* digunakan untuk menentukan tingkat kematangan buah alpukat mentega berdasarkan hasil pembacaan sensor TCS3200 dan MQ135. Sistem menggunakan nilai ambang (*threshold*) sebagai dasar dalam mengelompokkan kondisi buah menjadi tiga tingkat kematangan, yaitu mentah, mengkal, dan matang. Parameter dari sensor TCS3200 direpresentasikan dalam nilai RGB dengan rentang 0–255 sedangkan sensor MQ135 menggunakan nilai PPM sebagai parameter konsentrasi gas yang terdeteksi. Penentuan nilai *threshold* dilakukan berdasarkan hasil pengujian karakteristik buah pada masing-masing tingkat kematangan, sehingga setiap rentang nilai dapat digunakan sebagai acuan dalam proses klasifikasi.

```

alat_deteksi_alpukat_mentega.ino
94 // Threshold Red Value (RGB 0-255)
95 const int RED_BUSUK_MIN = 0;
96 const int RED_BUSUK_MAX = 76;
97 const int RED_MATANG_MIN = 77;
98 const int RED_MATANG_MAX = 110;
99 const int RED_MENGKAL_MIN = 111;
100 const int RED_MENGKAL_MAX = 137;
101 const int RED_MENTAH_MIN = 138;
102 const int RED_MENTAH_MAX = 185;
103
104 // Threshold Green Value (RGB 0-255)
105 const int GREEN_BUSUK_MIN = 0;
106 const int GREEN_BUSUK_MAX = 71;
107 const int GREEN_MATANG_MIN = 72;
108 const int GREEN_MATANG_MAX = 100;
109 const int GREEN_MENGKAL_MIN = 101;
110 const int GREEN_MENGKAL_MAX = 137;
111 const int GREEN_MENTAH_MIN = 138;
112 const int GREEN_MENTAH_MAX = 180;
113
114 // Threshold MQ135 (PPM)
115 const float MQ_MENTAH_MIN = 82;
116 const float MQ_MENTAH_MAX = 88;
117 const float MQ_MENGKAL_MIN = 89;
118 const float MQ_MENGKAL_MAX = 95;
119 const float MQ_MATANG_MIN = 96;
120 const float MQ_MATANG_MAX = 102;
121 const float MQ_BUSUK_MIN = 103;
122 const float MQ_BUSUK_MAX = 113;

```

Gambar 4. 8 Konfigurasi *Rule-Based System*

Pada gambar di atas dijelaskan konfigurasi program yang digunakan dalam proses klasifikasi tingkat kematangan buah alpukat mentega. Sensor TCS3200 menggunakan parameter nilai warna merah (*Red*) dan hijau (*Green*) sebagai dasar identifikasi kondisi buah. Nilai *threshold* warna merah untuk kondisi busuk berada pada rentang 0–76, matang 77–110, mengkal 111–137, dan mentah 138–185. Sementara itu, nilai *threshold* warna hijau untuk kondisi busuk berada pada rentang 0–71, matang 72–100, mengkal 101–137, dan mentah 138–180. Berdasarkan rentang tersebut, sistem dapat mengidentifikasi perubahan karakteristik warna kulit buah pada setiap tingkat kematangan.

Selain parameter warna, sensor MQ135 digunakan sebagai parameter pendukung berdasarkan konsentrasi gas dalam satuan PPM (*Parts Per Million*). Nilai *threshold* MQ135 untuk kondisi mentah berada pada rentang 82–88 PPM,

mengkal 89–95 PPM, matang 96–102 PPM, dan busuk 103–113 PPM. Seluruh nilai *threshold* tersebut kemudian digunakan dalam aturan klasifikasi untuk menentukan kondisi buah berdasarkan kombinasi parameter warna dan konsentrasi gas yang terdeteksi oleh sensor. Dengan demikian, *Rule-Based System* berfungsi sebagai dasar pengambilan keputusan pada sistem dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap rentang nilai *threshold* yang telah ditentukan.

