BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian, dan analisis sistem penyortir buah kopi berdasarkan tingkat kematangan yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem penyortir buah kopi berdasarkan tingkat kematangan menggunakan sensor warna TCS34725 berhasil dirancang dan dibangun dengan mengintegrasikan sensor warna, *load cell*, *conveyor*, mekanisme pengarah, ESP32, serta *website* monitoring. Berdasarkan 50 *sample* yang diuji, sistem berhasil mengklasifikasikan 45 *sample* dengan benar sehingga diperoleh tingkat keberhasilan klasifikasi sebesar 90,00%, dengan kategori mentah sebesar 80,00% (tingkat keberhasilan terendah), setengah matang sebesar 90,91%, serta kategori matang sebesar 95,83% (tingkat keberhasilan tertinggi). Hasil klasifikasi tidak hanya dipengaruhi oleh parameter RGB yang digunakan, tetapi juga oleh karakteristik *sample* buah kopi yang diuji, seperti tingkat kematangan, variasi warna pada permukaan buah, ukuran, serta kondisi permukaan buah. Perbedaan karakteristik tersebut dapat menghasilkan nilai pembacaan RGB yang berbeda meskipun buah berada pada kategori kematangan yang sama. Kondisi tersebut berpengaruh pada kategori setengah matang karena karakteristik warnanya berada pada fase peralihan dan cenderung memiliki kemiripan dengan kategori matang maupun mentah.
2. Sensor *load cell* berhasil diintegrasikan ke dalam sistem untuk mengukur berat buah kopi pada setiap kategori hasil penyortiran. Berdasarkan hasil pengujian dan perbandingan dengan timbangan digital sebagai alat ukur pembanding, diperoleh rata-rata *error* pembacaan sebesar 9,76%. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa pembacaan berat pada massa di bawah 1 gram cenderung kurang stabil dan pada kondisi tertentu tidak terdeteksi

oleh sistem. Hal tersebut menunjukkan adanya keterbatasan kemampuan pembacaan *load cell* pada beban yang sangat kecil.

3. Karakteristik *sample* buah kopi menjadi salah satu faktor yang memengaruhi hasil pembacaan sensor warna dan tingkat keberhasilan klasifikasi. Buah kopi pada tingkat kematangan yang sama tidak selalu memiliki karakteristik warna dan kondisi permukaan yang seragam. Variasi tersebut dapat menyebabkan nilai RGB yang terbaca sensor berbeda antar-*sample*, sehingga berpengaruh terhadap hasil klasifikasi, khususnya pada buah yang memiliki warna berada di sekitar batas antar kategori.
4. Sistem menyediakan mekanisme penyesuaian pembacaan awal (*standby*) pada masing-masing sensor melalui program ESP32. Pada sensor warna, nilai pembacaan saat kondisi *standby* dapat disesuaikan melalui program sehingga sistem dapat menentukan kondisi awal sebelum buah dibaca dan mengklasifikasikan nilai warna sesuai dengan parameter yang telah ditentukan. Demikian pula pada sensor *load cell*, nilai pembacaan awal dapat disesuaikan melalui proses kalibrasi pada program agar pembacaan berat dapat digunakan sebagai dasar pengukuran. Dengan adanya pengaturan tersebut, parameter pembacaan masing-masing sensor dapat disesuaikan terhadap kondisi sistem pada saat digunakan.
5. Sistem monitoring berbasis *website* berhasil dikembangkan dan mampu menampilkan hasil klasifikasi serta data berat buah kopi secara *real-time* melalui alamat IP ESP32. Berdasarkan pengujian pada tiga kondisi yang mewakili kategori matang, setengah matang, dan mentah, diperoleh tingkat kesesuaian data antara serial monitor dan tampilan *website* sebesar 100% pada seluruh percobaan. Hal tersebut menunjukkan bahwa proses pengiriman dan penampilan data dari ESP32 menuju *website* telah berjalan sesuai dengan rancangan.
6. Sistem mampu menangani hasil pembacaan warna yang berada di luar rentang klasifikasi dengan memberikan status *unknown*. Kondisi *unknown* digunakan ketika nilai pembacaan sensor warna tidak memenuhi rentang parameter yang telah ditentukan pada program. Buah yang memperoleh

status *unknown* tidak diarahkan menuju salah satu wadah penyortiran, melainkan tetap bergerak lurus mengikuti jalur *conveyor*. Mekanisme tersebut mencegah buah dengan hasil pembacaan yang tidak sesuai parameter masuk ke kategori penyortiran yang tidak tepat.

6.2. Saran

Berdasarkan hasil pengujian dan kesimpulan yang telah diperoleh, beberapa saran yang dapat digunakan sebagai bahan pengembangan sistem pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Rentang nilai RGB pada algoritma klasifikasi perlu dikaji dan disesuaikan kembali dengan menambah jumlah *sample* pengujian, terutama pada kategori setengah matang yang memiliki tingkat keberhasilan klasifikasi paling rendah. Penambahan jumlah data dapat digunakan untuk memperoleh rentang karakteristik warna yang lebih representatif sehingga batas klasifikasi antar kategori dapat ditentukan dengan lebih tepat.
2. Pemilihan dan penambahan jumlah *sample* buah kopi perlu diperhatikan dalam pengembangan sistem selanjutnya. Pengujian sebaiknya menggunakan *sample* yang lebih beragam dengan jumlah yang lebih banyak pada setiap kategori kematangan, sehingga karakteristik warna dari masing-masing kategori dapat terwakili dengan lebih baik. *Sample* juga sebaiknya memiliki variasi ukuran, warna permukaan, dan kondisi fisik untuk mengetahui pengaruh karakteristik buah terhadap hasil pembacaan sensor. Data dari berbagai karakteristik tersebut dapat digunakan sebagai dasar untuk menentukan rentang klasifikasi yang lebih representatif dan meningkatkan kemampuan sistem dalam membedakan tingkat kematangan buah kopi.
3. Kondisi pencahayaan pada area pembacaan sensor warna perlu dibuat lebih terkendali. Penggunaan ruang pembacaan yang lebih tertutup atau sumber pencahayaan dengan intensitas yang tetap dapat mengurangi pengaruh cahaya dari lingkungan terhadap nilai RGB yang diterima sensor. Hal ini

diharapkan dapat mengurangi kesalahan klasifikasi serta mengurangi kemungkinan munculnya status *unknown*.

4. Kalibrasi sensor warna dan *load cell* sebaiknya dilakukan sebelum sistem digunakan. Nilai pembacaan *standby* pada masing-masing sensor dapat disesuaikan melalui parameter pada program ESP32 sehingga sistem dapat beradaptasi dengan kondisi awal sensor dan lingkungan pengujian. Pengembangan selanjutnya dapat dilakukan dengan membuat proses kalibrasi yang lebih mudah, misalnya melalui antarmuka *website*, sehingga pengguna tidak perlu melakukan perubahan parameter secara langsung pada program.
5. Pengujian sistem secara keseluruhan perlu dilakukan menggunakan jumlah *sample* yang lebih banyak dan kondisi pengujian yang lebih bervariasi. Variasi dapat meliputi ukuran buah, tingkat kematangan, kondisi permukaan buah, intensitas pencahayaan, serta variasi berat buah. Pengujian tersebut diperlukan untuk memperoleh data kinerja yang lebih representatif dan mengetahui tingkat keandalan sistem ketika digunakan pada kondisi yang berbeda dari pengujian awal.
6. Pengembangan algoritma klasifikasi dapat dilakukan dengan metode yang lebih adaptif agar sistem tidak hanya bergantung pada batas nilai RGB yang telah ditentukan secara manual. Penggunaan lebih banyak parameter warna atau metode klasifikasi yang mampu mempelajari karakteristik masing-masing tingkat kematangan dapat menjadi alternatif untuk meningkatkan akurasi, terutama dalam membedakan buah pada kondisi setengah matang.