4.5.5 Konfigurasi LCD

Salah satu komponen antarmuka yang digunakan pada sistem yaitu LCD I2C yang berfungsi sebagai media untuk menampilkan informasi hasil proses deteksi kematangan buah alpukat mentega. LCD digunakan untuk memberikan informasi kepada pengguna secara langsung, seperti status proses deteksi dan hasil tingkat kematangan buah. Penggunaan komunikasi I2C memungkinkan LCD terhubung dengan ESP32 melalui dua jalur komunikasi, yaitu SDA dan SCL sehingga penggunaan pin pada mikrokontroler menjadi lebih efisien. Pada sistem ini, LCD yang digunakan memiliki ukuran 16×2 karakter dan dikendalikan menggunakan library `LiquidCrystal_I2C.h`. Penjelasan lebih rinci mengenai konfigurasi perangkat lunak LCD I2C disampaikan pada bagian berikut.

```

alat_deteksi_alpukat_mentega.ino
26 // URL Google Apps Script Web App
27 const char* scriptURL =
28   "https://script.google.com/macros/s/"
29   "AKfycbxjR9II238arCSVTbigarRNBearXtH8TXh9rtarWpJHmqushJusquZTSdsLTC0U9LkFE"
30   "/exec";
31
32 // KONFIGURASI PIN
33 // =====
34
35 // TC53208
36 #define TCS_S0 14
37 #define TCS_S1 27
38 #define TCS_S2 26
39 #define TCS_S3 25
40 #define TCS_OUT 18
41
42 // MQ135
43 #define MQ135_PIN 35
44
45 // Tombol
46 #define BUTTON_START 2
47 #define BUTTON_RESET 4
48
49 // LCD I2C
50 #define LCD_SDA 21
51 #define LCD_SCL 22
52
53 // LCD
54 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

```

Gambar 4. 9 Konfigurasi LCD

Pada gambar di atas merupakan konfigurasi koding yang digunakan untuk inisialisasi LCD I2C. Proses ini diawali dengan pendefinisian pin komunikasi I2C menggunakan perintah `#define`, yaitu `LCD_SDA 21` dan `LCD_SCL 22`. GPIO 21 digunakan sebagai jalur Serial Data (SDA) sedangkan GPIO 22 digunakan sebagai jalur Serial Clock (SCL) pada ESP32. Selanjutnya dibuat objek LCD menggunakan perintah `LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);` dengan alamat I2C LCD sebesar 0x27 serta konfigurasi ukuran tampilan 16 kolom dan 2 baris. Objek tersebut digunakan untuk mengendalikan fungsi LCD dalam menampilkan informasi dari sistem. Pada proses inisialisasi di dalam fungsi `setup()`, komunikasi I2C diaktifkan menggunakan `Wire.begin(LCD_SDA, LCD_SCL)` kemudian LCD diaktifkan menggunakan fungsi `lcd.init()` dan lampu latar dinyalakan dengan `lcd.backlight()`. Setelah proses inisialisasi selesai, LCD dapat digunakan untuk menampilkan status awal sistem, proses deteksi, hingga hasil akhir tingkat kematangan buah alpukat mentega.

4.5.6 Konfigurasi *Start* dan *Reset*

Salah satu bagian pendukung pada sistem yaitu tombol *Start* dan *Reset* yang berfungsi sebagai antarmuka pengguna untuk mengendalikan proses kerja alat deteksi kematangan buah alpukat mentega. Tombol *Start* digunakan untuk memberikan perintah kepada sistem agar memulai proses deteksi sedangkan tombol *Reset* digunakan untuk mengembalikan sistem ke kondisi awal setelah proses deteksi selesai. Penggunaan kedua tombol tersebut memungkinkan pengguna mengendalikan proses kerja alat secara manual sehingga proses deteksi dapat dilakukan sesuai kebutuhan. Penjelasan lebih rinci mengenai konfigurasi perangkat lunak tombol *Start* dan *Reset* disampaikan pada bagian berikut.

```
alat_deteksi_alpukat_mentega.ino
18 void displayFinalResult();
19 void sendToGoogleSheet();
20 void resetSystem();
21
22 // KONFIGURASI WIFI
23 const char* ssid = "groot";
24 const char* password = "undipjaya";
25
26 // URL Google Apps Script Web App
27 const char* scriptURL =
28 "https://script.google.com/macros/s/"
29 "AK#fycbxjR9II239arCSVtbigarRNBaXtH8TXh9rtmKpJ#mqushJusquZTSdsLTCOUBLKFE"
30 "/exec";
31
32 // KONFIGURASI PIN
33 // =====
34
35 // TCS3200
36 #define TCS_S0 14
37 #define TCS_S1 27
38 #define TCS_S2 26
39 #define TCS_S3 25
40 #define TCS_OUT 18
41
42 // MQ135
43 #define MQ135_PIN 35
44
45 // Tombol
46 #define BUTTON_START 2
47 #define BUTTON_RESET 4
```

Gambar 4. 10 Konfigurasi *Start* dan *Reset*

Pada gambar di atas merupakan konfigurasi koding yang digunakan untuk inisialisasi tombol *Start* dan *Reset*. Proses ini diawali dengan pendefinisian pin menggunakan perintah `#define`, yaitu `BUTTON_START 2` dan `BUTTON_RESET 4`. Tombol *Start* terhubung pada GPIO 2 ESP32 dan digunakan untuk memberikan perintah memulai proses deteksi sedangkan tombol *Reset* terhubung pada GPIO 4 dan digunakan untuk mengembalikan sistem ke kondisi awal. Kedua pin tersebut

selanjutnya dikonfigurasi sebagai masukan (*input*) pada fungsi `setup()` agar ESP32 dapat mendeteksi perubahan kondisi ketika tombol ditekan. Pada fungsi `loop()`, kondisi tombol Start diperiksa untuk menjalankan proses deteksi sedangkan tombol Reset digunakan untuk memanggil fungsi `resetSystem()`. Dengan demikian, konfigurasi kedua tombol tersebut berperan dalam mengatur tahapan operasional sistem, mulai dari kondisi awal, proses deteksi hingga pengembalian sistem untuk melakukan deteksi berikutnya.

4.5.7 Monitoring dan Pengiriman Data ke Google Spreadsheet

Salah satu fitur pendukung pada sistem yaitu monitoring dan pengiriman data ke Google Spreadsheet yang berfungsi untuk menyimpan serta memantau hasil deteksi kematangan buah alpukat mentega secara digital. Fitur ini memungkinkan data hasil pengukuran sensor dan hasil klasifikasi tingkat kematangan dikirimkan melalui jaringan WiFi menuju Google Spreadsheet sehingga data dapat terdokumentasi dan diakses secara lebih mudah. Proses komunikasi dilakukan menggunakan URL Google Apps Script Web App yang telah dikonfigurasi pada program. Sebelum data dikirimkan, sistem terlebih dahulu memeriksa status koneksi WiFi untuk memastikan proses komunikasi dengan server dapat dilakukan. Penjelasan lebih rinci mengenai konfigurasi monitoring dan pengiriman data ke Google Spreadsheet disampaikan pada bagian berikut.

```

alat_deteksi_alpukat_mentega.ino
881 void sendToGoogleSheet()
882 {
883     Serial.println();
884     Serial.println("Mengirim data ke Google Spreadsheet...");
885
886     // CEK WIFI
887     if (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
888     {
889         Serial.println("WiFi tidak terhubung.");
890         Serial.println("Mencoba menghubungkan ulang...");
891
892         connectWiFi();
893
894         if (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
895         {
896             Serial.println("Gagal terhubung. Data tidak dikirim.");
897
898             lcd.clear();
899             lcd.setCursor(0, 0);
900             lcd.print("WiFi Gagal");
901             lcd.setCursor(0, 1);
902             lcd.print("Data Gagal Kirim");
903
904             delay(2000);
905
906             displayFinalResult();
907             return;
908         }
909     }

```

Gambar 4. 11 Konfigurasi Monitoring dan Pengiriman Data ke Google Spreadsheet

Pada gambar di atas merupakan konfigurasi koding yang digunakan untuk proses monitoring dan pengiriman data ke Google Spreadsheet. Proses diawali dengan fungsi `sendToGoogleSheet()` yang menampilkan informasi pada Serial Monitor bahwa sistem sedang melakukan pengiriman data. Selanjutnya, program melakukan pemeriksaan status koneksi WiFi menggunakan `WiFi.status() != WL_CONNECTED`. Apabila koneksi WiFi terputus, sistem akan menampilkan informasi bahwa WiFi tidak terhubung dan menjalankan fungsi `connectWiFi()` untuk melakukan proses koneksi ulang. Setelah proses tersebut dilakukan, sistem kembali memeriksa status koneksi WiFi. Apabila koneksi tetap gagal, data tidak dikirimkan ke Google Spreadsheet dan sistem menampilkan informasi kegagalan pada Serial Monitor serta LCD melalui pesan “WiFi Gagal” dan “Data Gagal Kirim”. Setelah jeda selama 2 detik, sistem kembali menampilkan hasil deteksi melalui fungsi `displayFinalResult()`. Mekanisme pemeriksaan koneksi tersebut

bertujuan untuk memastikan bahwa pengiriman data hanya dilakukan ketika jaringan tersedia sehingga hasil deteksi dapat diteruskan ke Google Spreadsheet secara optimal.